

UFPA

PPGEC

**Universidade Federal
do Pará**



IZABELLE FERREIRA DE OLIVEIRA

**INVESTIGAÇÃO DA CONDIÇÃO
TRÓFICA DO RESERVATORIO DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA BOLONHA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor (a) Dr^a Luiza Carla Girard
Mendes Teixeira.

Belém – Pará – Brasil

2018

IZABELLE FERREIRA DE OLIVEIRA

INVESTIGAÇÃO DA CONDIÇÃO TRÓFICA DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA BOLONHA.

Dissertação de Mestrado Engenharia Civil do
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil,
Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.
Área de concentração: Engenharia Hídrica. Linha de
pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento ambiental.
Orientadora: Profª Drª Luiza Carla Girard Mendes
Teixeira.

Belém/PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Oliveira, Izabelle Ferreira de, 1987-

Investigação da condição trófica do reservatório de abastecimento de água Bolonha /Izabelle Ferreira de Oliveira.- 2018.

Orientador: Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018

1. Abastecimento de água- Belém(PA) 2. Água- Qualidade - Belém (PA) 3. Água- Estações de tratamento - Belém (PA)
I. Título

CDD 22.ed.628.1098115



**INVESTIGAÇÃO DA CONDIÇÃO TRÓFICA DO
RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
BOLONHA**

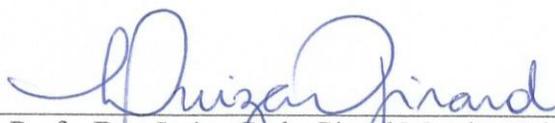
AUTORA:

IZABELLE FERREIRA DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

APROVADO EM: 04 / 07 / 2018.

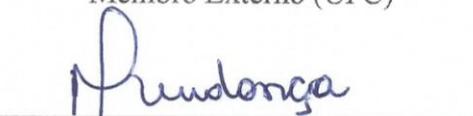
BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
Orientadora (UFPA)



Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes
Membro Externo (UFC)

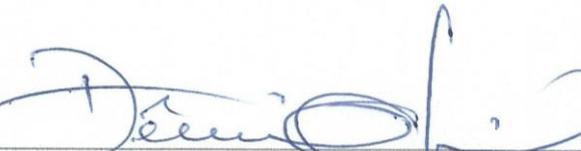


Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça
Membro Externo (UFPA)



Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar.

À Universidade Federal do Pará.

A prof. Dr^a Luiza Girard, pela orientação, dedicação, paciência, confiança para que esse trabalho fosse realizado.

Ao prof. Dr. Neyson Mendonça, pela parceria, dedicação, amizade, orientação, generosidade em compartilhar conhecimentos.

Aos meus companheiros do GESA que foram fundamentais para que eu pudesse obter êxito nesta pesquisa: Rafael Haruo, Geovane Teixeira.

Aos meus amigos irmãos, Paulo Pacheco, Mônica Sousa, Rosa Mendes, pela amizade e pelo tempo que passamos junto nessa etapa da vida.

RESUMO

Este estudo concentrou-se no monitoramento de água do reservatório Bolonha, com foco na obtenção do Índice de Estado Trófico (IET) ao longo do período chuvoso e menos chuvoso do ano 2016. O local situa-se no terreno do Parque Estadual do Utinga (PEUT), mais precisamente na Avenida João Paulo II, s/n - Curió Utinga, no município de Belém-PA. O reservatório apresenta forma alongada, aproximadamente 577.127 m² de área e 1.954.000 m³ de volume d'água; sua profundidade máxima está em torno de 7.64 m. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o IET do reservatório Bolonha a partir da quantificação das variáveis fósforo total, transparência e aplicação de estatística descritiva, analítica e multivariada, sendo possível observar as variações distintas nos períodos de análise. A metodologia do trabalho consistiu de realização de coletas, simples e composta, de campo, para um ponto localizado na entrada da captação da ETA Bolonha, antes do gradeamento. Ao realizar comparação sazonal entre períodos chuvosos e menos chuvosos, por meio de testes de hipótese Mann Whitney, foi possível observar que as variáveis pH, alcalinidade, cor verdadeira, fósforo total e oxigênio dissolvido não apresentaram diferença significativa entre os períodos analisados. As demais variáveis - cor aparente, sólidos suspensos totais, turbidez e IET - apresentaram diferenças significativas, entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. A presença de fósforo é evidente em ambos os períodos. O teste de Mann Whitney revelou que houve diferença significativa das frações de fósforo entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, através dos valores p . Tal teste demonstrou que as frações do fósforo analisadas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), menor que o nível de significância de 5%. Por meio de análise de componente principal para o fracionamento do fósforo, foi possível observar a formação de 2 componentes distintos para cada período (chuvoso e menos chuvoso), que juntos explicaram 93% e 92,6% da variabilidade dos dados. O IET foi calculado para o Bolonha, o que permitiu classificar o reservatório Bolonha como um ambiente eutrófico, tanto no período chuvoso quanto no menos chuvoso.

Palavra chaves: Bolonha, Fósforo, Índice de estado trófico.

ABSTRACT

This study focused on the monitoring of water in the Bolonha reservoir, with a focus on obtaining the Trophic State Index (IET) during the rainy and less rainy period of the year 2016. The site is located on the grounds of the Utinga State Park (PEUT), which is located at Avenida João Paulo II, s / n - Curió Utinga, in the municipality of Belém-PA. The reservoir has an elongated shape, approximately 577,127 m² of the area and 1,954,000 cubic meters of water volume; its maximum depth is around 7.64 m. The objective of this research was to evaluate the IET of the Bolonha reservoir from the quantification of the total phosphorus and transparency variables and the application of descriptive, analytical and multivariate statistics, and it was possible to observe the distinct variations in the analysis periods. The methodology of the work consisted in the accomplishment of composite and straightforward field collections, to a point, located at the entrance of the ETA Bolonha capture, before the grating. When a seasonal comparison between less rainy and rainier periods was carried out, using the Mann Whitney hypothesis tests, it was possible to observe that pH, alkalinity, accurate color, total phosphorus and dissolved oxygen did not show a significant difference between the analyzed periods. The other variables as visible color, total suspended solids, turbidity, and IET, presented substantial differences between rainier and less rainy periods. The presence of phosphorus is evident in both periods. The Mann Whitney test revealed that there was a significant difference of the phosphorus fractions between wetter and less rainy periods, through the p values. The test showed that the phosphorus fractions analyzed presented significant differences ($p < 0.05$) lower than the significance level of 5%. Through the analysis of the main component for phosphorus fractionation, it was possible to observe the formation of two distinct elements for each period (rainy and less rainy), which together explained 93% and 92.6% of the variability of the data. The IET was calculated for Bolonha, which allowed to classify the Bolonha reservoir as a eutrophic environment, both in the rainy season and in the less wet period.

Keyword: Bolonha, phosphor, Trophic State Index

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do fracionamento do fósforo.....	30
Figura 2: Espelho d'água do Bolonha (2017).....	40
Figura 3:Resumo das etapas e atividades desenvolvidas na pesquisa.	42
Figura 4:Mapa de Localização geográfica do reservatório Bolonha-Belém-PA.....	43
Figura 5: Ponto de coleta de amostra no reservatório Bolonha-Bélem-PA.....	44
Figura 6:Hidrograma dos níveis de precipitação de Belém-PA.	50
Figura 7:Metodologia tratamento estatístico dos dados	51
Figura 8: Especiação do fósforo no reservatório Bolonha A) período chuvoso e B) menos chuvoso.....	61
Figura 9:Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no Reservatório Bolonha A)período chuvoso e B)menos chuvoso.	61
Figura 10:Especiação do fósforo no reservatório Bolonha campanhas período chuvoso	71
Figura 11: Especiação do fósforo no Reservatório Bolonha período menos chuvoso.	71
Figura 12: Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no reservatório Bolonha período chuvoso.....	73
Figura 13:Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no reservatório Bolonha período menos chuvoso.	73
Figura 14:Gráficos de controles para as frações de fósforo período chuvoso-2016.	78
Figura 15:Gráficos de controles para as frações de fósforo período menos chuvoso-2016.	80
Figura 16:Histogramas médio do IET para o a)período chuvoso e b)menos chuvoso.....	86
Figura 17: Gráficos de serie temporal para IET do período chuvoso e menos chuvoso.	88
Figura 18:Gráficos de controle para IET para período chuvoso	90
Figura 19:Gráficos de controle para IET para período chuvoso menos chuvoso.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1::Especiação do estado trófico de corpos hídricos.....	16
Quadro 2:Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, segundo o sistema de classificação proposto por Carlson (1977).	18
Quadro 3:Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, segundo o sistema de classificação proposto por Carlson (1977) e modificado por Toledo Jr et al.(1983).....	19
Quadro 4:Valores das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, Lamparelli (2004).	20
Quadro 5:Valores das concentrações de PT e clorofila ‘a’ dos diferentes níveis tróficos, Cunha et al. (2013).	20
Quadro 6:Classificação das águas doces, segundo CONAMA 357 (BRASIL, 2005), quanto ao uso da água	22
Quadro 7:Estudos realizados dos Mananciais do Utinga - Pará.....	37
Quadro 8: Número de análises por variável.	46
Quadro 9: Método de análise das variáveis	47
Quadro 10: Equivalência do IET para as medidas das variáveis de PT, e transparência em reservatórios segundo Carlson (1977) e Toledo Jr. et al. (1983).....	49
Quadro 11:Avaliação do teste de Mann Whitney da qualidade da água para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.....	55
Quadro 12:Avaliação do teste de Mann Whitney para as frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.....	60
Quadro 13: Avaliação temporal do teste de Mann Whitney para qualidade da água superficial do reservatório Bolonha, para o período chuvoso e menos chuvoso de 2017.....	65
Quadro 14:Avaliação do teste de Mann Whitney para as frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Levantamento da qualidade da água para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.....	54
Tabela 2: Levantamento preliminar do Fracionamento do Fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.....	59
Tabela 3:Comportamento temporal da qualidade da água para o período chuvoso de 2017. .	63
Tabela 4:Comportamento temporal diário da qualidade da água para o período menos chuvoso de 2017.	64
Tabela 5:Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Chuvoso (2016)...	68
Tabela 6:Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Menos Chuvoso (2016)	69
Tabela 7:Matriz de correlação de Pearson para frações de fósforo período chuvoso e período menos chuvoso.	74
Tabela 8:Fatores do componente principais e cargas fatoriais rotacionadas pelo algoritmo varimax para os períodos chuvoso e menos chuvoso.	75
Tabela 9:Estatística descritiva para os dados IET para período chuvoso.....	84
Tabela 10:Estatística descritiva para os dados IET para período menos chuvoso.	85

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
ETA	Estações de Tratamento de Água
IET	Índice de Estado Trófico
IET (PT)	Índice do Estado Trófico de Fósforo Total
IET (DS)	Índice do Estado Trófico de Disco Secchi
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PEUT	Parque Ambiental do Utinga
RMB	Região Metropolitana de Belém

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	12
2.OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 Tipologias de Ambientes Lênticos.....	15
3.2 Eutrofização e Índices de Estado Trófico – IET	15
3.3 Monitoramentos de Reservatório de Sistemas de Abastecimento de Água.....	21
3.4 Estudos sobre Estado Trófico.....	24
3.6 Métodos de determinação do Fósforo.....	33
3.7 Estudos realizados no reservatório Bolonha	35
4.MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1 Local de Estudo.....	42
4.2 Etapas da Pesquisa	42
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1.Caracterização da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha	53
5.1.2 Fracionamento preliminar do fósforo.....	59
5.2 Avaliação temporal da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha.....	62
5.3 Fracionamento do fósforo	67
5.3.1 Comportamento temporal das frações de fósforo.....	77
5.4.Avaliação do IET do reservatório Bolonha	83
6.CONCLUSÃO.....	93
7.RECOMENDAÇÕES.....	95
8.REFERÊNCIAS.....	96

1.INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade da água é de fundamental importância para a preservação dos corpos hídricos, garantindo a manutenção do equilíbrio do ecossistema (CARVALHO, 2003). Pode ser definido como uma série temporal de medições das variáveis físicas, químicas e biológicas, escolhidas para responder sobre as questões de mudanças no ecossistema (LOVETT et al., 2007).

Na medida em que se torna mais intenso e diversificado o uso dos lagos, mananciais e suas bacias hidrográficas, maior é a necessidade de se definir formas de manejo sustentável e de gerenciamento desses ecossistemas. Para isso, torna-se necessário um monitoramento sistemático, que resulte em séries temporais de dados que permitam avaliar a evolução da qualidade do corpo aquático e conhecer as tendências de sua variação (NAVAL et al., 2003).

Há diversas formas de se monitorar um manancial e para isso diversos parâmetros podem ser utilizados para avaliar a qualidade da água, um indicador da qualidade da água e eutrofização. De acordo com Esteves (1998) a eutrofização representa o aumento da concentração de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio aos corpos hídricos, que favorecem a floração exacerbada de organismos fotossintéticos, elevando assim a produtividade do meio e acarretando na redução da qualidade da água. Segundo Mota (2006) a eutrofização pode levar a alteração no sabor, no odor, na turbidez, na cor e a redução do oxigênio dissolvido provocando a mortandade dos peixes principalmente em corpos lânticos.

Dentre as formas para se ter conhecimento sobre o grau de trófia existente em um determinado ecossistema, tem-se a determinação do Índice de Estado Trófico (IET), que foi desenvolvido por Carlson em 1977 para ambientes de clima temperado. Para mensuração do grau de trófia em ambientes aquáticos de clima tropical, Toledo Jr, no ano de 1983, adaptou o índice proposto por Carlson voltando para ambientes lânticos, e em 2004 Lamparelli modificou o índice para ser aplicado para ambientes lóticos (FIA et al., 2009). Determinar o IET é de fundamental importância para avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes (SILVEIRA, 2011).

Os problemas relativos à qualidade da água envolvem um espectro bastante amplo na determinação das atividades humanas que vêm ocasionando uma série de impactos à qualidade deste elemento, com destaque para a eutrofização das águas devido ao aporte excessivo de nutrientes provenientes principalmente de atividades agropecuárias (MONTEAGUDO et al., 2012; PEDRAZZI et al., 2013; SMITH et al., 2013); do despejo de efluentes (THEVENON et al., 2011; LAWAL et al., 2013); das alterações no regime hídrico (COSTIGAN E DANIELS, 2012); da poluição por metais pesados (THEVENON et al., 2011; MEDEIROS et al., 2013); e de agrotóxicos (MOREIRA et al., 2012). Todas essas ações

antropogênicas geram impactos que se agravam, em decorrência do efeito acumulativo gerado pelo crescimento populacional desordenado e pela falta de planejamento nas cidades, tornando-se constante ameaça aos mananciais de abastecimento (BEGHELHI et al., 2015).

Na Região Metropolitana de Belém-PA Brasil, os reservatórios Água Preta e Bolonha são os principais mananciais de abastecimento de águas superficiais. Encontram-se dentro da Área de Proteção Ambiental do Parque Estadual do Utinga. Ao longo dos anos o crescimento desordenado ao redor do parque vem influenciando diretamente na qualidade da água dos reservatórios. A verificável falta de infraestrutura, de serviços de coleta, de transporte e de tratamento de esgotos ocasionaram o lançamento inadequado de resíduos nos reservatório. Com o descarte, verificou-se a deterioração da qualidade da água de ambos os reservatórios, devido ao excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo, resultando no processo de eutrofização dos reservatórios (SILVA, 2010).

Nesse sentido, esta pesquisa propõe o monitoramento do reservatório Bolonha, com foco na obtenção do IET ao longo do período chuvoso e menos chuvoso do ano 2016, para assim identificar em qual período a eutrofização é mais elevada e quais são os fatores que contribuem para o seu aumento.

2.OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o grau de trofia do reservatório Bolonha a partir da quantificação das variáveis fósforo total e transparência.

2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar a qualidade da água superficial do reservatório Bolonha pelas variáveis alcalinidade total, condutividade, cor aparente e verdadeira, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, sólidos suspensos, fósforo total e turbidez.
- ✓ Realizar fracionamento da variável fósforo total para obtenção das frações orgânica e inorgânica presentes na água superficial do reservatório Bolonha no período chuvoso e menos chuvoso.
- ✓ Realizar o enquadramento do IET referente aos períodos chuvoso e menos chuvoso.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico são apresentados conceitos teóricos sobre o monitoramento da qualidade da água em reservatórios. Inicia-se com a eutrofização e a classificação estabelecidas para os níveis tróficos em seguida, discutida a importância dos reservatórios e de seus múltiplos usos além do fracionamento do fósforo em corpos hídricos. Por fim, o grau de trofia do reservatório Bolonha será abordada.

3.1 Tipologias de Ambientes Lênticos.

Os ecossistemas lênticos são caracterizados por águas paradas ou de baixo fluxo, tais como lagoas, lagos e reservatórios, possuem grande capacidade de solubilizar compostos orgânicos na massa de água e são constituídos, por definição, por baixas concentrações salinas (LÉVÊQUE, 2001).

A primeira diferença entre lagos e lagoas está no tamanho. Ambos são definidos como uma extensão de água cercada por terra, mas os lagos são maiores. As lagoas são consideradas como corpos de água rasos constituídas de água doce, salobra ou salgada. No litoral brasileiro são encontrados corpos d'água dos mais variados tamanhos, com pequenas e grandes lagoas (TUNDISI E MATSUMURA, 2008). Por sua vez, os lagos podem ser considerados como corpos de água doce ou salina, continentais ou costeiros, totais ou parcialmente circundados pelo sistema terrestre possuidores de origens e de tempo de vida variáveis (ESTEVES, 2011).

No Brasil, os lagos artificiais são chamados de represas, de açudes ou de reservatórios são ecossistemas formados, em grande parte, a partir do represamento de um ou de mais rios inundando, muitas das vezes, extensas áreas dos ecossistemas terrestres adjacentes. No Brasil, são formados principalmente pelo represamento de rios, para atender os seguintes objetivos: abastecimento de água, regularização de cursos, obtenção de energia elétrica, irrigação, navegação, recreação, entre outros (ESTEVES, 2011).

Os reservatórios são ecossistemas artificiais que trazem benefícios e prejuízos ao ecossistema e à sociedade. Segundo Straskraba e Tundisi (2013, p.1) “reservatórios merecem essa designação porque são lagos artificialmente criados pelo homem, para atender finalidades específicas”. Se não forem bem gerenciados, podem gerar diversos problemas, entre elas a eutrofização, que está entre os maiores impactos causados pelo homem nos reservatórios brasileiros (MATSUMURA; TUNDISI, 2008; FIGUEIRÊDO et al., 2011).

O conceito de estado trófico é multidimensional, envolvendo aspectos de carga e transporte de nutrientes, concentração de nutrientes, produtividade e quantidade e qualidade

da biota. Segundo Fia et al. (2009), um índice de estado trófico funciona como um registro de atividades humanas nas várias bacias hidrográficas, além de auxiliar na formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visam a sustentabilidade dos recursos hídricos.

3.2 Eutrofização e Índices de Estado Trófico – IET

Os ecossistemas aquáticos passam por modificações decorrentes das ações humanas que modificam o seu meio. De acordo com Silveira (2004), o despejo de efluentes inadequados em lagos e rios influencia nas concentrações de matéria orgânica e de nutrientes, fazendo-se presentes nitrogênio e fósforo, o que leva a um aumento da população de microrganismos, levando ao processo de eutrofização.

Segundo Cavenaghi (2003) a eutrofização é o resultado do enriquecimento por nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, pode se apresentar em um corpo hídrico de forma natural ou artificial. Quando natural este processo é lento, contínuo e tem como consequência o aporte de nutrientes trazidos pela chuva e pelas águas superficiais. Já a eutrofização artificial está relacionada com o aumento da população humana, e da industrialização. Quando é induzida pelo homem, a eutrofização recebe os seguintes nomes: artificial, cultural ou antrópica (ESTEVES, 2011).

Os sistemas hídricos são classificados, de forma genérica, quanto ao grau de eutrofização, em: ultraoligotrófico, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos, supereutrótico e hipereutróticos, em função da concentração de nutrientes. As categorias de estado trófico de um corpo hídrico e suas especificações podem ser melhores compreendidas no Quadro 1, no qual são propostas as classificações de estado trófico (LAMPARELLI, 2004;ESTEVES, 2011).

Quadro 1: Especificação do estado trófico de corpos hídricos

Estado trófico	Especiação
Ultraoligotrófico	São corpos de água limpos de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutriente que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	São corpos hídricos limpos, que apresentam baixas concentrações de nutrientes e não apresentam comprometimento do uso da água.
Mesotrófico	São corpos hídricos que apresentam produtividade intermediária de concentração de nutrientes. Apresentam algumas implicações sobre a qualidade da água; porém na maioria dos casos em níveis aceitáveis.
Eutrótico	São corpos hídricos que apresentam alta concentração de nutrientes em relação a condições naturais. Afetam diretamente a qualidade da água, provocando uma série de consequências negativas para o ecossistema.
Supereutrótico	Corpos d'água com alta produtividade em relação as condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água.
Hipereutrótico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e de nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a

A eutrofização em lagos e em reservatórios acontece devido às condições favoráveis de desenvolvimento (FRANZEN, 2009). Normalmente se desenvolve quando a água é submetida a um longo tempo de ocorrência em relações químicas e biológicas que, combinadas com a disponibilidade de nutrientes provenientes do lançamento de efluentes, aceleram o andamento do processo em seu interior. Desta maneira, desenvolve-se um desequilíbrio trófico, no qual a trofia é considerada uma reserva de nutrientes para os produtores primários, na base da cadeia alimentar (BAUMGARTEN; PAIXÃO, 2013).

A mensuração do processo de eutrofização é realizada através do IET, que avalia o grau de trofia do ambiente a partir da análise de três variáveis: fósforo, transparência e clorofila “a”, que tem por finalidade classificar os corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de alga (LAMPARELLI, 2004). A avaliação do estado trófico é muito importante para o manejo sustentável dos recursos hídricos, e o IET foi desenvolvido com o intuito de possibilitar a classificação das águas de corpos hídricos, facilitando assim, informações relativas ao estado ou à natureza na qual se encontram tais sistemas (SILVEIRA et al., 2011).

Nesse sentido, existem vários métodos e índices para se avaliar o estado trófico de corpo d’água, ora desenvolvidos em ambientes de clima temperado ora desenvolvidos em ambientes de clima tropical. A seguir são apresentados alguns desses índices.

Carlson (1977) desenvolveu um IET através do estabelecimento de limites de variáveis de simples determinação, que pode ser amplamente aplicado, com base nas variáveis; clorofila “a” (Cla), fósforo total (PT) e de transparência (Tra), pela sua simplicidade e objetividade, esse índice é um dos mais utilizados para a classificação de lagos. O índice numérico de Carlson pode ser expresso pelas equações 1, 2 e 3 (SILVA, 2012).

$$\text{IET (Tra)} = 10 (6 - \ln \text{Tra} / \ln^2) \quad \text{Equação (01)}$$

$$\text{IET (Cla)} = 10 (6 - 2,04 - 0,68 \ln \text{Cla} / \ln^2) \quad \text{Equação (02)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 (6 - \ln 48/\text{PT} / \ln^2) \quad \text{Equação (03)}$$

Onde:

IET (Tra): índice de estado trófico para transparência

IET (Cla): índice de estado trófico para clorofila “a”

IET (PT): índice de estado trófico para fósforo

A classificação dos níveis tróficos conforme o índice de Carlson (1977) são descritas no Quadro 2.

Quadro 2: Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, segundo o sistema de classificação proposto por Carlson (1977).

Estado trófico	IET Total	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila "a" ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Transparência (m)
Oligotrófico	≤ 40	≤ 12	$< 2,6$	$> 4,0$
Mesotrófico	$40 < \text{IET} \leq 55$	$\leq 12 < \text{FT} \leq 18$	$\leq 2,6 < \text{CL} \leq 12,75$	$\leq 4,0 < \text{S} \leq 1,5$
Eutrófico	$\text{IET} > 55$	> 18	$> 12,75$	$< 1,5$

Os modelos utilizados eram baseados em dados obtidos em lagos de clima temperado. As diferenças existentes entre estas regiões e países como o Brasil, de clima predominantemente tropical, podem alterar significativamente as respostas dos organismos aquáticos aos fatores que influem em suas atividades vitais (BARROS, 2013).

Toledo Jr. et al. (1983) propuseram uma metodologia permitindo uma avaliação bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo hídrico, abrangendo também três parâmetros (clorofila "a", fósforo total e transparência). Essas adaptações surgiram no intuito de trazer sua aplicação o mais próximo possível das características das águas da região tropical (BARROS, 2013).

Para a obtenção do valor do IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. et al. (1983) para cada variável, são utilizadas as equações 4, 5, 6, 7, 8 e 9:

$$\text{IET (Tra)} = 10x (6 - \ln \text{Tra}/\ln^2) \quad \text{Equação (04)}$$

$$\text{IETm (Tra)} = 10x[6 - (0,64 + \ln \text{Tra})/\ln^2] \quad \text{Equação (05)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 x[6 - \ln (65/\text{PT})/ \ln^2] \quad \text{Equação (06)}$$

$$\text{IETm (PT)} = 10x[6 - \ln (80,32/\text{PT})/\ln^2] \quad \text{Equação (07)}$$

$$\text{IET (Cla)} = 10x \{ 6 - [2,04 - 0,68x(\ln \text{Cla})/ \ln^2] \} \quad \text{Equação (08)}$$

$$\text{IET (Cla)} = 10x \{ 6 - [2,04 - 0,695x(\ln \text{Cla})/ \ln^2] \} \quad \text{Equação (09)}$$

Onde:

IET (Tra): índice de estado trófico para transparência.

IET (PT): índice de estado trófico para fósforo.

IET (Cla): índice de estado trófico para clorofila "a".

A classificação dos níveis tróficos conforme o índice de Carlson (1977) modificação de Toledo Jr. et al. (1983) foram adotadas as categorias apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, segundo o sistema de classificação proposto por Carlson (1977) e modificado por Toledo Jr et al.(1983)

Estado trófico	IET Total	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila "a" ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Transparência (m)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 24$	$\leq 6,0$	$\leq 0,51$	$\geq 7,8$
Oligotrófico	$24 < \text{IET} \leq 44$	7,0 a 26,0	0,52 – 3,81	7,7 – 2,0
Mesotrófico	$44 < \text{IET} \leq 54$	27,0 a 52,0	3,82 – 10,34	1,9 – 1,0
Eutrófico	$54 < \text{IET} \leq 74$	53,0 a 211,0	10,35 – 76,06	0,9 – 0,3
Hipereutrófico	$\text{IET} > 74$	$> 211,0$	$> 76,06$	$< 0,3$

Pesquisas acerca do estado trófico são mais frequentes em ambientes lênticos, podendo ser citados estudos desenvolvidos por BEZERRA E COELHO (2002), LIOU E LO (2005), MARIANI (2006), YOUNG et al. (1998) e LAMPARELLI (2004) que forneceram importante contribuição para meio ambiente, sendo que esta última propôs índices diferenciados para aplicação específica em ambientes lênticos e lóticos do Estado de São Paulo. Ressaltando que estudos sobre eutrofização em rios no norte e nordeste do Brasil ainda são uma carência (BARRETO et al., 2013).

O índice proposto por Lamparelli (2004) alterou o IET introduzido por Carlson (1977) e modificado por Toledo Jr. et al. (1983) para adequar sua utilização em ambientes lóticos. Essas alterações são em virtude da dinâmica de rios ser diferente de reservatório, propondo uma nova classificação trófica observada pelas Equações 10 e 11 (OLIVEIRA, 2012).

$$\text{IET (PT)} = 10.[6 - 0,42 - 0,36 * (\ln \text{PT}) / \ln^2] - 20 \quad \text{Equação (10)}$$

$$\text{IET (Cla)} = 10.[6 - (0,7 - 0,6 * (\ln \text{Cla}) / \ln^2)] - 20 \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

IET (PT): Índice de estado trófico em relação à variável fósforo total para ambientes lóticos

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

IET (Cla): concentração de clorofila "a" ($\mu\text{g L}^{-1}$)

Para classificar os níveis tróficos conforme a modificação de Lamparelli (2004) foram adotadas as categorias apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Valores das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos, Lamparelli (2004).

Estado trófico	IET Total	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila "a" ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Transparência (m)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	≤ 13	$\leq 0,74$	$\geq 2,4$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$13 < \text{PT} \leq 35$	$0,74 < \text{Cla} \leq 1,31$	$2,4 > \text{S} \geq 1,7$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$35 < \text{PT} \leq 137$	$1,31 < \text{Cla} \leq 2,96$	$1,7 > \text{S} \geq 1,1$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$137 < \text{PT} \leq 296$	$2,96 < \text{Cla} \leq 4,70$	$1,1 > \text{S} \geq 0,8$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$296 < \text{PT} \leq 640$	$4,70 < \text{Cla} \leq 7,46$	$0,8 > \text{S} \geq 0,6$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$640 < \text{PT}$	$> 7,46$	$< 0,6$

No intuito de promover uma nova metodologia para a determinação do estado trófico voltada para reservatórios tropicais e subtropicais, Cunha et al. (2013) propuseram um novo índice como também a concentrações para níveis tróficos aplicados para os reservatórios do estado de São Paulo.

A metodologia de Cunha et al. (2013) buscou enquadrar cada nível trófico de acordo com os reservatórios estudados, o IET para reservatórios tropicais e subtropicais foram obtidos por correlação, sendo essas equações substituídas originalmente no modelo proposto por Carlson (1977) obtendo-se assim as equações 11 e 12.

$$\text{IET (PT)} = 3,987 \cdot \text{Ln}(\text{PT}) + 40,815 \quad \text{Equação (11)}$$

$$\text{IET (Cla)} = 3,624 \cdot \text{Ln}(\text{Cla}) + 47,85 \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

IET (P): fósforo total

IET (Cla): concentração de clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)

Na classificação dos níveis tróficos elaborada por Cunha et al., (2013) foram adotadas as categorias apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Valores das concentrações de PT e clorofila 'a' dos diferentes níveis tróficos, Cunha et al. (2013).

Estado trófico	IET Total	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila "a" ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 51$	$\leq 15,9$	$\leq 2,0$
Oligotrófico	$51,2 < \text{IET} \leq 53,1$	$16 < \text{PT} \leq 23,8$	$21,0 < \text{Cla} \leq 39,0$
Mesotrófico	$53,2 < \text{IET} \leq 55,7$	$23,9 < \text{PT} \leq 36,7$	$4,0 < \text{Cla} \leq 10,0$
Eutrófico	$55,8 < \text{IET} \leq 58,1$	$36,8 < \text{PT} \leq 63,7$	$10,1 < \text{Cla} \leq 20,2$
Supereutrófico	$58,2 < \text{IET} \leq 59,0$	$63,8 < \text{PT} \leq 77,6$	$20,3 < \text{Cla} \leq 27,1$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 59,0$	$\geq 77,7$	$\geq 27,2$

Os índices propostos apresentam um aumento de amplitude na classificação trófica, tanto para classe de maior trófia, como para de menor trófia. Toledo et al. (1983) fez ajustes no IET de Carlson (1977), criando duas classes; ultraoligotrófico e hipereutrófico, e redefinindo os limites das concentrações das três classes já existentes (oligotrófico,

mesotrófico, eutrófico). Lamparelli (2004) utilizou o modelo de Carlson (1977) modificado por Toledo et al. (1983) e refinou, para que se adequasse melhor aos ambientes tropicais, e inseriu mais uma classe ao nível de trófia; supereutrófico. Já Cunha et al. (2013) propôs adaptações quanto aos valores limites das concentrações e apurou, para que se adequasse melhor aos ambientes tropicais e subtropicais. O IET sofreu, ao longo do tempo, consideráveis adaptações, mas, sendo calculado sempre em função dos valores de fósforo total, clorofila “a” e transparência da água.

A Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) estabelece classes de qualidade de água para corpos de água de acordo com seus usos pretendidos, mas não associa essa condição a níveis de trófia (BARRETO et al., 2013). A eutrofização tem como consequência o desequilíbrio e a multiplicação do material vegetal que ao se decompor provoca danos à vida aquática, apresenta-se como um dos maiores problemas da atualidade quando se trata de corpos de água superficial, considerada como um dos exemplos mais visíveis das alterações ocasionada pelo homem ao ecossistema (BAZANELLA, 2015).

Segundo Farage et al. (2010) a determinação do estado trófico é fundamental para obtenção de informações sobre um curso de água, pois o seu conhecimento permite descrever as relações bióticas e abióticas do ecossistema. A avaliação do estado trófico da qualidade da água é muito importante para o manejo sustentável dos recursos hídricos (FERREIRA et al., 2014).

Carlson propôs o IET para ambientes temperados e em decorrência disso se fez necessário adaptar para ambientes tropicais, então Toledo Jr. et al. (1983), Lamparelli (2004) e mais recentemente Cunha et al. (2013) realizaram adaptações ao índice criando uma nova classificação para adequar ao clima tropical e a hidrografia brasileira. Neste contexto o IET permite uma avaliação consistente do estado de degradação de um corpo aquático. Tomando como base a classificação do grau de trófia de reservatórios artificiais, o IET desenvolvido por Carlson (1977) é um dos mais utilizados, e para ambientes lênticos o método de Toledo Jr. Ambos foram escolhidos, uma vez que esses índices são amplamente utilizado e abrange os três parâmetros: a transparência da água, clorofila “a” e a concentração do fósforo total. Trata-se de uma forma simples de analisar o IET e se adéqua as condições do reservatório Bolonha, Belém-PA, pois oferecem várias vantagens em função da utilização de parâmetros de fácil determinação e baixo custo, além de facilitar no repasse das informações qualitativas ao público mais leigo.

3.3 Monitoramentos de Reservatório de Sistemas de Abastecimento de Água.

Importante aspecto na avaliação da qualidade da água em um corpo hídrico é acompanhar, por meio da implementação de programas sistemáticos de monitoramento da qualidade da água, sua tendência de evolução no tempo e no espaço. Tais programas se aplicam em rios, em lagos e em reservatórios (FARIAS, 2006). De acordo com a Organização Mundial para Padronização (ISO), o monitoramento da água é definido como um processo programado de amostragem, de medição e de sinalização de várias características da água (MELO, 2007).

Para os autores Lopes et al.(2007) e Covatti e Queiroz (2007), a ocupação urbana desordenada, a ausência de políticas adequadas ao planejamento ambiental e urbano, a carência de recursos e serviços levam à degradação do ambiente. A partir desse contexto, é importante mencionar que se faz necessário alguma planificação que possa prever formas de minimizar as grandes modificações no controle da qualidade das águas de rios e de reservatórios, sendo que a escolha dos indicadores depende: dos objetivos do monitoramento, do que se quer monitorar e das informações a serem obtidas. Para isso, utilizam-se os padrões de qualidade que definem os limites de concentração a que cada substância presente na água deve atender. Esses padrões dependem da classificação das águas, que é estabelecida segundo seus usos preponderantes, conforme a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), variando da Classe Especial até a Classe 4, para águas doces conforme o Quadro 6.

Quadro 6:Classificação das águas doces, segundo CONAMA 357 (BRASIL, 2005), quanto ao uso da água

CLASSE	USO
Especial	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, com desinfecção • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquática • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e de proteção ambiental
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento doméstico após tratamento simplificado • Proteção das comunidades aquáticas • Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional • Proteção das comunidades aquáticas • Aquicultura e atividade de pesca
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras • Recreação de contato secundário • Dessedentação de animais
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação • Harmonia paisagística.

Fonte: Adaptação de CONAMA, 2005.

Em função dos principais usos da água, têm-se a classe especial, na qual se pressupõem seus usos mais nobres, e a classe 4, em que se verificam suas aplicações menos

nobres. A cada uma dessas classes corresponde determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água. Os padrões de qualidade da água, determinados pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), instituem limites individuais para cada substância, dentro de cada classe.

As medições das variáveis físico-químicas e biológicas são determinantes para responder a questões sobre mudanças no ecossistema, ou ainda à análise de eventos de eutrofização. Por meio do monitoramento, faz-se possível subsidiar medidas de controle, de recuperação, de preservação e de conservação do meio ambiente aquático. A importância do monitoramento é crucial para avaliação da vida útil dos ecossistemas aquáticos, em especial daqueles que são usados para o fornecimento de água potável para centros urbanos (ESTEVEZ, 2011).

Alguns estudos abordam o monitoramento da qualidade de água em reservatórios, com a obtenção do IET, como também do índice de qualidade da água (IQA).

Na pesquisa de Melo (2007) houve a análise da qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado entre os estados de Pernambuco e da Bahia. Na pesquisa foram determinados os parâmetros físico-químicos e biológicos e o reservatório mostrou-se eutrofizado com concentrações de fósforo total, clorofila "a", oxigênio dissolvido e coliformes totais fora dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e na Portaria 518 (BRASIL, 2004)¹.

Angelini et al. (2008) realizaram o monitoramento temporal do lago Paranoá em Brasília, os autores usaram dados do monitoramento de longa duração da Companhia de água e esgoto de Brasília (CAESB), verificando os efeitos da instalação de duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e de um evento de flushing (abertura abrupta das comportas). Foram avaliadas para as variáveis clorofila "a", fósforo total e transparência medidas entre 1976 e 2001. Foi constatado que houve um controle do fósforo total e clorofila "a" levando assim a diminuição da abundância restante de fitoplâncton na água.

Baumgartner et al. (2008) verificaram a qualidade da água dos reservatórios de Salto Santiago e Salto Osório construído a partir do barramento do rio Iguaçu, entre os municípios de Rio Bonito e Saudade do Iguaçu Paraná. Os autores constataram que o IQA em Santiago foi maior que Osório.

Pacheco (2009) analisou a relação entre parâmetros físicos, químicos e biológicos e a ocorrência de cianobactérias no reservatório de abastecimento Acarape do Meio, na região metropolitana de Fortaleza-CE. O monitoramento da qualidade da água ocorreu com frequência mensal no período Janeiro a Dezembro de 2008. Os resultados para os parâmetros

¹ Portaria de potabilidade vigente a época do estudo. Atualmente vigora a Portaria de Consolidação 5 (BRASIL,2017).

velocidade do vento, profundidade, transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, oxigênio dissolvido, DBO₅, nitrogênio amoniacal total, nitrato, nitrito, nitrogênio total, fósforo total, ortofosfato solúvel, clorofila “a”, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e a identificação e contagem de cianobactérias indicaram forte variação espaço temporal devido principalmente as influências climáticas, morfológicas e antropogênicas. O reservatório encontra-se em avançado estado de eutrofização, devido principalmente ao aporte de macronutrientes (nitrogênio e fósforo), que contribuem para a elevada densidade de cianobactérias.

Buzelli et al. (2013) analisaram a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita localizado entre os municípios de Barra Bonita e Igaracú, na região central de São Paulo, em duas épocas do ano (estiagem e cheia), utilizando os IQA e o IET. Com o monitoramento do reservatório verificou-se que o mesmo apresentou uma boa qualidade de água e está classificado como hipereutrófico.

Calado (2015) determinou a o monitoramento da qualidade da água do reservatório Alagados que encontra-se na cidade de Ponta Grossa/PR, através da análise de cianobactérias. Os resultados mostraram que o reservatório apresenta uma persistente contaminação de cianotoxinas. Além disso, a mistura de contaminantes que podem estar presentes neste corpo hídrico permite explicar as respostas sazonais nos peixes nos diferentes pontos amostrados.

É importante resaltar que quanto mais se intensificam os usos dos reservatórios, mais importante se torna à realização sistemática do monitoramento, seja periódico ou temporal, que permita avaliar e caracterizar a qualidade da água, possibilitado conhecimento de sua dinâmica e para fins de manejo.

3.4 Estudos sobre Estado Trófico.

Neste tópico são apresentados estudos que determinam a importância da aplicação de pesquisas acerca do estado trófico que envolve aspectos de carga e transporte de nutrientes.

Garcia et al. (2007) analisaram o IET do reservatório Ilha da Solteira, localizado entre os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás. A pesquisa fez uso dos dois índices de Toledo Jr et al. (1983) e Lamparelli (2004) para obter o grau de trofia. Os resultados obtidos, demonstraram que o reservatório apresentou grau de trofia entre oligotrófico e mesotrófico para a metodologia de Toledo Jr et al., (1983) e ultraoligotrófico e eutrófico para Lamparelli (2004).

Cunha e Calijuri (2007) realizaram uma pesquisa detalhada sobre o estado trófico do rio Pariquera-Açú, localizado em São Paulo, em nove pontos de coleta e utilizaram a

metodologia proposta por Carlson (1977) modificada por Toledo Jr et al. (1983) para classificação do estado trófico e chegaram a conclusão que o rio foi classificado como mesotrófico no primeiro e segundo ponto de coleta e eutrófico nos demais pontos de coletas. Essa mudança de categoria trófica, segundo os autores, provavelmente foi devido ao lançamento de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto, após o segundo ponto de coleta, incrementando a concentração de fósforo total e conseqüentemente aumentando a categoria trófica deste rio.

Barros (2008) avaliou o rio Turvo Sujo em Viçosa – MG entre maio de 2007 e fevereiro de 2008, apresentando classificação trófica deste rio observando a média anual do fósforo total pela metodologia modificada por Toledo Jr. et al. (1983) como hipereutrófico. Já pela metodologia de Lamparelli (2004), utilizada para ambientes lóticos como os rios, a autora chegou à classificação trófica do rio Turvo Sujo como eutrófico.

Fia et al. (2009) analisaram as características tróficas da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim que compreende um espaço geográfico binacional, com parte desse espaço em território brasileiro que compreende o estado do Rio Grande do Sul e parte em território uruguaio. Os autores aplicaram o IET proposto por Toledo Jr et al. (1983) e Lamparelli (2004) na análise da qualidade da água tanto para ambientes lênticos quanto para ambientes lóticos. Verificaram que o método de Toledo Jr et al. (1983) teve variações do IET em eutrófico a hipereutrófico, já a metodologia de Lamparelli (2004) demonstraram alterações entre mesotrófico a hipereutrófico.

Silva et al. (2010) classificaram o IET do rio São Francisco Falso no Paraná, na maioria de suas amostras, como oligotrófico pela metodologia proposta por Lamparelli (2004), o que indica baixo risco de eutrofização. Os autores afirmaram que as águas deste rio não apresentam riscos de produção de biomassa.

Baptista et al. (2010) constataram que o corpo hídrico do lago Paranoá, localizado em Brasília/DF, é bastante crítica, em menos de 40 anos apresenta um grau de trófia em um estágio hipereutrófico. Os autores relataram que esse estágio se deve ao lançamento de efluente sem tratamento, além da presença de cobertura vegetal de cerradão característica da região e uma densa cobertura vegetal e mata ciliar que existia antes do alagamento do lago esse material orgânico encontra-se em processo de oxidação e decomposição liberando nutrientes.

Gomes et al. (2010) analisaram o rio Catolé Grande em Itapetinga-BA e concluíram que este apresentava classificação hipereutrófico segundo o índice de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. et al. (1983). Utilizando a metodologia proposta por Lamparelli (2004), a classificação foi supereutrófico.

Silveira et al. (2011) determinaram o IET do rio Alegria em Medianeira – PR entre os meses de dezembro de 2008 e março de 2009, utilizando a metodologia de Lamparelli (2004) e classificaram este curso de água como mesotrófico, com valor de fósforo total médio anual de $78\mu\text{g L}^{-1}$.

Taniwaki et al. (2011) analisaram o grau de trofia do reservatório de Itupararanga localizado em São Paulo, as análises não indicaram que houve alteração da variação espacial do grau de trofia do reservatório classificado como supereutrófico. Os autores verificaram a qualidade da água através das análises das variáveis pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura da água, transparência da água, fósforo total, fósforo total dissolvido, nitrito, nitrato, concentrações de clorofila “a” através das análises indicaram que não houve alteração ou variação espacial do grau de trofia do reservatório.

Freitas et al. (2011) quantificaram as cargas de fósforo total e sólidos em suspensão do reservatório Cruzeta-RN. A pesquisa descreveu os padrões de variação temporal das concentrações de nutrientes, sólidos em suspensão e clorofila “a” da água. Os resultados do balanço de massa demonstram que o reservatório reteve cerca de 94% da carga de sólidos em suspensão e 50% da carga de fósforo total. As concentrações de fósforo total e clorofila “a”, foram $0,12\text{mg L}^{-1}$ e $12\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente. Os aspectos discutidos demonstram que reservatórios das zonas semi-áridas como o Cruzeta são fortemente susceptíveis ao assoreamento e à eutrofização devido as grandes cargas de sedimentos e nutrientes carreados anualmente da bacia para o reservatório.

Alves et al. (2012) estudaram a qualidade das águas e o estado trófico do rio Arari, na Ilha de Marajó, chegaram à classificação do rio como supereutrófico no período de cheias e como hipereutrófico no período de menor precipitação, sendo o IET calculado por meio da metodologia proposta por Lamparelli (2004). Os autores salientaram que esta classificação foi consequência das grandes quantidades de nutrientes nas águas, principalmente o fósforo total. Porém, os mesmos alegam que o rio Arari está em processo de eutrofização natural, pois os lançamentos de efluentes e as contaminações antrópicas ainda são muito incipientes.

Zanini et al. (2012) estudaram as águas da microbacia do córrego Rico em Jaboticabal-SP, observaram valores de IET próximo à nascente, de 44, o que classifica o rio como ultraoligotrófico segundo metodologia proposta por Lamparelli (2004), denotando boa qualidade de água por esta variável.

Baumgarten e Paixão (2013) relacionaram o uso do cálculo do IET para o estuário Lagoa dos Patos localizada no Rio Grande Sul. Os autores evidenciaram aporte direto de efluentes ricos em matéria orgânica e classificaram o lago com grau de trofia em hipertrófico.

Magaly e Oliveira (2014) analisaram o IQA e IET da represa Dr. João Penido da cidade de Juiz de Fora/MG. Os resultados identificaram o estado do reservatório como mesotrófico e a qualidade da água como nível médio demonstrando que as ações antropicas ao entorno da bacia hidrográfica vem ocasionando impactos negativos no ecossistema aquático.

Mendonça Jr (2014) testou a hipótese de que reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida são sequestradores de CO₂ em função da alta produtividade evidenciada nesses sistemas. Cinco reservatórios da região semiárida do nordeste do Brasil foram monitorados mensalmente durante o período de 2010 à 2013, com um evento de seca prolongada identificado durante o estudo. Os resultados mostraram um crescente nível de eutrofização ao longo do período de seca prolongada com predominância de autotrófia. Os reservatórios eutrofizados avaliados apresentaram uma relação negativa entre CO₂ e clorofila “a” o que sugere que estes corpos hídricos evidenciam um metabolismo autotrófico e se comportam como sequestradores de CO₂.

Nogueira (2015) realizou o enquadramento do corpo d’água e avaliou a qualidade na área do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Foz do Rio Claro no estado de Goiás. A autora avaliou o IET para janeiro de 2013, janeiro de 2014, julho de 2013, e agosto de 2014, respectivamente, como: mesoeutrófico (eutrófico e mesotrófico), mesoeutrófico e ultraoligotrófico, oligotrófico e mesotrófico, sendo as coletas influenciadas pelo período de chuva, que acarreta o maior aporte de nutrientes para as águas do reservatório apresentando um nível de eutrofização elevado.

Alves e Moraes (2016) avaliaram a qualidade da água, incluindo o IET do córrego Barrinha, situado no município de Rio Verde/GO, as variáveis apresentaram-se fora do padrão exigido o encontrou no estado eutrófico.

Silva (2016) caracterizou um trecho do Rio Cubatão Sul, localizado em Santo Amaro da Imperatriz/SC, de acordo com o IET a pesquisa constatou que o manancial, independentemente de sofrer uma grande influencia antrópica, apresenta bons resultados para os nutrientes analisados o manancial apresentou-se como mesotrófico; a presença de nutrientes é baixa, levando as águas do manancial a serem classificadas como boas.

Paiva et al. (2016) avaliaram o reservatório Caxitoré, que está localizado na bacia hidrográfica do rio Curu, estado do Ceará, para obtenção do IET. Classificaram o reservatório como hipereutrófico, demonstrando que as águas do reservatório estão com elevado grau de trofia.

Gomes (2016) avaliou o impacto da seca prolongada na biomassa algal no reservatório do Boqueirão de Parelhas da região semiárida tropical, localizado no município de

Parelhas/RN. A pesquisa demonstrou que o prolongamento da seca degradou a qualidade da água ocasionando o aumento nas concentrações de nutrientes e redução de transparência da água. A redução do volume do reservatório proporcionada pelo balanço hídrico negativo característico do semi árido, foi intensificada pelo evento de seca prolongada, o que foi capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes e provocar o aumento da biomassa algal e, consequente, alteração do estado trófico do reservatório de mesotrófico para eutrófico.

Nota-se que pesquisas realizadas acerca do IET também são desenvolvidas internacionalmente, pois há também uma grande preocupação acerca do grau de trófia dos corpos hídricos, como relatadas a seguir:

Nzula et al. (2002) relataram a entradas de fósforo para o lago Naivasha no Quênia. Os autores avaliaram dois períodos de estudos uma estação seca muito úmida e seca, mostraram que a contribuição de fósforo para o rio levou a uma carga de 1,4 mg na superfície do lago para 1,0 mg no período muito úmido o lago apresentava-se eutrófico.

Sulis et al. (2010) identificaram a qualidade da água para a otimização de um sistema multi-reservatório, localizado na Sardenha Itália. Os autores destacaram que o reservatório encontrava-se eutrofizado pelo fato do sistema se apresentar gravemente afetados pela presença algas no reservatórios durante a primavera e o verão.

Qiang et al. (2012) caracterizaram em nível de estado trófico a maioria dos lagos da China, que se apresentam na faixa mesotróficas ou eutróficas. A eutrofização tornou-se um dos principais problemas ecológicos e ambientais enfrentados pelos corpos hídricos na China.

Huo et al. (2013) avaliaram os padrões de eutrofização para quatros regiões lacustre delimitando as diferenças geográficas e climáticas da China. Os autores indetificaram os padrões de avaliação do estado trófico em supereutrófico, mesotróficos e eutrófico.

Saghi et al. (2013) enquadraram o reservatório de Dez Dam no Irã, de acordo com o grau de trófia, considerando as variações de temperatura da região asiática. Os autores verificaram que nos meses de julho a meados de novembro, quando ocorrem altas na temperatura o reservatório é considerado eutrófico e com a baixa de temperatura, o estado trófico alterado para mesotrófico.

Ganguly et al. (2015) analisaram as mudanças no nível do ecossistema na qualidade da água e nas comunidades bióticas nas lagoas costeiras da Ásia (Chilika, Índia). A pesquisa realizou o monitoramento sazonal da qualidade da água no ano de 2011 e o índice trófico apresentou condições mesotróficas e eutróficas.

Meinikmann et al. (2015) quantificaram as cargas de fósforo de águas subterrâneas para o lago Arendsee, localizado a sudoeste de Munique, na Alemanha. Os resultados mostraram que o volume de descarga de águas subterrâneas lacustres representa mais de 50%

de carga de fósforo externa alimentando a eutrofização do lago, que apresenta característica do estado mesotrófico e eutrófico.

College (2015) avaliou o índice estado trófico do reservatório Aruvikara localizado em Kerala na Índia, que o é um das principais fontes de água para abastecimento da cidade de Trivandrum. A pesquisa determinou que o estado trófico do reservatório é eutrófico.

Abad et al. (2016) avaliaram a qualidade da água associada ao enriquecimento de nutrientes proveniente de drenagem de áreas urbanas do lago Chapala, localizado a oeste da cidade do México. A pesquisa indicou que o índice do lago varia de oligotrófico a mesotrófico.

O IET tem por finalidade avaliar a qualidade das águas em diferentes graus de trofia, baseado no enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Ressalta-se que pesquisas que visem o monitoramento de lagos e reservatórios são de suma importância para definir o real estado da qualidade da água de um corpo hídrico, assim permitindo que medidas preventivas e/ou mitigadoras para a redução desse problema.

3.5 Fracionamento do Fósforo

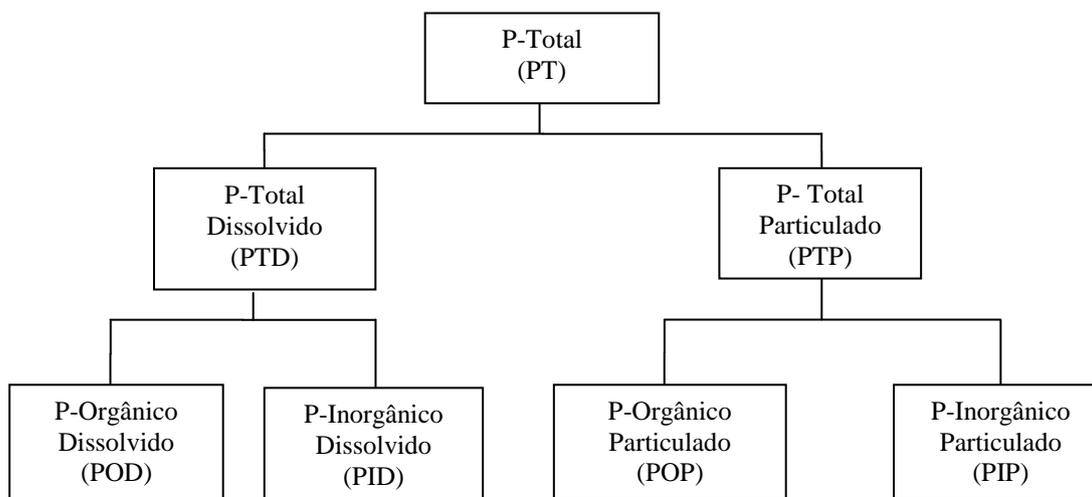
O fósforo é um nutriente essencial para a manutenção da vida e é um constituinte importante nos sistemas biológicos, fazendo parte de diversas moléculas dos organismos vivos. Muitas são as classificações das formas de fósforo encontradas em corpos d'águas naturais, quer na forma iônica, quer na forma complexada, encontram-se sob a forma de fosfato. Assim, deve-se referir-se às diferentes formas de fósforo no ambiente aquático (ESTEVES, 1998).

De acordo com Chapra (2003) *apud* Silva (2010), as formas de fósforo encontradas em corpos d'água são descritas utilizando-se uma classificação mais resumida, que agrupa as várias formas em apenas cinco, que são:

- ✓ **Fósforo total:** representa a soma das formas orgânicas e inorgânicas, particuladas e dissolvidas;
- ✓ **Fósforo orgânico particulado:** presentes nos seres vivos e nos detritos orgânicos;
- ✓ **Fósforo inorgânico particulado:** fosfatos minerais e fosfatos complexados a materiais sólidos;
- ✓ **Fósforo orgânico dissolvido:** presentes em colóides de compostos orgânicos que contenham fósforo. São originados pela decomposição do fósforo orgânico particulado;
- ✓ **Fósforo inorgânico dissolvido:** ortofosfatos ou fósforo reativo dissolvido.

O fracionamento do fósforo em corpos d'água está traçado, de maneira mais simplificada, na Figura 1, que apresenta o fluxograma com as sete formas do fósforo, incluídas a forma orgânica e inorgânica.

Figura 1: Fluxograma do fracionamento do fósforo



Fonte: Lima, 2010.

O fósforo orgânico é a forma de fósforo que está vinculada ao tecido animal ou vegetal (fosfatos ligados organicamente), é formado, principalmente, por processos biológicos. Isso implica dizer que dejetos de animais, esgotos domésticos e restos de alimentos contribuem para o acúmulo no meio aquático. Já o fósforo inorgânico é o tipo mais assimilado por microrganismos, dessa forma não está associada com matéria orgânica e inclui os ortofosfatos, tipo mais estável de fósforo, esta é a forma utilizada pelas plantas e os polifosfatos, também conhecidos como metafosfatos ou fosfatos condensados (MURPHY, 2007).

As variações do fósforo apresentam diferenças entre rios e riachos; são diferentes das que ocorrem em lagos e reservatórios. O fracionamento do fósforo ocorre da seguinte maneira, conforme demonstrado na Figura 1, tem-se o PT que se subdivide em duas as frações: PTD seguida por (POD e PID) e PTP acompanhada por (POP e PIP).

A fração PT presente na água encontra-se em maior parcela. Pode ocorrer combinada com matéria orgânica é um dos fatores responsável pelo processo de eutrofização. Esta importância deve-se a sua participação em processos fundamentais no metabolismo dos seres vivos como armazenamento de energia e formação de membrana celular. É a somatória do PTD e PTP (ESTEVEZ, 2011). Na fração PTD podem estar contidos ortofosfato, polifosfatos, coloides orgânicos ou fósforo combinado com coloides adsorptivos e ésteres de fosfato de baixo peso molecular. A fração PTP está associada à produção biológica de plantas, bactérias

e animais, restos de organismos mortos, a produtos do intemperismo de minerais primários e secundários (PAULA FILHO et al., 2012).

A fração de POD é considerada como um dos principais fatores de limitação do crescimento dos vegetais aquáticos. O aumento da concentração desse nutriente beneficia as populações de vegetais, sua assimilação e feita pelas macrófitas aquáticas, microalgas e bactérias (ROCHA e BRANCO, 1986) *apud* (BARBOSA et al., 2012). O PID corresponde à forma mais assimilável pelos orgânicos aquáticos e mais biodisponível, sendo que e suas concentrações refletem diretamente na produção primária do sistema, em meio aquático apresenta se sob diferentes formas iônicas (H_2PO_4 , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) e suas proporções dependem do pH do meio (PAULA FILHO et al., 2012).

Tanto o POD quanto o PID podem ser adsorvidos a materiais coloidais e levados à sedimentação para o hipolímnio (camada profunda de alguns lagos em que se registra estratificação), ou para o substrato do sistema aquático (ESTEVES, 2011).

Segundo Esteves (2011) o PIP é característico por ser absorvido à agregados inorgânicos como o hidróxido de ferro III $Fe(OH)_3$, já o POP é absorvido a agregados orgânicos presente nos organismos vivos.

O fósforo e seus compostos se apresentam como substâncias essenciais para matéria viva. Conhecer sua concentração presente no meio aquático é de fundamental importância para o controle de eventuais problemas ambientais com destaque para a eutrofização, uma vez que o fósforo é um dos principais nutrientes limitantes, que apontam ser o principal responsável para que ocorra a eutrofização artificial. Para Esteves (2011) a determinação das concentrações de fósforo na água e sedimentos é uma etapa fundamental para o monitoramento e controle da eutrofização acelerada, bem como para o conhecimento dos padrões de ciclagem do fósforo em ambientes aquáticos (ARRUDA,2015). A seguir são abordados estudos a cerca dos estudos sobre fósforo e suas frações:

Kaiserli et al. (2002) realizaram o fracionamento do fósforo no sedimento do lago koronia localizados ao norte da Grécia,os autores classificaram o fósforo ligado ao óxido de metal maior no sistema hipertrófico (30-35%) do que no sistema eutrófico (19-28%).As fração mais reativa no lago koronia que foi influenciada pela sedimentação de fósforo absorvida em partículas finas de argila.

Santos et al. (2006) avaliaram a distribuição das formas de fósforo (fósforo total, fosfato, fósforo orgânico dissolvido) no reservatório Água Preta localizado em Belém/PA. Os resultados indicaram que as formas de fósforo no reservatório Água Preta revelaram variações que pode ser associada principalmente ao período de amostragem, as distribuições de fósforo

total (máximo de $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$) e fósforo orgânico dissolvido (máximo de $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$) demonstram os maiores valores na camada superficial.

Ribeiro et al. (2008) avaliaram a distribuição de fósforo em sedimentos vulcânicos de três lagos sob diferentes pressões antropogênicas na ilha de São Miguel (Açores-Portugal). Observaram que o lago Furnas obteve valor de fósforo (47 mg.L^{-1}), seguido do lago Sete Cidades (24 mg.L^{-1}) e do lago Fogo (11 mg.L^{-1}). Os valores de fósforo para os lagos de Furnas e Sete Cidades são sensivelmente maiores do que os resultados obtidos no lago Fogo, uma indicação da carga difusa não-pontual descarregada nos primeiros.

Lima (2010) utilizou o fósforo e as variáveis hidroquímicas: oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura e fósforo, como indicadores da qualidade da água da Bacia do rio Gurguéia, Sub-bacia da Região Hidrográfica do Parnaíba no município de Bom Jesus-PI. Os resultados obtidos demonstraram haver contrastes marcantes entre a qualidade das águas das duas microbacias, principalmente em relação às concentrações das diferentes frações do fósforo na água e das variáveis hidroquímicas. O autor verificou que a microbacia do riacho Grotão passa por processo de eutrofização em decorrência das ações antrópicas e a microbacia do Palmeirinha apresentou concentrações de fósforo na água inferiores aos limites previstos na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). O fracionamento do fósforo e as análises hidroquímicas demonstraram uma importante ferramenta para o monitoramento e análise dos impactos relacionados a atividades antrópicas.

Wang (2011) avaliou as espécies e biodisponibilidade de fósforo presente em sedimentos superficiais do rio amarelo, localizado na China. Utilizou o método de extração sequencial para analisar o rio, determinando a partir do fósforo inorgânico sedimentar para obter as quatro formas de fósforo: fósforo bio-disponível (BD-P), fósforo ligado a óxido de metal (NaOH-P), fósforo intercambiável ou vagamente sorvido ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$), fósforo ligado ao cálcio (HCl-P). O autor concluiu que o fósforo inorgânico sedimentar apresentou-se nas quatro frações (NaOH-P, BD-P, $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ e HCl-P), no entanto ressaltou que o fósforo inorgânico apresentou concentração média de 53%, sendo o principal teor de fósforo encontrado no rio amarelo.

Nunes (2013) determinou o estoque fósforo total dos rios Anil e Bacanga localizados na ilha do Maranhão/MA. Os resultados mostram que as concentrações de fósforo total variam de $877,91 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1466,44 \text{ mg.L}^{-1}$.

Slusarski et al. (2013) determinaram o fósforo total nas águas superficiais nas lagoas do Pantanal /MG visando entender e quantificar o nível de acréscimo de fósforo proveniente de áreas agrícolas e urbanas. Os autores verificaram elevados teores de fósforo principalmente

no período de seca. Os teores foram maiores devido a concentração ou a mudança na dinâmica de fósforo no sedimento de fundo na região pantaneira.

Oliveira et al. (2015) determinaram as formas de fósforo nos sedimentos de fundo do rio Bento Gomes no Pantanal/MT. As maiores concentrações de fósforo foram encontradas nos sedimentos coletados em regiões de baixa hidrodinâmica, onde ocorre um favorecimento na deposição de sedimentos finos e matéria orgânica. Os teores de fósforo inorgânico foram maiores que de fósforo orgânico na maioria dos pontos amostrados, com exceção daqueles pontos de baixa energia fluvial, onde a matéria orgânica particulada influenciou no aporte de fósforo orgânico para o sedimento.

Arruda (2015) apresentou estratégias para minimizar o aporte de nutrientes em reservatórios, utilizando o fósforo como elemento de controle, no município de Petrolândia e Floresta, no entorno do reservatório de Itaparica, localizado no trecho Submédio do rio São Francisco. Nos resultados se obteve uma água de drenagem agrícola com concentrações de fósforo dentro de padrões aceitáveis.

Song (2017) contribuiu para uma melhor compreensão do ciclo do fósforo em ecossistemas aquáticos urbanos, investigando as frações em relação a química ambiental em águas superficiais de seis lagoas de gestão de águas pluviais urbanas localizadas em Ontário, Canadá. Os resultados mostraram que a fósforo orgânico contribuiu com até 75% do fósforo total no sedimento da lagoa, mas esse percentual diminuiu significativamente entre dois eventos de amostragem em junho e setembro de 2012, indicando um processos rápidos de mineralização nestes ecossistemas. A diminuição do fósforo orgânico do sedimento foi igualada pela concentração de fósforo na coluna de água.

Embora o enriquecimento antropogênico de fósforo seja um problema bastante comum em ecossistemas aquáticos, principalmente naqueles situados em áreas urbanizadas ou com alto desenvolvimento agrícola, este não é um problema em particular do Brasil, que ainda é relativamente bastante preservado.

3.6 Métodos de determinação do Fósforo.

Neste tópico foram apresentadas as metodologias aplicadas para determinação de fósforo e suas frações em água e nos sedimentos.

Há na literatura vários métodos para obtenção do fósforo e de suas frações, alguns deles como os de: Strickland e Parsons (1960), Valderrama (1981), Berner e Rao (1994), Sharpley et al. (1995), Haygarth et al. (1998), *Standards, Measurements and Testing (SMT) Programme (European Commission)* (1998).

A determinação de fósforo, segundo Valderrama (1981), consiste na determinação do fósforo total. Medem-se alíquotas em 30 mL de cada amostra, sendo acrescentado 4 mL de reagente de oxidação, e autoclavados durante 30 minutos com temperatura de 120°C e pressão de 1atm. Após o resfriamento, são acrescentados 1,0mL de ácido ascórbico e 1,0mL de reagente (solução de ácido sulfúrico + molibdato de amônio + tartarato de antimônio e potássio + água deionizada). Depois de 15 minutos às amostras seguem para a leitura em espectrofotômetro com comprimentos de ondas de 882 nm.

Strickland e Parsons (1960) determinaram métodos para as frações PTD, PID, PTP e POD. Para a determinação do PTD, são medidas alíquotas em 30 mL, adicionando solução de persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$) saturada e autoclavada por uma hora, a uma temperatura de 120°C, após o resfriamento acrescenta-se ácido ascórbico e reagente. Na determinação do PID a amostra é filtrada e logo depois adiciona-se ácido ascórbico e reagente; após 15 minutos, fez-se a leitura. Já a fração de PTP é determinada indiretamente, subtraindo-se os valores de PT pelos de PTD e, finalmente, para a fração do POD tem-se a subtração de PTD pelo fósforo total inorgânico (PTI).

O fracionamento do fósforo por meio da metodologia descrita por Berner e Rao (1994), é para determinar três frações de fósforo: PT, fósforo inorgânico (PI) e fósforo orgânico (PO).

Para a obtenção da fração do PT as amostras passam por processo de calcinação, seguem para a mufla, à temperatura de 550 °C, por 12 horas, seguida de adição de solução de ácido clorídrico, seguindo para agitação por 16 horas, sendo centrifugadas por 15 minutos para obtenção dos extratos e posterior análises dos ortofosfatos. O PI segue a mesma determinação do procedimento para o fósforo total, porém, em alíquota não calcinada. Já a determinação do PO se dá de forma indireta, pela diferença entre os teores de PT e PI.

Na metodologia de análise físico-químicas das formas de fósforo na água e nos sedimentos, as propostas por Sharpley et al. (1995) e posteriormente, por Haygarth et al. (1998), demonstram que as rotinas consistem, simplificada, na separação do PTD do PTP nos sedimentos, através de uma filtração da amostra em membrana porosa de 0,45 µm de diâmetro. Na solução filtrada é determinado o fósforo particulado disponível (PPD). A partir dos sedimentos pode-se determinar o PPT que segue para a digestão com ácido perclórico. A fração de fósforo particulado disponível (PPD) pode ser estimada pela extração com NaOH ($0,1 \text{ mol}^{-1}$), resina trocadora de ânions ou papel impregnado com óxido de ferro (SHARPLEY, 1993).

O protocolo desenvolvido pela *Standards, Measurements and Testing (SMT) Programme (European Commission)* (1998), é baseado no método de Williams (1985) e

modificado por Burrus et al. (1990). Este protocolo conduz a cinco frações de fósforo nos sedimentos: PINA, fósforo ligado a óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn; PIA, ligado ao Ca; PTI, POT, PT.

Para a determinação da fração do PT, a amostra passa pelo processo de calcinação, a 450°C, durante três horas; depois, segue para o processo de digestão, em temperatura ambiente é realizada a leitura. O Fósforo Apatítico (PIA)² passa por digestão com hidróxido de sódio, sofre agitação por 16 horas e segue para a leitura. Já o fósforo inorgânico não apatítico (PINA)³ passa pela digestão com ácido clorídrico, descansa por 16h e segue para leitura (NUNES, 2013).

O POT e o PIT também passam pelo processo de digestão com ácido clorídrico e sofrem processo de agitação por 16 horas; o diferencial está no fato que o POT passa pela centrifugação com extrato e segue para leitura, e o PI descansa 15 minutos antes de seguir para a análise em espectrofotômetro.

Outros estudos já foram desenvolvidos para ampliar as análises de substâncias fosfatadas que cada vez mais vem sendo aperfeiçoados, até em águas com baixas concentrações é possível de ser detectada sua presença. Os nutrientes (nitrogênio e fósforo) tem sua parcela de contribuição para o posterior acúmulo de matéria orgânica em decomposição, ocasionando assim a eutrofização, que é uma produção em excesso de matéria orgânica dentro de um reservatório. Assim, o fósforo se constitui como nutriente limitante principal, quando se trata da produtividade primária dos ecossistemas aquáticos (FERREIRA et al., 2014).

3.7 Estudos realizados no reservatório Bolonha

O Parque Estadual do Utinga (PEUT) está inserido nos territórios dos municípios de Ananindeua e Belém, na Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém-PA (RMB). O parque foi criado para proporcionar um espaço de lazer à comunidade desenvolver atividades científicas, culturais, educativas, turísticas e recreativas e preservar a fauna e a flora, considerado uma unidade de conservação de acordo com o Decreto Estadual n°1329 (BELÉM, 2008) de uso sustentável, de aproximadamente 5.653,81 hectares (SEMA, 2012).

² E subfrações inorgânicas do fracionamento do fósforo denominadas de apatítico, fração relativamente estável e inerte encontrado na matriz sedimentar.

³ E uma subfrações inorgânicas do fracionamento do fósforo, denominadas de não apatítico, fração disponível na ausência de oxigênio e encontrado na matriz sedimentar.

No interior do parque estão localizados os reservatórios Bolonha e Água Preta, formados pelos igarapés Murucutu e Água Preta, importantes mananciais de Belém. O reservatório Bolonha com 1.954.000 metros cúbicos de volume de água, e o reservatório Água Preta, com 9.905.000 metros cúbicos, abastecem de água, direta e indiretamente, aproximadamente 2 milhões de habitantes da RMB (COSANPA, 2012).

Segundo Sodré (2007), os reservatórios Água Preta e Bolonha apresentam uma topografia suavemente ondulada e plana, com variações de altitude de 0 a 10 metros, respectivamente. Apresentam contexto geológico representado principalmente por unidades cenozóicas, estudadas em afloramentos naturais. Estão inseridos em uma unidade geomorfológica caracterizada como planalto rebaixado da Amazônia, com terrenos altimetricamente pobres, os quais, no entanto, favorecem o carreamento de sedimentos, principalmente por conta da composição areno-argilosa típica da formação barreira. Carreamento este que é potencializado pela retirada de cobertura vegetal, em associação com o aumento do escoamento superficial. O sistema hidrográfico dos mananciais do Utinga (destaque para o reservatório Bolonha) acaba por receber sedimentos em quantidade razoável, favorecendo o assoreamento de sua planície de inundação (ARAÚJO JR, 2015).

As pesquisas acerca dos reservatórios Bolonha e Água Preta estão representadas no Quadro 7, em que se destaca o objetivo de cada pesquisa, autor, principais resultados e suas conclusões.

Quadro 7:Estudos realizados dos Mananciais do Utinga - Pará

Autor/ Ano	Objetivo	Resultados	Conclusão	Financiador	Tipos de trabalho
Sodré (2007)	Avaliar o comportamento hidroquímico das águas dos reservatórios Bolonha e Água preta durante o ciclo hidrológico.	Neste estudo o autor observou que os reservatórios apresentaram certa capacidade de assimilação da carga orgânica. Os valores médios mensais de pH foram típicos da região amazônica, OD não demonstrou variações medias acentuada nos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica. As variáveis turbidez, cor aparente e sólidos suspensos apresentaram concentrações mais elevadas no período de menor precipitação pluviométrica. O autor ressalta que os valores mais elevados de condutividade elétrica ocorreram no período de menos precipitação. Os nutrientes nitrato, fosfato, N-amoniaco apresentaram tendência de maiores concentrações no período de menor precipitação pluviométrica.	O autor concluiu que o ciclo hidrológico dos reservatórios sofre influência da precipitação pluviométrica em quantidade e qualidade. Pela análise dos parâmetros abióticos estudados, pode se verificar que os reservatórios apresentaram capacidade de assimilação de carga orgânica em seu ecossistema.		Dissertação Mestrado UFPA
Vasconcelos (2010)	Analisar a variação de parâmetros físico-químicos e biológicos presentes nas águas do Manancial do Utinga no período de janeiro de 2007 a setembro de 2009	Os resultados encontrados mostraram uma relação direta entre o crescimento populacional e a presença de esgotos não tratados nos corpos d'água. O autor observou alterações importantes nas variáveis físicas: cor e turbidez, variáveis química: N-amoniaco e nitratos e nas variáveis biológicas: coliformes totais e quando comparadas com a condição referencial. Os valores da variável cor aparente foram influenciados diretamente pelas elevações da turbidez, que estão associadas à quantidade de poluição que são lançadas no corpo d'água. A presença do nitrato e n-amoniaco está abaixo do nível máximo exigido Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Os coliformes totais presente nas águas do rio Guamá têm contribuído, justamente pelo fato das águas do rio abastecerem o reservatório do Utinga com 90% do volume dos lagos, através de uma adutora.	Na pesquisa o autor concluiu que a ocupação desordenada o despejo indiscriminado de resíduos sejam eles sólidos ou líquidos de esgoto doméstico, têm crescido e contaminado os reservatórios, boa parte do esgoto passa por debaixo do muro e com facilidade contamina os reservatórios Bolonha e o Água Preta.	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	Dissertação Mestrado Universidade de Taubaté-SP

Silva (2010)	Avaliar a qualidade da água do sistema de captação utilizado para o abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, com base em dados abióticos e bióticos, em períodos sazonais distintos, períodos de menor precipitação (junho a novembro) e o período de maior precipitação pluviométrica (dezembro a maio) da região.	Foi observada a sensível elevação nas concentrações de fósforo total em todas as estações de amostragem, enquanto que o nitrogênio total não apresentou resultados anômalos que mostrem que a fertilidade dessas águas seja resultado do enriquecimento por este nutriente. A média anual do IET classifica todas as estações de amostragem com características eutróficas, sendo o fósforo total o principal nutriente responsável pelo enriquecimento dessas águas.	Esta pesquisa mostrou não existir relação entre os níveis de trófia e a sazonalidade, apesar dos fortes impactos ambientais a que as águas superficiais que são utilizadas no abastecimento público da Região Metropolitana de Belém estão submetidas.	Fundação de Amparo a Pesquisa – FAPESPA	Dissertação de Mestrado UFPA
Ribeiro et al. (2010)	Avaliar a qualidade ambiental da água do reservatório Bolonha, através das variáveis: Cor; temperatura; condutividade; OD; pH; Turbidez; comparando com o estabelecido na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) do Conselho Nacional do Meio Ambiente.	Os autores verificaram que os valores de temperatura da água para o reservatório Bolonha se mantiveram acima de 33 °C, os valores de pH não apresentaram variações consideráveis e a turbidez esteve dentro dos valores permitidos na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Ressaltaram que os valores de condutividade elétrica apresentaram se num intervalo que interliga com a baixa salinidade, a cor aparente obteve um valor máximo de 40mg/L. Os valores de OD apresentaram se inferiores ao recomendado pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).	Os autores identificaram que as variáveis analisadas estavam em consonância com as condições e padrões aceitáveis pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), considerando águas destinadas ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento simplificado, com exceção da variável OD, que apresentaram se inferiores ao estipulado pela legislação evidenciando que há indícios de degradação ambiental no reservatório Bolonha.		Artigo UEPA

Borges et al. (2015)	Levantar dados acerca das variáveis físicas e químicas presentes no reservatório Bolonha e no reservatório Água Preta, a fim de averiguar e esclarecer suas atuais condições.	Na pesquisa os autores encontraram valor para a variável cor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). A temperatura apresentou um registro dentro da média conhecidas na região, os valores de salinidade, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica se mantiveram dentro dos padrões de qualidade exigidos para essas águas. As águas dos reservatórios Bolonha e Água Preta ainda se inserem na classificação de qualidade para águas de classe 2 estipulada pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) .	Os autores identificaram que o aumento da produção de resíduos lançados nos corpos d'águas ocorre nos períodos de baixa precipitação em Belém (entre setembro e outubro) aliado ao crescente aumento de moradias ao entorno do Parque do Utinga, o que pode vir a afetar a qualidade da água. As variáveis indicam a relevância do monitoramento das águas que abastecem a região metropolitana de Belém, para estimar a qualidade e característica dessas águas.		Artigo UFRA
Gonçalves et al. (2015)	Utilizar o sistema de informação geográfica (SIG), na modelagem da microbacia hidrográfica dos mananciais Bolonha e Água Preta e avaliar a qualidade da água para subsidiar ações eficazes no que tange o gerenciamento dessa microbacia, por meio de cálculos dos parâmetros morfométricos, da qualidade da água e do índice de estado trófico.	O estudo espacial permitiu identificar a grande influência da área urbana e das áreas desmatadas da microbacia hidrográfica dos reservatórios Bolonha e Água Preta, somando 43% da área total da bacia, e mostrando a fragilidade da bacia na manutenção da qualidade da água dos mananciais. Os autores detectaram a partir das análises químicas da água, valores fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para OD, turbidez, fósforo total e clorofila-a, salientando uma forte intervenção antrópica ao longo da bacia, que por meio do IET indicou um ambiente hipertrófico.	A pesquisa conclui que houve variáveis de qualidade de água fora dos limites estabelecidos pela resolução vigente no Brasil, que pode ser atestado pelo resultado do IET. Foram identificadas áreas susceptíveis da microbacia, onde a ocupação urbana desordenada já ocorreu e continua acentuada. Os autores ressaltam que o mapeamento da microbacia juntamente com o monitoramento da qualidade da água serviram como subsídio para ajudar a manter a qualidade e quantidade da água, e diminuir os impactos ambientais.		Artigo UFRA
Durans (2016)	Obter o IET do reservatório de água Bolonha, para fins de se conhecer o estado trófico no período de chuva que acontece na cidade de Belém (PA).	O monitoramento do reservatório Bolonha demonstrou que a maioria das variáveis físico-químicas se encontraram em conformidade com a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) com exceção da variável fósforo total que durante o período do monitoramento (janeiro a março de 2016) o reservatório apresentou uma concentração de fósforo total máxima de 250 µg.L e mínima de 120 µg.L. Concentrações de fósforo total não deve ser superior a 0,01mg.L, pois pode ser determinantes quanto a proliferação de algas, acarretando sérios prejuízos aos usos da água.	O estudo apresentou IET classificado como eutrófico, com carga de nutrientes elevada em relação às condições naturais. Assim, fazendo um comparativo com as condições naturais, para estado de trofia, que apresentam valor de IET a 40 µg.L e comprando esse valor com a média do IET-Bolonha é possível concluir que o reservatório está aproximadamente a 1,5 µg.L em doses elevadas de nutrientes que causam a eutrofização.		Trabalho de conclusão de curso UFPA

O Reservatório Bolonha vem ao longo dos anos perdendo suas características naturais, seu espelho d'água está praticamente tomado por macrofitas, em virtude do uso do solo e ocupação urbana nas proximidades do reservatório.

Figura 2: Espelho d'água do Bolonha (2017).



Na literatura encontram-se várias pesquisas que, ao longo dos anos, foram desenvolvidas no reservatório Bolonha e Água Preta, sendo a primeira pesquisa acerca da qualidade da água realizada por Ribeiro (1993), que caracterizou as águas superficiais no período menos chuvoso e período chuvoso e observou que as áreas, localizadas próximo à ocupação urbana, apresentaram os maiores índices de alteração na qualidade da água.

A sazonalidade climática da RMB acaba se tornando um fator na contribuição de carga orgânica para o corpo d'água. No período menos chuvoso a contribuição é mais intensa, pois o lançamento inadequado de efluente acaba não sofrendo diluição, diferentemente do que ocorre no período chuvoso, já que o nível de precipitação é mais intenso, ocasionado uma maior diluição desse material como também carregamento de material provocado pelo escoamento superficial. Segundo Sodré (2007) o ciclo hidrológico dos reservatórios sofre influência da precipitação pluviométrica na quantidade e qualidade das suas águas.

A presença de vegetação especificamente macrófitas na superfície do reservatório Bolonha é visualmente perceptível. Segundo análises com imagens de satélite realizadas por Cardoso et al. (2009), o aparecimento dessas macrófitas ocorreu mais fortemente após 2004, principalmente na porção oeste do reservatório. Este tipo de vegetação flutuante é característico de ambientes com níveis anormais de nutrientes e poluentes, principalmente pelo lançamento de esgoto doméstico.

O reservatório Bolonha, vem sofrendo com o processo de eutrofização durante doze anos, a Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), realizou no ano de 2013 a limpeza dos reservatórios Bolonha e Água Preta que durou cerca de oito meses, sendo retiradas 371 mil metros quadrados de vegetação aquática do Bolonha e 1,2 mil metros quadrados do Água Preta, visto que a última limpeza ocorreu em 2009. De acordo com o gerente de produção de água da Estação do Bolonha, a vegetação macrófita se desenvolve rapidamente, por causa da grande quantidade de material orgânico que é lançado no reservatório Bolonha.

A busca de soluções ambientalmente corretas para esta área requer diversos estudos, uma vez que podem significar um impacto ambiental, social e econômico para a região (GUTIERREZ et al., 2017; MACEDO et al., 2013).

Dentro desta perspectiva, a proliferação de macrófitas possui intensa ligação com a aceleração do processo de eutrofização das águas, pois a elevada produção de biomassa induz o aumento do déficit de oxigênio, a formação de gases e, com a grande concentração de macrófitas, há baixa concentração de nutrientes nas águas, pois estes são absorvidos por essas plantas, que consomem parte do oxigênio da água, gerando baixa concentração deste elemento (CARVALHO et al., 2015).

Apesar da realização dos estudos supracitados, nenhum foi desenvolvido no sentido de monitorar temporalmente a qualidade da água e os níveis de nutrientes a cerca da sazonalidade (período chuvoso e período menos chuvoso).

4.MATERIAL E MÉTODOS

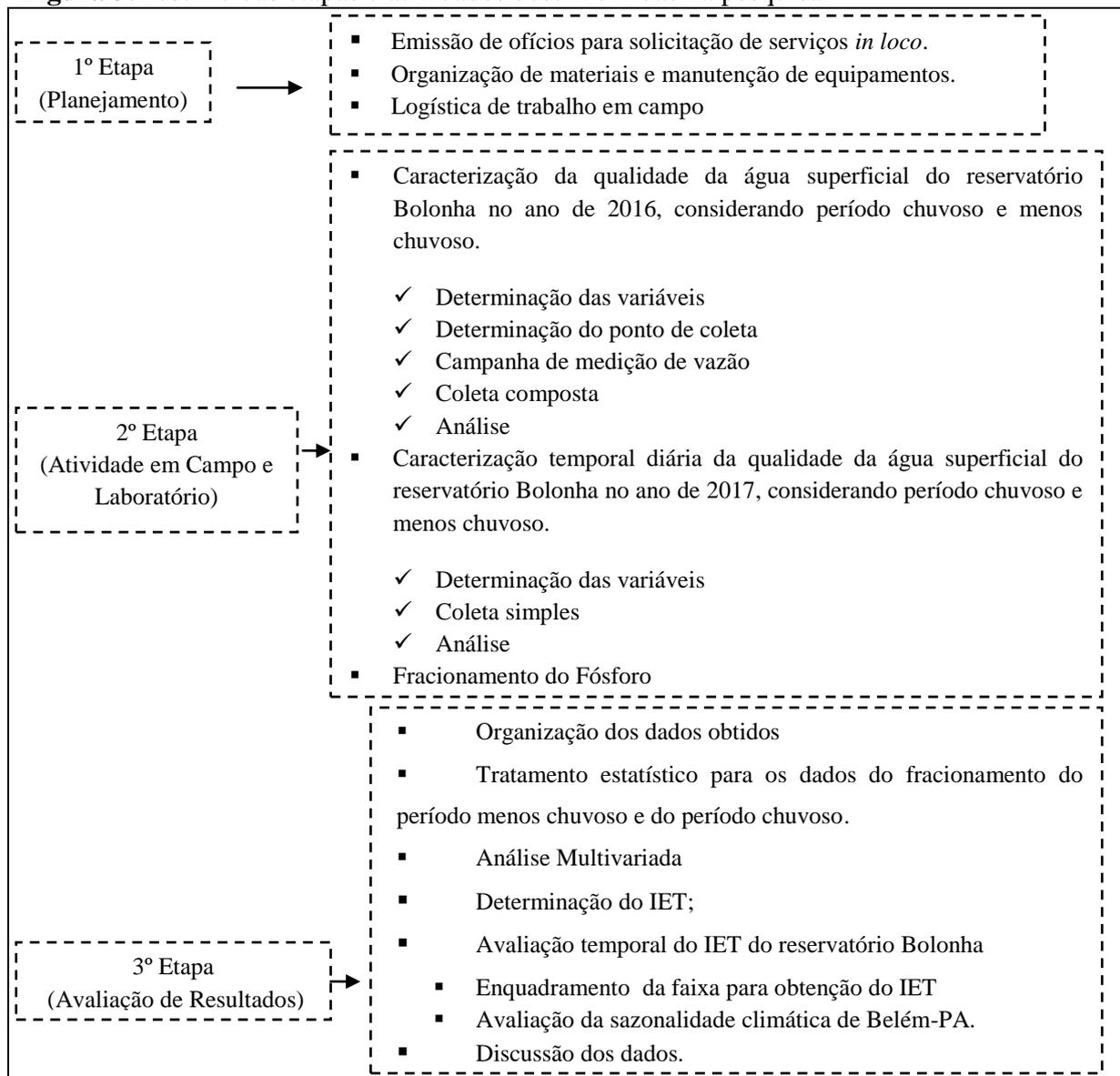
4.1 Local de Estudo

A pesquisa foi realizada no reservatório de abastecimento de água do Bolonha, situado no Parque Estadual do Utinga (PEUT), que fica na Avenida João Paulo II, s/n - Curió Utinga, no município de Belém-PA. Na Figura 4 é apresentada a localização geográfica do reservatório Bolonha. O reservatório Bolonha apresenta forma alongada, aproximadamente 577.127 m² de área e 1,954. 000 m³ de volume d'água. Sua profundidade máxima está em torno de 7,64 m (SODRÉ, 2007).

4.2 Etapas da Pesquisa

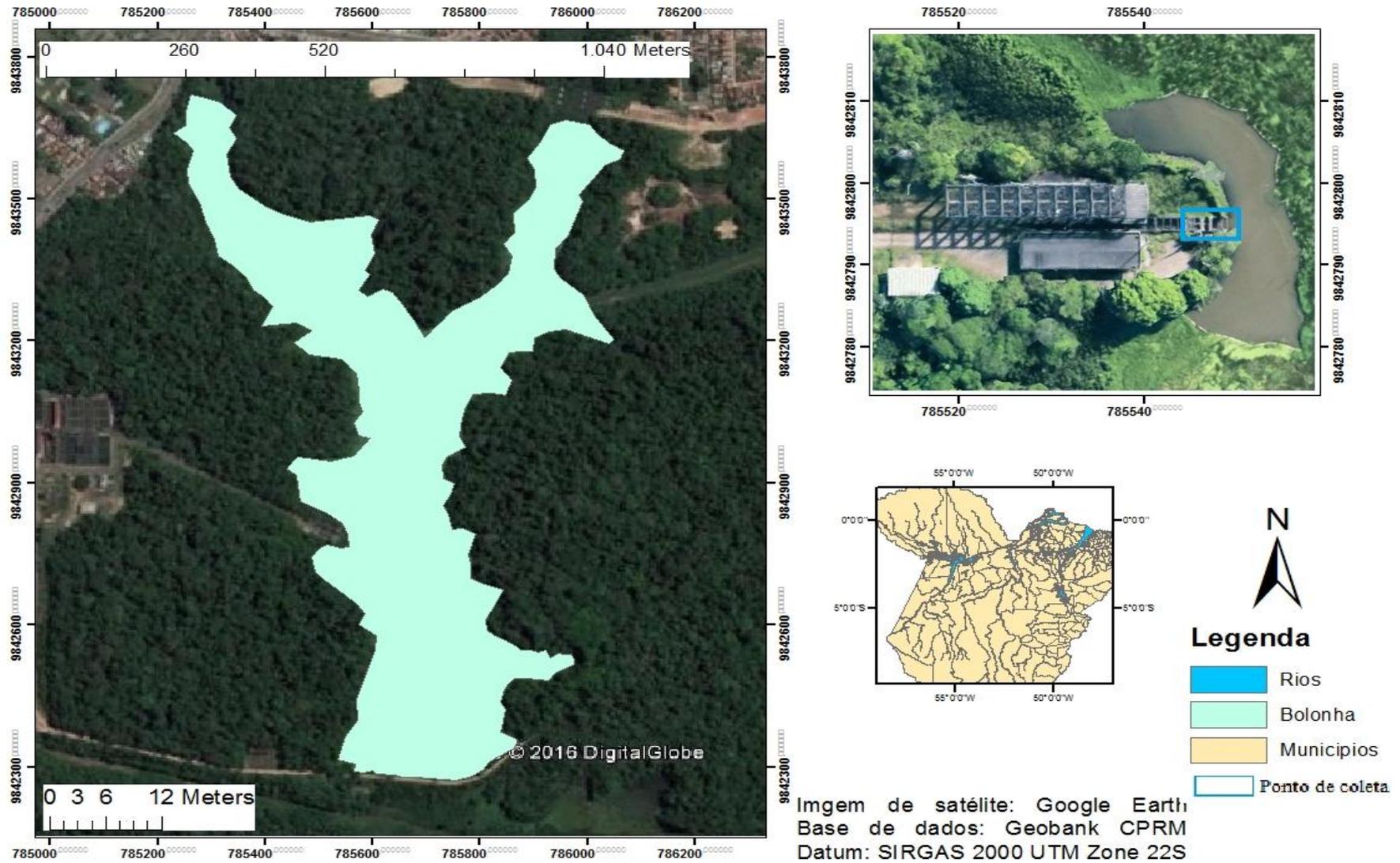
A pesquisa experimental ocorreu no período de 08 meses sendo dividida em três etapas: a) planejamento de coleta; b) trabalho de campo e laboratorial; e, c) avaliação dos resultados. Estas etapas do estudo estão delineadas no resumo esquemático da Figura 3.

Figura 3:Resumo das etapas e atividades desenvolvidas na pesquisa.



Fonte: OLIVEIRA, 2017

Figura 4: Mapa de Localização geográfica do reservatório Bolonha-Belém-PA.



4.2.1- Etapa 1(Planejamento)

A primeira etapa da pesquisa deu-se por meio do ofício, para a solicitação de autorização ao órgão responsável pela administração do reservatório.

Houve a elaboração de um roteiro, para determinar o quantitativo de dias de monitoramento, assim como a formação de uma equipe 3 colaboradores.

Para a realização da coleta, foram utilizados os seguintes materiais: frascos de polipropileno com volumes de 250 mL e 1L; gelo do tipo cold pack, caixas isotérmicas para refrigeração e preservação de amostras.

4.2.2- Etapa 2 (Atividade em campo e laboratório)

Caracterização da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2016, considerando período chuvoso e menos chuvoso.

Determinação das variáveis

As variáveis analisadas nesse estudo contemplam aquelas que são mais utilizadas na caracterização da qualidade da água, além das utilizadas no cálculo do IET, são elas: alcalinidade, cor aparente, cor verdadeira, clorofila “a”, pH, turbidez (Turb), transparência, fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST) e fósforo total (PT).

Determinação do ponto de coleta

O ponto de coleta está localizado na entrada da captação da ETA Bolonha, antes do gradeamento. A escolha do mesmo se deu por apresentar facilidade de acesso para realização das coletas, área sem vegetação sobrenadante, devido a uma barreira de contenção. Apresenta uma profundidade em torno de 7 metros e vazão constante, sendo o único ponto que pega toda a água de saída conforme a Figura 5.

Figura 5: Ponto de coleta de amostra no reservatório Bolonha-Bélem-PA.



Campanha de medição de vazão

Inicialmente, houve a medição de vazão que consistiu na determinação das variáveis profundidade e velocidade do fluxo. O método utilizado para determinar a vazão é automatizado, sendo utilizado como equipamento para aferição a Calculadora T1-89 *Titanium* acoplada ao molinete. Foram realizadas quatro campanhas de medição de vazão, sendo duas no período chuvoso e duas no menos chuvoso no ponto de coleta conforme a Figura 5. As medições foram feitas no intervalo de oito da manhã às cinco da tarde, realizadas a cada meia hora, ocorrendo entre os meses de janeiro a março de 2016 para o período chuvoso, e no mês de outubro de 2016 para o período menos chuvoso.

A partir da determinação da vazão, houve cálculo dos volumes das alíquotas. A determinação da alíquota horária foi realizada aplicando a fórmula do fator de correção da alíquota ($F_{CV_{al}}$) para cálculo do volume instantâneo da mesma.

$$F_{CV_{al}} = \text{Volume necessário} / n \times Q_{\text{médio}} \quad \text{Equação (09)}$$

$$F_{CV_{al}} = \text{mL/L/s} \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

$F_{CV_{al}}$ = Fator de correção

n = número de determinações consideradas

$Q_{\text{média}}$ = vazão média para os dias monitorados (L/s).

Com o cálculo do fator de correção foi obtido o volume instantâneo em mililitros (mL), que foi coletado a cada meia hora, de modo que a fórmula do volume instantâneo da alíquota (V_{al}) em mL foi:

$$V_{al} = F_{CV_{al}} \times Q_{\text{horário}} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

V_{al} = Volume instantâneo da alíquota

$F_{CV_{al}}$ = Fator de correção da alíquota

$Q_{\text{horário}}$ = Vazão no horário da coleta (L/s).

Com a determinação dos volumes das alíquotas, pode-se compor o volume de 1 litro referente à coleta composta.

Coleta composta

A coleta e análise das amostras foram realizadas entre os meses de janeiro e março de 2016 e outubro de 2016, abrangendo os períodos chuvoso e menos chuvoso. As coletas foram feitas sempre a cada (30) trinta minutos no intervalo de 08:00 h às 17:00h.

No total foram realizadas dez (10) campanhas, divididas em cinco campanhas referentes ao período chuvoso e cinco para o período menos chuvoso. O monitoramento ocorreu no período de nove (09) horas compreendendo dezenove (19) amostras coletadas em cada campanha, totalizando um volume aproximadamente 4L de amostra.

Caracterização temporal diária da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2017, considerando período chuvoso e menos chuvoso.

Determinação das variáveis

As variáveis analisadas nesse estudo contemplam aquelas que foram utilizadas no cálculo do IET e caracterização temporal da qualidade da água do reservatório Bolonha, são elas: condutividade elétrica (CE), fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD), pH, transparência, Temperatura.

Coleta simples

A coleta e análise das amostras foram realizadas entre os meses de abril e junho no ano de 2017, compreendendo os períodos chuvoso e menos chuvoso. As coletas foram feitas sempre no intervalo de quinze (15) minutos, abrangendo o intervalo de 08:00 h às 17:00h.

Foram realizadas no total oito (08) campanhas, divididas em quatro (04) campanhas referentes ao período chuvoso e quatro (04) para o período menos chuvoso. O monitoramento ocorreu no período de nove (09) horas compreendendo trinta e seis (36) coletas diárias.

A amostragem para determinação das variáveis físico-químicas no ponto de coleta foi do tipo simples, por meio da técnica de imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm da coluna d'água (CETESB, 2010).

No quadro 8 é apresentado o resumo geral dos dois procedimentos de coleta realizados no período chuvoso e menos chuvoso.

Quadro 8: Número de análises por variável.

Período	Meses	Tipo	Números de campanhas	Unidades	Intervalo de coleta (min)
Chuvoso 2016/2017	Janeiro/Março	Composta	5	19	30
	Abril	Simple	4	36	15
Menos chuvoso 2016/2017	Junho	Simple	4	36	15
	Outubro	Composta	5	19	30

Análise

Os procedimentos analíticos utilizados para determinação das variáveis analisadas nas duas coletas simples e composta, seguiram a metodologia padronizada e validada conforme recomendações descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* APHA/AWWA/WEF (2005) e Manual do Espectrofotômetro HACH® (1990 e 2007).

As análises foram executadas no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas e de Lodo da Universidade Federal do Pará, que está sob gerência do Grupo de Estudos em Gerenciamento da Água e Reuso de Efluentes (GESA).

Os métodos utilizados para análise de cada variável estão listados no Quadro 9 a seguir:

Quadro 9: Método de análise das variáveis

Variáveis	Unidade	Métodos	Equipamento	Limite de detecção
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	Titulometria	pH-metro PG 1800 Gehaka, agitador magnético e pipeta automática	
Condutividade	µS/cm	Potenciométrico	Medidor Multiparâmetro AK88	0,0-199,9
Cor aparente	Uc	Colorimétrico	Policontrol Aquacolor Cor	500
Cor Verdadeira	Uc	Colorimétrico	Policontrol Aquacolor Cor	500
Clorofila <i>a</i>	µg.L ⁻¹	Colorimétrico	Espectrofotômetro Hach – DR 3900	-
Fósforo total	mg/L	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900	10
OD	mg/L	Colorimétrico	Espectrofotômetro Hach – DR 3900	40
pH	-	Potenciometria	pH-metro PG 1800 Gehaka	14
SST	mg/L	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900	750
Turbidez	UNT	Turbidímetro	Turbidímetro AP200	1000

Fracionamento do fósforo

Para as determinações das diferentes frações do fósforo, utilizou-se o método de digestão de persulfato, seguido pelo método colorimétrico do ácido ascórbico (seção 4500-P, DR/2500 HACH[®]), para a obtenção das seguintes variáveis: PT; PTD; PIT; PID em laboratório. O PTD foi filtrado em membrana de 0,45 µm e digerido a 120 °C, com solução persulfato de potássio e solução padrão (KH₂PO₄) de fósforo. O PT foi digerido a 120 °C com persulfato de potássio e solução padrão (KH₂PO₄) de fósforo.

A partir do resultado dessas variáveis foi possível obter os valores das outras frações de fósforo, como PTP,POD,PIP,POP, aplicando-se as seguintes equações:

$$PTP = PT - PTD \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

PTP: Fósforo total particulado (µg/L);

PT: Fósforo total (µg/L);

PTD: Fósforo total dissolvido (µg/L).

$$POD = PTD - PIT \quad \text{Equação (13)}$$

Onde :

POD: Fósforo orgânico dissolvido (µg/L);

PTD: Fósforo total dissolvido (µg/L);

PIT: Fósforo inorgânico (µg/L).

$$PIP = PIT - PID \quad \text{Equação (14)}$$

Onde :

PIP: Fósforo inorgânico particulado (µg/L);

PIT: Fósforo inorgânico (µg/L);

PID: Fósforo inorgânico dissolvido (µg/L).

$$POP = PTP - PIP \quad \text{Equação (15)}$$

Onde :

POP: Fósforo orgânico particulado (µg/L);

PTP: Fósforo total particulado (µg/L);

PIP: Fósforo inorgânico particulado (µg/L).

Ressalta-se que os dados referentes ao ano de 2017, foram adaptados estatisticamente, através do método de Fator de correção para o enquadramento referente ao monitoramento do ano de 2016.

4.2.3 Etapa 3 (Avaliação de Resultados)

Avaliação temporal do IET do reservatório Bolonha

Enquadramento para obtenção de IET

Para a classificação dos IET's, foram adotadas as metodologias propostas por Carlson (1977), Toledo Jr. et al. (1983) e Lamparelli(2004), de acordo com as equações, 15, 16, 17 ,18 e Quadro 10.

$$\text{IET (PT}_C\text{)}=14,42 \times \text{Ln (PT)}+4,15 \quad \text{Equação (15)}$$

$$\text{IET (DS)}=60-14,41\text{Ln (DS)} \quad \text{Equação (16)}$$

$$\text{IET (PT}_T\text{)}= 14,43 \times \text{Ln (PT)} - 3,28 \quad \text{Equação (17)}$$

$$\text{IET(PT}_L\text{)}=10.(6-(1,77-0,42.(\text{LnPT}/\text{Ln } 2))) \quad \text{Equação (18)}$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida na superfície da água ($\mu\text{g/L}$).

DS: Profundidade do disco de secchi (m)

Quadro 10: Equivalência do IET para as medidas das variáveis de PT, e transparência em reservatórios segundo Carlson (1977) , Toledo Jr. et al. (1983) e Lamparelli(2004).

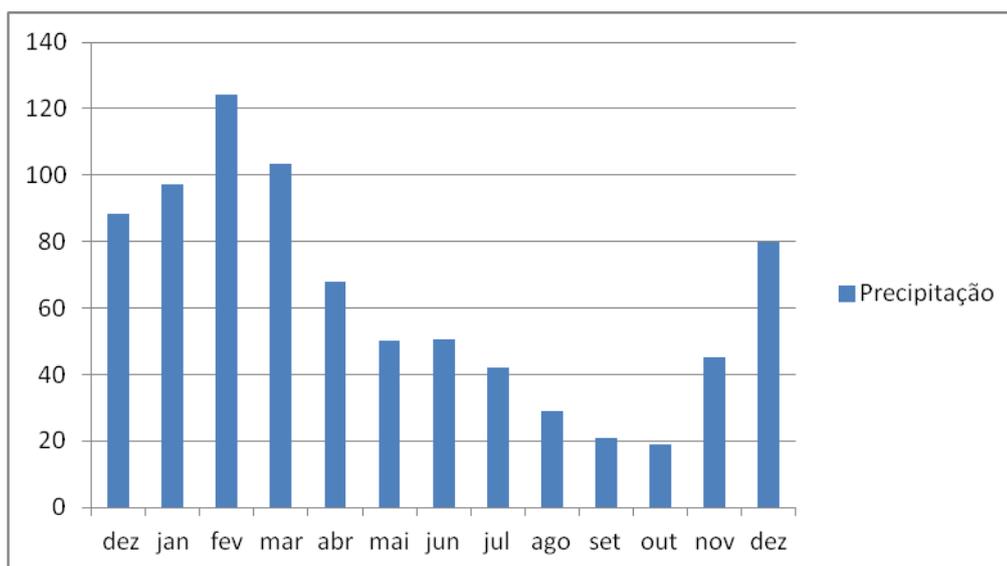
	Estado trófico	IET Total	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila "a" ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Transparência (m)
Carlson (1977)	Oligotrófico	≤ 40	≤ 12	$<2,6$	$>4,0$
	Mesotrófico	$40 < \text{IET} \leq 55$	$\leq 12 < \text{FT} \leq 18$	$\leq 2,6 < \text{CL} \leq 12,75$	$\leq 4,0 < \text{S} \leq 1,5$
	Eutrófico	$\text{IET} > 55$	>18	$>12,75$	$<1,5$
Toledo Jr(1983)	Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 24$	$\leq 6,0$	$\leq 0,51$	$\geq 7,8$
	Oligotrófico	$24 < \text{IET} \leq 44$	7,0 a 26,0	0,52 – 3,81	7,7 – 2,0
	Mesotrófico	$44 < \text{IET} \leq 54$	27,0 a 52,0	3,82 – 10,34	1,9 – 1,0
	Eutrófico	$54 < \text{IET} \leq 74$	53,0 a 211,0	10,35 – 76,06	0,9 – 0,3
	Hipereutrófico	$\text{IET} > 74$	$>211,0$	$> 76,06$	$< 0,3$
Lamparelli (2004)	Ultraoligotrófico	≤ 47	$\leq 0,008$	$\leq 1,17$	$\geq 2,4$
	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$0,008 < \text{PT} \leq 0,019$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$	$2,4 > \text{S} \geq 1,7$
	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$0,019 < \text{PT} \leq 0,052$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$	$1,7 > \text{S} \geq 1,1$
	Supereutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$0,052 < \text{PT} \leq 0,120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$	$1,1 > \text{S} \geq 0,8$
	Eutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$0,120 < \text{PT} \leq 0,233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$	$0,8 > \text{S} \geq 0,6$
	Hipereutrófico	>67	$>0,233$	$>69,05$	$<0,6$

A classificação da água do reservatório Bolonha deu-se por meio da determinação do grau de trófia utilizando o IET de Carlson (1977) o método de Toledo Jr (1983) e também o método de Lamparelli (2004) para IET-P o que permitiu classificar o reservatório Bolonha em diferentes graus de trófia.

Avaliação da sazonalidade climática de Belém-PA.

Para efeito de comparação das variáveis nos diferentes períodos chuvoso e menos chuvoso, considerou-se a sazonalidade do município de Belém, conforme descrito por Menezes (2013), onde o período menos chuvoso contempla os meses de junho a novembro e o período chuvoso, os meses de dezembro a maio. A Figura 6 mostra esse mesmo comportamento para o ano de 2016 (período de realização da pesquisa).

Figura 6: Hidrograma dos níveis de precipitação de Belém-PA.



Fonte: INMET, 2016.

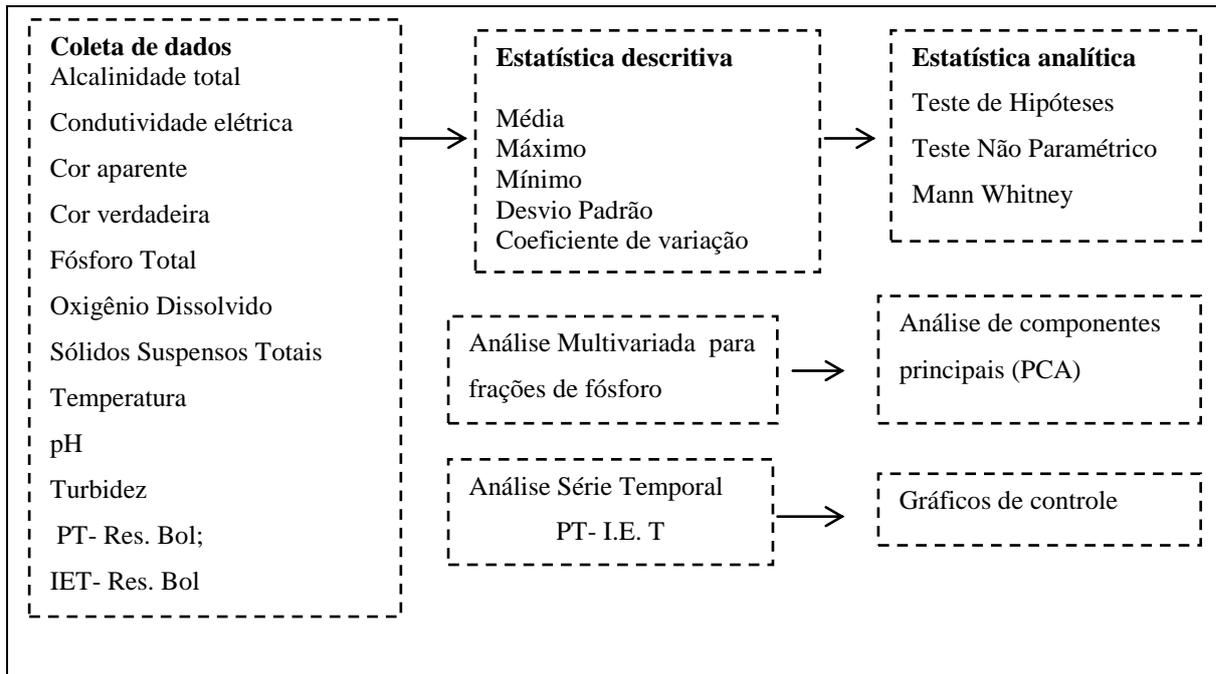
Tucci (2004) afirma que a precipitação pode influenciar os diversos parâmetros de qualidade da água, em reservatório na evolução ou diminuição da poluição da água. Por esse motivo, a diferenciação quanto à sazonalidade climática da região da grande Belém foi levadas em consideração, uma vez que, as alterações no decorrer do ano podem imprimir modificações na qualidade da água.

Tratamento estatístico

O presente trabalho aplicou a estatística descritiva, analítica e a análise multivariada nos dados obtidos em campo e laboratório. Essas ferramentas são de fundamental importância para explicar o que de fato representam os resultados das variáveis, e se elas sofrem grandes mudanças nos períodos chuvoso e menos chuvoso do reservatório Bolonha.

O resumo esquemático do tratamento estatístico que foram aplicados sobre os valores das variáveis e IETs estão apresentados na Figura 7.

Figura 7: Metodologia tratamento estatístico dos dados



***Legenda:** Fósforo total-PT. Clorofila “a”. Índice do Estado Trófico-IET. Reservatório Bolonha–Res.Bol.

Na estatística descritiva, foram determinados, os valores médios, máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação. Na estatística analítica foi aplicado o teste de hipótese para avaliar a qualidade da água do reservatório Bolonha nos períodos chuvoso e menos chuvoso.

A análise de Mann Whitney (H) foi realizada para verificar diferença significativa entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, para cada variável físico-químico, com um nível de significância de 5 % ($\alpha= 0,05$):

- H0 (Hipótese nula): Não há diferença estatisticamente entre os períodos chuvoso e menos chuvoso.
- H1 (Hipótese alternativa): Há diferença estatisticamente entre os períodos chuvoso e menos chuvoso.

Na análise multivariada, os dados do fracionamento do fósforo foram apresentados em forma de matriz de correlação e na extração dos autovalores e calculadas as porcentagens de variância, para logo extrair os autovetores que explicaram os componentes principais.

As análises das séries temporais foram realizadas conjuntamente nos dois períodos (chuvoso e menos chuvoso) para os dados obtidos para IET's, com avaliação individual para cada período.

Foram utilizados gráficos de controle para analisar as tendências e padrões das formas de fósforo presente na água, além de monitorar o IET, e indicando sua faixa de variação para o reservatório Bolonha ao longo do tempo.

Foram utilizadas algumas ferramentas estatísticas, como Microsoft Excel 2007 para a aplicação da estatística descritiva, e o software Minitab 17 para os testes de Mann Whitney, análise multivariada e construção dos gráficos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados físico-químicos, fracionamento do fósforo e IET determinados no reservatório Bolonha nos períodos chuvoso e menos chuvoso de amostragem são apresentados na forma de Tabelas, Quadros e Figuras.

A apresentação dos resultados está dividida em quatro itens, que são:

- ✓ Caracterização da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2016, considerando período chuvoso e menos chuvoso.
- ✓ Caracterização temporal diária da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2017, considerando período chuvoso e menos chuvoso.
- ✓ Avaliação temporal do fracionamento do fósforo do reservatório Bolonha.
- ✓ Avaliação temporal do IET do reservatório Bolonha.

5.1. Caracterização da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2016, considerando período chuvoso e menos chuvoso.

Na Tabela 1 e no Quadro 11 são apresentados os resultados do tratamento estatístico e analítico, as representações gráficas do fracionamento do fósforo são apresentadas nas Figuras 8 e 9.

O teste Mann Whitney apresentando no Quadro 11 aponta que as variáveis pH, alcalinidade (AT), cor verdadeira (CV), fósforo total (PT) e oxigênio dissolvido (OD), não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre os períodos analisados chuvoso e menos chuvoso.

Por sua vez as variáveis cor aparente (CA), sólidos suspensos totais (SST), turbidez e IET apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), entre os períodos chuvoso e menos chuvoso.

Tabela 1: Levantamento da qualidade da água para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.

Caracterização físico-química da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha – Período: Chuvoso (2016) JAN E MAR														
AMOSTRA	pH	AT (mg/L)	CV (uc)	CA (uc)	Ptotal (µg/L)	OD (mg/L ⁻¹)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Clorofila a (µg/L)	Disco Secchi (m)	IET-P (-)	IET-DS (-)	IET-Clorofila (-)	IET _M (-)
AM-01	6,4	23	14,3	52,8	250	7,00	12	25,0	4,03	0,69	83	65	44	64
AM-02	5,8	18	15,7	70,6	120	7,90	14	22,7	6,49	0,60	73	67	48	63
AM-03	5,7	17	18,6	64,2	140	6,90	9	22,8	7,74	0,70	75	65	50	64
AM-04	6,6	20	24,6	61,5	170	6,50	9	17,4	4,24	1,03	78	59	44	61
AM-05	5,8	21	26,8	54,4	200	7,50	6	12,5	5,99	1,06	80	59	48	63
N	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
MÁXIMO	6,6	23	26,8	70,6	250	7,9	14	25	7,74	1,06	83	67	50	64
MÉDIA	6,0	20	20	60	170	7,0	10	20	5,70	0,81	78	63	47	62
MÍNIMO	5,7	17	14,3	52,8	120	6,5	6	12,5	4,03	0,60	73	59	44	60
DP	(-)	2,39	5,48	7,30	51,28	0,55	3,08	5,08	1,56	0,21	4,17	3,73	2,75	1,37
CV (%)	(-)	12,06	27,42	12,02	29,14	7,62	30,82	25,28	27,44	26,19	5,33	5,88	5,81	2,17
Caracterização físico-química da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha – Período: Menos Chuvoso (2016) OUTUBRO														
AMOSTRA	pH	AT (mg/L)	CV (uc)	CA (uc)	Ptotal (µg/L)	OD (mg/L ⁻¹)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Clorofila a (µg/L)	Disco Secchi (m)	IET-P (-)	IET-DS (-)	IET-Clorofila (-)	IET _M (-)
AM-01	6,7	24	24	32,3	380	6,5	5	9,72	(-)	0,70	89	65	(-)	77
AM-02	6,3	19	19	34,1	250	9,0	3	9,04	(-)	0,69	83	65	(-)	75
AM-03	6,9	14	14	27,1	210	7	2	7,98	(-)	0,75	81	64	(-)	73
AM-04	6,5	11	11	32,3	110	7,33	3	8,83	(-)	0,77	71	63	(-)	68
AM-05	6,6	16	16	32	280	10	3	9,76	(-)	0,75	85	64	(-)	75
N	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	(-)	5,0	5,0	5,0	(-)	5,0
MÁXIMO	6,9	23,75	25,5	34,1	380	10	5	9,76	(-)	0,77	89	65	(-)	77
MÉDIA	6,4	17	14	32	246	8,0	3,2	9,06	(-)	0,73	82	64	(-)	73
MÍNIMO	6,3	11,25	6,1	27,1	110	6,5	2	7,98	(-)	0,69	71	63	(-)	67
DP	(-)	4,81	7,21	2,63	98,64	1,47	1,10	0,73	(-)	0,03	6,65	0,64	(-)	3,55
CV (%)	(-)	28,71	53,07	8,33	40,10	18,51	34,23	8,08	(-)	4,41	8,06	0,99	(-)	4,83

***Legenda:** AT:alcalinidade total; CV:cor verdadeira; CA:cor aparente; Ptotal: fósforo total; OD: oxigênio dissolvido; SST: sólidos suspenso totais.

Quadro 11: Avaliação do teste de Mann Whitney da qualidade da água para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.

Variável	Valores do Teste	Probabilidade e Significância de P	Conclusão do Teste para $\alpha=5\%$
pH	N Mediana PC 5 5,8600 PMC 5 6,6400 W = 19,0 IC(-96,3%)(-1,0400;0,1400)	0,0947	H₀ = aceita hipótese
AT	N Mediana PC 5 20,00 PMC 5 16,00 W = 33,0 IC(-96,3%)(-4,003;8,998)	0,2963	H₀ = aceita hipótese
CV	N Mediana PC 5 18,60 PMC 5 16,00 W = 32,0 IC(-96,3%)(-5,40;12,80)	0,4034	H₀ = aceita hipótese
CA	N Mediana PC 5 61,50 PMC 5 32,30 W = 40,0 IC(-96,3%)(20,50;38,30)	0,0122	H₀ = rejeita hipótese
Ptotal	N Mediana PC 5 170 PMC 5 250 W = 21,5 IC(-96,3%)(-210,1;60,0)	0,2506	H₀ = aceita hipótese
OD	N Mediana PC 5 7,00 PMC 5 7,00 W = 24,0 IC(96,3%)(-3,001;0,900)	0,5309	H₀ = aceita hipótese
SST	N Mediana PC 5 9,00 PMC 5 3,00 W = 19,0 IC(-96,3%)(-1,0400;0,1400)	0,0163	H₀ = rejeita hipótese
Turbidez	N Mediana PC 5 22,700 PMC 5 9,040 W = 40,0 IC(-96,3%)(3,462;15,961)	0,0122	H₀ = rejeita hipótese
IET-Médio	N Mediana PC 5 63,00 PMC 5 75,00 W = 15,0 IC(-96,3%)(-14,001;-5,000)	0,0122	H₀ = rejeita hipótese

***Legenda:** alcalinidade total (AT); cor verdadeira (CV); cor aparente (CA); fósforo total (PT); oxigênio dissolvido (OD); sólidos suspensos totais (SST).

As variáveis pH e AT estão relacionadas ao sistema carbonato. No que se refere ao pH, o reservatório Bolonha apresenta-se com pH suavemente ácido, cujo os valores variaram numa faixa entre 6,0 (para o período chuvoso) e 6,4 (para o período menos chuvoso), o qual é característico de lagos amazônicos.

Os valores obtidos de pH podem estar relacionados com alguns fenômenos que podem influenciá-lo, provavelmente não ocorreu a assimilação do CO₂ pelas algas, já que o CO₂ ao reagir com a água pode provocar a acidificação da mesma. Os níveis suavemente ácidos da água podem estar associados à presença de lançamento de efluentes domésticos, ricos em matéria orgânica.

Algumas pesquisas foram desenvolvidas no reservatório Bolonha tendo a captação como ponto de estudo. Pereira (2007) verificou valor de pH em 6,5; Silva (2010) detectou um menor valor de pH que oscilou de 3,7 (no período menos chuvoso) e 6,5 (no período chuvoso); Vasconcelos (2011) encontrou valor médio de 6,5; já o pH verificado por Gonçalves et al. (2015) demonstra predominância de águas suavemente ácidas no reservatório Bolonha.

De um modo geral, os ecossistemas lênticos eutrofizados apresentam valores de pH entre 6,0 e 8,5. Esse fato foi observado por Taniwaki et al. (2011) no reservatório de Itupararanga, em São Paulo, onde registrou pH de 6,1 ligeiramente ácido enquadrado como hipereutrófico. Um cenário também foi semelhante no reservatório de Barra Bonita em São Paulo, observado por Buzelli et al. (2013) enquadrado como hipereutrófico com pH médio de 8,0.

O valor de AT do reservatório Bolonha oscilou entre 20 mg/L (para o período chuvoso) e 17 mg/L (para o período menos chuvoso), possivelmente em virtude da decomposição da matéria orgânica que, ao reagir com O₂, provoca consequente a liberação de CO₂.

O estado trófico do ambiente influencia diretamente na variação do CO₂; isto é, ambiente eutrofizado possui tendência em apresentar maior fonte de carbono, reduzindo matérias orgânicas dissolvidas e particuladas, sendo a decomposição destas, como ressalta Stallard (1998), importantes no ciclo do carbono.

As variações de OD no reservatório Bolonha apresentaram-se entre 7,0 mg/L⁻¹ para o período chuvoso e 8,0 mg/L⁻¹ para o período menos chuvoso. Um fator que provavelmente influencia os níveis de OD é a presença da matéria orgânica proveniente da grande contribuição das atividades antrópicas, que existem próximos às margens do reservatório.

Em outros estudos, as variações de OD foram verificadas demonstrando que houve alterações significativas nesta variável no decorrer do tempo. Silva (2010) registrou valores de 8,0 mg/L⁻¹ para o período chuvoso e 1,2 mg/L⁻¹ para o menos chuvoso. Vasconcelos (2010) obteve valores de 2,2 mg/L⁻¹ para o período chuvoso e 1,2 mg/L⁻¹ para o menos chuvoso. Possivelmente as concentrações reduzidas de OD são indicativo que o ambiente encontra-se

mais poluído.

As concentrações de OD apresentam-se, para ambientes eutrofizados, com níveis baixos (ESTEVEZ, 2011). Classificado por Taniwaki et al. (2011) como hipereutrófico, o reservatório de Ituparanga em São Paulo apresentou concentração de OD menor á 5 mg/L⁻¹. Alves e Morais (2016) registraram variações de OD de 2,01 mg/L⁻¹ e 3,91 mg/L⁻¹ para Córrego Barrinha/GO; valores esses atribuídos a ambiente eutrófico. Dessa forma, a concentração de OD em um corpo hídrico pode ser usada como uma variável a determinar a qualidade da água, pois quanto mais reduzida for à concentração de OD, pode-se dizer que mais poluído o curso d'água se encontra (PRADO, 1999).

Os valores de CV registrados foram de 20 Uc para o período chuvoso e 14 Uc para o período menos chuvoso, provavelmente por conta da influência dos sólidos suspensos presente na coluna d'água.

O PT apresentou valor medio de 170 µg/L para período chuvoso e valor médio de 246 µg/L, para o período menos chuvoso. Essa elevação na concentração de PT pode ser associada à fontes difusas; esgoto doméstico provenientes das ocupações as margens do reservatório Bolonha.

Silva (2010) registrou valores referente ao PT de 0,36 mg/L e 0,14 mg/L, máximo e mínimo respectivamente, para o período chuvoso. Ribeiro (1992) encontrou valor de PT 0,38 mg/L para o período chuvoso. Os valores de PT encontrados no presente trabalho apresentaram-se mais elevados, o que pode evidenciar também um aumento, no decorrer dos anos, da disponibilidade do mesmo para a coluna d'água.

No que diz respeito aos valores de PT encontrados em reservatórios eutrofizados, Buzelli et al. (2013) reportaram valores médios de PT que variaram entre 0,21 mg/L a 0,08 mg/L, para o período menos chuvoso e chuvoso respectivamente, no reservatório de Barra Bonita em São Paulo. O acúmulo desse nutriente no período menos chuvoso tende a ser mais elevado, o que evidencia também o aumento da disponibilidade desse parâmetro na coluna d'água.

Deve-se considerar que a avaliação do PT é de extrema importância, pois ele é um indicador da eutrofização artificial dos corpos de água e, conforme Ling e Nyanti Lee (2013), um nutriente limitante. No entanto, a entrada antropogênica do fósforo no ambiente resulta em um aumento na sua concentração. Assim, tem sido fator responsável pela eutrofização em lagos e reservatórios em diferentes partes do mundo.

As variáveis CA, SST, turbidez e IET apresentaram diferenças significativas (P<0,05) entre os período chuvoso e menos chuvoso.

Obteve-se valor médio de CA de 60,7 Uc para o período chuvoso e 32 Uc para o período menos chuvoso, o que denota que esta variação dos períodos é decorrente do aumento da degradação de material vegetal para o reservatório Bolonha. Os valores máximos apresentados foram encontrados no período chuvoso, provavelmente devido a presença de partículas suspensas que se encontram presentes na coluna d'água, contribuindo assim para a turvação na água do reservatório Bolonha. A pesquisa desenvolvida por Vasconcelos (2010) encontrou valor de 81,71 Uc para o período chuvoso.

O valor de turbidez encontrado no reservatório foi de 20 UNT no período chuvoso e de 9 UNT período menos chuvoso. Quando se compara os dados obtidos para o reservatório Bolonha com os dados de Silva (2010), observa-se também o maior valor de 25,4 UNT para o período chuvoso e menor valor de 2,25 UNT para o período menos chuvoso. A turbidez esteve mais elevada no período chuvoso, onde há um maior carregamento de sedimento para o reservatório.

Em ambientes eutrofizados, a alta da turbidez pode ser causada pelos altos níveis de matéria orgânica. Baptista et al. (2010) verificaram no lago Paranoá em Brasília, valor de turbidez para o período chuvoso de 48,5 NTU, visto que o ambiente enquadra-se em hipereutrófico. Nogueira (2015) encontrou valor máximo de turbidez de 44 NTU (para o período chuvoso) e valor mínimo de 3,8 NTU (para o período de seca) do reservatório Rio Claro em Goiás, enquadrado como supereutrófico. Silva (2016) registrou valor de turbidez de 55 NTU para o Rio Cubatão do Sul em Santo Amaro da Imperatriz/SC, sendo este hipereutrófico. Neste último conclui-se que os valores elevados de turbidez acarretam implicações para o ecossistema aquático, dificultando a penetração dos raios solares, desfavorecendo a fotossíntese e diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido nas águas.

Os SST apresentaram valores de 10 mg/L para o período chuvoso e 3,2 mg/L para o período menos chuvoso, possivelmente por conta do arraste de material ocasionado pela chuva para o reservatório Bolonha.

O reservatório Bolonha apresenta problemas com arraste de nutrientes e contaminantes, e a degradação do ambiente aquático está associada ao transporte de sedimentos devido à recirculação da água.

Os resultados correspondentes ao IET-médio apresentaram valores na faixa de 54 – 74, classificando o reservatório como eutrófico para o período chuvoso e menos chuvoso.

Os IET apresentaram valores médios de 62 para o período chuvoso e 73 para o período menos chuvoso, possivelmente por conta da elevada produção de nutrientes, causando possíveis implicações negativas para a qualidade da água. Gonçalves et al. (2015) classificou

o reservatório Bolonha como hipereutrófico, o qual é associado às elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes.

Silva (2006) avaliou a qualidade da água com relação ao estado trófico no reservatório de Jacarecica (SE) e constatou que o mesmo apresenta tendência oligotrófica a eutrófica, tendo seu estado trófico alterando mais ao final do período de estiagem e início do período chuvoso, atribuindo a entrada de nutrientes através do escoamento superficial proveniente de fertilizantes.

5.1.2 Fracionamento do fósforo

Com relação à especiação das frações de fósforo, pode-se observar na Tabela 2 o resumo da estatística descritiva. O Quadro 12 apresenta o teste de Mann Whitney realizado para o período chuvoso e menos chuvoso, referente ao comportamento de fósforo no reservatório Bolonha.

Tabela 2: Levantamento preliminar do Fracionamento do Fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.

Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Chuvoso (2016)									
AMOSTRA	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
AM-01	250	110	140	40	10	30	210	100	110
AM-02	120	90	30	30	30	0	90	60	30
AM-03	140	70	70	30	30	0	110	40	70
AM-04	170	90	80	30	20	10	140	70	70
AM-05	200	90	110	90	50	40	110	40	70
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	250	110	140	90	50	40	210	100	110
MÉDIA	170	90	80	30	30	10	110	60	70
MÍNIMO	120	70	30	30	10	0	90	40	30
DP	51,3	14,1	41,6	26,1	14,8	18,2	47,1	24,9	28,3
CV (%)	30,2	15,7	52,0	86,9	49,4	181,7	42,8	41,5	40,4
Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Menos Chuvoso (2016)									
AMOSTRA	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
AM-01	380	80	300	130	10	50	250	70	180
AM-02	250	30	220	70	30	40	180	0	180
AM-03	210	40	170	90	40	50	120	0	120
AM-04	110	30	80	10	20	20	100	10	90
AM-05	280	50	230	10	10	40	270	40	230
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	380	80	300	130	40	50	270	70	230
MÉDIA	246	46	200	62	22	40	184	24	160
MÍNIMO	110	30	80	10	10	20	100	0	90
DP	98,6	20,7	81,5	52,2	13,0	12,2	75,7	30,5	55,2
CV (%)	40,1	45,1	40,8	84,1	59,3	30,6	41,1	127,1	34,5

***Legenda:** fósforo total (PT), fósforo orgânico total (POT), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo total particulado (PTP), fósforo inorgânico particulado (PIP), fósforo orgânico particulado (POP).

Quadro 12: Avaliação do teste de Mann Whitney para as frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.

Frações	Valores do Teste	Probabilidade e Significância de P	Conclusão do Teste para $\alpha=5\%$
PT	N Mediana PC 5 170,0 PMC 5 250,0 W = 21,5 IC(96,3%)(-210,1;60,0)	0,2506	H₀ = aceita hipótese
PIT	N Mediana PC 5 90,00 PMC 5 40,00 W = 39,0 (96,3%)(10,01;69,99)	0,0216	H₀ = rejeita hipótese
POT	N Mediana PC 5 80,00 PMC 5 220,00 W = 17,5 IC(96,3%)(-220,0;-0,0)	0,4072	H₀ = aceita hipótese
PTD	N Mediana PC 5 30,00 PMC 5 70,00 W = 26,5 IC(96,3%)(-99,98;30,01)	0,9168	H₀ = aceita hipótese
PID	N Mediana PC 5 30 PMC 5 20 W = 30,5 IC(-96,3%)(-19,99;30,0)	0,6015	H₀ = aceita hipótese
POD	N Mediana PC 5 7,00 PMC 5 7,00 W = 24,0 IC(-96,3%)(-3,001;0,900)	0,5309	H₀ = aceita hipótese
PTP	N Mediana PC 5 10,00 PMC 5 40,00 W = 18,0 IC(-96,3%)(-50,01;0,01)	0,0601	H₀ = aceita hipótese
PIP	N Mediana PC 5 110,0 PMC 5 180,0 W = 22,0 IC(-96,3%)(-160,0;40,0)	0,2963	H₀ = aceita hipótese
POP	N Mediana PC 5 60,00 PMC 5 10,00 W = 35,5 IC(-96,3%)(-14,001;-5,000)	0,1172	H₀ = aceita hipótese

***Legenda:** fósforo total (PT), fósforo orgânico total (POT), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo total particulado (PTP), fósforo inorgânico particulado (PIP), fósforo orgânico particulado (POP).

Figura 8: Especificação do fósforo no reservatório Bolonha A) período chuvoso e B) menos chuvoso.

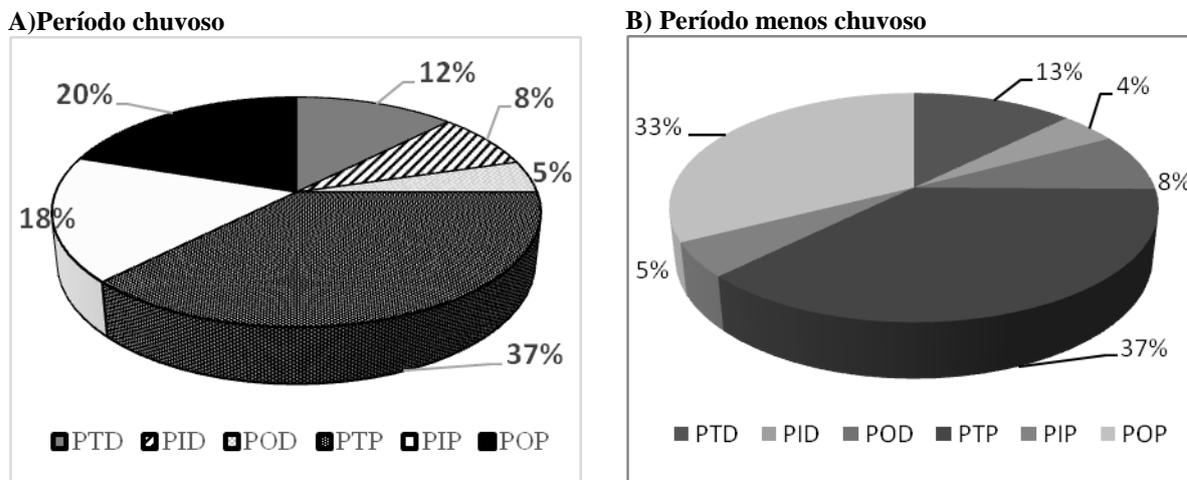
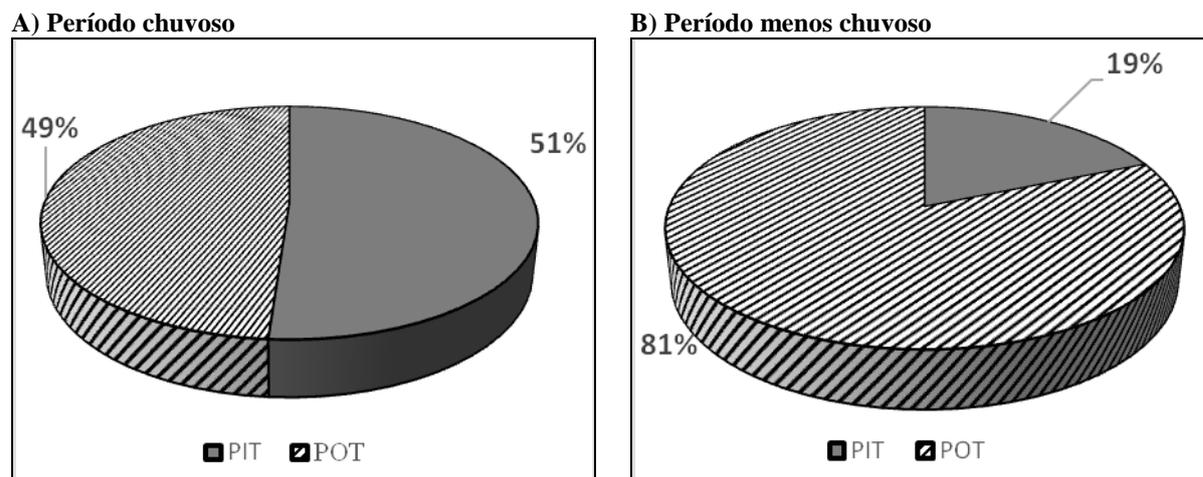


Figura 9: Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no Reservatório Bolonha A) período chuvoso e B) menos chuvoso.



O teste Mann Whitney apontou que as frações PT, POT, PTD, PID, POD, PTP, PIP e POP não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para período chuvoso e período menos chuvoso. O teste revelou através do valor ρ que não houve diferença significativa das frações de fósforo na comparação sazonal, para um nível de significância de 5%.

Esse fenômeno é dependente das condições de mistura que podem manifestar-se no reservatório Bolonha, por ocorrência da recirculação do fósforo no ambiente aquático e pela sedimentação, decomposição e assimilação vegetal.

Em se tratando da especificação do fósforo no reservatório Bolonha e considerando a forma particulada e dissolvida, foi verificado um valor de PTD de 18% para o período chuvoso e de 5% para o período menos chuvoso

A distribuição do POD, PID e PTP na camada do epilímnio⁴ apresentou, respectivamente, valores de 5%, 8 % e 37% para ambos os períodos chuvoso e menos chuvoso. O PID para o período chuvoso apresentou valor de 8% e o período menos chuvoso 4%. Em ambos os períodos, pode-se constatar que a fração PTP está representando uma parcela de 37%.

Na camada do epilímnio observa-se um valor superior para o PTP, seguido do PTD, PID e POD. No período chuvoso, os níveis de precipitação podem ter favorecido o aumento na concentração do material em suspensão. Em relação ao PTD, pode-se verificar que a maior parte desta variável não foi dissolvida na massa d'água.

Na Plataforma Continental do Amazonas, Santos (2004) verificou o período de diminuição das descargas das frações de fósforo do rio Amazonas, onde observou o comportamento das frações PID, PTP, POD, e PTD. A autora constatou que as concentrações de PID apresentaram-se baixas, reportando que o ambiente não se demonstra impactado em relação a esse nutriente. As concentrações do POD foram inferiores ao do PID, indicando uma pequena contribuição do POD na fração PTD.

Paula Filho et al. (2012) reportaram as concentrações de PTD, PTP, PTD, PT, POD e PID, observando que a fração PTD foi inferior a PTP para Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI e a contribuição do PTD para o PT apresentou tendência de redução. Houve um predomínio da fração particulada sobre a forma dissolvida. Entre as formas dissolvidas de fósforo, houve predomínio da fração orgânica POD e o PID apresentou baixas concentrações.

Considerando as parcelas do fósforo, tanto na origem orgânica quanto na inorgânica, do reservatório Bolonha, a parcela de PIT é de 49% para o período chuvoso e 81% para o período menos chuvoso. Analisando as parcelas de POT para o período chuvoso, obteve-se um valor de 51% e de 19% para o período menos chuvoso. Nota-se que no período menos chuvoso houve maior fração inorgânica sobre a orgânica, onde se conclui que a matéria orgânica quase não é decomposta.

5.2 Caracterização temporal diária da qualidade da água superficial do reservatório Bolonha no ano de 2017, considerando período chuvoso e menos chuvoso.

Os resultados da avaliação temporal da qualidade da água superficial e a estatística descritiva podem ser observadas nas Tabela 3 e Tabela 4. O Quadro 13 apresenta o teste de Mann Whitney.

⁴ Em limnologia, chama-se epilímnio a primeira camada superficial, de corpo aquático.

Tabela 3:Comportamento temporal da qualidade da água para o período chuvoso de 2017.

Campanha 1	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,47	31,9	8,2	74	417,15	1,65	1810
MÉDIA	6,33	30,75	5,70	49,3	360,11	1,27	271,39
MÍNIMO	6,23	28,6	3,6	40,9	304,2	0,92	70
DP	0,05	0,95	1,11	7,42	28,564	0,18	283,89
CV (%)	7,6	30,8	194,5	150,5	79,32	145,8	1046,1
Campanha 2	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	7,2	31,1	4,6	58,1	485,55	1,31	480
MÉDIA	6,36	28,78	3,25	39,03	415,03	0,99	151,94
MÍNIMO	6,03	26,4	2,2	35,5	349,2	0,76	20
DP	0,27	1,45	0,45	5,52	35,6	0,12	76,90
CV (%)	45,27	55,09	206,02	155,49	85,8	160,66	3844,88
Campanha 3	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,28	229,5	4,4	65,5	494,68	1,4	200
MÉDIA	6,2	35,3	4,1	39,8	402,6	1,2	116,7
MÍNIMO	6,05	27,7	3,6	37,4	329,4	1	60
DP	0,06	33,30	0,19	5,48	56,3	0,13	35,94
CV (%)	9,07	942,94	46,82	137,73	139,80	107,86	308,03
Campanha 4	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,7	31,3	5,2	59,6	567,37	1,2	713,3
MÉDIA	6,4	29,9	4,2	45,2	479,12	1,1	190,1
MÍNIMO	5,9	27,9	3,5	39,6	369,39	0,9	80,0
DP	0,16	1,01	0,36	5,22	54,5	0,08	105,79
CV (%)	24,56	33,67	85,15	115,61	113,66	73,37	556,50
Media Geral	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	7,2	32	8,2	74	567,4	1,7	1810
MÉDIA	6,4	30	4,1	43,1	414,2	1,1	191
MÍNIMO	5,9	26	2,2	36	304,2	0,8	20
DP	0,2	1,5	1,2	7,4	62,0	0,2	167
CV (%)	33	50	293	171	149,6	160,8	871

***Legenda:** fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD).

Tabela 4: Comportamento temporal diário da qualidade da água para o período menos chuvoso de 2017.

Campanha 1	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,91	31,7	4,4	89,1	507,6	1,09	410
MÉDIA	6,41	30,24	3,64	47,18	383,56	1,04	133,06
MÍNIMO	5,31	27,7	3	40,3	276,75	0,9	40
DP	0,321	0,957	0,301	10,638	66,67	0,040	67,562
CV (%)	50,08	31,63	82,56	225,47	173,8	38,88	507,78
Campanha 2	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,65	33,7	6,9	65,3	448,2	1,3	490
MÉDIA	6,23	30,5	4,68	39,7	366,56	1,0	218,9
MÍNIMO	6,08	27,3	3	34,2	323,55	0,75	90
DP	0,126	2,26	1,28	6,0	27,20	0,161	85,9
CV (%)	20,2	74,2	274,2	150,90	84,06	154,7	392,7
Campanha 3	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,36	32,2	4,1	55,6	476,1	1,3	940
MÉDIA	6,2	30,4	3,5	40,5	442,6	1,1	389,4
MÍNIMO	6,05	28,7	2,7	36,3	405,45	1,03	50
DP	0,1	1,1	0,4	3,8	17,42	0,1	194,5
CV (%)	10,15	37,53	101,78	92,84	39,36	71,81	499,45
Campanha 4	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	6,31	96,57	5,07	50,80	441,7	1,28	380,00
MÉDIA	6,21	32,06	4,09	39,99	371,8	1,11	232,07
MÍNIMO	6,15	27,90	3,33	37,27	317,3	0,96	116,67
DP	0,04	11,1	0,51	3,4	38,81	0,10	67,1
CV (%)	6,46	347,32	124,93	85,10	104,38	88,16	289,31
Media Geral	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Vazão	Disco Secchi	PT
		°C	(mg/L ⁻¹)	(µS/cm)	(L/s)	(m)	(µg/L)
N	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	6,9	96,6	6,9	89,1	508	1,3	940,0
MÉDIA	6,3	30,8	4,0	41,8	97	1,1	243,4
MÍNIMO	5,3	27,3	2,7	34,2	1	0,8	40,0
DP	0,2	5,7	0,9	7,2	169	0,1	148,0
CV (%)	30,9	185,7	214,0	173,0	1753	103,3	608,2

***Legenda:** fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD).

Quadro 13: Avaliação temporal do teste de Mann Whitney para qualidade da água superficial do reservatório Bolonha, para o período chuvoso e menos chuvoso de 2017.

Variável	Valores do Teste	Probabilidade e Significância de P	Conclusão do Teste para $\alpha=5\%$
pH	N Mediana PC 144 6,3233 PMC 144 6,2200 W = 24097,0 IC (95%)(0,0500;0,1100)	0,0000	H₀= rejeitar hipótese
OD	N Mediana PC 144 3,8167 PMC 144 3,8000 W = 20564,0 IC (95%)(-0,2000;0,1667)	0,7304	H₀ = aceitar hipótese
CE	N Mediana PC 144 41,850 PMC 144 39,250 W = 21118,0 IC (95%)(-0,867;2,466)	0,6614	H₀ = aceitar hipótese
Disco de secchi	N Mediana PC 144 1,0583 PMC 144 1,0783 W = 20159,0 IC (95%) (0,0500;0,1100)	0,3592	H₀ = aceitar hipótese
PT	N Mediana PC 144 160,00 PMC 144 208,33 W = 18106,5 IC (95%)(-60,01; -19,99)	0,0001	H₀ = rejeitar hipótese

***Legenda:** Condutividade elétrica (CE); fósforo total (PT); oxigênio dissolvido (O D).

O teste de Mann Whitney apontou que as variáveis OD, CE e disco de secchi (transparência) não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) para período chuvoso e menos chuvoso.

Os níveis de OD observados no reservatório Bolonha oscilaram em $4,1 \text{ mg/L}^{-1}$ no período chuvoso e $4,0 \text{ mg/L}^{-1}$ no período menos chuvoso. Os valores de OD possivelmente é devido ao aumento da lixiviação de substâncias que, através de sua decomposição, propiciam o consumo de oxigênio da massa d'água.

O reservatório encontra-se eutrofizado devido ao excesso de nutrientes, o que eleva as florações de algas, acarretando no aumento do processo fotossintético. No reservatório Bolonha foi encontrado valores de saturação OD de 43,48% para o período chuvoso e de 42,42% para o período menos chuvoso. Com a eutrofização, há a proliferação excessiva de algas que em seguida morrem e são decompostas por microorganismos aeróbios. A ação desses organismos faz diminuir o teor de oxigênio na água (ESTEVEES, 2011).

Pode-se então analisar as alterações de OD quanto aos estudos desenvolvidos no reservatório Bolonha. Silva (2010) e Vasconcelos (2010) obtiveram valores de OD para o

período chuvoso de 8,0 mg/L⁻¹ e 2,2 mg/L⁻¹; e, para o período menos chuvoso, 1,2 mg/L⁻¹ e 1,2 mg/L⁻¹.

Comparando com os referidos dados da pesquisa de Silva (2010), pode-se observar que houve uma redução de 5% de OD no período menos chuvoso; já para o período chuvoso, pode-se encontrar um aumento de OD de 41 %. Na pesquisa de Vasconcelos (2011) encontra-se redução de 33% para o período menos chuvoso e aumento de 86% para o período chuvoso.

A CE variou de 43,1 µS/cm para o período chuvoso e de 41,8 µS/cm para o período menos chuvoso. Esses valores podem ser devido ao lançamento de efluentes orgânicos nas proximidades do reservatório. Sodré (2007) encontrou valores de CE para o reservatório Bolonha de 132 µS/cm (para o período chuvoso) e 44 µS/cm (para o período menos chuvoso). Comparando os valores de CE com os dados de Sodré (2007), pode-se verificar que, para o período menos chuvoso, obteve-se uma redu o da CE de 31% e um aumento de 97% para o período chuvoso. Estes valores elevados no reservatório Bolonha podem ser devido ao lançamento orgânico proveniente das atividades realizadas na área de entorno do reservatório. Cruz (2003) salienta que os valores de CE podem detectar algumas fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos.

A transparência da água encontra-se geralmente relacionada com a quantidade de material, tanto particulado quanto dissolvido, presente na coluna d'água, mantendo uma rela o direta com a produ o autóctone e com as entradas alóctones que ocorrem no ambiente (WETZEL, 1993). Essa rela o foi observada no período chuvoso quando se obteve uma menor transparência da água e concentra es mais elevadas de material em suspensão no reservatório.

As  guas do reservatório Bolonha apresentam um grau de turva o considerável que afeta diretamente na transparência de sua  gua. Abanez e Mattos (2007) ressaltam que há presença de materiais em suspensão, como partículas de solo e resíduos orgânicos; geralmente entram no corpo hídrico em razão da ocorrência do processo erosivo de material orgânico e inorgânico, presentes no lançamento do esgoto doméstico.

O teste Mann Whitney apontou que as variáveis pH e fósforo apresentaram diferença ($p < 0,05$) para período chuvoso e período menos chuvoso.

O pH encontra-se na faixa de 6,4 para o período chuvoso e 6,3 para o período menos chuvoso. Relacionadas às altera es de pH referente as pesquisas elaboradas no reservatório Bolonha, para Silva (2010) houve uma redu o no valor de pH de 70 % (no período menos chuvoso), porém no período chuvoso o aumento do pH foi de 98 %. Para avalia o com o estudo de Vasconcelos (2011) houve uma redu o de 20% para o período chuvoso.

No geral, a média de PT para o período chuvoso foi de 191 $\mu\text{g/L}$; já para o período menos chuvoso, a média foi de 243,4 $\mu\text{g/L}$. Gonçalves et al. (2015) encontraram valor médio de PT de 0,115 mg/L no período menos chuvoso. A média anual de PT obtida por Silva (2010) foi de 0,19 mg/L, sendo este valor maior do que o valor obtido por Pereira (2007), de 0,09 mg/L; e menor que o valor de PT detectado por Ribeiro (1992), de 0,38 mg/L. De modo geral, as concentrações de PT dentro do reservatório Bolonha podem estar associadas a fontes difusas, provenientes das ocupações às margens do mesmo.

Considerado como um dos principais causadores da eutrofização em ecossistemas aquáticos, o PT é também pode ser considerado um importante parâmetro para ambiente aquático eutrofizado.

5.3 Fracionamento do fósforo

Com relação à especiação das frações de fósforo, pode-se observar na Tabela 5 e 6 o resumo da estatística descritiva. O Quadro 14 apresenta o teste de Mann Whitney realizado para o período chuvoso e menos chuvoso. As Figuras 10, 11, 12 e 13 apresentam os gráficos referentes ao comportamento do fósforo no reservatório Bolonha em 2016.

O teste de Mann Whitney revelou que houve diferença significativa das frações de fósforo entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, através dos valores ρ . O teste demonstrou que as frações do fósforo analisadas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) menor que o nível de significância de 5%.

A presença de fósforo é evidente em ambos os períodos. Entretanto, essa diferença transcorre possivelmente por alguns fenômenos que são distintos em ambos os períodos. No período chuvoso, o efluente, que é lançado no canal próximo ao reservatório, acaba por sofrer processo de diluição e os níveis de fósforo tendem a ser mais baixo além do fator de retenção do fósforo no corpo d'água. O ambiente passa a acumular fósforo até que haja saturação. No período menos chuvoso, o fósforo pode ter sido originado por meio da decomposição de matéria orgânica presente no esgoto que é lançado diretamente no reservatório, incluindo a entrada de material particulado oriundas da adução de água do rio Guamá.

Tabela 5: Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Chuvoso (2016)

Campanha 01	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	966	958	194	73	73	24	267	146	170
MÉDIA	215	143	72	27	27	9	100	54	63
MÍNIMO	145	37	8	3	3	1	10	6	7
DP	133,12	150,59	40,67	15,25	15,25	5,08	55,9	30,5	35,6
CV (%)	618,14	1054,08	561,00	561,00	561,00	561,00	561,00	561,00	561,00
Campanha 02	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	1445	765	680	255	255	85	935	510	595
MÉDIA	298	158	140	53	53	18	193	105	123
MÍNIMO	60	32	28	11	11	4	39	21	25
DP	353,8	187,3	166,5	62,4	62,4	20,8	228,9	124,9	145,7
CV (%)	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3	1188,3
Campanha 03	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	482	255	227	85	85	28	312	170	198
MÉDIA	271	143	128	48	48	16	175	96	112
MÍNIMO	145	77	68	26	26	9	94	51	60
DP	82,52	43,68	38,83	14,56	14,56	4,85	53,39	29,12	33,98
CV (%)	304,51	304,51	304,51	304,51	304,51	304,51	304,51	304,51	304,51
Campanha 04	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	361	191	170	64	64	21	234	128	149
MÉDIA	179	95	84	32	32	11	116	63	74
MÍNIMO	41	21	19	7	7	2	26	14	17
DP	64,12	33,95	30,18	11,32	11,32	3,77	41,49	22,63	26,40
CV (%)	359,13	359,13	359,13	359,13	359,13	359,13	359,13	359,13	359,13
Media Geral	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	144	144	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	1445	958	680	255	255	85	935	510	595
MÉDIA	241	135	106	40	40	13	146	80	93
MÍNIMO	41	21	8	3	3	1	10	6	7
DP	199,6	124,3	92,7	34,8	34,8	11,6	127,5	69,5	81,1
CV (%)	829	924	874	874	874	874	874	874	874

***Legenda:** fósforo total (PT), fósforo orgânico total (POT), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo total particulado (PTP), fósforo inorgânico particulado (PIP), fósforo orgânico particulado (POP).

Tabela 6: Fracionamento do Fósforo do reservatório Bolonha – Período: Menos Chuvoso (2016)

Campanha 01	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	1513	283	1230	381	135	246	1132	148	984
MÉDIA	554	104	450	140	50	90	414	54	360
MÍNIMO	148	28	120	37	13	24	110	14	96
DP	257,21	48,10	209,11	64,83	23,00	41,82	192,39	25,09	167,29
CV (%)	464,5	464,50	464,50	464,50	464,50	464,50	464,50	464,50	464,50
Campanha 02	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	672	126	547	169	60	109	503	66	437
MÉDIA	315	59	256	79	28	51	236	31	205
MÍNIMO	124	23	100	31	11	20	92	12	80
DP	116,82	21,84	94,97	29,44	10,45	18,99	87,37	11,40	75,98
CV (%)	370,93	370,93	370,93	370,93	370,93	370,93	370,93	370,93	370,93
Campanha 03	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
MÁXIMO	70,7	35,4	35,4	47,7	16,9	30,8	141,5	18,5	123,0
MÉDIA	87,3	43,7	43,7	58,9	20,9	38,0	174,7	22,8	151,9
MÍNIMO	24,1	12,0	12,0	16,2	5,8	10,5	48,2	6,3	41,9
DP	85,22	42,61	42,61	57,44	20,38	37,06	170,4	22,23	148,2
CV (%)	975,8	975,8	975,8	975,8	975,8	975,8	975,8	975,8	975,8
Campanha 04	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD (µg/L)	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	36	36	36	36	36	36	36	36	36
MÁXIMO	756	141	615	191	68	123	74	74	492
MÉDIA	374	70	304	94	33	61	36	36	243
MÍNIMO	85	16	69	21	8	14	8	8	55
DP	102	18,98	82,52	25,58	9,08	16,50	9,903	9,90	66,02
CV (%)	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15
Media Geral	PT (µg/L)	PIT (µg/L)	POT (µg/L)	PTD (µg/L)	PID (µg/L)	POD ()	PTP (µg/L)	PIP (µg/L)	POP (µg/L)
N	144	144	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	1513	283	1230	381	135	246	1132	148	984
MÉDIA	332	69	263	93	33	60	215	36	240
MÍNIMO	24	12	12	16	6	10	8	6	42
DP	232	42	194	57	20	37	191	22	146
CV (%)	697	610	736	610	610	610	889	610	610

***Legenda:** fósforo total (PT), fósforo orgânico total (POT), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo total particulado (PTP), fósforo inorgânico particulado (PIP), fósforo orgânico particulado (POP).

Quadro 14: Avaliação do teste de Mann Whitney para as frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso de 2016.

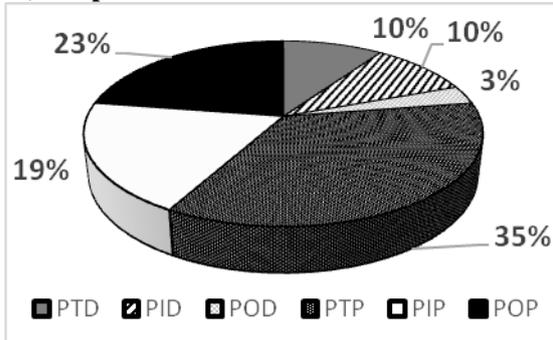
Frações	Valores do Teste	Probabilidade e Significância de P	Conclusão do Teste para $\alpha=5\%$
PT	N Mediana PC 144 192,67 PMC 144 318,51 W = 17429,0 IC(95,0%)(-133,67;-66,96)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
PIT	N Mediana PC 144 109,29 PMC 144 61,21 W = 27267,0 IC(95,0%)(39,83;57,85)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
POT	N Mediana PC 144 90,67 PMC 144 246,0 W = 15654,0 IC(95,0%)(- 182,66;-129,66)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
PTD	N Mediana PC 144 34,00 PMC 144 82,50 W = 13339,0 IC(95,0%)(-54,73;-39,27)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
PID	N Mediana PC 144 34,00 PMC 144 29,275 W = 22612,0 IC(95,0%)(0,952;8,227)	0,0107	H₀ = rejeitar hipótese
POD	N Mediana PC 144 11,333 PMC 144 53,228 W = 21,5 IC(95,0 %)(-45,718;-36,632)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
PTP	N Mediana PC 144 124,67 PMC 144 177,57 W = 19064,0 IC(95,0%)(-72,12;-7,36)	0,0136	H₀ = rejeitar hipótese
PIP	N Mediana PC 144 68,00 PMC 144 31,94 W = 28138,0 IC(95,0%)(28,75;39,89)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese
POP	N Mediana PC 144 79,33 PMC 144 212,91 W = 12799,0 IC(96,3%)(-149,20;-111,14)	0,0000	H₀ = rejeitar hipótese

***Legenda:** fósforo total (PT), fósforo orgânico total (POT), fósforo total dissolvido (PTD), fósforo inorgânico dissolvido (PID), fósforo orgânico dissolvido (POD), fósforo total particulado (PTP), fósforo inorgânico particulado (PIP), fósforo orgânico particulado (POP).

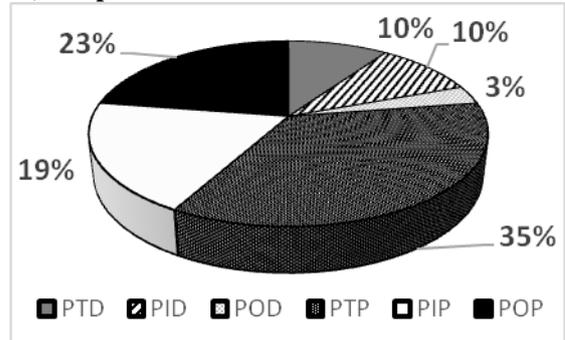
São demonstradas nas Figuras 10 e 11 as especificações das frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso do reservatório Bolonha.

Figura 10: Especiação do fósforo no reservatório Bolonha campanhas período chuvoso

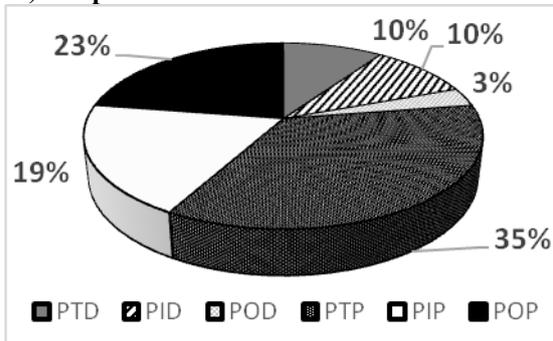
A) campanha 1



B) campanha 2



C) campanha 3



D) campanha 4

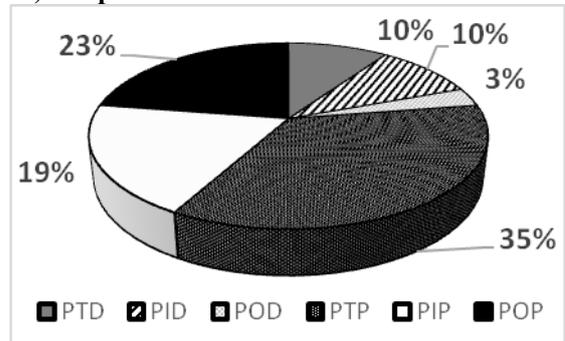
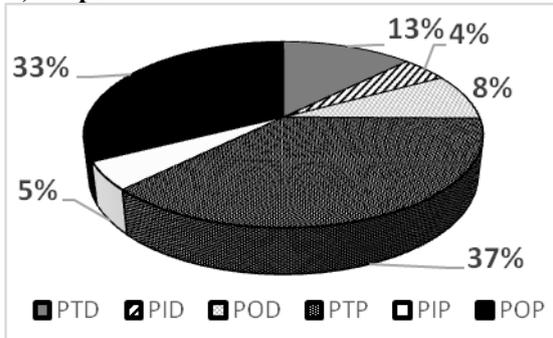
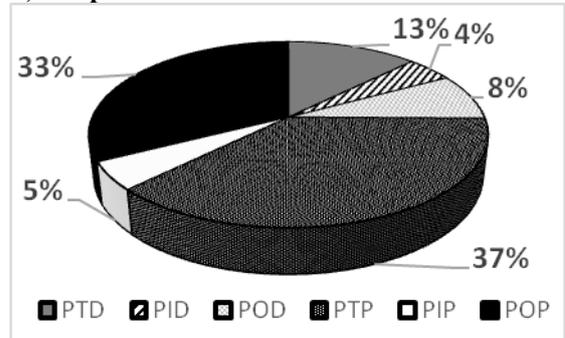


Figura 11: Especiação do fósforo no Reservatório Bolonha período menos chuvoso.

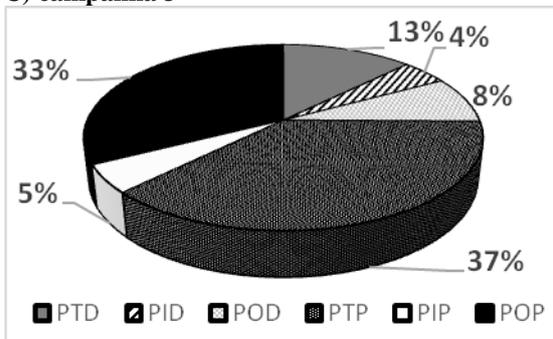
A) campanha 1



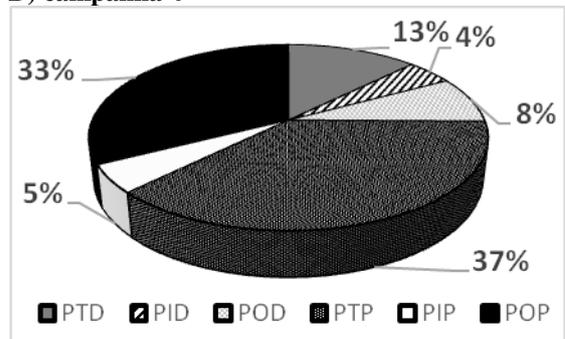
B) campanha 2



C) campanha 3



D) campanha 4



As concentrações de PT para o período chuvoso foram de 241 µg/L, enquanto para o período menos chuvoso foi de 332 µg/L. Estes valores apresentados podem ser considerados elevados, quando comparados aos dados de outras pesquisas como a de: Pereira (2007), que encontrou valor de 0,09 mg/L; Silva (2010), que obteve valor de 0,19 mg/L; Gonçalves et al. (2015) que verificaram valor de 0,115 mg/L. Isso permite caracterizar a área em estudo como um ambiente impactado em relação a esse nutriente, verificando uma tendência de aumento no período menos chuvoso.

Estudos realizados em lagos por Santos et al. (2006) e Slusarki et al. (2013) verificaram maiores teores de PT sempre nos períodos correspondentes aos eventos pluviométricos menos intensos. Pesquisa também realizada por Nogueira (2015) apresentou teores elevados de PT no reservatório Rio Claro-GO (sempre acima de 0,09 mg/L), havendo tendência para aumento nos meses de verão. Estes provavelmente se devem aos níveis dos lagos e reservatórios estarem mais baixos, o que favorece uma suspensão de material de fundo, devido ação dos ventos na camada superficial.

A média da concentração de PTP mostrou-se predominante no ambiente aquático do reservatório Bolonha, com média 215 µg/L (para o período chuvoso) e 146 µg/L (para o período menos chuvoso), compondo até 35% e 37%, respectivamente, do conteúdo total do fósforo na coluna d'água. A concentração do PTD foi, a todas as campanhas, inferior a PTP e apresentou média de 40 µg/L e 93 µg/L para o período chuvoso e menos chuvoso respectivamente.

A predominância da parcela de PTP sobre a parcela de PTD indica que o fósforo carregado no fundo do reservatório apresentou um elevado tempo de retenção e foi se acumulando no sedimento. Esse fósforo volta a coluna d'água pelo processo de recirculação na forma mais expressiva de PTP.

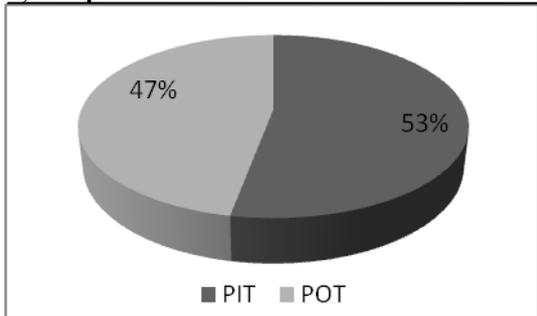
No presente estudo, os valores médios do POD no período chuvoso 13 µg/L e 60 µg/L foram maiores que os verificados para o PID (40 µg/L e no período menos chuvoso 33 µg/L), sugerindo que o PID não está sendo limitante para material orgânico. A média da concentração de POD encontrada nos reservatórios Água Preta e Bolonha por Barbosa et al. (2015) foi de 0,06 mg/L. Os autores observaram que a distribuição da concentração do POD foi, de maneira geral, inversa a distribuição do PT, o que indica a liberação dessa última forma pela decomposição da forma orgânica.

As frações POT e PIT são demonstradas nas Figuras 12 e 13, onde podem ser observadas as especificações das frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso do reservatório Bolonha.

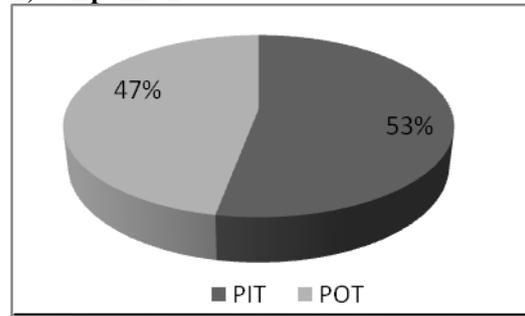
As frações POT e PIT são demonstradas nas Figuras 12 e 13, onde podem ser observadas as especificações das frações de fósforo para o período chuvoso e menos chuvoso do reservatório Bolonha.

Figura 12: Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no reservatório Bolonha período chuvoso.

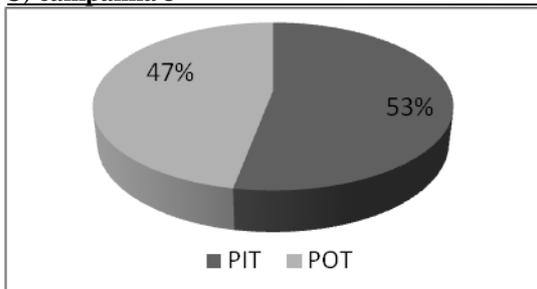
A) campanha 1



B) campanha 2



C) campanha 3



D) campanha 4

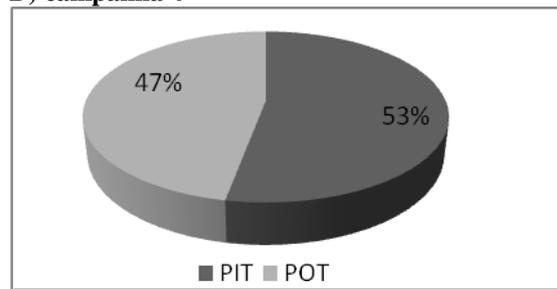
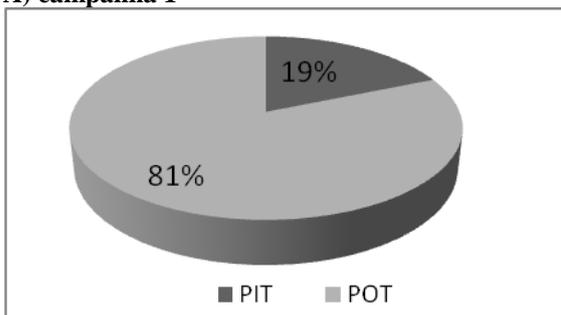
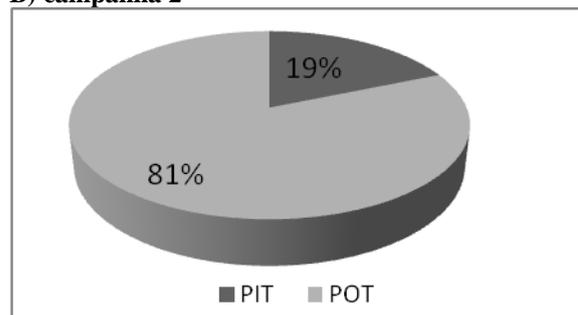


Figura 13: Porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico no reservatório Bolonha período menos chuvoso.

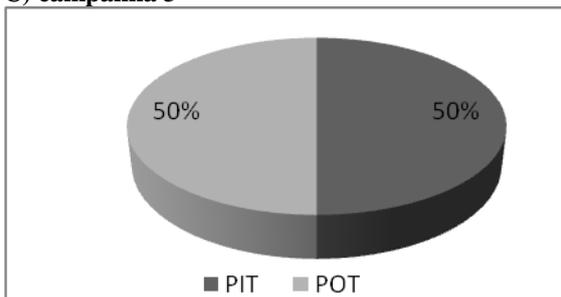
A) campanha 1



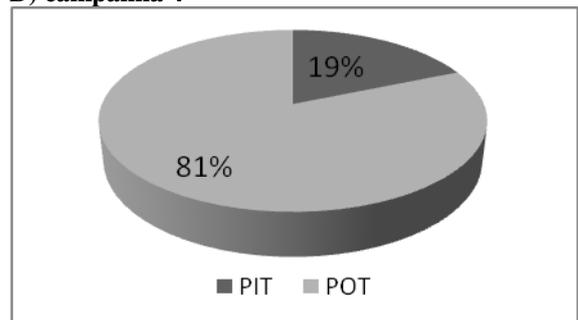
B) campanha 2



C) campanha 3



D) campanha 4



Verificou-se que as concentrações de PIT apresentaram valores de 53% e 19%, para o período chuvoso e menos chuvoso respectivamente. A distribuição do PIT teve um comportamento baixo no período menos chuvoso, equivalente a 69 µg/L se comparar com os 135 µg/L do período chuvoso. O POT por sua vez apresentou valores médios iguais a 106 µg/L e 263 , para o período chuvoso e menos chuvoso respectivamente.

Houve uma tendência muito equilibrada no estoque das frações de fósforo para o período chuvoso, já o período menos chuvoso tem-se um aumento da fração POT de (81%). Na terceira campanha do período menos chuvoso, nota-se que as frações demonstraram um comportamento semelhante. Este comportamento pode significar que o reservatório apresenta uma maior capacidade no processo de mineralização do POT, uma vez que é através de substâncias orgânicas que ocorrer a conversão para inorgânica.

A Análise de Componentes Principais (PCA) confirmou as principais associações verificadas na matriz de correlação para as frações de fósforo, tanto no período chuvoso quanto no período menos chuvoso, apresentada na Tabela 7. Como resultado, foram obtidas quatro componentes principais significativas: duas componentes referentes ao período chuvoso e duas componentes referentes ao período menos chuvoso que, em conjunto, explicaram a variância total do período chuvoso e menos chuvoso apresentada na Tabela 8.

Tabela 7:Matriz de correlação de Pearson para frações de fósforo período chuvoso e período menos chuvoso.

Frações de fósforo período: chuvoso (2017)								
	PT	PIT	POT	PTD	PID	POD	PTP	PIP
PIT	0,941							
POT	0,891	0,684						
PTD	0,891	0,684	1,000					
PID	0,891	0,684	1,000	1,000				
POD	0,891	0,684	1,000	1,000	1,000			
PTP	0,891	0,684	1,000	1,000	1,000	1,000		
PIP	0,891	0,684	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
POP	0,891	0,684	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Frações de fósforo período: menos chuvoso (2017)								
	PT	PIT	POT	PTD	PID	POD	PTP	PIP
PIT	0,996	0,875						
POT	0,914	1,000	0,875					
PTD	0,914	1,000	0,875	1,000				
PID	0,914	1,000	0,875	1,000	1,000			
POD	0,682	0,806	0,640	0,806	0,806	0,806		
PTP	0,914	1,000	0,875	1,000	1,000	1,000	0,806	
PIP	0,914	1,000	0,875	1,000	1,000	1,000	0,806	1,000

Na Tabela 7, todas as variáveis apresentam correlação superior a 0,5. Segundo Helena et al. (2000), coeficientes de correlação superior a 0,5 expressam forte relação entre as variáveis presente na água.

Constata-se correlação forte e positiva entre as frações PIT- PTP ($r=0,9$) e PIT-POD ($r=0,8$); as correlações no período chuvoso a partir da fração de POT são muito fortes. Para o período chuvoso os pares de POT- PTD, PTD-POD e PID-PIP apresentaram alta correlação entre si ($r= 1,000$).

As frações POD-PTP demonstram a ligação existente entre as diversas formas do fósforo com a transformação do PTP para o POD ou fosfato; Considerado como o maior reservatório de fósforo, o POD é uma fonte de fósforo biologicamente disponível para os microorganismos no ecossistema (SANTOS et al., 2008).

No que diz respeito ao período menos chuvoso, o PT ($r = 0,996$), PIT ($r = 0,875$), POT ($r = 0,875$) e POD ($r=0,806$) são as frações que melhor explicam seu comportamento guardando valores positivos de correlação. A correlação entre PTP e POD positiva demonstra a ligação existente entre as formas do fósforo com a transformação do PTP para POD.

No que diz respeito à análise multivariada, os componentes principais (CP) obtidos a partir das variáveis de estudo para o período chuvoso e menos chuvoso são mostradas na Tabela 8, bem como os fatores originados das frações de fósforo após aplicação do algoritmo varimax, sendo consideradas as componentes principais CP1 e CP2.

Tabela 8:Fatores do componente principais e cargas fatoriais rotacionadas pelo algoritmo varimax para os períodos chuvoso e menos chuvoso.

	Componentes principais				Variável	Componentes fatoriais			
	Período chuvoso (2017)		Período menos chuvoso (2017)			Período chuvoso (2017)		Período menos chuvoso (2017)	
Variável	CP1	CP2	CP1	CP2	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2	
PT	0,324	-0,436	0,327	0,428	PT	0,629	-0,777	0,500	0,814
PIT	0,265	-0,810	0,345	-0,047	PIT	0,329	-0,944	0,754	-0,509
POT	0,343	0,148	0,316	0,521	POT	0,914	-0,407	0,433	-0,862
PTD	0,343	0,148	0,345	-0,047	PTD	0,914	-0,407	0,754	-0,509
PID	0,343	0,148	0,345	-0,047	PID	0,914	-0,407	0,754	-0,509
POD	0,343	0,148	0,345	-0,047	POD	0,914	-0,407	0,754	-0,509
PTP	0,343	0,148	0,285	-0,730	PTP	0,914	-0,407	0,404	-0,273
PIP	0,343	0,148	0,345	-0,047	PIP	0,914	-0,407	0,754	-0,509
POP	0,343	0,148	0,345	-0,047	POP	0,914	-0,407	0,754	-0,509
Autovalor	8,368	0,631	8,335	0,452					
Proporção	0,930	0,070	0,926	0,050					
Acumulado	0,930	1,000	0,926	0,976					

Inicialmente foram realizadas análises de componentes principais para os períodos chuvoso e menos chuvoso. A primeira componente CP1 explica 93% da variância total enquanto a CP2 explica 7%, demonstrando que a componente 1 possui a maior porcentagem de relevância com o conjunto de informação, demasiadamente importante para explicação do fracionamento do fósforo no reservatório Bolonha, no período chuvoso.

Pela análise, foi verificado que, para o período menos chuvoso, a CP1 e CP2 explicaram, respectivamente, 92,60% e 5% da variância total.

Segundo Liu et al. (2003), fatores que apresentam peso superior a 0,75 são indicativos de forte carga entre as frações. Na análise de carga fatorial, as frações POT, POD, PID, PTP, PIP e POP referentes ao período chuvoso apresentaram carga fatorial superior a 0.75, indicando que estes são fortes indicativos da variação das frações de fósforo no reservatório Bolonha.

O Fator 1 representa possivelmente o aumento da matéria orgânica em função do processo de sedimentação que ocorre no reservatório, contribuindo para a proliferação de macrofitas no corpo hídrico, ocasionados pelo escoamento superficial especialmente em épocas de maior precipitação. Esta relação torna-se mais explicativa ainda pelo fato da área de estudo tratar-se da bacia hidrográfica do Murutucum, onde se encontra o reservatório Bolonha. A ocupação residencial pode ter contribuído para a aceleração dos processos de sedimentação, devido a retirada da cobertura vegetal juntamente com a proliferação de macrofitas flutuantes no reservatório, em virtude ao despejo de substâncias que podem estar alimentando o sistema, contribuindo para processo de eutrofização (ARAÚJO JR, 2015).

O Fator 2 foi explicado pela PIT, que também pode estar associado ao escoamento superficial, bem como a deposição de esgotamento sanitário. Para o período menos chuvoso, as frações mais relevantes foram de PT, PIT e PTP. O fator 1, que foi explicado pela fração de PIT, torna-se expressivo possivelmente pela presença de matéria orgânica; o fator 2 foi explicado pela fração de PT, devido a grande presença de efluentes.

O período menos chuvoso apresenta uma diminuição da lâmina d'água, decorrente de menores índices pluviométricos. Para manter o nível de água do reservatório Bolonha e Água Preta, torna-se necessário a adução de água do rio Guamá. Tem-se como consequência desta adução a elevação do aporte de nutrientes, pelo fato das águas do rio Guamá abastecer o reservatório com cerca de 90% do volume de água, portanto, todas as alterações verificadas vêm imprimindo modificações na qualidade de água do reservatório.

A análise realizada para período chuvoso e menos chuvoso apresentou o mesmo fator de poluição. No período chuvoso, verificou-se uma forte relação com o escoamento

superficial; já o período menos chuvoso tem-se influência do ciclo hidrológico do reservatório Bolonha, na quantidade e qualidade das suas águas.

5.3.1 Comportamento temporal das frações de fósforo

Para analisar o comportamento das frações de fósforo, foram desenvolvidos gráficos de controle para o período chuvoso e menos chuvoso. Os gráficos de controle apresentados nesta pesquisa representam observações individuais ao longo do tempo, usados para rastrear o nível do processo e para detectar a presença de causas especiais, já que o tamanho das amostras são grandes. Na Figura 14 e 15 são apresentados os gráficos de controle referentes ao período chuvoso e menos chuvoso, respectivamente, para cada fração de fósforo.

Os gráficos de controle referentes ao período chuvoso demonstram que, no decorrer do monitoramento, três campanhas apresentaram-se dentro do limite de amplitude, com exceção das campanhas 01 e 02. A campanha 02 foi a que sinalizou o maior número de frações fora dos limites de controle.

No período chuvoso é possível observar nas amostras coletadas no início e meio da tarde, que os dados apresentaram desconformidade devido ao acúmulo de fósforo no reservatório. Dois fenômenos podem estar influenciando estes picos: a) primeiro porque, possivelmente, há uma tendência de ter maior valor de vazão devido a contribuição pluviométrica; b) e a mesma somada com a vazão pluvial da área verde que acaba por apresentar arraste de fósforo para o reservatório. Com isso, o tempo de detenção hidráulico torna-se menor e eleva o arraste de material. Pois então, o fósforo que não sedimentou, possivelmente, acabou por ser perceptível nestes picos.

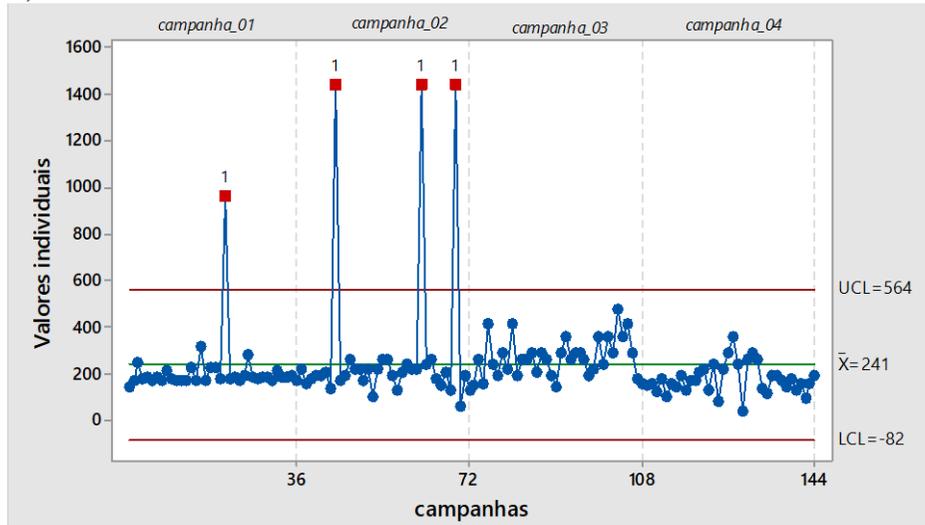
Outro ponto é o tempo de retenção do fósforo no corpo d'água. Isto é, o ambiente passa a acumular fósforo e, quando há saturação, o mesmo acaba sendo liberado. Essa percepção pode ser verificada nesses picos.

A carga orgânica que é lançada no reservatório Bolonha pode influenciar nesta variação, porém os níveis de contribuição tendem a serem menores devido os níveis de precipitação serem elevados em torno de 95,8 mm segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (IMET). Esta carga orgânica que é lançada eventualmente sofre uma diluição significativa e acumula-se com a carga já presente no reservatório.

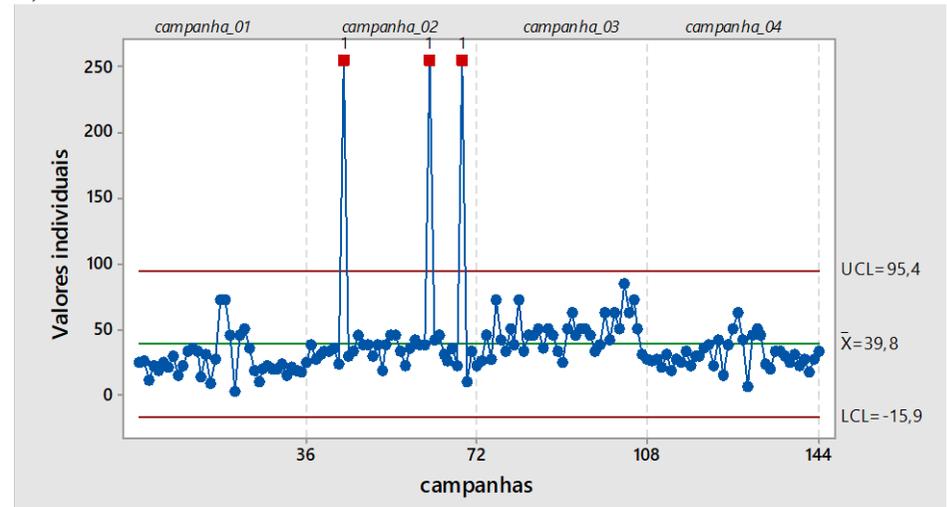
Na sequência tem-se a Figura 15 que apresenta os gráficos de controle referentes ao período menos chuvoso.

Figura 14: Gráficos de controles para as frações de fósforo período chuvoso-2016.

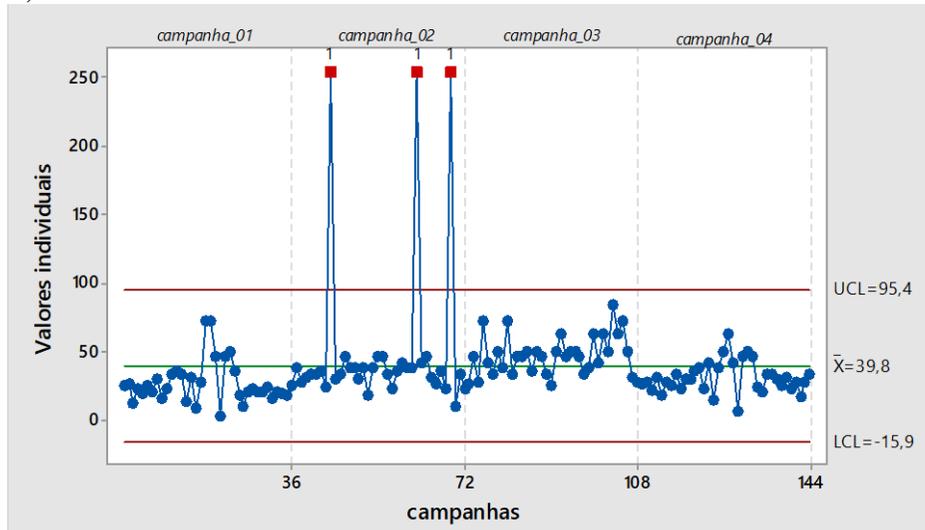
A) PT



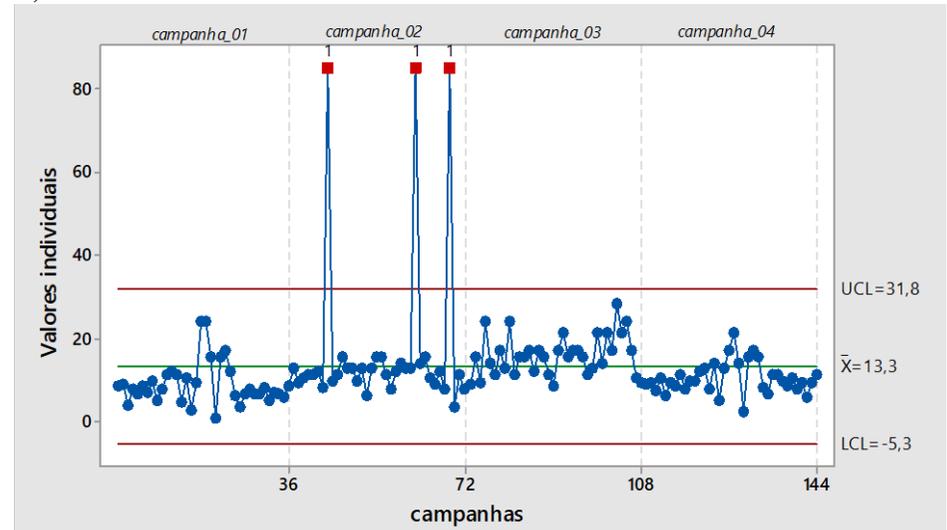
B) PTD



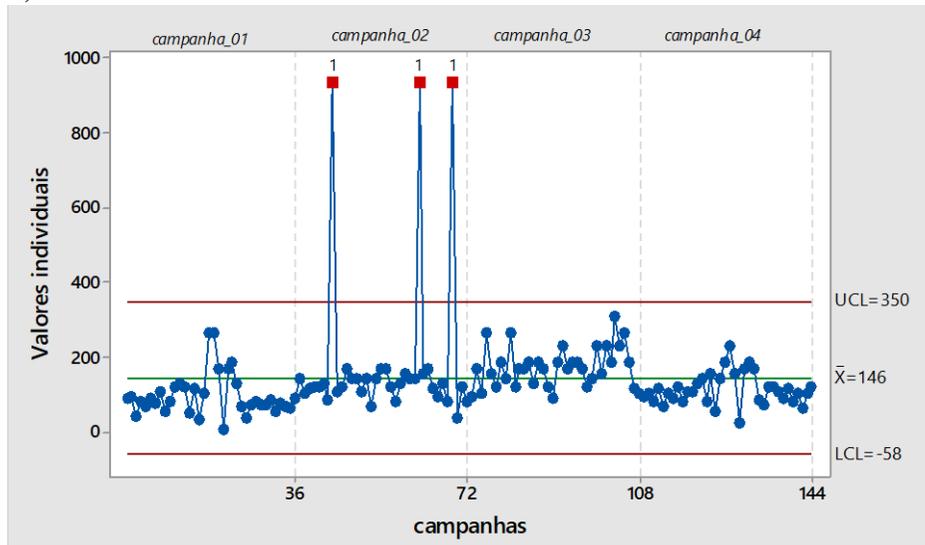
C) PID



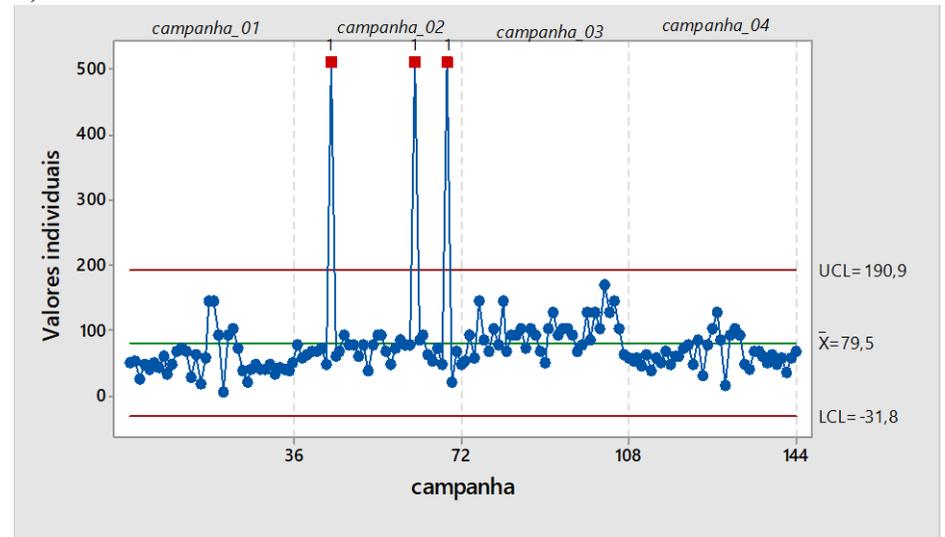
D) POD



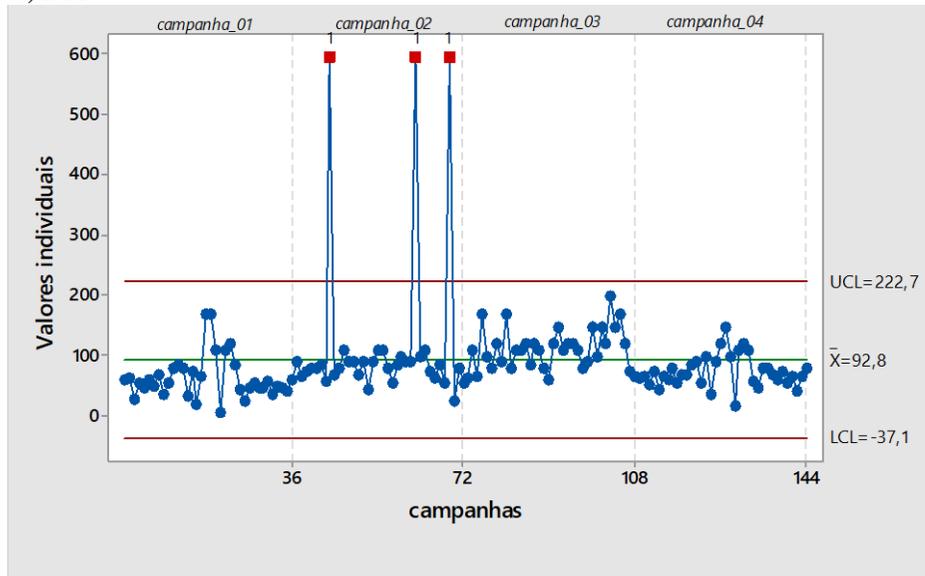
E) PTP



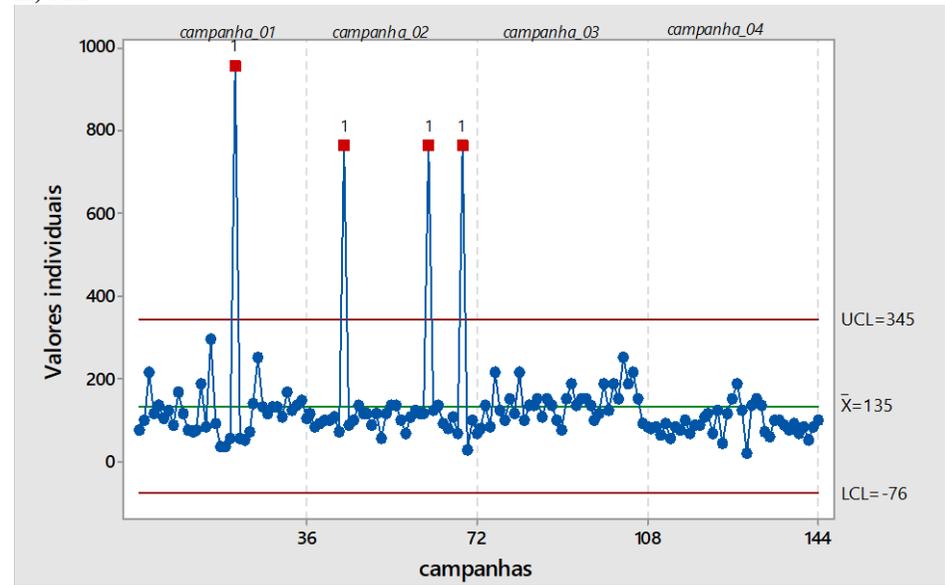
F) PIP



G) POP



H) PIT



I) POT

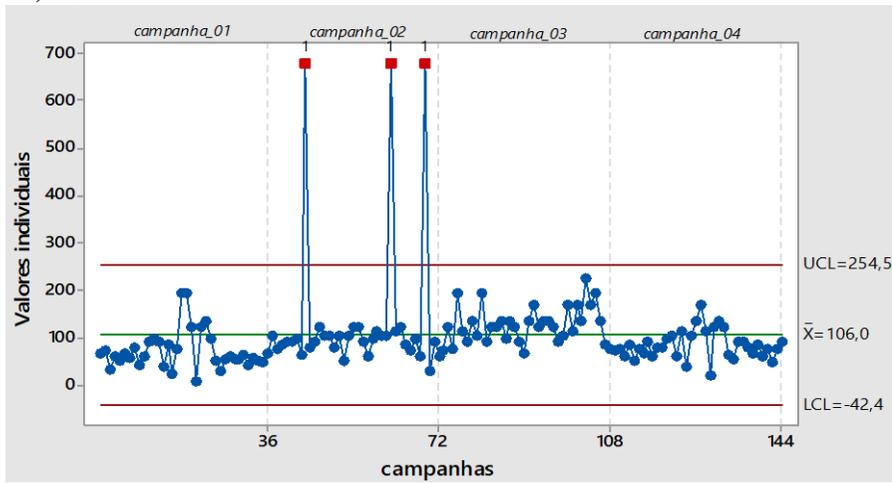
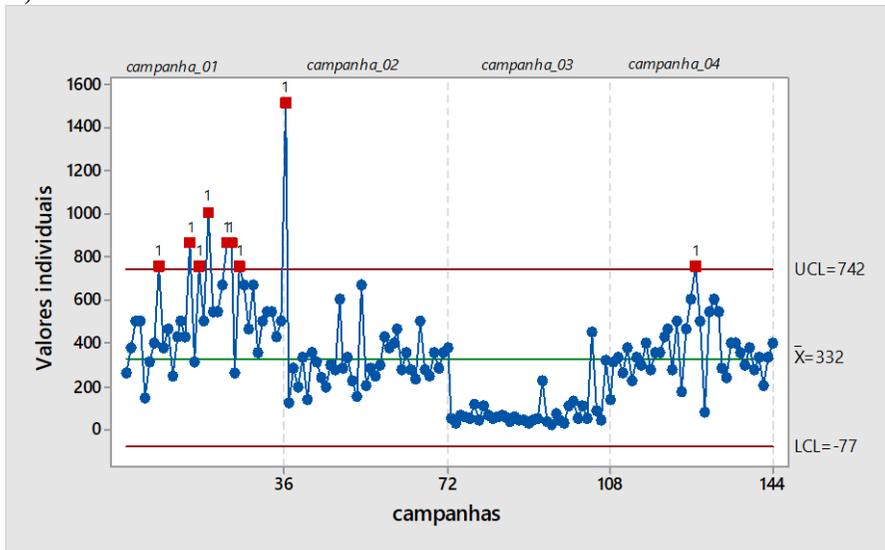
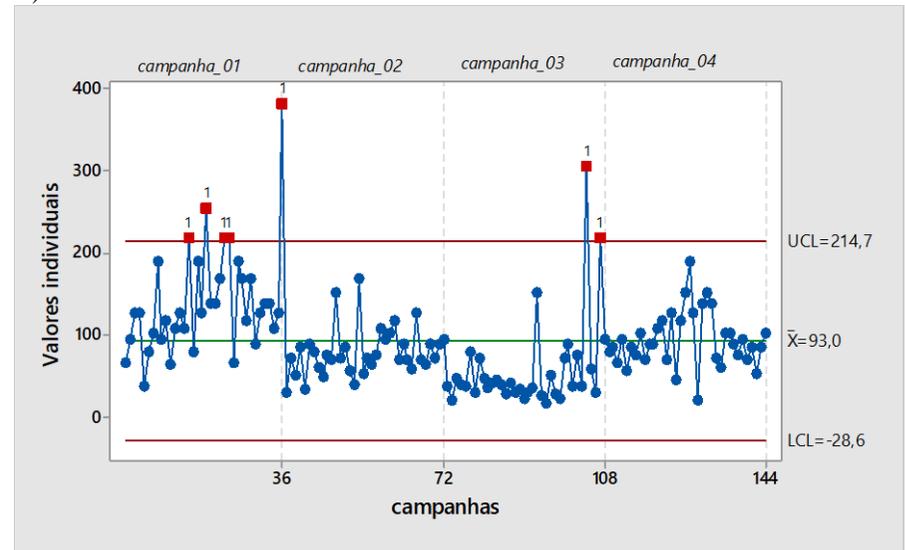


Figura 15: Gráficos de controles para as frações de fósforo período menos chuvoso-2016.

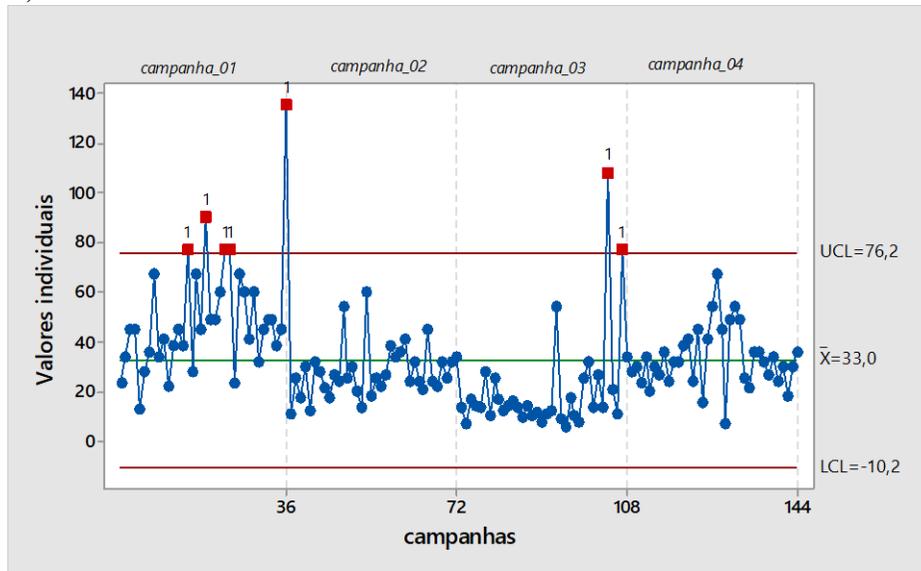
A) PT



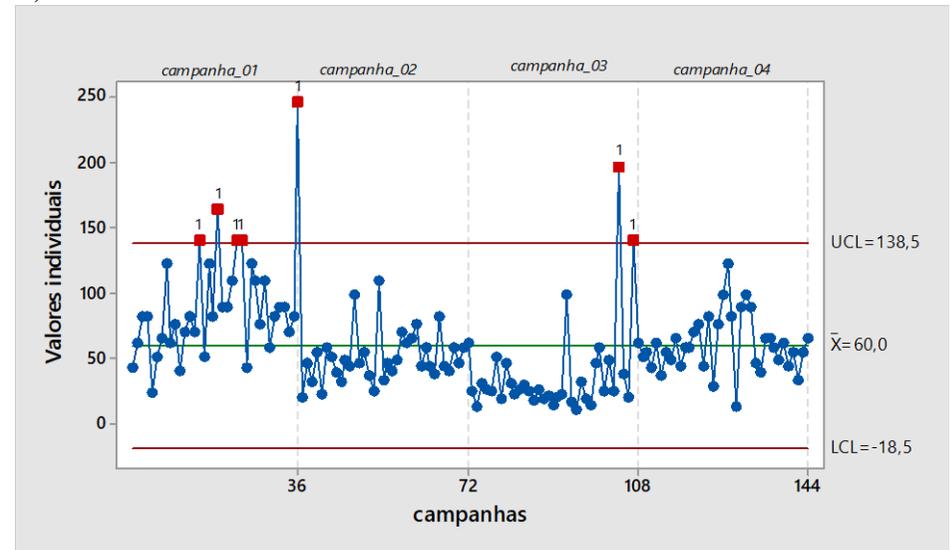
B) PTD



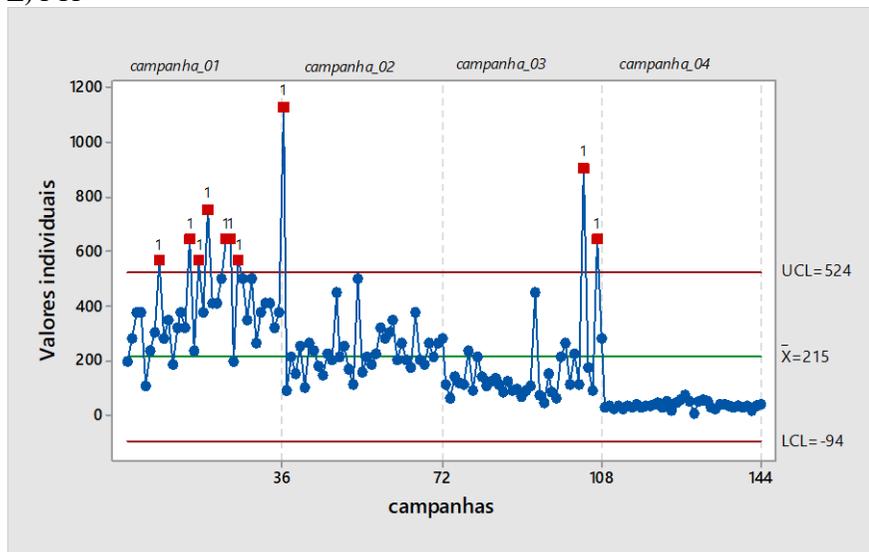
C) PID



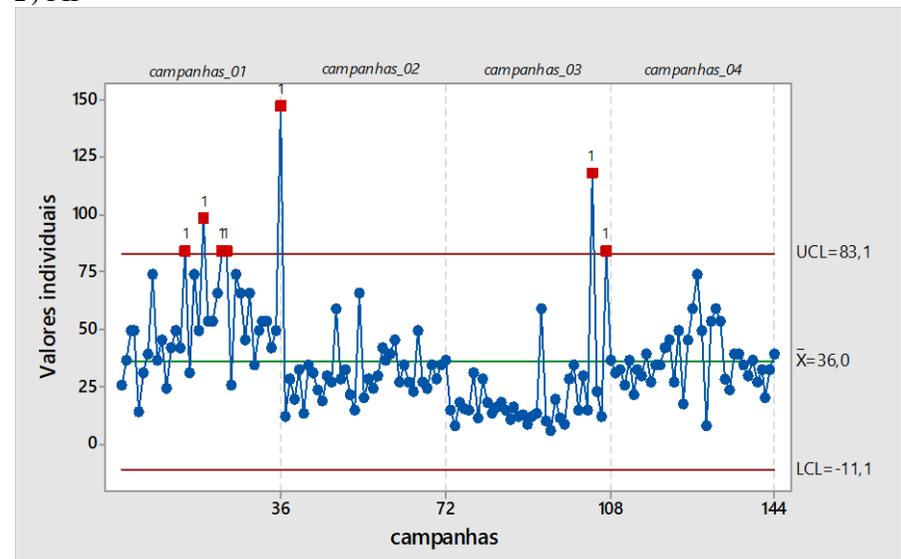
D) POD



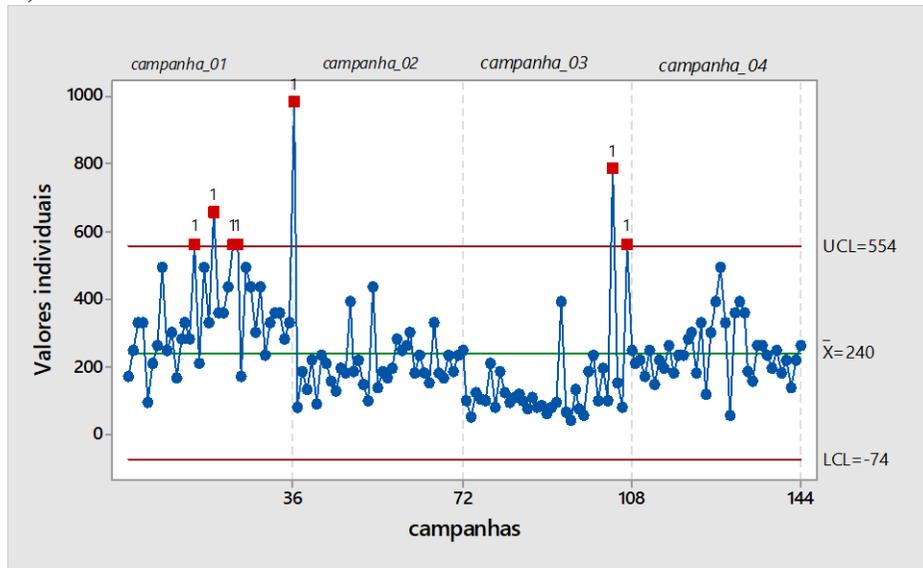
E) PTP



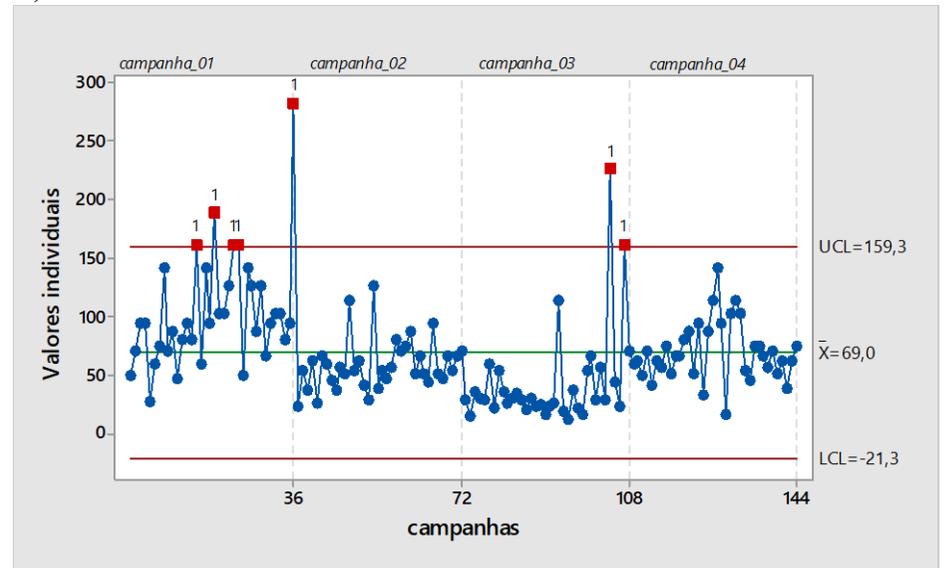
F) PIP



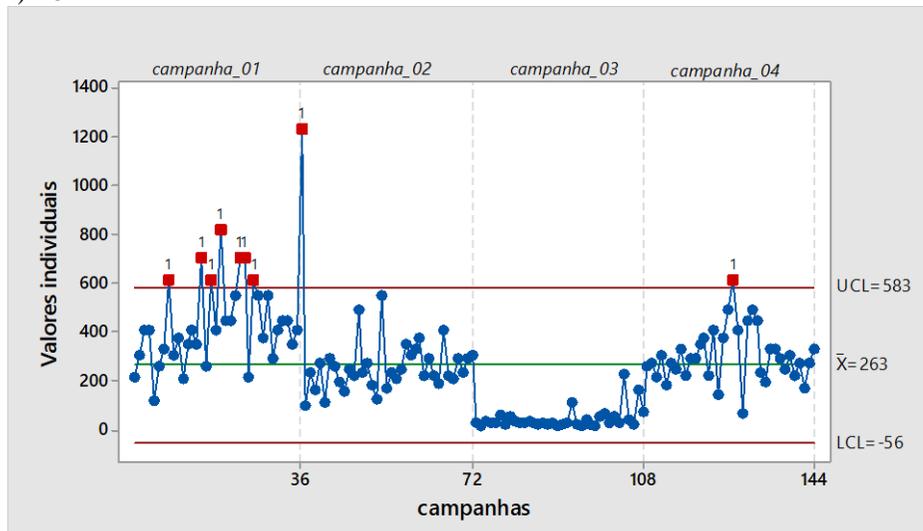
G) POP



H) PIT



I) POT



Os gráficos de controle referentes ao período menos chuvoso, demonstram que no decorrer do monitoramento, três campanhas apresentaram picos de fósforos. As campanhas 01,03 e 04 foram as que demonstraram o maior número de frações fora dos limites de controle.

Esses picos de fósforo foram identificados no período da manhã e tarde, reportados por algumas hipóteses: fontes externas e internas de fósforo e capacidade de assimilação do fósforo pelas algas.

No período menos chuvoso pode-se verificar que o mesmo é menos suscetível ao controle, os picos indicam que os valores apresentam-se fora de controle. O lançamento de efluente no reservatório Bolonha é mais expressivo, contribuindo para aumento do aporte de fósforo no corpo d'água, no qual pode ser observado nestes picos.

No período menos chuvoso o esgoto que é lançado no reservatório Bolonha é mais concentrado e expressivo, contribuindo para aumento do aporte de fósforo no corpo d'água, no qual pode ser observado nestes picos.

No período menos chuvoso os níveis de água do reservatório Bolonha tende a sofrer uma diminuição do seu volume, tornando-se necessária a adução das águas do sistema ETA-Bolonha (rio Guamá- reservatório Água Preta). Possivelmente essa adução acaba por elevar as concentrações de fósforo no reservatório.

De acordo com Sodré (2007), no período menos chuvoso ocorre um rebaixamento do nível de água do reservatório, o que confere uma menor profundidade levando a ação dos ventos. Possivelmente isto pode favorecer a ressuspensão de sedimentos para coluna d'água e a presença do fósforo venha a se tornar disponível, sendo detectado nestes picos e reportado em todas as frações.

Outro fenômeno seria possivelmente a assimilação do fósforo pelas algas e macrofitas que, segundo Esteves (2011), pode ser decorrentes de altas temperaturas que contribuem para o aumento do metabolismo dos organismos, fazendo com que o fósforo presente no ambiente tende a ser assimilado e incorporado mais rapidamente na biomassa – o que favorecendo a eutrofização no ambiente. Pode-se estimar através do monitoramento temporal que 0,00685 µg/L de fósforo não foi assimilado pelas algas, sendo detectado nos picos e expressados em todas as formas.

5.4. Avaliação do IET do reservatório Bolonha

Os IET calculados para a água superficial do reservatório Bolonha estão apresentados na Tabela 9 e 10.

Tabela 9: Estatística descritiva para os dados IET para período chuvoso

Campanha 01	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	966	2	96	103	84	59	79	4,2
MEDIA	215	1	73	80	74	57	69	0,73
MININO	145	1	68	76	72	53	66	0,169
DP	133,12	0,17	4,50	4,49	1,89	1,88	2,24	0,69
CV	618,14	133,13	61,43	55,76	25,37	33,25	32,60	943,7
Campanha 02	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	1445	1	101,7	109,1	86,4	64,0	84,5	1,3
MEDIA	298	1	74	82	75,0	60	71	0,40
MININO	60	1	55,9	63,2	67,1	56,1	61,6	0,05
DP	353,8	0,1	9,3	9,3	3,9	1,8	4,5	0,21
CV	1188,3	123,5	124,6	113,3	52,1	29,4	63,9	3981,17
Campanha 03	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	482	1	86	93	76	60	75	1,3
MEDIA	271	1	77	84	72	58	71	0,40
MININO	145	1	68	76	69	55	67	0,05
DP	82,52	0,13	4,40	4,39	1,85	1,49	2,11	0,21
CV	304,51	107,86	57,15	52,11	25,59	25,74	29,66	536,85
Campanha 04	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	34	36	36	36	36	36
MAXIMO	361	1	82	89	78	61	73	1,8
MEDIA	179	1	71	78	73	59	68	0,50
MININO	41	1	50	58	65	57	58	0,2
DP	64,12	0,08	5,92	5,76	2,42	1,06	2,94	0,28
CV	359,13	73,37	83,99	73,95	33,03	18,11	43,01	548,01
Media Geral	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	144	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	1445	2	102	109	86	64	85	4,3
MÉDIA	241	1	74	81	75	58	70	0,50
MÍNIMO	41	1	50	58	65	53	58	0,1
DP	199,6	0,2	6,7	6,7	2,8	2,1	3,4	0,4
CV (%)	829	146	90	82	37	35	48	824,8

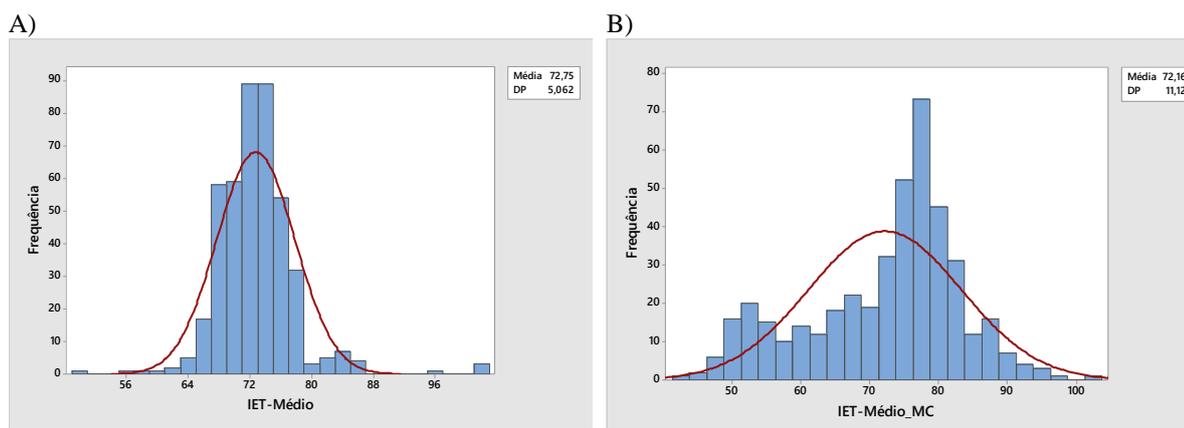
*Legenda: Disco Secchi (DS)

Tabela 10: Estatística descritiva para os dados IET para período menos chuvoso.

Campanha 01	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	1513	1,24	102	109	86	60	56	26
MEDIA	554	1,10	86	93	80	58	51	1,51
MININO	148	0,94	69	76	73	56	45	0,11
DP	257	0,08	6,46	6,45	2,71	1,06	2,11	5,05
CV	464	73	74	68	33,90	18	41,26	3346,39
Campanha 02	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	672	490	90	98	81	64	79	1,34
MEDIA	315	2,18	78	86	76	59	72	0,60
MININO	124	90	66	73	71	56	66	0,269
DP	116	85	5,27	5,27	2,21	2,29	2,67	0,3
CV	370	392	66,89	61,12	28,83	38,36	36,69	409,2
Campanha 03	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	70	1,3	85	92	79	59	75	2,83
MEDIA	87	1,13	57	65	67	58	61	1,1
MININO	24	1,03	42	50	61	56	53	0,154781
DP	85	0,08	9,18	9,17	3,85	1,02	4,61	0,6
CV	975	71	159	141	56,78	17	74	519,01
Campanha 04	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	36	36	36	36	36	36	36	36
MAXIMO	756	1,28	92	99	82	60	78	1,24
MEDIA	374	1,11	81	88	77	58	74	0,73
MININO	85	0,96	60	68	69	56	62	0,41
DP	102	0,10	5,77	5,76	2,42	1,28	2,92	0,2
CV	27	88	70	65	31,13	21	39	288,58
Media Geral	PT	DS	IET-P_C	IET-P_T	IET-P_L	IET-DS	IET-Médio	Nível de trófia
	(µg/L)	(m)						mg P/L
N	144	144	144	144	144	144	144	144
MÁXIMO	1513	1	102	110	87	64	67	26,3
MÉDIA	332	1	76	83	76	59	56	1,0
MÍNIMO	24	1	43	50	62	56	22	0,1
DP	232	0	13	13	5	2	13	2,5
CV (%)	697	104	170	155	72	27	233	2577,3

Através dos histogramas na Figura 16 pode-se observar o comportamento temporal do IET no reservatório Bolonha durante o período chuvoso e menos chuvoso. Quanto ao desvio padrão, os valores obtidos mostram-se mais elevados no período menos chuvoso, onde teve seu estado trófico oscilando de eutrófico e hipereutrófico. Já o enquadramento do período chuvoso, também é eutrófico e hipereutrófico.

Figura 16: Histogramas médio do IET para o a) período chuvoso e b) menos chuvoso.



O enquadramento do reservatório Bolonha se deu da seguinte forma: no período chuvoso 46,53% dos dados determinados foram eutróficos e 53,47% hipereutrófico; e no período menos chuvoso 50,70% dos dados se enquadram como hipereutrófico e 49,30% eutrófico. O IET médio obteve uma variação de 70 para o período chuvoso e 56 para o menos chuvoso. Os resultados das médias do IET permitiram classificar o reservatório Bolonha como um ambiente eutrófico, tanto no período chuvoso quanto no menos chuvoso.

O IET-PT_L permitiu classificar o reservatório Bolonha como um ambiente que oscila entre hipereutrófico e eutrófico. Para período chuvoso o valor foi de 71, e para o período menos chuvoso valor detectado foi de 76. Já a classificação do IET-PT_T para o período chuvoso, o valor foi de 81 e para o período menos chuvoso o valor foi de 83, classificando o reservatório como hipereutrófico. Logo a classificação do IET-PT_C para o período chuvoso, o valor foi de 74 e para o período menos chuvoso o valor foi de 76, classificando o reservatório como eutrófico para ambos os períodos.

Para o período chuvoso o IET classificou as águas do reservatório como eutrófico e hipereutrófico. Este resultado pode ser influenciado por existir um maior carreamento de sedimentos para o reservatório neste período. Para o período menos chuvoso, o IET classificou o reservatório como eutrófico, podendo ser verificado que o reservatório passa por um elevado enriquecimento de nutrientes, uma vez que para todos os campos a classe eutrófica aparece.

Essa mesma classificação foi obtida por Santos et al. (2014) para o reservatório Água Preta, enquadrando-se como eutrófico; o menor valor encontrado foi de 54,95, em abril e o maior valor foi de 62,25 em junho. Em semelhante situação, Gonçalves et al. (2015) classificaram os reservatórios Água Preta e Bolonha como hipereutrófico.

Esta classificação indica que as águas do reservatório estão passando para uma produção de nutrientes elevada, podendo vir a causar possíveis implicações para a qualidade da água.

Na região semiárida, a alteração nos valores de IET-P é facilmente detectável em virtude das condições climáticas. No período de estiagem há, com o aumento da temperatura da água, maior disponibilidade de nutrientes; essa condição é propícia à penetração de luz na água. É comum observar que um incremento do processo após o período chuvoso se mostra menos intenso.

Farage et al. (2010), Freitas et al. (2011), Mendonça Jr. (2014) e Paiva et al. (2016) encontraram níveis de IET semelhantes e/ou superiores ao encontrado nesta pesquisa, com variações entre 35 a 80, permanecendo entre as faixas de classificação eutrófico e hipereutrófico.

Quanto aos valores obtidos para o IET-DS, os mesmos apresentaram-se homogêneos. Para o período chuvoso encontrou-se valor de 58 e no período menos chuvoso o valor foi de 59, classificando o ambiente como eutrófico.

Ribeiro Filho et al. (2010) estabelecem que a transparência da água influencia fortemente o estado trófico do habitat aquático, a penetração da luz determina o desenvolvimento de fitoplâncton e, como consequência, tem-se um enriquecimento no reservatório.

O controle de nutrientes em lagos e reservatórios necessitam de uso de boas práticas de manejo e uso dos solos da bacia, para obter redução de carga de nutrientes através do tratamento dos efluentes industriais e domésticos (SALAS; MARTINO, 1991).

Em São Paulo, verificou-se no reservatório Ilha da Solteira que o IET variou entre oligotrófico e mesotrófico. Enquanto o reservatório de Barra Bonita, a classificação foi hipereutrófico. O estuário Lagoa dos Patos no Rio Grande Sul, obteve grau de trófia hipertrófico (GARCIA et al., 2007; BRUZELLE et al., 2012; BAUMGARTEN, PAIXÃO, 2013).

Para a qualidade das águas no que concerne os efeitos dos esgotos, de acordo com a classificação da Agencia Nacional da Água (ANA), foi possível avaliar o impacto no nível de trófia (NT) do reservatório Bolonha.

O Nível de trófia (NT) para os períodos chuvoso e menos chuvoso apresentaram valores médios de 0,50 mg.P/L e 1,0 mg.P/L respectivamente. Em ambos os períodos, os valores demonstraram-se acima do valor limitante de referencia para eutrofização, que é 0,025 mg.P/L, definidos pela ANA em 2004.

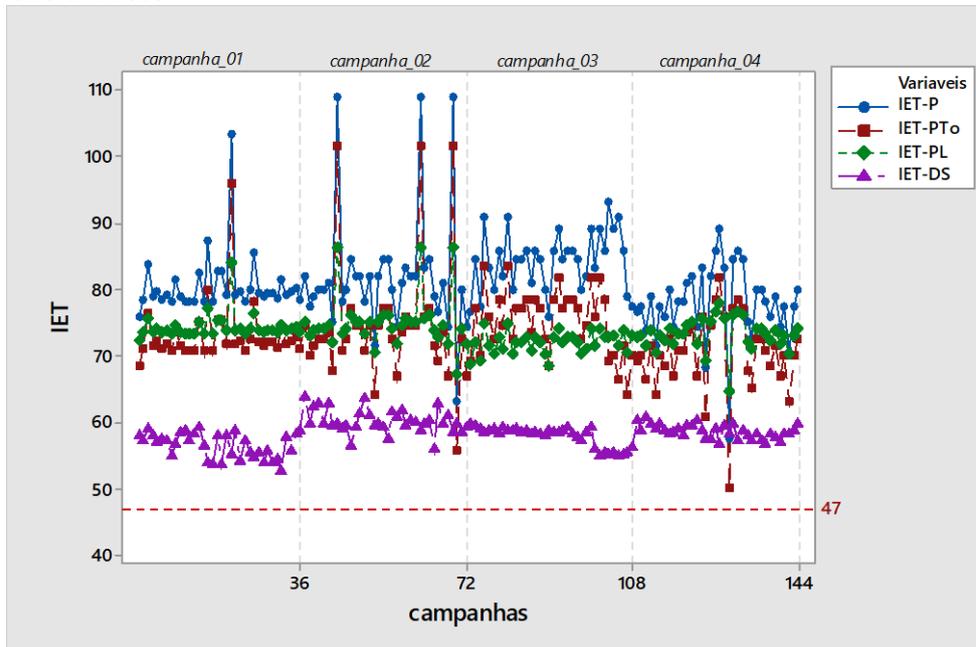
No período menos chuvoso, foram encontrados os maiores valores de NT. Os mesmo apresentaram-se bastante acima do limite determinado, variando 0,73 mg.P/L a 1,51 mg.P/L. Esses dados permitiram, identificar a grande influência da área urbana e das áreas desmatadas

do reservatório Bolonha, mostrando a fragilidade da manutenção da qualidade da água do reservatório.

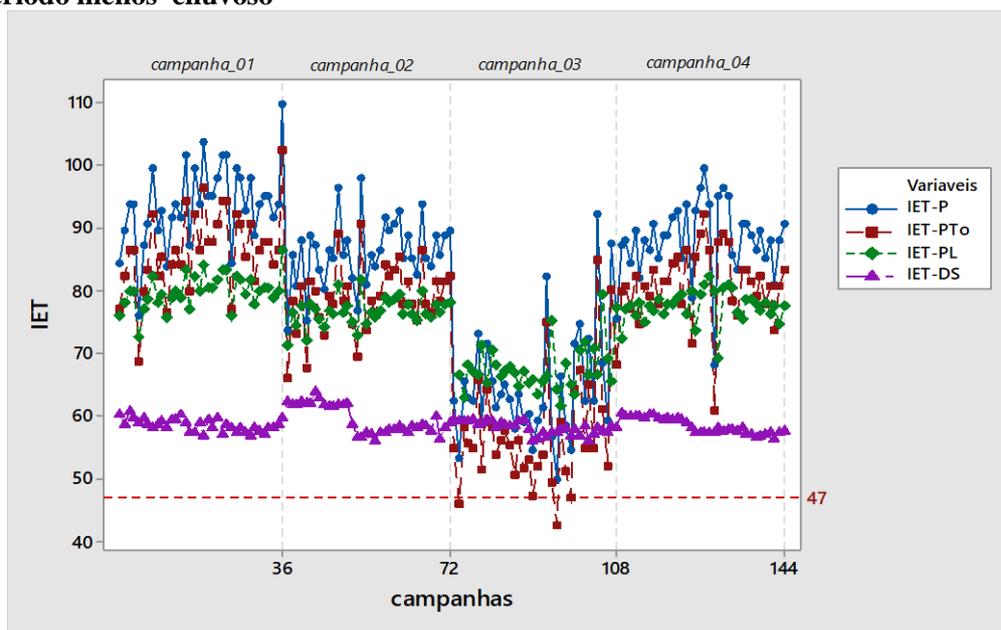
A partir dos resultados dos índices gerais obtidos para a variável PT e para a transparência (DS), foi possível elaborar os gráficos tanto de serie temporais (Figura 17) como gráficos de controle (Figuras 17 e 18), para facilitar a análise do comportamento trófico dos reservatórios para cada período monitorado obedecendo à escala trófica.

Figura 17: Gráficos de serie temporal para IET do período chuvoso e menos chuvoso.

A) Período chuvoso



B) Período menos chuvoso



Ao analisar os gráficos de serie temporal aplicado aos IET'S de PT e DS, pode-se, através do monitoramento temporal, observar as variações que ocorreram no decorrer do período chuvoso e menos chuvoso. No período analisado, o IET-PT registrou a maioria dos valores classificando o reservatório Bolonha como um ambiente heterogêneo que oscila entre eutrófico e hipereutrófico.

A análise comparativa dos resultados do IET-PT e IET-DS revelam, para os dois índices utilizados, que existem momentos em que a classificação através do índice do fósforo classifica o ambiente em classe superior obtida através da concentração da transparência.

De acordo com a classificação de estado trófico da ANA, observa-se nos gráficos de serie temporal que ambos os índices encontram-se acima do valor de IET de 47, atribuindo corpo d'água oligotrófico, o qual na classificação trófica é um ambiente não impactado.

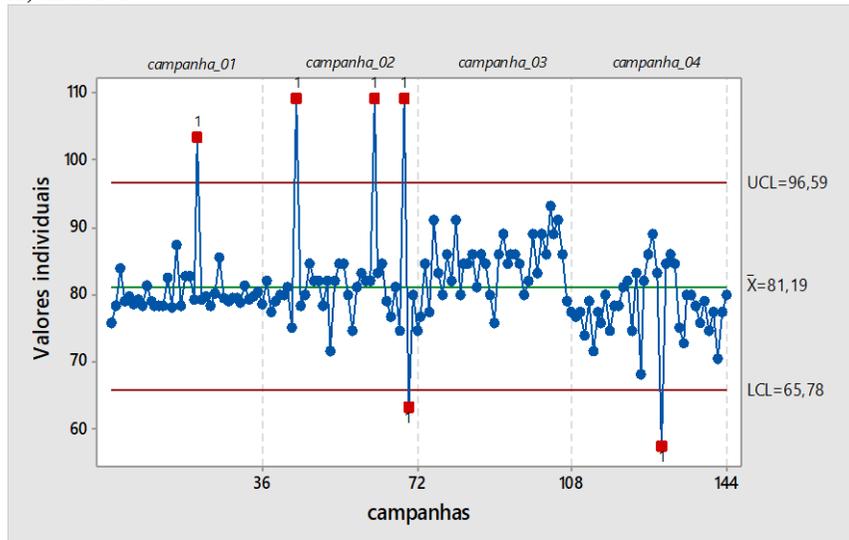
No período chuvoso, o gráfico de serie temporal indica que o IET-PT apresenta flutuações que não são regulares nas campanhas 01 e 02. A partir das análises dos dados obtidos através do monitoramento, foi possível a verificação de picos na concentração de fósforo, no reservatório Bolonha. A elevação dessa concentração deu-se em função da liberação deste elemento na coluna d'água, em virtude da recirculação do mesmo no ambiente, sendo perceptível em decorrência do monitoramento temporal. Já o IET-DS demonstra-se homogêneo apresentando poucas oscilações.

No período menos chuvoso, os gráficos indicam que o IET não apresenta uma normalidade. Há varias oscilações em ambos os índices. Nota-se que a presença de fósforo é mais expressiva em decorrência da pressão antrópica, que causam alto aporte de fósforo na água. Nota-se que, no decorrer do monitoramento temporal, há uma similaridade entre as campanhas 01 e 02, as quais pode se observar as variações mais elevadas do fósforo ao longo do monitoramento no período menos chuvoso.

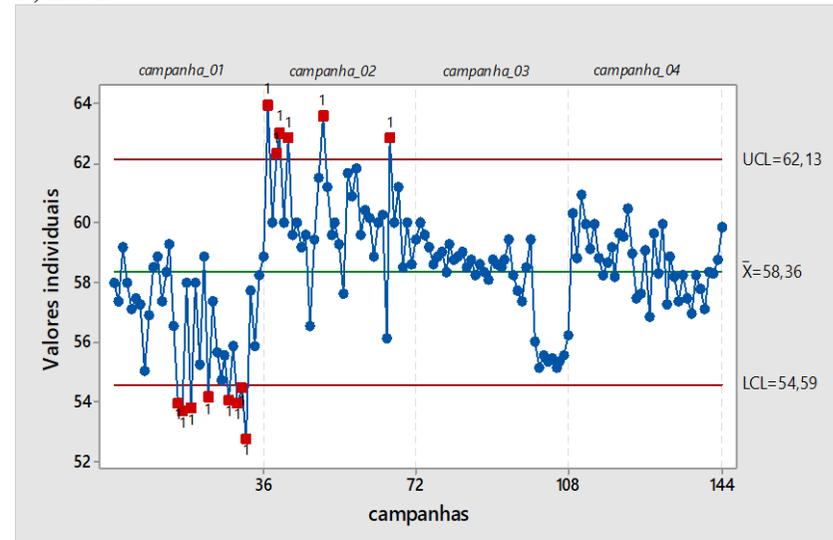
Com base nos dados de IET juntamente com os gráficos de serie temporal pode-se imprimir uma representatividade do comportamento da eutrofização no reservatório Bolonha, sendo possível verificar seu comportamento ao longo da sazonalidade da região metropolitana de Belém e, assim, identificando o comportamento da eutrofização em ambos os períodos, notando uma presença mais marcante no período menos chuvoso.

Figura 18: Gráficos de controle para IET para período chuvoso .

A) IET-PT



B) IET-DS



C) IET-Médio

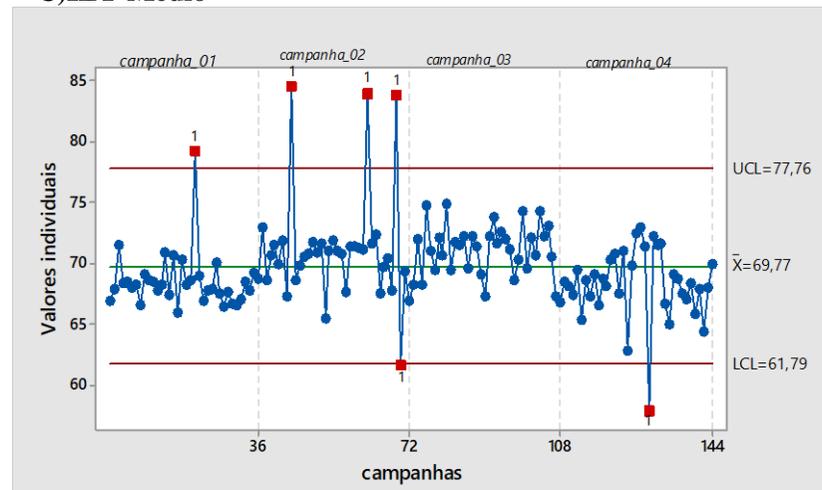
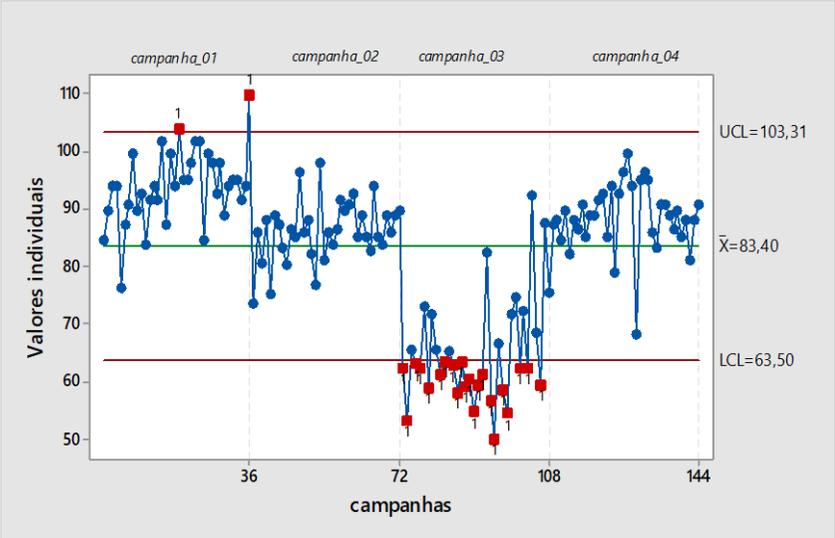
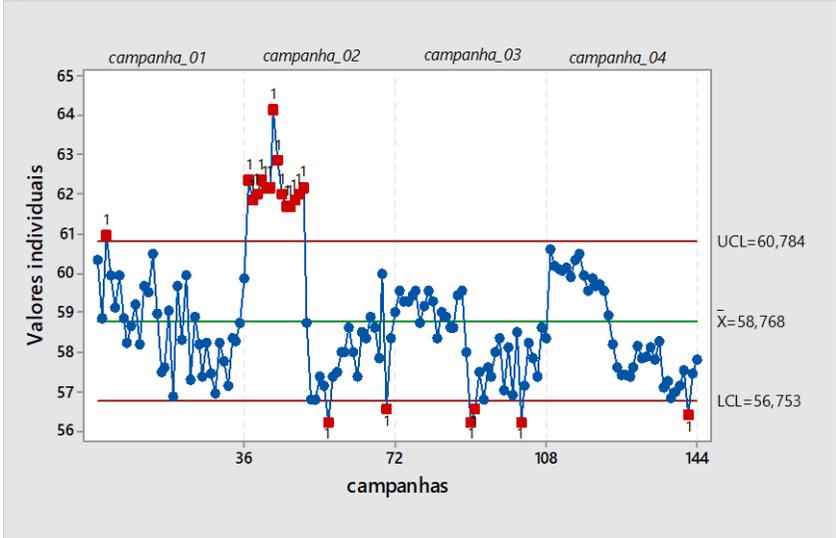


Figura 19: Gráficos de controle para IET para período chuvoso menos chuvoso.

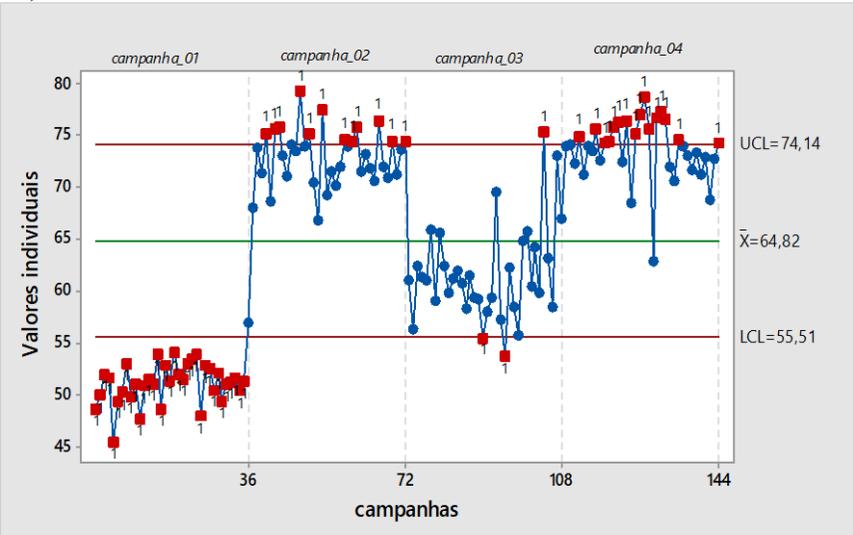
A) IET-PT



B) IET-DS



C) IET-Médio



Com base nos dados, o IET é heterogêneo. Foi possível observar que o ambiente do reservatório Bolonha tem um elevado grau de eutrofização, sendo possível também observar alguns picos nos gráficos de controle referentes às campanhas dos períodos chuvoso e menos chuvoso.

Conforme a classificação do IET, a água do reservatório é eutrófica e hipereutrófica para o período chuvoso, destacando a campanha 02 que demonstra alguns picos fora de controle, reportados através do monitoramento temporal, onde foi possível observar picos acima do limite, o que provavelmente pode ser atribuído ao valor de fósforo detectado no ambiente.

Para o IET-DS houve uma maior representatividade de dados na campanha 01 e 02, provavelmente seja devido aos elevados níveis de transparência do reservatório Bolonha, pois no período chuvoso foi possível verificar que a visibilidade da água foi baixa. Os baixos valores de visibilidade podem ser associados à influência da chuva. Como consequência, tem-se o carreamento de nutrientes e sedimentos para o reservatório.

Para o período menos chuvoso, a campanha 03 foi a que apresentou maior número de representatividade acima do controle, referente ao IET-PT. Foram detectadas essas observações pelo fato das concentrações de fósforo terem apresentado maiores valores a serem perceptíveis durante o monitoramento.

O IET-DS demonstrou uma maior representatividade de dados acima do limite de detecção, onde, ao se avaliar os dados, foi possível verificar que a visibilidade da água foi alta no período menos chuvoso. Ao avaliar o reservatório, o mesmo foi classificado como eutrófico com alta produtividade e concentrações de nutrientes que acarretam em prejuízos ao uso da água. Segundo Vale et al. (2007), os países tropicais podem ter até 14 horas de luz disponíveis, favorecendo com isto a biomassa de fitoplâncton que começa a aumentar à medida que a temperatura da água e da luz aumenta, assim como a disponibilidade de nutrientes na forma dissolvida para uso do fitoplâncton. Isto é favorecido pela presença inadequada na bacia de drenagem de diversas fontes poluidoras.

Foi possível observar no gráfico de controle que o IET- médio referente às campanhas apresentou-se acima do limite de controle. Com base nisto se pode observar que o reservatório deve estar sofrendo influência direta com descarga de esgotos e outros poluentes.

6. CONCLUSÃO

Com análise dos resultados obtidos, pode-se considerar que as variáveis de qualidade da água indicaram uma diferença significativa entre o período chuvoso e menos chuvoso. As variáveis pH, alcalinidade, cor verdadeira, fósforo total e oxigênio dissolvido não apresentaram diferença significativa entre os períodos analisados. As demais variáveis cor aparente, sólidos suspensos totais, turbidez e IET apresentaram diferenças significativas entre os períodos chuvoso e menos chuvoso.

As concentrações das variáveis de qualidade da água analisadas ao longo dos períodos não apresentaram, em sua maioria, variações significativas para os diferentes períodos (chuvoso e menos chuvoso), com exceção das variáveis: condutividade elétrica, transparência e oxigênio dissolvido. Resultados esses confirmados pelos testes de Mann Whitney.

A presença de fósforo é evidente em ambos os períodos. O teste de Mann Whitney revelou que houve diferença significativa das frações de fósforo entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, através dos valores ρ . O teste demonstrou que as frações do fósforo analisadas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) menor que o nível de significância de 5%.

Através da análise de componente principal para o fracionamento do fósforo, foi possível observar a formação de 2 componentes distintas para cada período (chuvoso e menos chuvoso), que juntos explicaram 93% e 92,6% da variabilidade dos dados.

Foram obtidos dois fatores mais significativos associados a matriz de dados. O Fator 1 representa possivelmente o aumento da matéria orgânica em função do processo de sedimentação que ocorre no reservatório, contribuindo para a proliferação de macrofitas no corpo hídrico, ocasionados pelo escoamento superficial especialmente em épocas de maior precipitação. O Fator 2 foi explicado pela PIT, que também pode estar associado ao escoamento superficial, bem como a deposição de esgotamento sanitário. Ambos os fatores são referentes ao período chuvoso.

Para o período menos chuvoso, o fator 1, que foi explicado pela fração de PIT, torna-se expressivo possivelmente pela presença de matéria orgânica, enquanto o fator 2 foi explicado pela fração de PT, devido a grande presença de efluentes.

As frações apresentaram peso superior a 0,75, indicando que são mais significativas nas frações referente ao reservatório Bolonha no período chuvoso e menos chuvoso.

Através da obtenção do IET, foi possível enquadrar o reservatório Bolonha como ambiente eutrófico e hipereutrófico. O IET-PT_T permitiu classificar o reservatório Bolonha como um ambiente que oscila entre hipereutrófico e eutrófico. Para o período chuvoso, o valor foi de 81; para o período menos chuvoso valor detectado foi de 62. Já a classificação do IET-PT_C para o período chuvoso o valor foi de 74 e para o período menos chuvoso o valor foi de 76, classificando o reservatório como eutrófico para ambos os períodos. Ressalta-se que tais valores devem-se ao resultado obtido em ambos os períodos e que, por sua vez, já vem sofrendo influência antrópicas através da expansão urbana nas proximidades.

Os dados para o valor de IET médio apresentaram 70 para o período chuvoso e 56 para o menos chuvoso, permitindo classificar o reservatório Bolonha como um ambiente eutrófico

Enquanto para o valor de IET-PT_T os dados apresentaram o valor foi de 81 (período chuvoso), e 62 (período menos chuvoso). Já a classificação do IET-PT_C para o período chuvoso, o valor foi de 74 e para o período menos chuvoso o valor foi de 76. Para ambos os períodos, classificação para o reservatório foi eutrófica.

Quanto aos valores obtidos para o IET-DS, os mesmos apresentaram-se homogêneos. Para o período chuvoso encontrou-se valor de 58 e no período menos chuvoso o valor foi de 59, classificando o ambiente como eutrófico.

Nesse contexto, juntamente com resultados da qualidade da água, o monitoramento do reservatório serve como subsídio para ajudar a manter a qualidade e quantidade da água, apesar das intensas pressões antrópicas, principalmente em decorrência do lançamento de esgoto, às quais o reservatório encontra-se submetido. O cálculo do IET classificou o reservatório como eutrófico para os períodos (chuvoso e menos chuvoso), mostrando um elevado enriquecimento de nutriente, e a elevada presença de macrofitas.

7. RECOMENDAÇÕES

Como sugestões de trabalhos que podem ser feitos para promoverem uma preservação do reservatório:

- Manter o monitoramento aumentando os pontos de coleta por longos períodos para que se possa observar tendência de qualidade da água.
- Detalhar o nível dos nutrientes, considerando as entradas de esgotos (doméstico e industrial) que são lançadas diretamente no reservatório.
- Realizar campanhas de qualidade da água para verificar o tempo de vida útil do reservatório em relação ao assoreamento.

8.REFERÊNCIAS

APHA. **American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington, DC: APHA,1998.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16. ed., Washington: **American Public Health Association**,1985.

ALBANEZ, J. R e MATOS, A. T. Aquicultura. In: MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas.** Belo Horizonte – MG: CRQ – MG, 2007.

ABAD, A.S M, VERA, M. A. T, ALCOCER, J, LEDESMA, R. M. A. P, OSEGUERA L A. ARMENTA J. Trophic state index estimation from remote sensing of lake Chapala, México. **Revista Mexicana de Ciências Geológicas.** p.183-33, v.2, 2016.

ALVES W.S, MORAES W.A. Qualidade e estado trófico da água do córrego Barrinha localizado no município de rio verde, Sudoeste de goiás, Brasil. **Revista eletrônica do curso de geografia –UFG**, 2016.

ANGELINI, L. R, BINI, L.M, STARLING, L. R. M. Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília-DF). Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, Goiás, Brasil. **Revista o ecologista Brasil.**p.564-571, v.12, 2008.

ARRAUJO JÚNIOR, A. C. R. Antropogeomorfologia da bacia hidrográfica do murutucu: abastecimento hídrico, uso e ocupação em Belém-PA. **Revista Ra'e Ga.** p.98-122, v.34, 2015.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Indicadores de qualidade ambiental no lago Bolonha, Parque Estadual do Utinga, Belém-Pará. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 42, n. 1, p. 276-299, 2015.

ARRUDA, N.O. Controle do aporte de fósforo no reservatório de Itaparica localizado no semiárido nordestino. **Tese de Doutorado-Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UFPE.** 2015.

BAUMGARTEN, M. G. Z; PAIXÃO, B. E. G. Uso do Índice do Estado Trófico para avaliar a qualidade das águas do Estuário da Lagoa dos Patos (RS). **Atlântica, Rio Grande**, 2013.

BAPTISTA, G. M. M. & NETO, M. D. A. O processo de eutrofização artificial no lago Paranoá, Brasília, DF. **Revista Geonomos**, v. 2, p.31-39 UNB, 2010.

BAZANELLA C.E Monitoramento do Índice de Estado Trófico do Lago do Centro. **Dissertação de Mestrado Universitário** Univates - Lajeado/RS, 2015.

BARROS, F. M. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo e estado trófico nas águas do rio Turvo Sujo. **Tese Doutorado em Engenharia Agrícola.** Universidade Federal de Viçosa, 2017.

BARROS, R. L O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense. Dissertação de Mestrado. **Gestão de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental**, UFCE, 2013.

BARRETO, L. V, BARROS, F. M, BONOMO, P, ROCHA, F. A, AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Revista Centro Científico Conhecer - GO**, v.9, p.16, 2013.

BAUMGARTNER, G, BAUMGARTNER, D, SEBASTIEN, N. Y, SILVA, P R. L., VITOR A. FRANA, LUCIANO C. DE OLIVEIRA, DEBONA T, TRONCO A S, E SILVA C. A. T. **Estudos Ictiológicos e Monitoramento da Qualidade das Águas dos Reservatórios de Salto Santiago e Salto Osório-Rio Iguaçu**, PR, 2008.

BELÉM. Lei n. 8.655, de 30 de julho de 2008. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Belém, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Belém** n. 11189. 2º caderno, p. 60-193, 2008.

BEGHELLI, F. G. S., CARVALHO, M. E. K., PECHE FILHO, A., MACHADO, F. H., MOSCHINI-CARLOS, V., POMPEO, M.L.M., RIBEIRO, A.I., MEDEIROS, G.A. **Uso do índice de estado trófico e análise rápida da comunidade de macroinvertebrados como indicadores da qualidade ambiental das águas na Bacia do Rio Jundiá-Mirim - SP**, 2014.

BORGES A.D.M; SANTOS I.R; MOURÃO F. V ;SOUZA P.N; SANTOS M.LS. **Avaliação dos parâmetros físico- químicos dos lagos Bolonha e água preta**. Revista Engenharia e Ambiental.v.15, 2015.

BRASIL, **Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. Resolução Nº 357, de 17 de Mar,2005.

BUZELLI G, M; CUNHA-SANTINO M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n.1, p.186- 205, 2013.

CALADO, S.L.M. Monitoramento da Qualidade da Água do Reservatório Alagados, Sul do Brasil, com Ênfase em Cianotoxinas. **Dissertação de Mestrado**. Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas Universidade Federal do Paraná Curitiba-PR, 2015.

CALIJURI, M.C CUNHA, D.G.F. Avaliação do estado trófico do rio Pariquera-Açu, Vale do Ribeira de Iguaçu, SP, em diferentes períodos hidrológicos.

CARVALHO, S. L. **Eutrofização Artificial: Um problema em Rios, Lagos e Represas**.2009.

CARVALHO, B. G. P., TEIXEIRA, L. C. G. M.; PAIVA, R. S.; ARAÚJO JÚNIOR, A. J.S.; CAVALCANTE, I. C. da S. **Avaliação do Desempenho de uma ETA Convencional: Estudo de Caso na ETA Bolonha, Belém-Pará.** Fortaleza-CE, 2015.

CARDOSO T.M, MONTEIRO F.F, VENTURIERI A, CAMPOS G.S. **Análise multitemporal da Área de Proteção Ambiental de Belém e Parque Ambiental de Belém.** p. 1283-1290, 2009.

CARLSON, RE. **A trophic state index for lakes.** Limnology and Oceanography. Limnological Research Center, University of Minnesota. v. 22, n. 2, p 361-369. 1977.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acesso em: 02 de Out. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Conama nº357.** Disponível em : < <http://www.mma.conama.gov.br/conama>>. Acesso em 20 de jul de 2017.

COSANPA. **Diagnósticos do estado urbanístico e proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta, Belém.** Belém: COSANPA, 2012.

COSTIGAN, K.H. & DANIELS, M.D. DAMMING THE PRAIRIE: Human alteration of Great Plains river regimes. **Journal of Hydrology**, v.12, p12-20,2012.

COVATTI, J. Á. C.; QUEIROZ, M. M. F. (2007). **Análise quali-quantitativa da água do rio Cascavel**, 2007.

CUNHA D.G.F, CALIJURI M.C, LAMPARELLI M.C A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSIts) **Revista: Ecological Engineering**, v.60, p.126–134, 2013.

DURANS. L; TELES T. **Avaliação da qualidade da água do Reservatório Bolonha.**-Trabalho de Conclusão de curso.Universidade Federal do Pará.Ano 2016.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

_____, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARAGE, J. de A. P.; Matos, A. T. de M.; SILVA. D. D. da ; Borges, A. C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do Rio Pomba. **Revista de Engenharia na agricultura, viçosa - MG**, v.18 n.4, 2010.

FIA, R., MATOS T. A., CORADI, P. C., RAMIREZ, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim,RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, 2009.

FARIAS M.S. S Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio cabelo. **Tese Doutorado**. Curso de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande.UFCG, 2006.

FREITAS F.R.S, RIGHETTO A.M, ATTAYDE J.L Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semi-árido brasileiro. **Revista o ecologia Australis** n.15, p.655-665,2011.

FRANZEN, M. Dinâmica do Fósforo na interface água-sedimento em reservatórios. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre – RS, 2009.

FERREIRA P. M. DE L; QUEIROZ M.M. F; COSTA F. F.; MEDEIROS. M. C; GARRIDO J. W. Determinação do índice de estado trófico para fósforo das águas do rio piacópíranhas Açú no município de Pombal – PB. **Revista Verde (Pombal - PB - Brasil)**, v 9, n. 4, p. 95 - 101, 2014.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D.C.O.; LEITE, M.A. **Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de ilha solteira**. 2007.

GANGULY D, PATRA S, P.RMUDULI, VARDHAN K.V, ABHILASH K R, R S ROBIN, B R SUBRAMANIAN. Influence of nutrient input on the trophic state of a tropical brackish water lagoon. **Revista Journal of Earth System Science**, v 124, p.1005–1017, 2015.

GOMES, D. P. P.; BARROS, F. M.; BARRETO, L. V.; ROSA, R. C. C. **Avaliação do estado trófico para o rio Catolé-BA em diferentes épocas do ano**. Centro Científico Conhecer - Enciclopédia Biosfera, GO, v.6, n.11, 2010.

GOMES, S.S. Alteração do estado trófico durante um evento de seca prolongada e seus impactos na biomassa algal de um manancial tropical da região semiárida. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pós-graduação em Engenharia Sanitária, 2016.

GONÇALVES E.D; SANTOS M.L; SOARES J.A;SOUZA H.N; MOURÃO F.V;CASTRO K.F.Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). **Boletim Técnico Científico do Cepnor Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** v. 15, n. 1, p. 43 - 50, 2015.

GUTIERREZ, C. B. B.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GUTIERREZ, D. M. G.; SANTOS, L. S. dos; PAULA, M. T. de. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1, p. 521-534, 2017.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, p.807- 816, 2000.

HUO S, , MA CHUNZI , BEIDOU XI1, JING SU1,FENGYU ZAN1,2, DANFENG JI1, ZHUOSHI HE1 Establishing eutrophication assessment standards for four lake regions, China. **Journal of Environmental Sciences**, 2013.

KAISERLI A, VOUTSA D, SAMARA C. Phosphorus fractionation in lake sediments – Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. **Revista Chemosphere**, v.46, p.1147-1155,2002.

LAMPARELLI, M. C. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. **Tese Doutorado**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2004.

LAWAL, M. O.; SAMUEL, O. B.; MOGEKWU, T. O. & BOLAJI, D. A. **Toxicity of two households liquid soaps on Poecilia reticulata Peters**. 2013.

LÉVÊQUE, C. Ecologia: do ecossistema à biosfera. **Instituto Piaget, Coleção Perspectivas Ecológicas**, n.36. 2001.

LIMA, N.S. Modelagem Hidrodinâmica e Análise Morfológica do Lago Bolonha – Um dos Mananciais da Grande Belém. **Dissertação de Mestrado** Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará, 2007.

LIMA J. V. Variáveis Hidroquímicas e Frações de Fósforo na Água de Microbacias Urbanas de Bom Jesus/PI. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Piauí - UFPI, 2010.

LOPES, L. N. A.; MACHADO, L. C. G. T.; SOUZA, E. T. A. de; SERRA, I. S. D.; COELHO, A. L. S. S. Avaliação das águas superficiais do Igarapé Mata Fome – Distrito do Benguí, município de Belém (PA). **Revista: Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007.

LOVETT, G.M.; BURNS, D.A.; DRISCOLI, C.T.; JENKINS, J.C.; MITCHELL, M.J.; RUSTAD, L.; SHANLEY, J.B.; LIKENS, G.E. & HAEUBER, R. 2007. Who needs environmental monitoring. **Frontiers in Ecology and the Environment**, n.5 p.253-260, 2007.

LIU, Y. T.; LO, S. L. A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir Waters. **Water Research**, v. 39, p.1415-1423. 2005.

LING, T.Y E NYANTI, L Phosphorus in Batang ai hydroelectric Dam reservoir, sarawak, Malaysia. **Journal Sciences World Applied**. ISSN 1818-4952, 2013.

MACEDO, Y. S. L.; TAVARES, P. A.; SANTOS, Y. R.; GONÇALVES, P. V. dos S.; SOUZA, M. J. R. **Construção de um Biodigestor para a Produção de Biogás a partir da Fermentação de Macrófitas**. 2013.

MARIANI, C. F. Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento. **Dissertação Mestrado**. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. p.124, 2006.

MAGALY H. S. BUCCI; L. F. C. DE O. Índices de qualidade da água e de estado trófico na represa Dr. João Penido Juiz de Fora, MG **Revista Ambiental da Água**, v. 9 n.1, 2014.

MARANHO, L. A. Avaliação da qualidade da água do rio Corumbataí (SP) por meio de variáveis bióticas e abióticas. **Tese de Doutorado**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

MATSUMURA-TUNDISI, T. Diversidade de zooplâncton em represas do Brasil. p. 39-54. In: R. Henry (ed.), **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Fapesp, São Paulo, 1999.

MEDEIROS, G.A.; TRESMONDI, A.C.C.; QUEIROZ, B.P.V.; MELO, C.A.; ROSA, A.H.; NEGRO, C.V.; FRACETO, L.F. & RIBEIRO, A.I. Evaluation of metals in water and sediments of micro-basins in the city of Americana, São Paulo state, Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, p.172:201, 2013.

MENDONÇA JR. R.J. Os reservatórios eutrofizados da região tropical semiárida atuam como emissores ou como sequestradores de dióxido de carbono. **Dissertação Mestrado**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte- RN, 2014.

MEINIKMANN K, HUPFER M, LEWANDOWSKI. Phosphorus in groundwater discharge – A potential source for lake eutrophication. **Journal of Hydrology**, 2015.

MELO.L.G .Estudo da Qualidade da Água do Reservatório de Itaparica Localizado na Bacia do Rio São Francisco. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. UFPE, 2007.

MOREIRA, J.C. PERES, F.; SIMÕES, A.C.; PIGNATI, W.A.; DORES, E.C.; VIEIRA, S.N.; STRÜSSMANN, C. & MOTT, T. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Revista Ciência saúde coletiva**. n.17, p.1557-1568, 2012.

MONTEAGUDO, L.; MORENO, J.L. & PICAZO, F. 2012. River eutrophication: Irrigated vs. non-irrigated agriculture through different spatial scales. **Journal of Water Research**. n.46, p.2759–2771, 2012.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. edição. Rio de Janeiro: Abes. 388p. 2006.

NAVAL, L. P.; SILVA, C. D. F. e; SOUZA, M. A. A. **Comportamento dos índices do estado trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETM) no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, Tocantins-Brasil**. Universidade Federal de Tocantins, 2003.

NETO, J. F. B.; COELHO, R. M. P. **A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais**.

Acta scientiarum, v.24, p. 285-290. 2002.

NOGUEIRA P. F. Análise espaço-temporal da qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE foz do rio claro (GO). **Dissertação de Mestrado**. Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal de Goiás Regional Jataí - UFG, 2015.

NUNES M.L.F. Distribuição e Fracionamento do Fósforo nos Sedimentos dos Rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Maranhão, 2013.

NZULA K, DAVID M, HARPER, KENNETH M, MAVUTI Phosphorus inputs to Lake Naivasha, Kenya, from its catchment and the trophic state of the lake. **Revista Hydrobiologia** n.488, p.73-80, 2002.

OLIVEIRA L.L , CORINGA J E S, CORINGA E A O. **Fracionamento de fósforo em sedimentos do rio bento gomes, pantanal de poconé, MT** , 2015.

OLIVEIRA, A. T. S. Qualidade da água comprometida. 2012.

PAULA FILHO, F. J, MOURA, M. C. S; MARINS, R. V. Fracionamento geoquímico do fósforo em água e sedimentos do rio corrente, bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual Química**, v.4, p.623-640, 2012.

PACHECO C. H. A. Dinâmica espacial e temporal de variáveis limnológicas e sua influência sobre as cianobactérias em um reservatório eutrofizado: açude acarape do meio-CE. **Dissertação de Mestrado**. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2009.

PAIVA R.L, S.M.G.T, OLIVEIRA. C.M.B , ANDRADE.E.M, LOPES.F.B. Índice do estado trófico no reservatório Caxitoré, Ceará 2016.

PEDRAZZI, F.J.M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S., MOSCHINI-CARLOS, V. & POMPEO, M. Spatial and Temporal Quality of Water in the Itupararanga Reservoir, Alto Sorocaba Basin (SP), Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, n.5, p.64-71, 2013.

PEREIRA, I.I. **Estudo de Parâmetros Abióticos e Clorofila a no Sistema de Captação de Água Bruta da Região Metropolitana de Belém – PA**. Trabalho de Conclusão. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

QIANG QIN BO, GUANG GAO, GUANGWEI ZHU, ZHANG YUNLIN, SONG YUZHITANG XIANGMING, XU HAI & DENG JIANMING. Lake eutrophication and its ecosystem response. **Revista Progress of Projects Supported by Geography**, v.58, p.961-970, 2013.

RIBEIRO, H. M. C. Avaliação atual da qualidade das águas dos Lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pará). **Dissertação de Mestrado** - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.

RIBEIRO D.C., MARTINS G, NOGUEIRA R, CRUZ J.V, BRITO A.G. Phosphorus fractionation in volcanic lake sediments (Azores – Portugal) **Revista Chemosphere** v. 70,p.1256-1263,2008.

SAGHI H. JAVID A. H. Investigation on trophic state index by artificial neural networks (case study: DezDam of Iran). **Revista Applied Water Science**. v.5, p.127–136, 2013.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model warm-water tropical lakes. **Journal of Water Research**, v.25, n.3, p.1341-1350, 1991.

SANTOS M. L.S, FEITOSA K. M. F, NETO B.B . Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do amazonas. **Revista Química Nova**, v. 30, p.569-573, 2006.

SANTOS M.L.S.Distribuição dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) na plataforma continental do amazonas.**Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco,2004.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 68, 2004

SILVEIRA.C; ROSA L.; MEES.J. B. R; BORTOLI M. M.- **Determinação do índice de estado trófico de um manancial receptor de efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2011.

SMITH, A.P.; WESTERN, A.W.; HANNAH, M.C. Linking water quality trends with land use intensification in dairy farming catchments. **Journal of Hydrology**. v.476, p. 1–12, 2013.

SILVA E.F. Condição trófica em rios do estado de minas gerais. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Viçosa-MG, 2012.

SILVA, G. S.; MIOLA, S.; SILVA, G. S.; SOUSA, E. R. **Avaliação da qualidade das águas do rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de itaipu, Paraná**. 2017

SILVA J.P. Avaliação da Qualidade da Água Superficial Utilizada no Sistema de Abastecimento Público do Município de Belém (PA). **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Pará, 2010.

SILVA B. F. Qualidade da água e estado trófico em um Trecho do rio Cubatão sul no município de santo Amaro da imperatriz – SC. **Dissertação de Mestrado**.Universidade Federal de Santa Catarina.Centro de ciências biológicas Departamento de ecologia e zoologia. UFSC Florianópolis, 2016.

SODRÉ, S. do S. V. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta, mananciais de Belém-Pará. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais– Universidade Federal do Pará,2007.

SONG K, WINTERS CAMERON, XENOPOULOS M.A. MARSALEK J , FROST P.C. Phosphorus cycling in urban aquatic ecosystems: connecting biological processes and water chemistry to sediment P fractions in urban stormwater management ponds Biogeochemistry. **Revista Biogeochemistry**, v.132, p.203–212,2017.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos: Gerenciamento da Qualidade da Água de Represas. **International lake Environment Committe (ILCE) e International Institute of Ecology (IIE)**. v.9, p. 258,2013.

SLUSARSKI, A.M. AZEVEDO, C.K. SILVA, D.A. ,BARBOZA, A.M. CARVALHO, A.C.S. OLIVEIRA, E.F. WEBER, O.L.S. **Fósforo total em alguns corpos d'água do Pantanal mato grossense**,2013.

SMITH, A.P., WESTERN, A.W.; HANNAH, M.C. Linking water quality trends with land use intensification in dairy farming catchments. **Journal of Hydrology**. v.476, p.1–12, 2013.

SULIS .A , BUSCARINU, P, SECHI, G. M. Using reservoir trophic-state indexes in optimisation modelling of water-resource systems. **Revista Environmental Modelling & Software** v.26,p.731e738,2011.

VASCONCELOS, V. de M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém-PA, Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Taubaté-SP, 2011.

TANIWAKI R.R. H, ROSA A. H, CALIJURI M. C, MOSCHINI C. V. Variação espacial do grau de trófia e da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil). **Revista Holos Environment**, v.11 n.2, p. 170, 2011.

THEVENON, F.; GRAHAM, N.D.; HERBEZ, A.; WILDI, W. & POTÉ, J. Spatio-temporal distribution of organic and inorganic pollutants from Lake Geneva (Switzerland) reveals strong interacting effects of sewage treatment plant and eutrophication on microbial abundance. **Journal of Chemosphere**.v.84,p.609–617,2011.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E.G. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais** p. 34, 1983.

VALLE, A. C. M. DO. NOGUEIRA, I. S. AGUIAR M. DO A. A. **Análise das variáveis físico-químico e da biomassa fitoplanctônica no reservatório de serra da mesa**. 2007.

WANG X. Phosphorus Fractionation and Bio-availability in Surface Sediments from the Middle and Lower Reaches of the Yellow River. **Revista Procedia Environmental Sciences** v.112, p. 379-386, 2012.

WETZEL, R.G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, p.1110,1993,

WETZEL, R. G. **Limnology - Lake and river ecosystems**. 3. ed. San Diego:Academic press, 2001.

YOUNG, J. E.; SKOGLEY, E. O.; SCHAFF, B. E.; KIM, J. J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Journal of Soil Science Society American**, v. 62 p. 1108 – 1115, 1998.

YUNES, J. S.; CUNHA, N. T.; BARROS, L. P.; PROENÇA, L. A. O.; MONSERRAT, J. M. Cyanobacterial Neurotoxins from Southern Brazilian Freshwaters, **Journal of comments on Toxicology**, v.9, p.103-115, 2003.

ZANINI, H. L. H. T. Caracterização limnológica e microbiológica do córrego ricoque abastece Jaboticabal (SP). **Tese Doutorado**. Programa em Microbiologia Agropecuária. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2012.