



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E  
GESTÃO AMBIENTAL

MICHELE ARAÚJO DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA OPERACIONAL DE UM RESERVATÓRIO NA DINÂMICA DE  
NUTRIENTES NO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO – ESTUDO DE CASO UHE  
TUCURUÍ**

Tucuruí  
2018

**MICHELE ARAÚJO DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA OPERACIONAL DE UM RESERVATÓRIO NA DINÂMICA DE  
NUTRIENTES NO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO – ESTUDO DE CASO UHE  
TUCURUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental, do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara e  
Coorientador: Augusto Fonseca Saraiva

Tucuruí  
2018

Dados Internacionais de catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Biblioteca da UFPA

---

Oliveira, Michele Araújo de. 2018

Influência operacional de um reservatório na dinâmica de nutrientes  
no processo de eutrofização – Estudo de caso UHE Tucuruí  
/Michele Araújo de Oliveira; Profa. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara – 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental,  
Tucuruí, 2018.

---

**INFLUÊNCIA OPERACIONAL DE UM RESERVATÓRIO NA DINÂMICA  
NUTRIENTES NO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO – ESTUDO DE CASO UHE  
TUCURUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental, do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara e  
Coorientador: Augusto Fonseca Saraiva

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara – Orientador  
PEBGA / PPGINDE – NDAE/UFPA

---

Dr. Augusto Cesar Fonseca Saraiva - Coorientador  
LABORATÓRIO ANALYTICAL CENTER, LAC, Brasil

---

Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma (Examinador interno)  
PEBGA / PPCA - NDAE/UFPA

---

Prof. Dr. Rachel Ann Hauser-Davis (Examinadora externa)  
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por todas as conquistas realizadas.

Agradeço ao meu orientador Junior Hiroyuki Ishihara e ao meu coorientador Augusto Cesar Fonseca Saraiva pelas indispensáveis orientações deste trabalho. À minha mãe Marizete Santos Araújo e ao meu pai Livaldo Fonseca de Oliveira pelo incentivo e apoio. Aos meus irmãos Milene, Marília e Diego Araújo de Oliveira pela paciência e apoio que sempre me deram.

À empresa Eletronorte, em especial ao engenheiro químico Mayko de Sousa Menezes, pelo apoio e concessão de dados para a pesquisa.

Por fim, agradeço a todos, que direta ou indiretamente, possam ter contribuído para a realização e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

A região Amazônica conta com uma grande reserva hídrica, com rios que apresentam comportamentos favoráveis à instalação de novas represas. Porém, tal alteração traz como resultante a modificação do comportamento hidrológico, o que proporciona alterações limnológicas, acarretado não somente pelo ato do barramento do corpo d'água, mas também pelo aumento da população que é atraída para estas localidades em busca de novas oportunidades. Isto acaba por promover consequentemente, a geração de nutrientes que acabam sendo lançados no corpo hídrico, principalmente pela precariedade no tratamento dos efluentes nestas regiões. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo calcular o Índice do Estado Trófico (IET) na usina hidroelétrica (UHE) de Tucuruí, através do auxílio de softwares e análises laboratoriais de dados de campo, analisando o comportamento espaço-temporal dos principais nutrientes responsáveis pelo processo citado anteriormente nesta área, utilizando dois modelos, o de Carlson (1977) e o de Lamparelli (2004). O estudo se propõe ainda uma análise estatística da relação do comportamento do regime operacional da UHE com a situação de eutrofização do reservatório, objetivando avaliar as implicações do barramento no processo de eutrofização que ocorre no reservatório e suas consequências. Foi verificada variabilidade da eutrofização de forma espacial e também temporal, pela classificação de Lamparelli (2004), onde alguns pontos apresentaram as classificações oligotróficas durante vários anos, indicando boa qualidade de água. Porém, pela metodologia de Carlson o reservatório, na sua maioria maioria, apresentou classificação eutrófica, com qualidade de água inferior.

Palavras Chaves: Eutrofização. Nutrientes. Reservatório. UHE-Tucuruí.

## **ABSTRACT**

The Amazon region contains a large water reserve, with rivers that present favorable behaviors for the installation of new dams. However, this change brings with it alterations in hydrological behavior, which leads to limnological changes, caused not only by the act of the water damming, but also by the increased population attracted to these areas in search of new opportunities. This leads to the generation of nutrients that are then released into the water body, mainly due to the precarious effluent treatment in these regions. In this context, the aim of this study was to calculate the Trophic State Index (TSI) at the Tucuruí HPP reservoir, through the aid of software packages and laboratory analyses of field data, analyzing the spatio-temporal behavior of the main nutrients responsible for this process in this area, using two models, namely Carlson's (1977) and Lamparelli 's (2004) models. The study also proposes a statistical analysis of the relationship between the behavior of the operational regime of the hydropower plant (HPP) with the situation of eutrophication of the reservoir, aiming to evaluate damming implications in the eutrophication process that occurs in the reservoir and its consequences. Eutrophication variability was observed both spatially and temporally, by the Lamparelli (2004) classification, where some points presented an oligotrophic classification during several years, indicating good water quality. However, through Carlson's methodology, most of the reservoir was classified as eutrophic, with lower water quality.

Keywords: Eutrophication. Nutrients. Reservoir. Tucuruí HPP.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Índice para a falta de água frequente, disponível para o uso em uma base mensal. ....	24
Figura 2: Comportamento da Eutrofização, ocasionada de forma natural e antrópica. ....	32
Figura 3: Florações de algas, resultantes do processo de eutrofização no reservatório da UHE São Simão. ....	36
Figura 4: Florações de algas no Reservatório de Shibianyu, na China. ....	36
Figura 5: Localização do Reservatório de Tucuruí. ....	42
Figura 6: Mapa de Localização das estações de amostragem a montante da UHE Tucuruí.....	45
Figura 8: Força de correlação positiva e negativa. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 9: Mapa do comportamento do IET, determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carrlson (1977, para o ano de 2003.....	112
Figura 10: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2005.....	113
Figura 11: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2006.....	114
Figura 12: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004), para o ano de 2007.....	116
Figura 13: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2008.....	117
Figura 14: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2009.....	118
Figura 15: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2010.....	119
Figura 16: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2011.....	120
Figura 17: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2012.....	121
Figura 18: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004), para o ano de 2013.....	122



Figura 19: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2014.....	123
Figura 20: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2015.....	124
Figura 21: Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004)e Carlson (1977), para o ano de 2016. ....	125
Figura 22: Mapa de localização entre os centros urbanos do município e os pontos anostrais do reservatório da UHE Tucuruí .....	126
Figura 23: Resultado da Correlação de Pearson, das varáveis de IET Lamparelli (2004) e Cotas do reservatório.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 24: Resultado da Correlação de Pearson, das varáveis de IET Carlson (1977) e Cotas do reservatório.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 25: Resultado da Correlação de Pearson, das varáveis de IET Lamparelli (2004) e vazão defluente.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 26: Resultado da Correlação de Pearson, das varáveis de IET Carlson (1977) e vazão defluente.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Classificação dos Corpos de água.....	28
TABELA 2. Classificação e Destinação das diferentes Classes para Águas Salinas. .....	29
TABELA 3. Classificação e Destinação das diferentes Classes para Águas Salobras para Águas Salobras.....	30
TABELA 4. Classificação do grau de trofia, definida por Carlson. ....	34
TABELA 5: Classificação do grau de trofia, definida por Toledo .....	34
TABELA 6. Classificação do grau de trofia, definida por Lamparelli (2004). ....	35
TABELA 7. Estações de Amostragem a montante da UHE Tucuruí.....	44
TABELA 8. Classificação trófica, através dos resultados dos IET's, determinada pelo método de Carlson.....	109
TABELA 9. Classificação trófica, através dos resultados dos IET's, determinada pelo método de Lamparelli.....	110
TABELA 10. Características principais, das classificações Tróficas.....	111

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamento do OD, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	54
Gráfico 2: Comportamento do OD, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	56
Gráfico 3: Comportamento do pH, no período Chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	58
Gráfico 4: Comportamento do pH, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	59
Gráfico 5: Comportamento do DQO, no período Chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	61
Gráfico 6: Comportamento do DQO, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	62
Gráfico 7: Comportamento de Condutividade Elétrica, no período Chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	63
Gráfico 8: Comportamento de Condutividade Elétrica, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	64
Gráfico 9: Comportamento de Cloro, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	66
Gráfico 10: Comportamento de Cloro, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	67
Gráfico 11: Comportamento de Ferro Total, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	69
Gráfico 12: Comportamento de Ferro Total, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	70
Gráfico 13: Comportamento de Cálcio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	72

Gráfico 14: Comportamento Cálcio, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	73
Gráfico 15: Comportamento de Magnésio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	74
Gráfico 16: Comportamento Magnésio, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	75
Gráfico 17: Comportamento de Sódio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	76
Gráfico 18: Comportamento Sódio, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	77
Gráfico 19: Comportamento de Potássio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	78
Gráfico 20: Comportamento Potássio, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	79
Gráfico 21: Comportamento de Amônia, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	80
Gráfico 22: Comportamento Amônia, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	81
Gráfico 23: Comportamento de Nitrato, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	83
Gráfico 24: Comportamento Nitrato, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	84
Gráfico 25: Comportamento de Fosfato, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	86
Gráfico 26: Comportamento Fosfato, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	87

Gráfico 27: Comportamento de STS, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	88
Gráfico 28: Comportamento STS, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	89
Gráfico 29: Comportamento de Turbidez, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	91
Gráfico 30: Comportamento Turbidez, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	92
Gráfico 31: Comportamento da sazonalidade, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	94
Gráfico 32: Comportamento da sazonalidade, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	94
Gráfico 33: Valores médio de cota no período chuvoso durante os anos de 2003 a 2016. ....	95
Gráfico 34: Valores médio de cota no período seco durante os anos de 2003 a 2016. ....	96
Gráfico 33: Valores médio de vazão no período chuvoso e seco durante os anos de 2003 a 2016. ....	97
Gráfico 36: Comportamento fósforo total, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	98
Gráfico 37: Comportamento fósforo total, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	99
Gráfico 38: Comportamento Clorofila, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	101
Gráfico 39: Comportamento clorofila, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016. ....	102

Gráfico 40: Comportamento transparência, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016 em metros. ....	104
Gráfico 41: Comportamento transparência, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016 em metros.....	105
Gráfico 42: Gráfico de dispersão da correlação do IET Lamparelli (2004) e Cota do reservatório.....	127
Gráfico 43: Gráfico de dispersão da correlação do IET Carlson (1977) e Cota do reservatório.....	128
Gráfico 44: Gráfico de dispersão da correlação do IET Lamparelli (2004) e a vazão defluente.....	129
Gráfico 45: Gráfico de dispersão da correlação do IET Carlson (1977) e a vazão defluente.....	130

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>21</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
4.1. RECURSOS HÍDRICOS .....	23
4.2. USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA .....	27
4.3. REPRESAS ARTIFICIAIS .....	31
4.4. EUTROFIZAÇÃO .....	32
4.4.1. Períodos e Tipos de Vazões .....	37
4.5. Índice de Estado Trófico Criado por Carlson .....	38
4.6. Índice do Estado Trófico Criado por Lamparelli .....	39
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
5.1. Área de estudo .....	42
5.2. Metodologia de coleta .....	44
5.2.1. Regime operacional da barragem da UHE Tucuruí para um período de 14 anos (2003 a 2016) .....	44
5.2.2. Identificação das variáveis de maior importância para obtenção dos IET's no reservatório; .....	46
5.3. Metodologia para o cálculo do Índice do Estado Trófico (IET) .....	49
5.4. Metodologia para analisar o comportamento dos nutrientes através dos Índices de Estado Trófico (IET), no reservatório de forma espaço-temporal. .....	51
5.5. Analisar estatisticamente o comportamento do regime operacional com a situação de eutrofização no reservatório .....	51
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
6.1. Avaliação Inicial .....	53
6.2. Análise do comportamento dos parâmetros físico-químicos do reservatório da uhe tucuruí .....	53
6.2.1. Oxigênio Dissolvido .....	54
6.2.2. Potencial Hidrogeniônico .....	58
6.2.3. Demanda Química de Oxigênio .....	60
6.2.4. Condutividade Elétrica .....	63

6.2.5. Cloro.....	66
6.2.6. Ferro Total.....	68
6.2.7. Cálcio .....	72
6.2.8. Magnésio.....	73
6.2.9. Sódio .....	75
6.2.10. Potássio.....	77
6.2.11. Amônia .....	80
6.2.12. Nitrato.....	82
6.2.13. Nitrogênio .....	85
6.2.14. Fosfato .....	86
6.2.15. Sólidos Totais Solúveis (STS) .....	88
6.2.16. Turbidez .....	90
6.2.17. Sazonalidade.....	93
6.2.18. Cota .....	95
6.2.19. Vazão .....	96
6.3. Identificação das variáveis de maior importância para a obtenção dos IET'S	97
6.3.1. Fósforo .....	97
6.3.2. Clorofila .....	100
6.3.3. Transparência.....	103
6.4. Cálculo do Índice de Estado Trófico.....	105
6.5. Análise espaço-temporal do comportamento do Índice de Estado Trófico (iet) no reservatório.....	112
6.6. Análise estatística do comportamento do regime operacional com a situação de eutrofização no reservatório.....	126
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>133</b>



## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil possui um total de 13% de água mundial, apresentando uma desproporcional distribuição em todo o seu território, onde 80% deste quantitativo encontram-se na região Amazônica, e por apresentar grandes quantidades de água, atrai olhares de autoridades devido ao seu potencial gerador de energia elétrica (FERARSIDE, 2013).

No Planeta Terra, em todos os continentes foram construídos em seus principais rios, represas que alcançam mais de 10.000 Km<sup>3</sup> de volume de água e com aproximadamente 650.000 Km<sup>2</sup> total de área de ocupação, que em suas etapas de instalação e operação, trouxeram impactos negativos e positivos, tanto econômico, quanto social e ambiental (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Em razão disto, em 1987, o Plano para o desenvolvimento elétrico na Amazônia no ano de 2010 listou 68 barragens na região Amazônica, demonstrando que apesar das dificuldades financeiras e o adiamento das instalações das mesmas, a escala planejada permanece inalterada, onde a área a ser inundada corresponderá a 3% da floresta amazônica, trazendo, de acordo com Fearside (2013) inúmeras perturbações em áreas maiores a dos reservatórios a serem construídos.

Além da disponibilidade de água ser desigual, sua escassez vem sendo amplamente discutida, em razão da combinação entre o elevado uso humano e a variação hidrológica, evidenciado no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos do ano de 2016, que o norte da China e o Sul da África apresentam uma maior gravidade.

Ainda de acordo com o Relatório, entre os anos de 2011 e 2050, é estimado um aumento de 33% da população mundial. Tal crescimento, conjuntamente com as atividades que causam um alto grau de impacto, como lançamento de efluentes industriais, de substâncias tóxicas resultantes também da aplicação de pesticidas, trazem uma série de preocupações em relação a qualidade da água (LAMPARELLI, 2010).

Lamparelli (2010) evidencia outra problemática, as alterações ocorrentes nos corpos hídricos, oriundas do aumento no lançamento de nutrientes no recurso hídrico, provocando impactos de diversas proporções, desde as alterações no

abastecimento público de água até a preservação da vida aquática e a modificação de suas próprias características.

Diversos autores, como Cunha (2013), Lamparelli (2004), Sorrel (2006) vêm estudando, o aumento destes nutrientes em todo o mundo, destacando que tais alterações do meio hídrico não se caracterizam um problema pontual de uma determinada região, e sim, algo evidenciado em todo o globo.

Dentre as diversas modificações oriundas do barramento de um rio, encontram-se as alterações de parâmetros da qualidade da água, em decorrência principalmente da diminuição da velocidade de seu curso. O aumento de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) em um ecossistema aquático é uma das alterações advindas desta atividade, que traz uma série de consequências como resultado do aumento da produtividade de diversos de seus compartimentos e seu funcionamento, e também apresenta diversas alterações, dentre elas, a eutrofização (ESTEVES & PEREIRA, 2011).

A eutrofização, que nada mais é do que o aumento de nutrientes no corpo d'água, podendo ocorrer naturalmente, de forma lenta e contínua, através da contribuição de chuvas que carregam os nutrientes da superfície terrestre para o interior do corpo d'água; ou também pode ocorrer de forma artificial, pela ação humana (CAMPOS, 2010).

Apenas no século XX, de acordo com Schindler (2006), a problemática da eutrofização começou a ser reconhecida em decorrência do aparecimento de fitoplâncton, e pela mortalidade de peixes, o que se descobriu ter uma relação direta com o aumento de nutrientes no corpo hídrico.

Como já mencionado anteriormente, a região Amazônica concentra grande quantitativo de água, em comparação com o restante do país, além disso, Fu & Poveda (2010) dizem que a região apresenta para uma definida sazonalidade da precipitação, determinante para o desempenho do clima regional e do restante do globo, através da evapotranspiração das florestas amazônicas, que equilibram o calor radioativo à superfície quando as florestas lançam calor latente para a atmosfera.

O município de Tucuruí, localizado ao sudeste do Estado do Pará, apresenta um clima equatorial, com altas temperaturas e grandes quantidades de chuvas, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017).

É de grande relevância a informação sobre o clima, visto que, diversos autores já vêm tratando este fator com elevada importância com relação ao aumento de nutrientes em rios e reservatórios, como destacado por Godlewska et al. (2014), que realizaram uma pesquisa no Lago Pluszne na Polônia, durante os anos de 1999 até o ano de 2013, destacando a importância das alterações climáticas no aumento de temperatura, diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido, além de aumento de reações relacionadas à poluentes dispostos no recurso hídrico, salientando, desta forma um alto grau de complexidade e a relação entre esses dois fatores (FICKE et al., 2007).

No Município de Tucuruí, encontra-se a Barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Tucuruí, situada no Rio Tocantins, que oferece anualmente um fluxo calculado em 11.107 m<sup>3</sup>/s, com uma queda de 60,8 m na vertical e com o nível operacional de 72 m acima do nível do mar (FEARNSIDE, 2001; ELETRONORTE, 1989), passando para 74 m acima do nível do mar em 1998, compelindo um aumento das estações de coleta no reservatório (SILVA et al., 2016).

No caso do Reservatório de Tucuruí, a quantidade de nutrientes conduzido ao lago poderá ser de grande probabilidade em decorrência das vastas áreas circundantes, que foram desmatadas servindo para a criação de gado e cultivo de plantações, do lançamento de esgotos domésticos advindo das comunidades ribeirinhas que proporcionam o aumento de nutrientes, principalmente o fósforo e nitrogênio no reservatório, além das cotas diferenciadas decorrentes da sazonalidade da região, o que também afeta a dinâmica destes nutrientes (VON SPERLING, 2005; BROOKE, 2008).

Desta forma, existe a necessidade da identificação de seu estado trófico, no período de operação do reservatório, em razão de que a vida aquática depende de ambiente sadio, por assim dizer, pois altos índices de trofia pode torná-la imprópria aos seres aquáticos, afetando também as populações humanas que utilizam o recurso para qualquer que seja o propósito.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Analisar a Influência do Regime Operacional do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí na Dinâmica de Nutrientes do corpo hídrico.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar o comportamento dos parâmetros físico-químicos do Reservatório da UHE Tucuruí;
- Identificar as variáveis de maior importância para obtenção dos IET's no reservatório;
- Analisar o comportamento do reservatório de forma espaço-temporal;
- Analisar estatisticamente o comportamento do regime operacional com a situação de eutrofização no reservatório.

### 3. JUSTIFICATIVA

A eutrofização nada mais é que o aumento de nutrientes no corpo d'água. Que poderá ocorrer naturalmente, de forma lenta e contínua, através da contribuição de chuvas que carregam os nutrientes da superfície terrestre para o interior do corpo d'água; ou artificialmente, por meio da ação humana (NAUMANN, 1919,1929 apud LAMPARELLI, 2004; e THIENEMANN, 1925,1931 apud SCHÄFER,1985).

A construção de barragens é uma ação artificial que facilita e acelera o processo de eutrofização, pelo fato de que o rio estando barrado perde, de certa forma, a capacidade de sua recuperação natural. Isto deve-se, dentre outros fatores, à mudança da velocidade de um rio lótico para estado lêntico, que, em consequência, necessitará de um tempo maior de recuperação do mesmo (ESTEVES & PEREIRA, 2011; Tundisi, 2008).

No dizer de Von Sperling (2005) e Brooke (2008) no Reservatório de Tucuruí, a quantidade de nutrientes conduzidos ao lago é considerada de grande proporção. Isso devido às vastas áreas circundantes que foram desmatadas, servindo para a criação de gado e cultivo de plantações, do lançamento de esgotos domésticos advindo das comunidades ribeirinhas proporcionando o aumento de nutrientes, principalmente o fósforo e nitrogênio, além das cotas diferenciadas decorrentes da sazonalidade da região, o que também afeta a dinâmica destes nutrientes (VON SPERLING, 2005 e BROOKE, 2008).

No Estado do Ceará, Santos et al. (2014) comprovaram que no período de seca da região, quando o fluxo do rio encontra-se minimizado, existe a introdução de esgoto advindo de uma cidade localizada nas proximidades do Reservatório Orós, além de contaminantes agrícolas e do pastoreio de gado nas bordas do reservatório, auxiliando no aumento de nutrientes, encontrando valores de fósforo total superior a 0,050 mg.L<sup>-1</sup> e uma variação de clorofila "a", entre 3,8 a 26,5 mg.L<sup>-1</sup>, apresentando assim a classificação eutrófica a partir do cálculo das médias do Índice dos Estados Tróficos (IET).

O mesmo pode ser evidenciado no reservatório de Barra Bonita, localizada no Estado de São Paulo, onde o principal fator responsável pela fertilização da água no reservatório advém principalmente de atividades agrícolas consideradas

predominantes na área circundante, apresentando, de acordo com os autores, nos anos de 2007 a 2012, uma classificação hipertrófica, tornando evidentes as alterações, físicas e químicas, devido a essa contaminação (BUZELLI, & CUNHA-SANTINO, 2013).

Desta forma, existe a necessidade da identificação do estado trófico no período de operação do reservatório da UHE Tucuruí, em razão de que a vida aquática depende de um ambiente sadio, por assim dizer, pois, altos índices de trofia podem torná-lo impróprio aos seres aquáticos, afetando também as populações humanas que utilizam o recurso para qualquer que seja o propósito.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

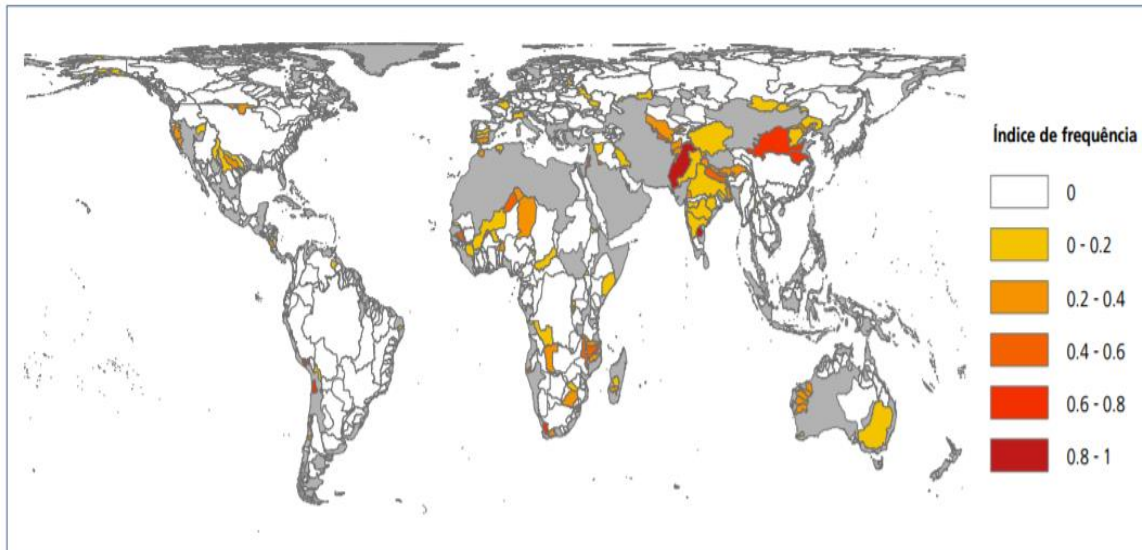
### 4.1. RECURSOS HÍDRICOS

No mundo, os recursos hídricos renováveis compreendem uma vazão anual 42.000 Km<sup>3</sup>/ano (FAO, 2011). Do total renovado pelo ciclo hidrológico global, 3.900 km<sup>3</sup> (aproximadamente 9,29%) são destinados ao uso humano (instalações sanitárias, higiene, banho etc.), 2.710 Km<sup>3</sup> apenas para a irrigação, compreendendo aproximadamente 70% e deste total 741 km<sup>3</sup> que compreendem 19% são utilizados em indústrias (FAO, 2011).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United (2011), em muitos países a oferta de água está sendo inferior à demanda, em decorrência de ações políticas e de investimento, que obtinham a finalidade de aumentar a oferta e incentivar a demanda de produtos, obtendo como resultado a escassez de água.

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (apud SADO, 2015) realizado no ano de 2016, tendo como objetivo a compreensão da relação entre a oferta e a demanda, identificou que em razão da combinação entre o elevado uso humano e da variabilidade hídrica, a escassez no Sul da África e no Norte da China é considerada de elevado risco sazonal. Já no Brasil, não se é evidenciado um índice para a falta de água frequente, sendo disponível para o uso em uma base mensal que estão suscetíveis a uma diminuição abaixo de 20% de água estocada, compreendendo assim a existência da disponibilidade em reservatórios, aquíferos e rios com capacidade ao atendimento dos padrões existentes de consumo mensal (Figura 1).

**Figura 1** - Índice para a falta de água frequente, disponível para o uso em uma base mensal



**Fonte:** O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos apud SADOFF, 2015.

O Brasil apresenta um total 13% da água de todo o mundo, demonstrando a desigualdade desta disponibilidade, em razão que 81% situa-se na Região Hidrográfica Amazônica que apresenta aproximadamente 5 % da população brasileira, enquanto que em regiões que apresentam 45,5% da população do País, nas áreas banhadas pelo oceano Atlântico apenas 2,7% de água está a disposição (ANA, 2015).

A região Amazônica brasileira apesar de apresentar o maior reservatório do mundo de água doce, não retém um quantitativo suficiente considerado de qualidade para o consumo humano, à maioria da população que se domicíliam ao redor dos principais centros urbanos, sendo eles Rio branco, Amapá, Amazonas e Pará, não apresentam um abastecimento de qualidade (QUADROS & SANTOS, 2015).

Couceiro et al. (2011), afirma que existe uma ilusão de que pela região norte possuir um grande quantitativo de água, e que a escassez é algo de exclusividade de regiões áridas, composta pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, a região norte do país que é composta pelos Estados o Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins servirá de infinita reserva hídrica, porém, o autor defende que a escassez pode ser um problema de cunho nacional e generalizado.

Apesar da grande quantidade de água disponível no Brasil, na atualidade, enfrentamos uma das maiores crises, no qual Targa & Batista (2015), identificaram que desde o ano de 2012, o Brasil passa por uma escassez de água que vem



afetando várias de suas regiões de forma intransigente, onde dos 1.485 municípios afetados, aproximadamente 27% destes declararam no ano de 2013, estado de emergência. A partir desta realidade, o autor defende que medidas devem ser tomadas para que o recurso água, sendo um bem finito, não falte, deixando claro que para isto ações de nível governamental devem priorizar o plano de gestão para a conservação deste recurso.

Automare (2015), também considera que o início da crise hídrica, deveu-se ao fato de que a sociedade e os gestores privados não ponderaram sobre a escassez da água e de outros recursos, além do tempo de resiliência dos mesmos, que dependem da manutenção de seu entorno, destacando também as alterações climáticas, porém não sendo o fator determinante para a referente crise.

A World Economic Forum - WEF (2017), destaca em seu mapa de interconexões de Riscos Globais no ano de 2017, que riscos relacionados ao meio ambiente engloba extremos eventos climáticos e a crise da água.

De acordo com a OECD - Organization for Economic Co-operation and Development (2015), existem muitos planos de recursos hídricos elaborados, porém, a formulação e a implementação da política são subdivididas, em decorrência da baixa capacidade de implementação e financiamento dos mesmos.

É importante salientar que o diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos dos municípios em que prestadores de serviços são integrantes do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), para o ano de 2015, evidenciou que a região norte apresenta um índice percentual de atendimento com rede de água em um total de 56,9%, sendo o menor quantitativo em relação ao restante das regiões brasileiras, onde o sudeste obteve o percentual de 91,2%, o sul com 89,4%, centro-oeste com 89,6% e o nordeste que apresenta 73,4% (SNIS, 2017). Portanto, a região, norte apesar da abundância em água, apresenta um menor índice de atendimento percentual, sendo bem inferior em relação às demais regiões brasileiras.

No Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (RCRHB), elaborado pela Agência Nacional de Águas – ANA (2015), atendendo a atribuição estabelecida pela Resolução Nº 58 de 30 de janeiro de 2006, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instituiu o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), fundamentando que em um período de 4 (quatro) anos o Relatório seja elaborado, com publicações anuais de informes para atualizações de seu conteúdo.

Em síntese, o informe do ano de 2014, evidenciou que dos aproximados 105.000 Km de rios federais, 16,4 mil km apresentam condições plausíveis em qualidade e quantidade de água encontrada no País, sendo assim, considerados de particular interesse para a gestão, destacando-se a região hidrográfica Amazônica, Paraguai e Tocantins – Araguaia.

O World Water Concil (2017), afirma que a crise hídrica vivenciada pelo Brasil não ocorre devido a sua ausência, e sim ao atendimento de nossas necessidades, sendo assim, uma crise de gestão que atinge o meio ambiente e bilhões de pessoas.

As primeiras intenções da realização de um sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil ocorreram a partir da Conferência das Nações Unidas sobre a Água, no ano de 1977, que objetivou a modernização do Código de Águas de 1934, o qual nunca foi implementado em sua íntegra (ANA, 2002).

Tratando-se de legislação, posteriormente, no ano de 1988 foi determinado no Artigo (Art.) 21, em sua alínea *f*, inciso XIX, da Constituição Federal Brasileira (CFB) que:

XIX – instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso. (CFB,1988).

Tal inciso, em conjunto com o Art. 225, da também CFB, afirma que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (CFB, 1988).

Estas prerrogativas evidenciaram a preocupação, de forma geral, com o meio ambiente e com questões relacionadas aos recursos hídricos brasileiros.

A partir das regulamentações determinadas pela CFB em seu inciso XIX, outras leis foram surgindo, a exemplo da Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), no qual, em seu Art. 5 são deliberados os Instrumentos da PNRH, sendo eles (PNRH, 1997):

I – Os Planos de Recursos Hídricos;

II - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;

III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;

IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Ainda de acordo com esta Lei, foi criado também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que em seu Artigo 32 foram listados em seus Incisos de I a V os objetivos a serem exigidos, sendo eles:

I - coordenar a gestão integrada das águas;

II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;

III - implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;

IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

V - promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

A partir da Lei 9.984 de 17 de julho de 2000, ficou estabelecido a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) como forma de implementação da PNRH. O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos foi integrado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, introduzindo a Agência Nacional de Águas, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, os Comitês de Bacia Hidrográfica, os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e da Agência de Água (PNRH, 1997).

Tais dados evidenciam a importância da PNRH e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), para uma melhor gestão deste recurso.

## **4.2. USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA**

A Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece que o recurso água é de domínio público, sendo dotado de valor econômico, sendo um recurso natural e limitado em momentos de escassez, onde o seu uso prioritário será para a dessedentação de animais e para o consumo humano. Esta Lei estabelece também a bacia hidrográfica como unidade territorial, além disso, implementa a Política Nacional de Recursos Hídricos, atuará também no

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, por fim, estabelece que sua gestão deve ser descentralizada, contando com a participação dos usuários, das comunidades, e do poder público (BRASIL, 1997).

Ainda de acordo com a legislação, em sua Seção II, Artigo 9º, os corpos d'água apresentam enquadramento em diferentes classes, em conformidade com seus preponderantes usos, objetivando assegurar sua qualidade, de acordo com o uso destinado além da diminuição dos custos por intermédio de ações preventivas permanentes para o combate da poluição (BRASIL, 1997).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357 de 17 de março de 2005, complementada e alterada pela Resolução CONAMA 430 de 2009 e pela Resolução CONAMA 410 de 2011, “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. (Resolução CONAMA 430:2011).

A Resolução CONAMA 357/2005, considera a classificação das águas em doces, salinas e salobras como forma segura de seus usos preponderantes tornando-se primordial sua importância e defesa de seus níveis de qualidade, através de avaliações de padrões e condições específicas, desde que situadas no território nacional apresentando a qualidade requerida em 13 (treze) classes, para seus diversos usos preponderantes.

Para as classificações de Águas Doces tem-se 5 (cinco) classes, sendo elas considerada em Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, com destinações descritos na Tabela 1:

**TABELA 1 - Classificação dos Corpos de água.**

<b>Águas Doces</b>	
<b>Classe</b>	<b>Destinação</b>
<b>I – Classe Especial</b>	- Com desinfecção para o abastecimento para consumo humano; - Ao equilíbrio natural e a preservação das comunidades aquáticas; e - À preservação em unidades de conservação de proteção integral dos ambientes aquáticos;
<b>II – Classe 1</b>	- Após o tratamento simplificado, destina-se ao abastecimento para consumo humano; - Para recreação, como natação, esqui aquático e mergulho, em razão de serem de contato primário, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 274 de 2000; e,

- Proteção das comunidades aquáticas.

**TABELA 2 - Classificação dos Corpos de água.**

(Conclusão)

<b>Águas Doces</b>	
<b>Classe</b>	<b>Destinação</b>
<b>III – Classe 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Após o tratamento convencional, destina-se ao abastecimento ao consumo humano;</li> <li>- Para recreação, como natação, esqui aquático e mergulho, em razão de serem de contato primário, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 274 de 2000; e</li> <li>- Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>- À aquicultura e à atividade de pesca; e</li> <li>- À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</li> </ul>
<b>IV – Classe 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Após o tratamento avançado ou convencional, destina-se ao abastecimento para consumo humano;</li> <li>- à pesca amadora;</li> <li>- À dessedentação de animais;</li> <li>- À recreação de contato secundário; e</li> <li>- Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.</li> </ul>
<b>V – Classe 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para navegação; e</li> <li>- Harmonia paisagística</li> </ul>

Fonte: Resolução CONAMA 357, Seção I, 2005.

Para as classificações das Águas Salinas, apresentam-se 4 (quatro) classes, sendo elas a Classe Especial, Classe 1, Classe 2 e Classe 3, sendo salientado, suas respectivas destinações na Tabela 2.

**TABELA 3. Classificação e Destinação das diferentes Classes para Águas Salinas.**  
**Das águas Salinas**

<b>Classe</b>	<b>Destinação</b>
<b>I – Classe Especial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em ambientes de conservação de proteção integral, seja para a preservação dos ambientes aquáticos; e</li> <li>- Em comunidades aquáticas para a preservação do equilíbrio natural.</li> </ul>
<b>II – Classe 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para a recreação de contato primário;</li> <li>- Para a aquicultura e a atividade de pesca; e</li> <li>- Proteção a comunidades aquáticas.</li> </ul>
<b>III – Classe 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para a recreação de contato secundário; e</li> <li>- Proteção das comunidades aquáticas.</li> </ul>

**IV – Classe 3** - Para harmonia paisagística; e  
- Para navegação.

Fonte: Resolução CONAMA 357, Seção II, 2005.

Para as classificações de Águas Salobras, apresentam-se 4 (quatro) classes, sendo elas a Classe Especial, a Classe 1, Classe 2 e a Classe 3, apresentando as destinações para seus diferentes usos descritos na Tabela 3.

**TABELA 4.** Classificação e Destinação das diferentes Classes para Águas Salobras para Águas Salobras.

<b>Das águas Salobras</b>	
<b>Classe</b>	<b>Destinação</b>
<b>I – Classe Especial</b>	- Em unidades de conservação de proteção integral, para a preservação dos ambientes aquáticos; e - Para o equilíbrio natural, e sua preservação nas comunidades aquáticas.
<b>II – Classe 1</b>	- Para a proteção das comunidades aquáticas; - Para a atividade de pesca e aquicultura; - Para recreação de contato primário; - Após o tratamento convencional ou avançado, destina-se ao abastecimento para o consumo humano; e - A irrigação de parques, campos de esportes, jardins, e lazer, com os quais possa se ter contato direto com o público, a irrigação de frutas que se desenvolvem rente ao solo, e que sejam consumidas sem a retirada de películas (cruas) e a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas.
<b>III – Classe 2</b>	- Para recreação de contato secundário; e - Para a pesca amadora;
<b>IV – Classe 3</b>	- Para a harmonia paisagística; e - Para a navegação

Fonte: Resolução CONAMA 357, Seção II, 2005.

Com o propósito ao atendimento a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/97), o enquadramento determinado pela Resolução CONAMA 357/2005, possibilitará sua classificação para os seus diferentes usos e auxiliará, desta forma, na identificação da classe da água do reservatório por consequência da mudança de seu sistema lótico para lântico, objetivando a geração de energia.

### 4.3. REPRESAS ARTIFICIAIS

Considera-se barragem qualquer resultante de uma transformação hidrotécnica, cujos efeitos negativos atingem grande proporções no âmbito social, ambiental e econômico, que apresente também uma estrutura proposta ou existente, capaz de reter, momentaneamente ou permanentemente, resíduos industriais, líquidos ou sólidos, depositados ao fundo (advindos das indústrias) e água (ROMANESCU, et al., 2014 apud EMERGENCY ORDINANCE, 2000).

Já pelo o Comitê Brasileiro de Barragem (CBDB, 2016), as barragens são consideradas obstáculos artificiais, que tem a capacidade de reter qualquer líquido como água, rejeitos, detritos, com o propósito de armazenamento ou controle, podendo apresentar variados tamanhos, desde estruturas de grandes magnitudes, como pequenos maciços de terra, sendo que os principais tipos são a barragem em aterro, a de concreto em arco, e a de concreto de gravidade.

Tundisi & Tundisi (2008), destacam que como um ecossistema aquático de grande importância estratégica, as represas artificiais proporcionam uma base limnológica teórica e ecológica, a serem utilizadas de formas diversas e variadas, interferindo nos mecanismos de funcionamento, na qualidade da água, e na sucessão das comunidades aquáticas.

Os reservatórios superficiais apresentam uma grande interação de natureza ecológica, social e econômica com as bacias hidrográficas, em razão de serem considerados um sistema complexo, constituído de diversos subsistemas e componentes que se relacionam e variam no espaço e no tempo, sendo necessária uma integração em sua abordagem para a experimentação, observação, e mensuração destes reservatórios (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Em um estudo realizado no estado do Ceará, sobre a avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios em relação à eutrofização, Figueirêdo et al., (2007) destacam que, aliada a insuficiência dos serviços de saneamento no país, muitos dos reservatórios brasileiros encontram-se em situação crítica e com falta de assistência do poder público para a implementação de ações emergenciais, para a reversão e o controle do aumento de nutrientes responsáveis pela eutrofização .

Em síntese, diversos autores vêm salientando ao longo dos anos que em decorrência das alterações do fluxo natural de um rio, a conseqüente construção de represas artificiais, com o propósito de regular o fluxo e armazenar a água para

diversos fins, ocasiona a transformação de áreas, a modificação do estado do corpo hídrico, e a modificação gradativa do ecossistema aquático, além da mudança do fluxo de um estado lótico para lântico, provocando uma alteração drástica, uma menor oxigenação, e proporciona o aumento de nutrientes, oportunizando assim a eutrofização (WIEGAND et al., 2016; PEREIRA et al., 2013; SOARES et al., 2012; LEE et al., 2010; KARMAKAR et al., 2011 XU et al., 2010; HEATH E PLATER, 2010; TUNDISI, 2008 ; SMITTENBERG et al., 2004; CUNHA, 2013).

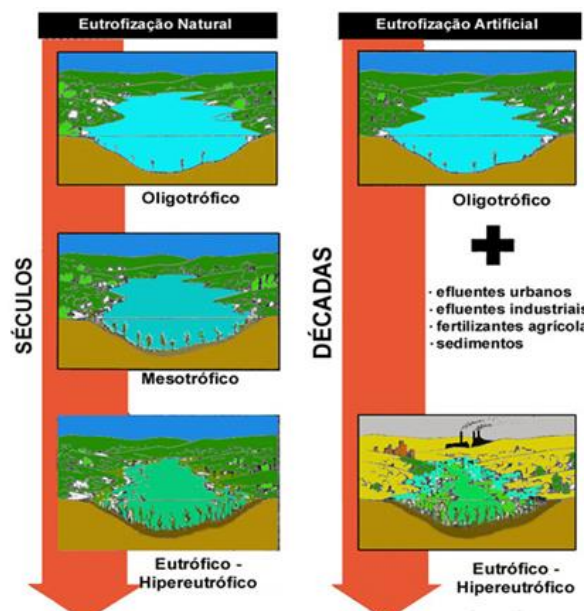
#### 4.4. EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização pode ser entendida como um estudo para a classificação, em diferentes graus, de trofia dos corpos de água, através da análise para a detecção do enriquecimento de nutrientes decorrentes de forma natural ou induzida pelo homem (NAUMANN, 1919,1929 apud LAMPARELLI, 2004; e THIENEMANN, 1925,1931 apud SCHÄFER,1985).

Até nos dias atuais, a definição de eutrofização segue a mesma e vem sendo confirmada por diversos autores em seus estudos limnológicos, em decorrência da influência direta destes nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), induzidos de forma natural ou antrópica na qualidade da água de lagos e reservatórios, como fica evidenciado nos trabalhos de Carlson (1977), Toledo (1990), Lamparelli (2004), Sorrel (2006) e Cunha (2013) dentre outros.

A Figura 2 demonstra o comportamento da eutrofização ocasionada de forma natural durante o passar dos anos, e a eutrofização artificial que se origina da introdução de nutrientes por ações antrópicas.

**Figura 2 -**  
Eutrofização,  
natural e antrópica.



Comportamento da  
eutrofização de forma



Fonte: <https://descobrimdoomar.wordpress.com>, 2012.

Nota-se na Figura 2 que o antropismo acaba influenciando diretamente na rápida degradação dos corpos hídricos com a intensificação da eutrofização, fato este, notadamente constatado em muitas cidades que, com o avanço da ocupação demográfica, associado ao despejo *in natura* de esgotos e lançamento de lixo nos corpos d'águas, acabam desaparecendo ou ficando altamente comprometido em um curto período de tempo.

O fósforo, juntamente com o nitrogênio, na maioria das águas continentais em regiões temperadas, tropicais e subtropicais, pode regular a produtividade primária aquática (ESTEVES & PANOSSO, 2011; SMITH et al., 2006; KOSTEN et al., 2009).

Esteves & Pereira (2011) destacam que a eutrofização pode ser natural ou artificial. Para os autores, a forma natural ocorre através de um processo lento e contínuo, correspondendo ao chamado “envelhecimento natural” de nutrientes trazidos pela chuva. Já a eutrofização artificial, cultural ou antrópica, está relacionada à fontes pontuais (advindas do esgoto doméstico, industrial, de atividades agrícolas, dentre outros), o que provoca o “envelhecimento precoce” do ecossistema. Além disso, destacam que o enriquecimento de nitrogênio (N) e fósforo (P), pode ser ocasionado por fatores locais (como a hidrologia e o uso do solo na bacia de drenagem), características hidrológicas do sistema aquático, da limitação de luz, e dos padrões de herbivoria (DOWNING et al., 1999; ESTEVES & PANOSSO, 2011).

Tundisi (2008), afirma que a contribuição continuada e lenta da carga de P e N, está diretamente relacionada à erosão por chuvas, adição de material biológico e os efeitos do vento.

Desta forma, percebe-se através das afirmações de diversos autores, que o aumento de nutrientes nas águas do reservatório advém de diversos fatores, podendo estes ocorrer de forma pontual e/ou difusa, artificial e/ou natural.

O IET defendido por Carlson (1977) é baseado na biomassa fitoplanctônica, presente em um corpo d'água determinado com ambiente temperado, a partir das variáveis: clorofila a transparência (medida pelo disco de secchi) e fósforo total, apresentando sua tabela de classificação do grau de trofia, na Tabela 4:

**TABELA 5.** Classificação do grau de trofia, definida por Carlson

<b>IET Carlson (1977)</b>	
<b>Índice</b>	<b>Classificação</b>
<b>≤ 20</b>	Ultraoligotrófica
<b>20 – 40</b>	Oligotrófica
<b>40 – 50</b>	Mesotrófica
<b>50 – 60</b>	Eutrófica
<b>≥ 60</b>	Hiperreutrófica

Fonte: Silva (2012) apud Carlson (1977).

Vale citar que existem outros cálculos, como o de Toledo (1990), em que ocorre uma modificação realizada no cálculo do IET determinada por Carlson (1977), por considerar as diferenças entre os ambientes temperados e tropicais devido ao fato de que a metodologia utilizada por Carlson (1977) poderá alterar sua classificação trófica durante o passar do tempo (CARLSON, 1977; LAMPARELLI, 2004), fazendo-se o uso apenas das variáveis de clorofila e fósforo classificando o grau de trofia conforme a Tabela 5, modificando o que foi descrito por Carlson (SILVA, 2012).

**TABELA 6:** Classificação do grau de trofia, definida por Toledo

<b>IET Toledo (1990)</b>	
<b>Índice</b>	<b>Classificação</b>
<b>≤ 24</b>	Ultraoligotrófica
<b>24 – 44</b>	Oligotrófica
<b>44 – 54</b>	Mesotrófica
<b>54 – 74</b>	Eutrófica
<b>≥ 74</b>	Hiperreutrófica

Fonte: Silva (2012) apud Toledo (1990).

Lamparelli (2004) incluiu o parâmetro 'Clorofila a' na caracterização em termos de nutrientes para a identificação dos graus de trofia. Segundo o autor,

houve necessidade de adaptação dos valores limite da qualidade da água nos cálculos de correlação entre os parâmetros de bases para o Índice do Estado Trófico (IET), devido às diferenças encontradas em ambientes tropicais (LAMPARELLI, 2004). Dependendo assim, a classificação conforme a Tabela 6:

**TABELA 7.** Classificação do grau de trofia, definida por Lamparelli (2004)

<b>Categoria (Estado Trófico)</b>	<b>Ponderação</b>	<b>P total(P) mg.m<sup>-3</sup></b>	<b>Clorofila a (CL) mg.m<sup>-3</sup></b>
<b>Ultraoligotrófica</b>	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
<b>Oligotrófica</b>	47 ≤ IET ≤ 52	13 ≤ P ≤ 35	0,74 ≤ CL 1,31
<b>Mesotrófica</b>	52 ≤ IET ≤ 59	35 ≤ P ≤ 137	1,31 ≤ CL ≤ 2,96
<b>Eutrófica</b>	59 ≤ IET ≤ 63	137 ≤ P ≤ 296	2,96 ≤ CL ≤ 4,70
<b>Supereutrófico</b>	63 ≤ IET ≤ 67	296 ≤ P ≤ 640	4,70 ≤ CL ≤ 7,46
<b>Hiperreutrófica</b>	IET > 67	P > 640	CL > 7,46

Fonte: Lamparelli (2004).

Tais classificações dos graus de trofia representado nas Tabelas 4, 5, e 6 determinados por estes autores, proporcionaram a identificação diferenciada de seu índice do estado trófico, já que, Carlson (1977) estabeleceu as variáveis de clorofila, transparência e fósforo total para as classificações em ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hiperreutrófico. Toledo (1990) realiza a mesma classificação, porém com base em valores mais elevados e Lamparelli (2004) determinou as classes em ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, supereutrófico e hipertrófico.

Cunha et al. (2013), que também realizaram uma alteração no cálculo do IET, destacam que regiões temperadas são distintas na dinâmica climática e nas comunidades fitoplanctônica, por isso utilizaram os parâmetros de Clorofila e fósforo para a indicação do grau de trofia adotando a classificação de trofia determinada por Carlson (1977).

Segundo Pereira et al. (2009), os altos índices de trofias originam o aparecimento de florações de microalgas ou apresentam uma aparência de microalgas mais conhecidas como algas cianofíceas ou verde azuladas que criam alimento para outros seres vivos.

Na Figura 3, pode ser visualizado as florações de microalgas no reservatório hidrelétrico de São Simão, situado no Estado de Minas Gerais, onde ocorreu a constatação de eutrofização com maior agravamento no período chuvoso, no ano de 2002, devido ao aumento de nutrientes lançados no reservatório (FONSECA, 2010).

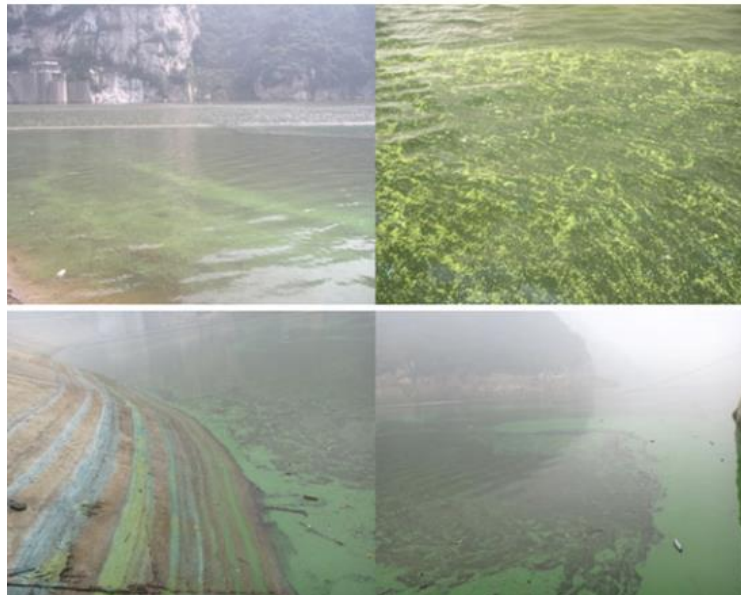
**Figura 3** - Florações de algas, resultantes do processo de eutrofização no reservatório da UHE São Simão



**Fonte:** Fonseca (2010).

Na Figura 4 é evidenciado o mesmo problema no reservatório Shibianyu na China entre os anos de 2011 e 2012 (WEN et al., 2016), constando que o problema de eutrofização em reservatórios não é apenas um problema da região brasileira.

**Figura 4** - Florações de algas no Reservatório de Shibianyu, na China



**Fonte:** WEN et al. (2016).

Vale ressaltar que estas situações apresentadas nas Figuras 3 e 4 também se repetem em muitos reservatórios ao redor do planeta, principalmente aqueles que recebem lançamentos de nutrientes ocasionados pela ação antrópica.

#### **4.5. Períodos e Tipos de Vazões**

De acordo com Cordeiro (2017), o termo vazão faz referencia ao “Volume de água que passa por uma seção de um rio ou canal durante uma unidade de tempo. Usualmente é dado em litros por segundo (l/s), em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) ou em metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ )” (CORDEIRO, 2017).

Vestenha et al. (2012 apud WEISER, 2017), destacam que as características básicas de vazão são a variabilidade temporal e espacial de um determinado rio, ou seja, para um estudo de vazão existe a necessidade da avaliação dos valores estatísticos da série histórica de dados fluviométricos, com o propósito de conhecimento básico do comportamento hidrológico deste mesmo rio.

A partir da realização de estudos hidrológicos para a instalação de uma hidrelétrica é de suma importância a determinação da vazão no regime fluviométrico do rio, para assim, utilizá-la no cálculo do projeto das estruturas extravasoras e do cálculo da potência instalada, e por fim, na relação cota-descarga no ponto a jusante à hidrelétrica (ELETROBRÁS/DNAEE, 1985 apud MUNHOS E MARQUES, 2015).

Nas centrais hidrelétricas é de grande importância a análise de vazões, visto que para o beneficiamento da hidroeletricidade deve-se também levar em conta as características topográficas do local onde a mesma será instalada, em decorrência da função vazão de uma queda d'água (MUNHOS E MARQUES, 2015).

Desta forma, evidencia-se o grau de relevância do comportamento do rio para a geração de energia. Assim, Siqueira (2006) manifesta sua preferência sobre a utilização da curva de permanência como indicador do desempenho hidrológico do mesmo.

As Curvas de permanência, ou curvas de duração, relacionam o nível de água ou a vazão de um rio com a possibilidade de ocorrência de valores iguais ou superiores, podendo ser estabelecida através do fornecimento de dados diários, semanais ou mensais para cada mês do ano ou toda série histórica.

De acordo com Sousa (1983) apud Munhos e Marques (2015), a maior problemática em relação a variação de vazão é o dimensionamento das turbinas que complica a realização de um projeto adequado de um aproveitamento hidráulico. Pois, uma turbina terá uma grande quantidade de energia perdida se a mesma for projetada para iguais às vazões mínimas, porém se forem projetadas para vazões maiores, em alguns períodos a turbina não geraria energia.

Pra que esta problemática seja minimizada, é realizada a regularização das vazões através dos reservatórios criados que acabam por controlar a vazão dentro do permitido para a produção de energia (MUNHOS E MARQUES, 2015).

A Bacia Araguaia Tocantins, onde situa-se a UHE Tucuruí apresenta uma vazão média anual de 10.900 m<sup>3</sup>/s, apresentando um volume médio anual de 344.00 m<sup>3</sup> (CMB,1999; CUNHA, 2013).

#### **4.6. Índice de Estado Trófico Criado por Carlson**

Diversos são os trabalhos realizados em todo o mundo tendo como base Carlson (1977) em seus estudos da eutrofização, em lagos e reservatórios.

O autor foi o responsável pela criação do Índice de Estado Trófico, que tinha como propósito uma comunicação mais clara sobre a eutrofização, a classificação dos corpos hídricos e sua qualidade decorrente da grande introdução de nutrientes e suas consequências relacionadas a tal processo (BEM, 2009).

Desta forma, como informado anteriormente a metodologia definida por Carlson, em 1977, foi baseada na biomassa fitoplanctônica presente em um recurso hídrico, fazendo-se o uso dos parâmetros de transparência medida pelo disco de sechi, clorofila a e fósforo total (LAMPARELLI, 2004).

Dos parâmetros analisados, Carlson (1977) fez o uso de clorofila a como principal ferramenta de seu índice, tornando-a de grande importância para a classificação trófica dos corpos hídricos. A transparência realizada pelo disco de sechi foi utilizada pela consideração da existência da relação da limitação de luz e o aumento do quantitativo de algas no ambiente aquático.

Lamparelli (2004) ainda destaca a vantagem do Índice elaborado por Carlson, pelo fato dos parâmetros já citados apresentarem baixo custo analítico, ser de fácil determinação, e fácil compreensão do que outros índices probabilísticos.

Com o passar dos anos, diversos autores realizaram modificações do Índice de Carlson, pelo fato do índice só poder ser utilizado em reservatórios de ambiente temperado (LAMPARELLI, 2004; BARROS, 2013). Podemos, assim, destacar três autores que mais são descritos na literatura sendo eles: Toledo (1977), Salas e Martino (2001) e Lamparelli (2004).

Toledo, que no ano de 1983 realizou uma das modificações do Índice descrito por Carlson (1977), através da alteração da importância da transparência, por considerar que esta variável apresenta menor relevância por ser influenciada pela alta turbidez encontrada em diferentes períodos do ano.

De acordo com Salas e Martino (1991 apud NÉMERY et al., 2015), o índice foi proposto pela primeira vez para lagos e reservatórios de clima tropicais, o que para outros tipos de ambientes os índices de outros reservatórios poderiam apresentar erros em decorrência desta diferença.

E por fim, tem-se Lamparelli (2004) o qual terá um item exclusivo para a apresentação de seu trabalho.

#### **4.7. Índice do Estado Trófico Criado por Lamparelli**

A tese de Lamparelli, realizada no ano de 2010 pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (Departamento de Ecologia), teve como principal objetivo: “Avaliar as diversas metodologias para a avaliação do grau de trofia utilizados em ambientes lênticos e lóticos no Estado de São Paulo”, propondo modificações de tais metodologias para a rede de monitoramento do Estado de São Paulo.

Para isto, Lamparelli (2010) realizou diversas atividades, como: Avaliar as metodologias do Estado Trófico, com a inclusão de metodologias de análise de tratamento e das variáveis selecionadas, realizando a avaliação dos dados de monitoramento disponíveis na Rede, entre os anos de 1996 à 2001.

Destacou também as diferenças entre reservatórios e rios em 69 pontos amostrais; estabeleceu a relação entre nitrogênio total, clorofila a e fósforo total, em equações para os rios e reservatórios do Estado (LAMPARELLI, 2010). Além de realizar um debate sobre os limites dos parâmetros já citados, com o propósito de estabelecer as classes tróficas nestes ambientes, avaliando também a adequação

destes limites para os mesmos ambientes a serem analisados no Estado de São Paulo (LAMPARELLI, 2010).

Para o atendimento de seu objetivo, a autora ainda realizou a avaliação da inclusão de novos parâmetros para a determinação do enriquecimento dos corpos d'água no Estado, investigou e utilizou em comparação a outros índices utilizados no Brasil. Propôs também um novo Índice para os Rios e eventuais modificações dos Índices utilizados em reservatórios, com discussões e definições da frequência de amostragem e dos pontos de monitoramento.

A Rede de monitoramento da qualidade da água do Estado de São Paulo teve seu início no ano de 1974, sendo realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em decorrência da piora da poluição hídrica decorrente principalmente das cargas difusa agrícola e urbana e de influentes domésticos e industriais (LAMPARELLI, 2004).

Os objetivos desta Rede de Monitoramento são: Monitorar o desenvolvimento progressivo da qualidade da água para cada ponto de amostragem; Contribuir tecnicamente para a concepção de Planos de Bacia e Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos; Contribuir também para o diagnóstico da qualidade da água doce utilizada para o abastecimento público e outros usos; Além da identificação da degradação da qualidade da água em trecho de rios com a finalidade da realizações de ações preventivas e de controle do CETESB (CETESB, 2003; LAMPARELLI, 2004).

Durante a sua avaliação inicial, Lamparelli (2004) identificou uma grande variação em cada tipo de corpo d'água nos valores médios dos parâmetros de clorofila a, nitrogênio e fosforo total, no qual dos 1419 dados de fósforo total 50%, apresentaram concentrações  $\leq 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ , 30,4%, apresentaram concentrações  $\leq 0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ , para os padrões de classe 1 e 2 do CONAMA 20 de qualidade de água (BRASIL 1986; LAMPARELLI, 2004), havendo uma separação por tipo de corpo d'água, para rios diminui para 6% enquanto que para reservatórios a porcentagem aumenta para 40,6% dos valores  $\leq 0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ .

A autora, enfatiza sobre a importância do monitoramento constante nos mesmos pontos de amostragem, para a observância das tendências da qualidade da água por longos períodos. Apontou também a adequação metodológica e padronização dos resultados, através da utilização das metodologias utilizadas em seu trabalho da OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development



(1986) e do CEPIS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (SALAS E MARTINO, 2001).

E, por fim, identificou também que a metodologia de clorofila *a* é um método menos oneroso, apesar de suas limitações, apresentando grande importância no monitoramento da qualidade das águas, e confirmou que através dos valores médios calculados existe a probabilidade de ocorrência de valores máximos e mínimos de clorofila *a* (SALAS E MARTINO, 2001).

Sobre as limitações dos cálculos dos IET's, Lamparelli (2004) observou que para a maioria dos ambientes o Modelo Quadrático que introduz no cálculo, o tempo de residência foi o melhor testado, devendo ser aplicado de forma diferenciada para ambiente lênticos e lóticos, em decorrência da significativa regressão entre fósforo total e clorofila *a*, para cada distinto ambiente, devendo também levar em consideração o potencial de eutrofização.

Pela avaliação dos corpos de água pela Rede de Monitoramento, a autora concluiu que entre os ambientes lênticos e lóticos não houve diferença dos valores do parâmetro fósforo total nos períodos secos e chuvosos. Porém também destaca que no período seco foram apresentados valores mais elevados de ortofosfato solúvel nos dois ambientes.

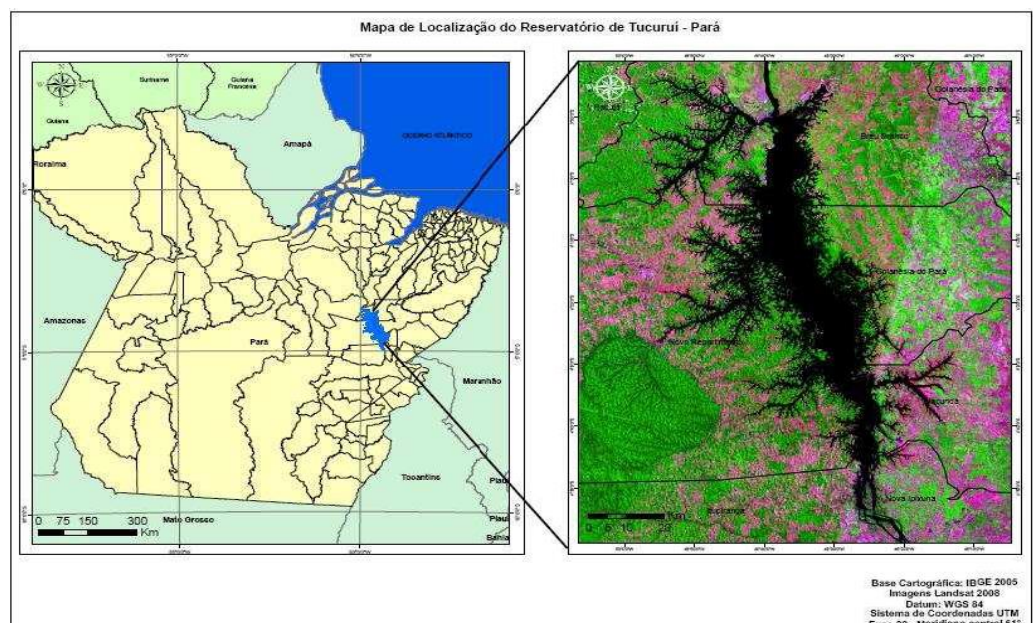
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Área de estudo

O município de Tucuruí, que até o ano de 1947 pertenceu ao município de Baião, teve como primeiros habitantes os índios Parakonãs, os Gaviões e Asurinís. No ano de 1976, iniciou-se a construção da Barragem de Tucuruí com o propósito do aproveitamento energético do rio Tocantins, para atender a empreendimentos eletro-intensivos, e ao mercado polarizado de Belém (PLANO DIRETOR DE TUCURUÍ, 2006).

Localizada no Estado do Pará, a UHE Tucuruí encontra-se a uma distância (em linha reta) aproximada de 350 km da capital Belém. Seu reservatório (Figura 5) situado na região do baixo rio Tocantins, compreende um comprimento de aproximadamente 170 Km, desde o local de barramento do rio, no município de Tucuruí, até o município de Itupiranga, no estado paraense (SILVA et al., 2016), apresentando cerca de 50,3 bilhões de metros cúbicos de água acumulados (ELETRONORTE,2015), passando pelos municípios de Nova Ipixuna, Jacundá, Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Breu Branco (SANTANA et al., 2014).

**Figura 5 -** Localização do Reservatório de Tucuruí



**Fonte:** Base Cartográfica IBGE (2005).

A UHE Tucuruí está situada, aproximadamente, sob as coordenadas 03° 45' Sul na latitude e 49° 41' Oeste (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 2000).

Encontra-se inserida na Bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, considerada a quarta maior bacia de drenagem na América do Sul (AQUINO et al., 2009), percorrendo 2.500 Km até o estuário do Rio Amazonas, apresentando 10.950 m<sup>3</sup>/s de vazão média originário dos 767.000 km<sup>2</sup> de área de drenagem (ELETRONORTE, 2015).

De acordo com a Comissão Mundial de Barragens (2000), o eixo correspondente ao norte do país, onde se encontra instalado o reservatório na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, apresenta típicas características de um clima equatorial úmido, apresentando uma média de 58% em umidade com chuvas potenciais que podem alcançar 2.400 mm no período chuvoso, nos meses de dezembro à maio e o período seco no restante dos meses (FISCH et al., 1990; SANCHES & FISCH, 2005).

No que se refere as características do solo, esta região apresenta solos do tipo argiloso vermelho – amarelo distrófico típico, argiloso/muito argilosa, média/argilosa e média cascalhenta/argilosa cascalhenta, suave ondulado e ondulado, com também solo argiloso vermelho-amarelo distrófico petroplíntico e típico (IBGE, 2008).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o argissolo é composto por uma grande quantidade de argila com alta ou baixa densidade, distrófico no qual apresenta valores inferiores a 50% de saturação por bases (EMBRAPA, 2006).

As características geológicas da Bacia do Tocantins são de rochas ígneas e metassedimentos e cobertura sedimentar, depositadas durante os períodos mesozoico e cenozoico, seu solo à montante e posterior ao barramento apresenta uma carência em nutrientes (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 2000). Apresenta aproximadamente 25 milhões de kW de potencial estimado, cerca de 32% (aproximadamente 8 milhões de KW) da sua total capacidade (WCD, 2000).

O município de Tucuruí está inserido na proximidade da borda oriental do Cráton Amazônico, na porção setorial da faixa Araguaia e após o enchimento do reservatório da UHE Tucuruí uma grande área de formações geológicas foram inundadas, trazendo como consequência a modificação da dinâmica natural do rio Tocantins, impedindo o fluxo de grande parte dos sedimentos que ficam retidos no interior do reservatório, proporcionando assim, a elevação da capacidade de erosão do rio (ELETRONORTE e ENGEVIX – THEMAG, 1988).

De acordo com Pará (2011) apud CUNHA (2013), a vegetação do município apresenta a floresta aberta latifoliada, densa de terraços, de platô e floresta submontana, em relevo aplanado com uma dominância da floresta tropical úmida.

## 5.2. Metodologia de coleta

### 5.2.1. Regime operacional da barragem da UHE Tucuruí para um período de 14 anos (2003 a 2016)

Primeiramente realizou-se um levantamento bibliográfico da temática a ser trabalhada. Posteriormente, a coleta de dados do regime operacional dos últimos 14 anos, junto a empresa responsável pela UHE Tucuruí, coletando dados dos principais nutrientes responsáveis pela eutrofização (nitrogênio, fósforo, clorofila *a*, turbidez e transparência), considerando a influência da sazonalidade, compreendendo o período seco nos meses de junho à novembro, e o período chuvoso nos meses de dezembro à maio no município de Tucuruí.

Para o levantamento dos nutrientes foram selecionados 12 estações de amostragem, situados de forma distribuída no reservatório a montante da barragem UHE Tucuruí, descritos na Tabela 7:

**TABELA 8.** Estações de Amostragem a montante da UHE Tucuruí

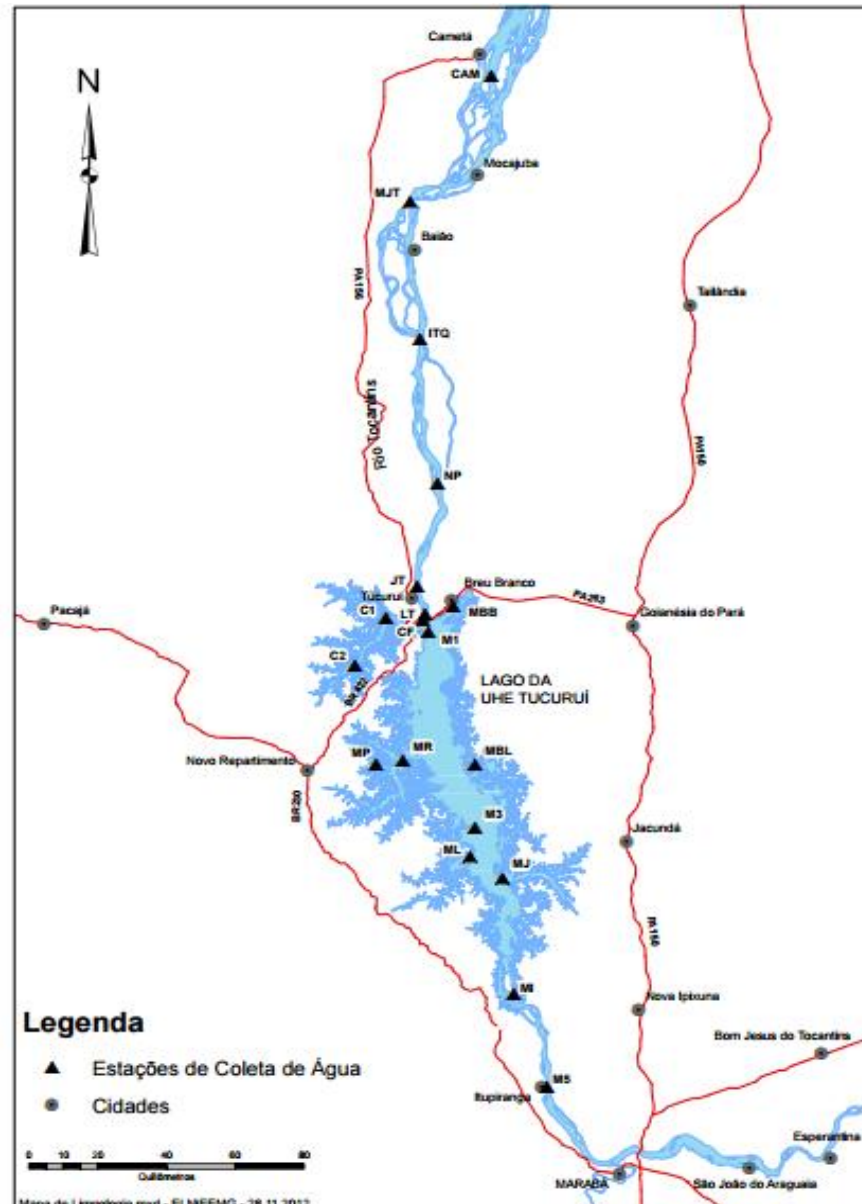
<b>Código da Estação</b>	<b>Nome da Estação</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>C1</b>	Caraipé 1	03°50'02.8" e 49°47'57.7"
<b>C2</b>	Caraipé 2	03°57'12.1" e 49°49'31.1"
<b>M1</b>	Montante 1	03°51'38.8" e 49°37'56.6"
<b>M3</b>	Montante 3	04°24'38.5" e 49°30'37.8"
<b>M5</b>	Montante 5 (*)	05°02'44.3" e 49°19'46.8"
<b>MB</b>	Montante Belalto	04°13'57.2" e 49°30'37.8"
<b>MBB</b>	Montante Breu Branco	03°47'17.6" e 49°34'01.4"
<b>MP</b>	Montante Pucuruí	04°13'57.2" e 49°46'08.6"
<b>MR</b>	Montante Repartimento	04°13'16.3" e 49°41'59.6"
<b>MI</b>	Montante Ipixuna	04°52'35.2" e 49°24'31.2"
<b>MJ</b>	Montante Jacundá Velho	04°33'00.5" e 49°26'20.6"
<b>ML</b>	Montante Lontra	04°29'23.9" e 49°31'27.7"

Fonte: ELETRONORTE, 2012.

Na Figura 6, pode-se visualizar a localização das estações de amostragem a serem analisadas durante um período de 14 anos, com o propósito de assimilar o

comportamento do processo de eutrofização no reservatório da UHE Tucuruí, tendo como ano base a partir do ano 2003 até o ano de 2016.

**Figura 6** - Mapa de Localização das estações de amostragem a montante da UHE Tucuruí



Fonte: ELETRONORTE, 2012.

Com os dados levantados, foi realizada uma análise quantitativa de cada parâmetro previamente determinado, desde o ano de 2003 até o ano de 2016, totalizando 14 (quatorze) anos de estudo.

Com o auxílio do programa Microsoft Excel®, realizou-se uma avaliação do comportamento dos nutrientes clorofila a, fósforo, transparência, turbidez e

nitrogênio, encontrados no referido reservatório, através do cálculo dos IET's determinados por Carlson (1977) e Lamparelli (2004).

A escolha dos cálculos determinados deve-se ao fato de que os mesmos já serviram de parâmetros de referência para diversos trabalhos limnológicos no Brasil e no exterior como os desenvolvidos por Cunha (2013) e Sorrel (2006).

#### 5.2.2. Identificação das variáveis de maior importância para obtenção dos IET's no reservatório

Para a identificação das variáveis de maior importância à obtenção dos IET's no reservatório, levou-se em consideração os parâmetros adotados por Carlson (1977), para o cálculo do Índice do Estado Trófico, dependendo das variáveis de fósforo total, transparência (disco de sechi) e clorofila a, objetivando independentemente a biomassa algal (LAMPARELLI, 2004; SILVA, 2012).

Com as variáveis de clorofila a e fósforo total, o cálculo do IET determinado por Lamparelli (2004) pode ser realizado acrescentando as variáveis de nitrogênio e a transparência (disco de secchi).

Por fim, para a análise final do regime operacional em um período de 14 anos (2003-2016), foram selecionados os parâmetros: Ferro total, transparência realizada pelo disco de sechi, a demanda química de oxigênio, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, ferro total, ortofosfato, clorofila, condutividade, nitrogênio total, amônia e nitrato.

A seguir, descrevem-se os procedimentos experimentais realizados pela Eletronorte para as análises laboratoriais dos parâmetros que foram coletados para este estudo, que são:

##### 5.2.2.1 Clorofila

Realizado pelo Standard Methods 10200H, o parâmetro clorofila foi obtido a partir da coleta de amostras de água através do auxílio da garrafa de Van Dorn, para seu posterior acondicionamento em recipientes adequados, finalizando com a análise laboratorial (APHA, 1999; KURODA, 2005).

#### 5.2.2.2 Fósforo

Para a análise do fósforo total utilizou-se o Standard Methods 4500 – P. Após a coleta das amostras e acondicionamento adequado, as amostras passaram pela análise laboratorial que foi aprovado no ano de 1999 e foi revisado no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.3 Transparência

Para a análise da transparência, como forma de identificar o alcance de luz na coluna d'água, foi utilizado o disco de Secchi para a obtenção dos resultados (APHA, 2017).

#### 5.2.2.4 Turbidez

Na análise de turbidez utilizou-se o Standard Methods 2130 Turbidity. Em laboratório foi possível determinar a quantidade de sólidos totais encontrados nas amostras de água. Tal metodologia foi aprovada no ano de 2001 pela SM committee e passou por revisão no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.5 Nitrogênio

Nas análises de nitrogênio utilizou-se o Standard Methods 4500 – N, método este que foi aprovado pela SM Committee, nos anos de 1997 e 2001 passando por uma revisão no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.6 Oxigênio Dissolvido

Para a análise do oxigênio dissolvido, fez-se o uso do Standard Methods 4500-O do ano de 2001, sendo utilizado a metodologia de Winkler durante todo o período de amostras coletadas (APHA, 2017).

#### 5.2.2.7 Potencial Hidrogeniônico – pH

Apresentando um alto grau de importância para a análise química da água, a análise do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada a partir do Standard Methods 4500 - H<sup>+</sup> (APHA, 2017).

#### 5.2.2.8 Condutividade Elétrica

Para a medição da capacidade do meio aquático em transportar uma corrente elétrica, utilizou-se o standard methods 2510 Conductivity, aprovado pelo SM Committee no ano de 1997 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.9 Cloro

Para a medição do cloro, foi utilizado o Standard Methods 4500- Cl Chlorine (Residual), revisado no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.10 Ferro

A análise de ferro, foi realizada utilizada através do Standard Methods 3500 – Fe Iron, aprovado por SM Committee no ano de 1997 e revisada no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.11 Cálcio

Para os resultados obtidos de cálcio foram utilizadas o Standard Methods 3500 – Ca Calcium, aprovado pela SM Committee no ano de 1997 e revisado no ano de 2011 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.12 Magnésio

Os resultados obtidos dos parâmetros de magnésio foram realizados pelo Standard Methods 3500 – MG Magnesium, aprovada pelo SM committee no ano de 1997 (APHA, 2017).



#### 5.2.2.13 Nitrato

As análises de nitrato foram realizadas através do Standard Methods 4500 - NO<sub>3</sub>, sendo aprovada pela SM committee no ano de 2016 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.14 Amônia

Os resultados obtidos de amônia foram obtidos por meio do uso do Standard Methods 4500 – NH<sub>3</sub> Nitrogen (Ammonia), aprovada pelo SM committee no ano de 1997 (APHA, 2017).

#### 5.2.2.15 Fosfato

Para os resultados de fosfato, foi utilizado o Standard Methods 4500 – P, aprovada pelo SM Committee no ano de 1999 (APHA, 2017).

### **5.3. Metodologia para o cálculo do Índice do Estado Trófico (IET)**

Para a verificação das variáveis com maior grau de importância à obtenção dos IET'S no reservatório de Tucuruí, foram utilizados os cálculos para a determinação do grau de trofia elaborados por Carlson (1977) e Lamparelli (2004). Trabalhos estes que serviram de parâmetros para vários estudos de eutrofização, como é o caso de Trindade & Mendonça (2014) que utilizaram os modelos matemáticos de Carlson (1977) e Lamparelli (2004), em um estudo de caso realizado no reservatório de Rio Bonito no Estado Espírito Santo, obtendo diferentes classificações em todo o período de análise, variando entre as classificações eutrófico, mesotrófico e oligotrófico. Já pela metodologia de Lamparelli (2004) classificaram-se alguns pontos do reservatório em mesotrófico.

A escolha das metodologias de Carlson (1977) e Lamparelli (2004) deveu-se ao fato de que tais autores vêm sendo utilizados como referência para diversos trabalhos em regiões com climas temperados, com o propósito de identificação da diferença dos resultados de ambas as metodologias.

O cálculo de Carlson (1977) baseia-se principalmente na biomassa fitoplanctônica, através das variáveis: clorofila a (CL), transparência (disco de secchi) e fósforo total (PT), os cálculos são realizados a partir das Equações 1, 2 e 3:

$$\text{IET (DS)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln CL}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{65}{PT}}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

DS – Transparência expressa em m (metros);

CL – Concentração de clorofila a, expressa em ug L-1 (micrograma por litro);

PT – concentração de fósforo total, expressa em ug L-1 (micrograma por litro); e

ln – Logarítimo natural

Para a realização do cálculo de Lamparelli (2004), em ambientes lênticos, as equações utilizadas foram:

$$\text{IET(PT)} = 10 \left( 6 - \frac{1,77 - 0,42 \ln(P)}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \left( 6 - \frac{0,92 - 0,34 \ln(CL)}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

PT - concentração de fósforo total, expressa em ug L-1 (micrograma por litro); e

ln – logarítimo natural; e

CL – concentração de clorofila a, expressa em ug L-1 (micrograma por litro).

Posteriormente, realizou-se a correlação estatística do comportamento da eutrofização com a dinâmica operacional da barragem, com o propósito de verificar a influência da operacionalização do reservatório no IET.

Por fim, para uma melhor clareza dos resultados, demonstrou-se de forma espacial, através do uso do programa de geoprocessamento QGIS, versão 2.8.3, o comportamento da eutrofização de acordo com os resultados encontrados para cada metodologia de cálculo de IET.

#### **5.4. Metodologia para analisar o comportamento dos nutrientes através dos Índices de Estado Trófico (IET), no reservatório de forma espaço-temporal.**

Foi utilizado o programa de geoprocessamento QGIS, versão 2.8.3, para a realização da caracterização espacial do reservatório, com base nos resultados obtidos dos IET's definidos pela metodologia de Carlson (1977) e Lamparelli (2004).

O software QGIS é livre, tendo a funcionalidade de um sistema de georreferenciamento (GIS) que provê visualização, edição e análise de dados georreferenciados que possibilitará neste estudo a criação de mapas com várias camadas (parâmetros analisados neste estudo) usando diferentes projeções de mapa para as análises espaciais do comportamento da eutrofização.

Com a série temporal já determinada, foram confeccionados mapas específicos de localização das áreas que apresentaram maiores concentrações deste índice, com o propósito de identificação do comportamento deste no reservatório.

#### **5.5. Analisar estatisticamente o comportamento do regime operacional com a situação de eutrofização no reservatório.**

Com o uso do programa BioEstat 5.0, realizou-se a análise de correlação estatística do comportamento da eutrofização através da correlação de Pearson (Equação 6), durante o regime de operação no período já determinado, correlacionando os graus de trofia com os dados operacionais da barragem (nível do reservatório e vazão de produção da hidrelétrica).

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

r - Coeficiente de Correlação de Pearson;

n – Número total de pares ( X e Y);

X – Escore bruto da variável X; e

Y – Escore bruto da variável Y.

O BioEstat é um programa acessível para estudantes de graduação e pós-graduação, por ser gratuito e também por apresentar fácil manuseio. Este *software* possui 210 aplicativos estatísticos, um manual e um CD-ROM com fáceis indicações para a realização de testes simples e precisos, sendo assim, considerada uma ferramenta de grande importância para análises estatísticas (AYRES et al., 2007).

De acordo com Ayres et al. (2012), as correlações podem ser fortes quando as variáveis apresentarem-se agrupadas na proximidade de uma linha imaginária, ou podem ser consideradas fracas quando as mesmas apresentarem-se de forma mais dispersa da linha imaginária, visto que, correlações perfeitas são consideradas raras. Tal correlação linear poderá também indicar um sentido negativo quando uma das variáveis aumenta e a outra diminui, originando uma reta imaginária em sentido descendente, já o sentido positivo ocorre quando uma das variáveis aumenta, proporcionando de forma correspondente, o aumento da segunda variável, originando uma seta imaginária com um sentido ascendente.

A correlação de Pearson ( $r$ ) associa duas variáveis (X e Y), a serem aplicados valores de +1 a - 1. Quanto mais próximo desses valores, a associação das variáveis será mais forte; quando o mesmo for nulo, indica a ausência de correlação; quando a resultante da correlação for igual a zero, assinala-se a ausência de associação das variáveis. Por fim, tal correlação originará uma matriz dos valores obtidos.

## **6. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **6.1. Avaliação Inicial**

Em uma avaliação preliminar, pode-se afirmar que as 13 estações de amostragem - situadas à montante da Barragem da UHE Tucuruí - apresentaram variações nos diversos parâmetros analisados, e durante todos os 14 anos de análise.

Os parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), cloro, ferro, cálcio, magnésio, nitrato, amônia e fosfato, foram analisados e monitorados durante o período amostral já citado, enquanto a UHE encontrava-se no processo de geração de energia.

Dos resultados obtidos pela empresa geradora de energia, foram calculadas suas concentrações médias, retratando poucas variações na comparação dos resultados médios entre o período seco e o período de chuva na região.

Além dos parâmetros citados anteriormente, as concentrações médias de nitrogênio, fósforo total, clorofila, transparência e turbidez, parâmetros de grande relevância para os cálculos dos Índices de Estado Trófico (IET), também apresentaram um comportamento similar entre os dois períodos.

Dos resultados obtidos no cálculo do IET, definido pelos dois autores de referência no estudo, foram identificados valores distintos para cada ponto amostral e para cada ano, indicando resultados médios que variaram entre 42,90 mg.L-1 à 68,01mg.L-1, quando determinado por Carlson, e 50,7mg.L-1 à 63,3 mg.L-1 quando determinado por Lamparelli.

A visualização em mapas apresentou, de forma espaço-temporal, o enquadramento a partir dos resultados dos índices definidos pelos dois autores, demonstrando os enquadramentos de acordo com as classificações de cada autor.

Assim, nos itens posteriores será demonstrado mais sobre o comportamento do recurso hídrico em relação a eutrofização no reservatório, onde encontra-se localizado no corpo hídrico Rio Tocantins.

### **6.2. Análise do comportamento dos parâmetros físico-químicos do reservatório da UHE Tucuruí**

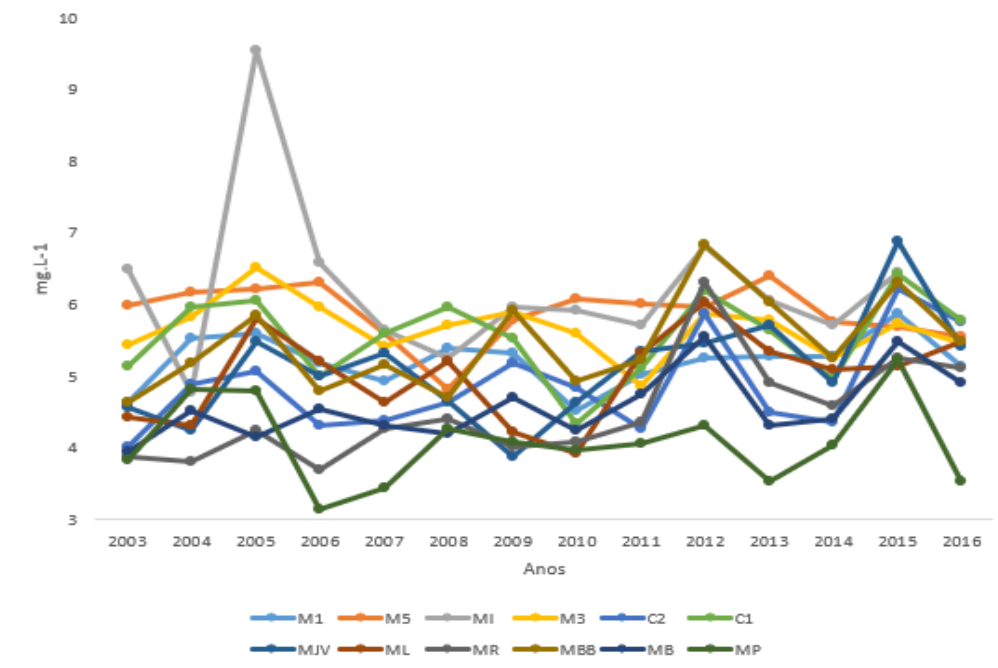
### 6.2.1. Oxigênio Dissolvido

Durante os 14 anos de análise do reservatório da UHE Tucuruí, foi possível observar variações nos diversos parâmetros que serviram como base de análise do regime operacional do reservatório.

Dentre os diversos gases, o oxigênio é um dos gases de maior significância em um ambiente aquático para manutenção da vida (ESTEVES, 1998; FIORUCCI & FILHO, 2005).

O oxigênio dissolvido (OD) foi um dos parâmetros que apresentou variações nas análises temporais. No Gráfico 1 podemos visualizar as variações sofridas nos 12 pontos de amostragens à montante da UHE Tucuruí.

**Gráfico 1** - Comportamento do OD, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Pode-se assim visualizar, que em grande parte do período chuvoso o comportamento do OD apresentou algumas alterações no decorrer do período analisado, principalmente no ponto de amostragem MI, sendo o único que apresentou uma variação superior aos demais pontos de amostragens, alcançando a média de 9,53 mg.L-1 no ano de 2005, sendo este a maior média dentre os pontos

estudados, o valor mínimo médio ocorreu no ano de 2006 (3,15 mg.L-1) no ponto MP.

De acordo com a CETESB (2013 apud ARAGÃO & VELOSO 2013), o oxigênio dissolvido é um fator limitante nos processos de autodepuração, tanto na vida aquática, como em estações de tratamento de esgoto (ETE). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o quantitativo de oxigênio dissolvido para a manutenção da vida aquática não pode ser inferior a 6 mg.L-1 para águas de classe 1, inferior a 5,00 mg.L-1 havendo uma tolerância entre as espécies, quando inseridas na classificação 2 – águas doces, e de 4,00 mg.L-1 para águas doces, classe 3.

O ponto de amostragem MI, também apresentou uma particularidade devido ao fato de no último ano de estudo não ter sido realizada a análise de OD.

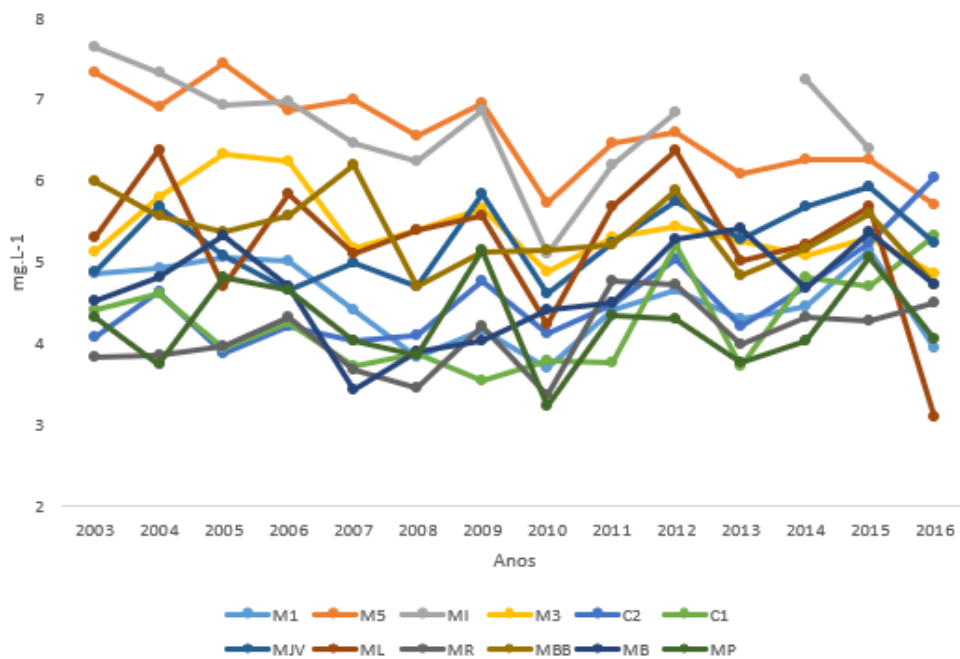
Dentre os 12 pontos de amostragem, o ponto MP foi o que apresentou os menores valores de OD enquanto que o ponto MI apresentou os maiores, alcançando um pico de OD no ano de 2005 (já mencionado como o valor mais alto), apresentando posteriormente uma queda de valores, e no decorrer dos anos seguintes, permaneceu próximo aos demais resultados.

Pode-se então identificar que os resultados dos pontos MJV no ano de 2009, ML no ano de 2010, MR no ano de 2003, 2004 e 2006, MB no ano de 2003 e MP nos anos de 2003, 2006, 2007, 2010, 2013 e 2016, apresentaram valores inferiores a 4 mg.L-1, estando assim, impróprias para águas de classificação 3.

Para as águas de classe 2, apenas no ano de 2015 os valores alcançaram valor determinado pela legislação vigente. Nos demais anos vários pontos apresentaram valores inferiores ao limite estabelecido, sendo evidente que os pontos MB e MP apresentaram os piores resultados de OD.

Entretanto, no período de estiagem, o OD apresentou um comportamento homogêneo, similar ao período chuvoso. No Gráfico 2 é possível evidenciar as variações dos pontos de amostragem.

**Gráfico 2** - Comportamento do OD, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O ponto de amostragem MI apresentou o mesmo comportamento observado no período chuvoso, com valor médio mais alto de 7,64 mg.L-1 no ano de 2003, e o valor médio mínimo do estudo foi de 3,1 mg.L-1 no ponto ML no ano de 2016.

O ponto MI também apresentou a mesma particularidade evidenciada no período chuvoso, sendo que nos anos de 2013 e 2016 não ocorreram análises de OD.

Ao comparar os resultados entre os dois períodos percebeu-se que no período seco obtiveram-se valores superiores em relação ao período chuvoso.

Durante o estudo foi perceptível pontos amostrais inferiores ao menor valor de OD determinado pela Resolução para águas de classe 3, sendo evidenciados nos pontos: M1, nos anos de 2010 e 2016; C2, no ano de 2005; C1, nos anos de 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2013; MR, nos anos de 2003 à 2005, 2007, 2008, 2010 e 2013; MB, nos anos de 2007 e 2008; e no ponto MP, nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2013.

Para as águas de classe 2, apenas os pontos M5 e MI atenderam, em todos os 14 anos, valores satisfatórios de OD, e o pior ponto evidenciado foi o ponto MR,



em que todos os anos os valores obtidos não alcançaram o determinado pela Resolução.

Para Fiorucci & Filho (2005), o desaparecimento do OD pode ocorrer pela respiração de organismos aquáticos, pela decomposição da matéria orgânica, oxidação química, e pela simples perda para a atmosfera. Podendo ainda ocorrer, de forma mais drástica, se grandes quantidades de matéria orgânica forem introduzidas ao ambiente aquático, fato que pode ser levado em consideração quando trata-se do reservatório da UHE Tucuruí, devido a presença de diversos fatores circundantes ao reservatório, o que facilitariam a introdução deste material no lago.

Outro fator a ser considerado é o lançamento de esgoto sanitário advindo das áreas urbanas, o que ocorre devido a falta de esgotamento sanitário nos municípios que o reservatório abrange, onde, de acordo com o IBGE (2017), o município de Tucuruí apresenta apenas 15% de esgotamento sanitário, Breu Branco com apenas 5%, Itupiranga com 8,8%, Goianêsia do Pará com 8,7%, Jacundá com 15,3%, Nova Ipixuna com 2,6% e Novo Repartimento com 14,7%, porcentagens baixas que podem inferir num provável lançamento no reservatório.

A partir das informações descritas acima, pode-se identificar que o ponto MI (Montante Ipixuna) apresentou, em ambos os períodos, médias superiores de OD em relação aos demais pontos, podendo ser justificável pelo distanciamento do centro urbano do município de Nova Ipixuna para o Lago do reservatório da UHE Tucuruí, que provavelmente diminuiria as chances de contaminação por efluente doméstico, auxiliando na decomposição da matéria orgânica e o consumo de OD diminuiria. Porém não é o que ocorre neste ponto de amostragem com valores médios superiores aos demais pontos.

O ponto MP, tanto no período chuvoso quanto no período seco, apresentou os piores valores médios de OD. Esse resultado pode ser justificável pela proximidade do centro urbano de Novo Repartimento, podendo indicar uma contaminação direta por efluente doméstico, auxiliando no consumo deste parâmetro pela decomposição da matéria orgânica.

Jones et al. (2011) identificou no reservatório de Missouri, quando relacionou a temperatura com a quantitativo de OD, baixos valores durante o verão com valores  $<1 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $< 4 \text{ mg.L}^{-1}$ , comprovando a influência da temperatura com o

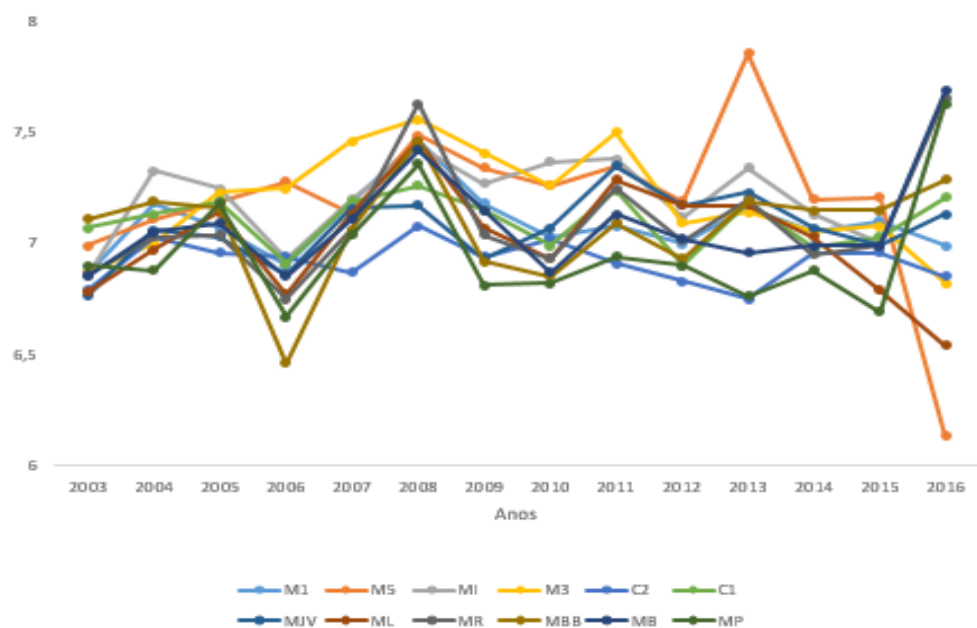
quantitativo de OD na água, o que pode também ser levado em consideração no reservatório da UHE Tucuruí, devido as elevadas temperaturas do município.

Porém, no reservatório da UHE Tucuruí o comportamento foi diferenciado, já que no período seco, onde as temperaturas são mais elevadas, foram apresentadas maiores concentrações de OD que no período chuvoso, demonstrando que as altas temperaturas não foram significantes na influência do quantitativo de OD no reservatório.

### 6.2.2. Potencial Hidrogeniônico

Outro parâmetro analisado para a verificação do comportamento da água no reservatório da UHE Tucuruí foi o potencial hidrogeniônico (pH), podendo ser observado no Gráfico 3 no período chuvoso, com resultados de pH similar entre os pontos amostrais durante a análise do período chuvoso, sendo evidente poucas alterações entre os resultados.

**Gráfico 3** - Comportamento do pH, no período Chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Durante o período de estudo, o valor mínimo encontrado de pH foi de 6,13 no ponto M5 no ano de 2006, e o valor máximo foi de 7,86 no mesmo ponto de amostragem.

É importante salientar que no ano de 2016 no ponto MI, não houve a realização de análise.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 os valores de pH em águas doces devem permanecer entre 6,0 a 9,0 para águas de classe 1 à 3. No período chuvoso, pôde-se identificar que todos os resultados obtidos estavam dentro das conformidades da Resolução CONAMA.

No Gráfico 4, pode ser evidenciado o comportamento do pH durante o período seco, demonstrando um comportamento similar entre os pontos de análises.

**Gráfico 4** - Comportamento do pH, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Para as análises pH, novamente o ponto MI, no ano de 2013 e no ano 2016 não apresentou resultados.

Em relação ao período chuvoso, os resultados deste período em maioria foram superiores os encontrados no período anterior, apresentando o valor mínimo de 6,63 no ano de 2003, no ponto MJV, e o valor máximo de 7,69 no ano de 2007, no ponto M5.

O ponto MI, apesar de não apresentar resultados em dois anos, foi o ponto que apresentou os maiores valores de pH nos 14 anos de análise, juntamente com os pontos M5, M3 e M1.

Em um trabalho realizado por Lamparelli (2004) foi identificado uma média geométrica de 7,5 de pH em reservatórios. Comparando com os resultados encontrados no reservatório da UHE Tucuruí, verificaram-se valores próximos ao encontrado por Lamparelli, tanto no período chuvoso, quanto no seco.

Ao comparar com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores de pH no período seco também atenderam ao determinado pela Resolução.

Palma et al. (2017), avaliando o potencial hidrogeniônico do reservatório da Usina Hidroelétrica Ernestina, localizada no centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul, apresentou uma média de 7,05 demonstrando similaridade aos resultados do reservatório da UHE.

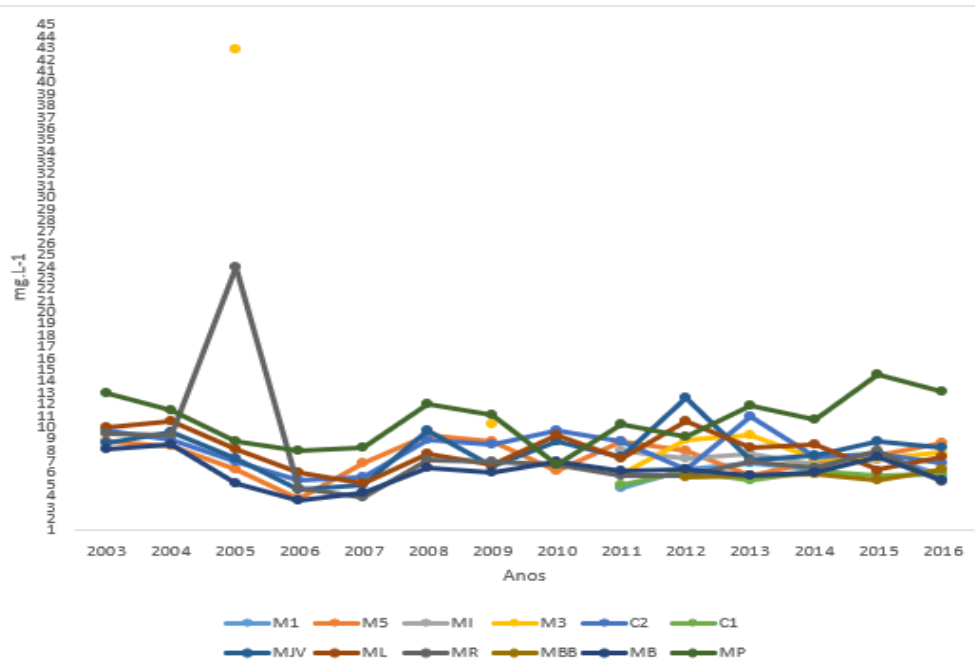
Von Sperling (1995) afirma que a proliferação vegetal ao realizar fotossíntese, proporciona o consumo de gás carbônico e a diminuição do ácido carbônico, estando diretamente ligado ao quantitativo de pH em recursos hídricos, podendo supor-se a proliferação vegetal no ambiente aquático do reservatório.

O que pode ser considerado que ocorreu no reservatório da UHE Tucuruí, visto que é considerado a eutrofização do Lago, o que conseqüentemente auxiliaria na proliferação de algas.

### 6.2.3. Demanda Química de Oxigênio

Para os resultados dos parâmetros de demanda química de oxigênio (DQO) no período chuvoso (Gráfico 5), fica evidente a falta de realização de algumas análises durante os anos de 2003 à 2010 nos pontos M1 e C1. No ponto M3, a não ocorrência de análises foram nos anos de 2003, 2004, 2006 à 2008 e no ano de 2010, no ponto MBB, nos anos de 2003 à 2011, e por fim, o ponto MI que não apresentou análises durante os anos de 2003 à 2010 e no ano de 2016.

**Gráfico 5** - Comportamento do DQO, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

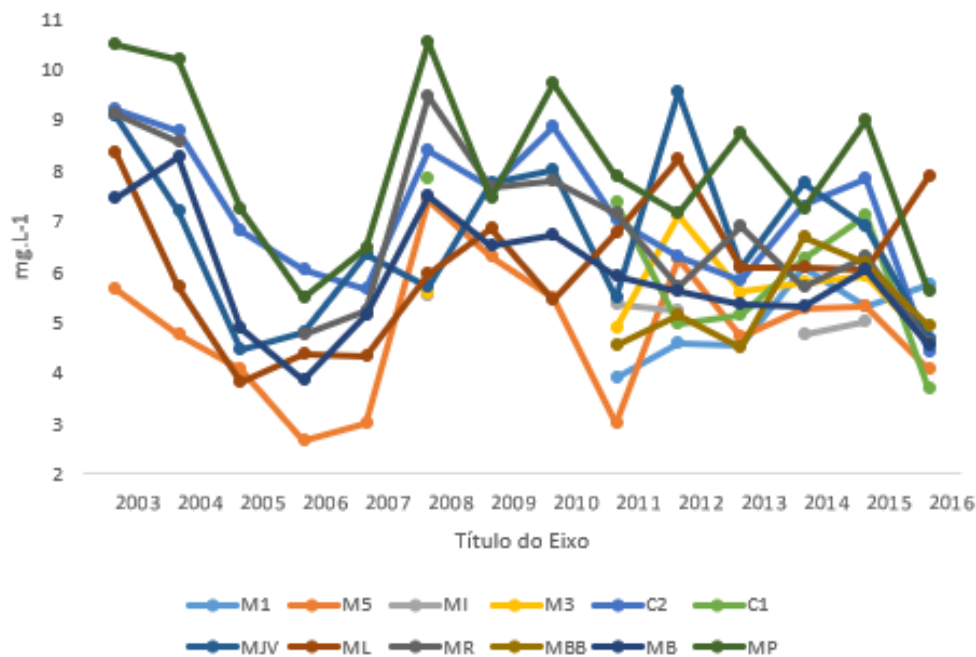
Sobre o comportamento deste parâmetro pode-se destacar os pontos M3 e MR, que apresentaram as maiores concentrações médias durante os 14 anos de análise, ocorridas ambas no ano de 2005 com valores médios máximos de 42,85 mg.L-1, e 23,84 mg.L-1 e seus valores médios mínimos foram de 3,5 mg.L-1 e 3,67 mg.L-1 nos pontos MB e M5 no ano de 2006.

Os valores máximos encontrados foram evidenciados nos pontos M3 e MR, sendo os únicos pontos que apresentaram um comportamento diferenciado em relação ao evidenciados nos demais pontos no ano de 2005.

Tais resultados podem indicar elevada adição nestas localidades, visto que, apesar dos municípios de Novo Repartimento (MP) e o município de Jacundá apresentarem as maiores porcentagens de esgotamento sanitário (entre todos os municípios abrangentes ao Lago) a proximidade dos centros urbanos pode auxiliar nesta provável contaminação.

No Gráfico 6 pode-se observar o comportamento do DQO no período seco, podendo ser evidenciadas algumas particularidades na frequência de análises.

**Gráfico 6** - Comportamento do DQO, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Ao comparar os resultados do período chuvoso com o período seco, identificou-se que, no período seco, valores inferiores aos obtidos no período anterior, com o valor médio mínimo de 2,64 mg.L-1 no ponto M5, no ano de 2006, e o valor máximo de 10,54 mg.L-1, no ponto MP, no ano de 2008.

É importante salientar a falta de resultados nos pontos: M1, nos anos de 2003 à 2010; no ponto MI, nos anos de 2003 à 2007, 2009, 2010, 2013 e 2016; no ponto M3, nos anos de 2003 à 2007, 2009 e 2010; no ponto C1, nos anos de 2003 à 2007, 2009 e 2010; no ponto MR, no ano de 2005; e no ponto MBB, nos anos de 2003 à 2010.

A Resolução CONAMA 357/2005 não faz referência para este parâmetro.

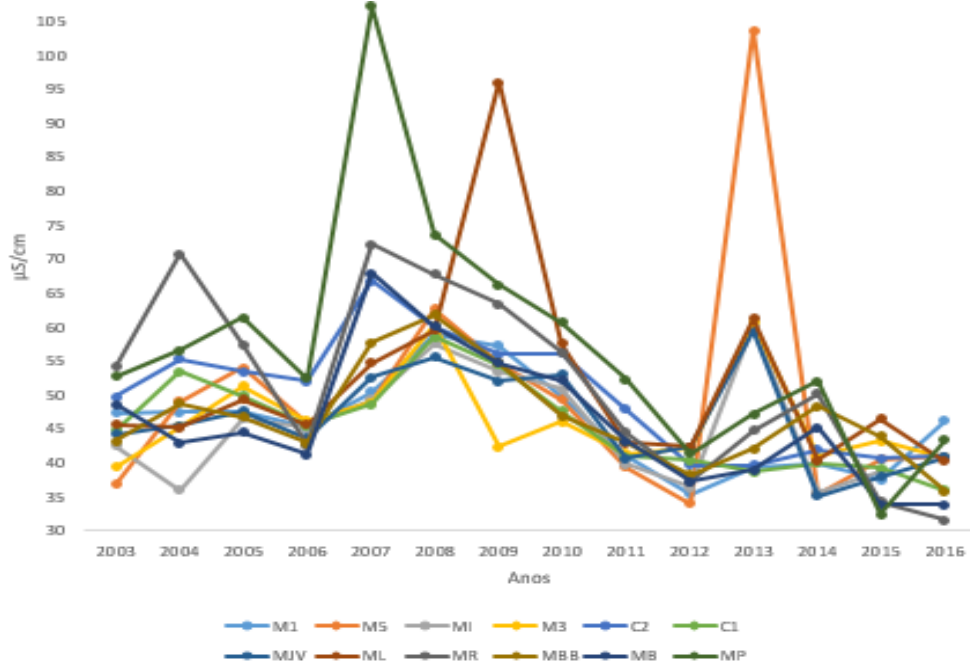
No estudo realizado em no reservatório de Bukit Merah Lake (BML), localizado na Malásia, o qual tem a finalidade de irrigação, foi encontrado o quantitativo de DQO que variaram entre 64 mg.L-1 à 32 mg.L-1, sendo considerado por Akinbile et al. (2013) como água com alto grau de poluição.

Em Tucuruí, os resultados apontaram valores bem inferiores, podendo assim, indicar baixos índices de poluição no reservatório.

#### 6.2.4. Condutividade Elétrica

O parâmetro de condutividade elétrica (CE) também apresentou variações durante todo período de análise. No Gráfico 7 pode-se verificar novamente a particularidade da falta de análise no ano de 2016 no ponto de amostragem MI.

**Gráfico 7:** Comportamento de Condutividade Elétrica, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

De acordo com Wetzel (2001 apud SILVA et al., 2009), os valores de condutividade elétrica estão diretamente relacionados ao quantitativo de matéria orgânica e inorgânica, o que poderá indicar também altos níveis de turbidez e a baixa transparência da água, que de acordo com o autor, irá afetar a qualidade da água no reservatório, afetando também o metabolismo do ecossistema.

De forma geral, os resultados de CE dos pontos amostrais apresentaram um comportamento similar, com algumas alterações.

Neste período, o valor mínimo encontrado foi de 31,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no ponto MR no ano de 2016, e a média máxima de 107,27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no ponto MP no ano de 2007.

Durante o período de estudo, o ponto MP foi o ponto que apresentou os resultados mais elevados em relação aos demais pontos, sendo importante também destacar o aumento quantitativo de CE no ano de 2007 no ponto MP.

O ponto ML também apresentou esta particularidade de valores elevados no ano de 2009, com o valor de 95,96  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , juntamente com o ponto M5 no ano de 2013, com o valor de 103,63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os valores elevados de CE nos pontos MP, ML e M5, situado nas proximidades dos centros urbanos de Novo Repartimento, Jacundá e Itupiranga, poderá ser justificado pela introdução de nutrientes no interior do reservatório, que consequentemente aumentaria o quantitativo de matéria orgânica, proporcionando os valores elevados de CE no Lago.

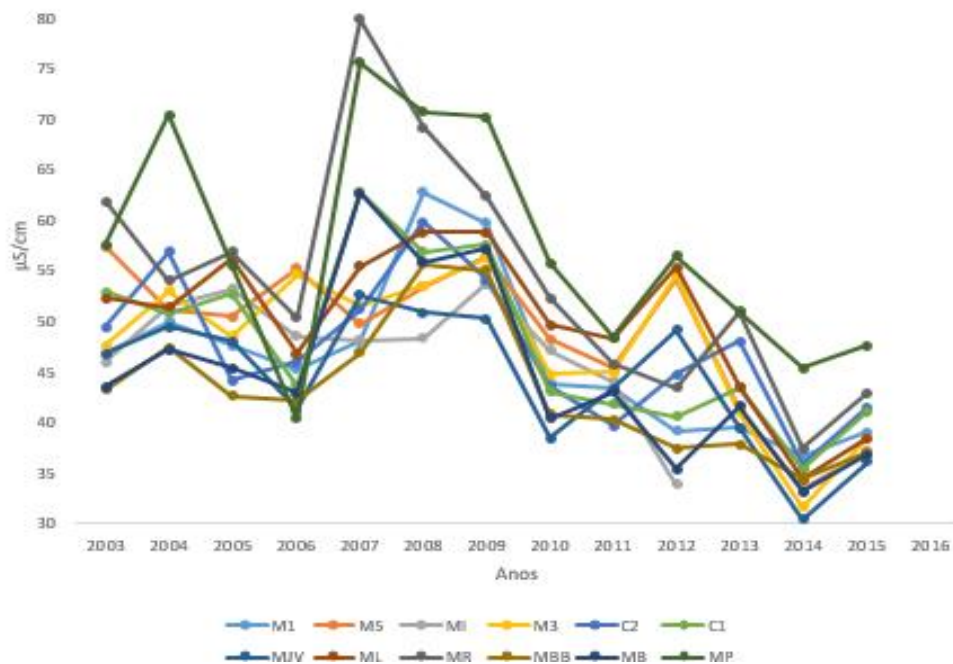
Outra justificativa poderia advir das chuvas nas regiões que podem introduzir nutrientes no reservatório, através do carreamento da água de chuva além também de proporcionar o aumento de vazão, que provocaria o deslocamento da matéria orgânica no Lago, aumentando a turbidez e a CE e diminuindo a transparência.

A Resolução CONAMA 357/2005 não determina limites para este parâmetro.

No Gráfico 8, observam-se as análises realizadas no período seco, apresentando a mesma particularidade das outras análises já citadas, com o ponto M1 no ano de 2013 e 2016, não apresentando resultados.

**Gráfico 8** - Comportamento de Condutividade Elétrica, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016





Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O comportamento similar foi identificado entre as análises do período seco, com o valor máximo encontrado de 80,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no ponto MR no ano, de 2007 e o valor mínimo foi de 30,44  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no ponto MJV, no ano de 2014.

Tais resultados podem indicar a existência de uma contaminação constante nas proximidades destes pontos.

Em 2006 iniciou-se um comportamento crescente em todos os pontos de análise, que continuou crescente até o ano de 2008, apresentando sua queda a partir do ano de 2009, sendo este, o período que apresentou valores mais elevados do estudo.

Ao comparar os resultados dos dois períodos, foram identificados valores aproximados entre ambos com algumas particularidades em cada período, indicando em alguns pontos a ocorrência de contaminação hídrica de forma ocasional.

Lamparelli (2004), em seu trabalho, apresentou dados de condutividade elétrica com a média geométrica em reservatórios de 117  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo este valor cerca de 1 a 3 vezes superior aos resultados obtidos no reservatório da UHE Tucuruí, com valores médios mínimo de 30,44  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o valor médio máximo de 79,84  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso, e no período seco, apresentando o valor médio mínimo de 31,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e o valor médio máximo de 107,27.

Silva et al. (2009) em um estudo realizado na UHE de Peti, no Estado de Minas Gerais, apresentou valores entre 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco e 50

$\mu\text{S/cm}$  –  $60 \mu\text{S/cm}$  no período chuvoso, demonstrando uma certa similaridade no comportamento deste parâmetro no reservatório, enquanto que no reservatório da UHE Tucuruí o comportamento identificado também apresentou similaridade entre os períodos sazonais.

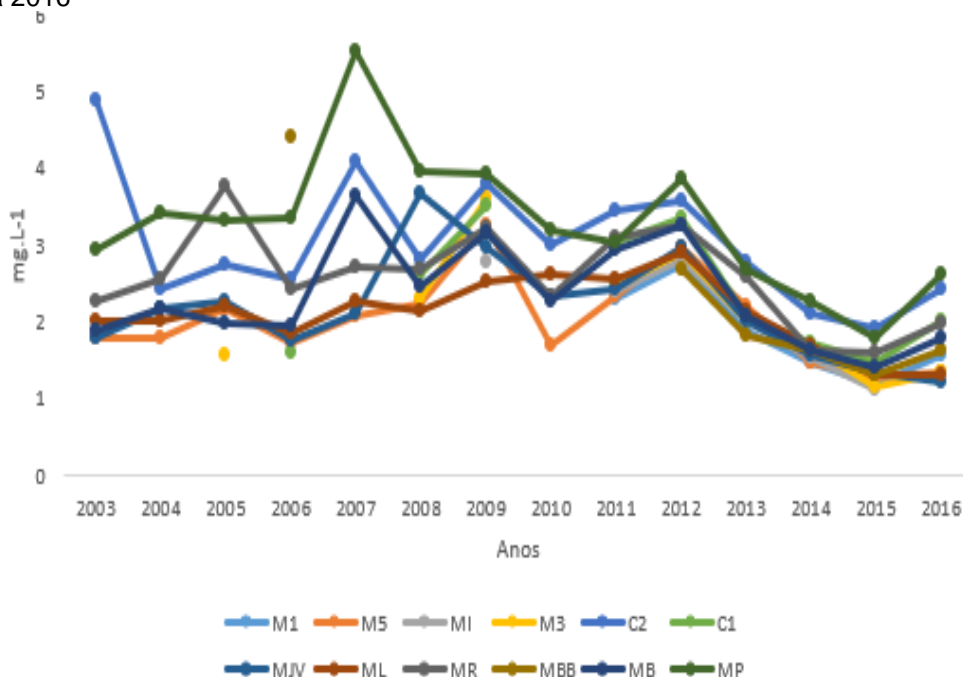
As divergências entre os resultados obtidos por ambos os autores, pode ser um indicativo de que o quantitativo de água de chuva no reservatório, pelas características sazonais locais, podem influenciar diretamente nos dados de CE.

### 6.2.5. Cloro

De acordo com Meyer (1994), o cloro é empregado no processo de desinfecção de águas para o consumo humano, que passou por evoluções durante os anos, sendo considerado pelo autor um forte agente oxidante.

Analisando os índices de cloro apresentados no Gráfico 9, observou-se algumas particularidades nas análises realizadas, onde: o ponto M1 não apresentou dados nos anos de 2003 à 2010; o ponto MI não apresentou análises nos anos de 2004 à 2008, 2010 e 2016; no ponto M3, nos anos de 2003, 2004, 2006, 2007 e 2010; o ponto C1 não apresentou nos anos 2003 à 2005, 2007 e 2010; e por fim, o ponto MBB nos anos de 2003 à 2005, 2007 à 2011.

**Gráfico 9** - Comportamento de Cloro, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



Fonte: Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Com uma análise mais detalhada do gráfico deste parâmetro, pode-se perceber que no primeiro ano de análise encontrou-se a maior média mensal de 5,53 mg.L-1 no ponto MP, no ano de 2007; e a menor média mensal foi de 1,12 mg.L-1, no ponto MI, no ano de 2015.

Durante a maior parte do estudo, o ponto MP apresentou os maiores valores, enquanto que o ponto M1 apresentou os menores resultados médios. Elevados valores no ponto MP, demonstram a grande influência nestas análises do reservatório, podendo estar indicando uma contaminação constante neste ponto amostral.

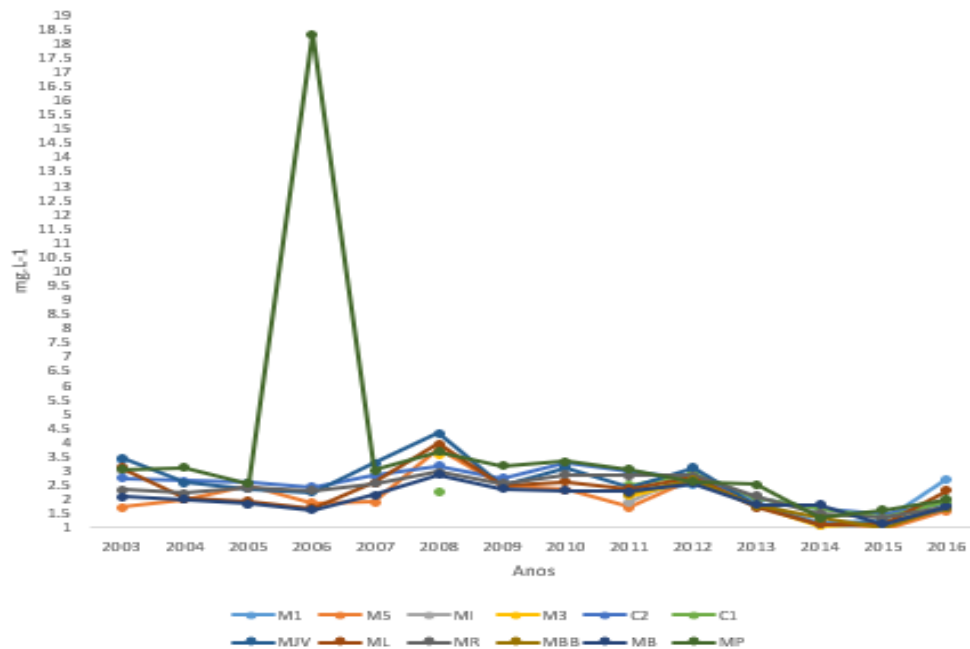
De acordo com a CETESB (2012), o cloro na água tem a funcionalidade de tratamento de água e de piscinas, o que pode indicar de alguma forma a introdução destes tipos de água no reservatório, já que o percentual de esgotamento sanitário nos municípios é baixo.

Desta forma, pelos resultados obtidos deste parâmetro pode indicar que a água que deveria ir para rede de esgotamento sanitário, de alguma forma, pode estar sendo descartada em redes de drenagem que acabam por introduzir no reservatório a água sem nenhum tipo de tratamento.

De acordo com Resolução CONAMA 357/2005, o quantitativo de cloro residual total (combinado + livre) é de 0,01 mg.L-1 Cl para aquíferos Classe 1 de águas doces, e ao comparar com o reservatório da UHE Tucuruí, os resultados obtidos apresentaram valores superiores ao permitido pela Resolução.

No Gráfico 10, pode-se perceber um comportamento similar no período chuvoso nos resultados das análises de cloro, sendo que no período seco, nos pontos M1, no período de 2004 à 2010; no ponto MI, nos anos de 2004, 2006 à 2008, 2010, 2013 e 2016; no ponto M3, nos anos de 2003 a 2007, 2009 e 2010; no ponto C1, nos anos de 2003 à 2007, 2009 e 2010; e no ponto de MBB, nos anos de 2003 à 2010 não apresentaram resultados.

**Gráfico 10** - Comportamento de Cloro, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Durante este período foi evidenciado o valor máximo de 3,11 mg.L-1 no ponto MJV, no ano de 2006, e o valor mínimo de 0,89 mg.L-1 no ponto MI, no ano de 2015.

Ao se realizar uma comparação com a Resolução CONAMA 357/2005, no período seco e no período chuvoso, identificou-se que todos os pontos ultrapassaram o valor máximo permitido.

Neste sentido, pode-se observar que o parâmetro cloro apresentou comportamentos diferenciados em relação ao período chuvoso e seco, sendo que no período chuvoso os valores obtidos foram superiores ao período seco, porém, vale ressaltar que no período seco a média anual foi superior a todos os anos analisados no ano de 2006, no ponto MP.

O cloro e seus componentes são agentes oxidantes que diminuem seus valores com o aumento do pH, e aumentam a sua reação em temperaturas elevadas (MEYER, 1994).

Águas mais ácidas podem se tornar corrosivas. Isso pode ser levado em consideração no presente estudo, já que a água do reservatório apresenta uma leve acidez.

#### 6.2.6. Ferro Total

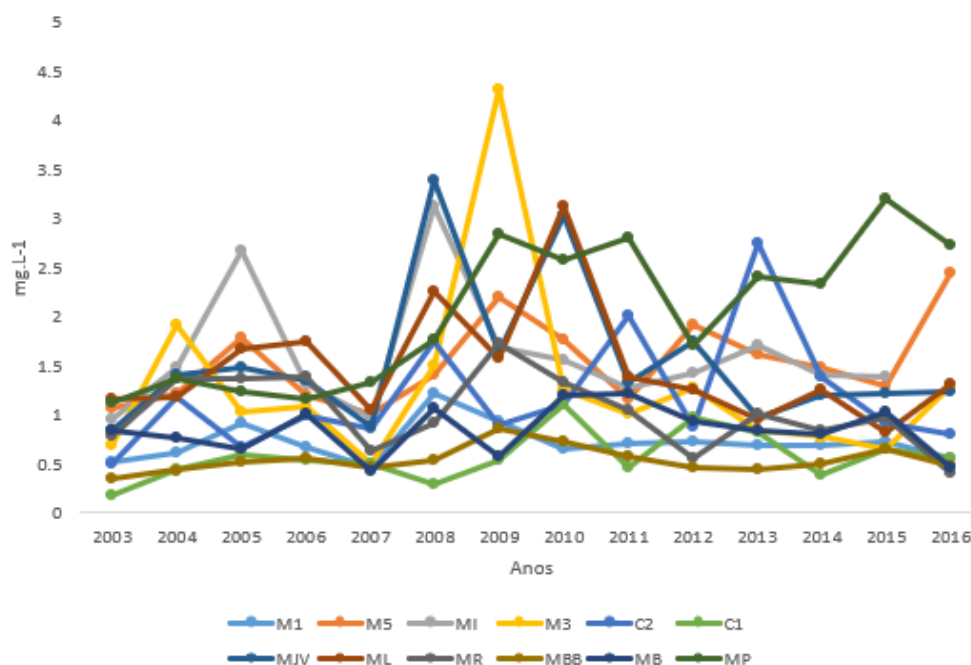
De acordo com DWAF (1986 APUD LAMPARELLI 2004) o ferro total, quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, dependendo da geologia e o uso do solo, podem proporcionar seu aparecimento em recursos hídricos.

No Gráfico 11, pode-se observar os resultados de ferro total no período chuvoso, em que no primeiro ano de análise apresentou variações entre 0,18 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2003 a 4,31 mg.L-1; e no ponto M3, no ano de 2009.

De forma geral, os pontos de amostragem apresentaram um comportamento diferenciado de ponto para ponto, sendo que o MP foi o ponto que apresentou os maiores valores, e o ponto MBB apresentou os menores valores no decorrer dos 14 anos.

Entre os anos de 2007 a 2011, foi o período, em anos, que mais apresentou variações elevadas de ferro total entre os pontos.

É importante ressaltar que no ponto MI no ano de 2016, não houve a realização da análise de ferro total.



**Gráfico 11 -**  
Comportamento  
de Ferro Total,  
no período  
chuvoso, no  
reservatório da  
UHE Tucuruí,  
do ano de 2003  
a 2016

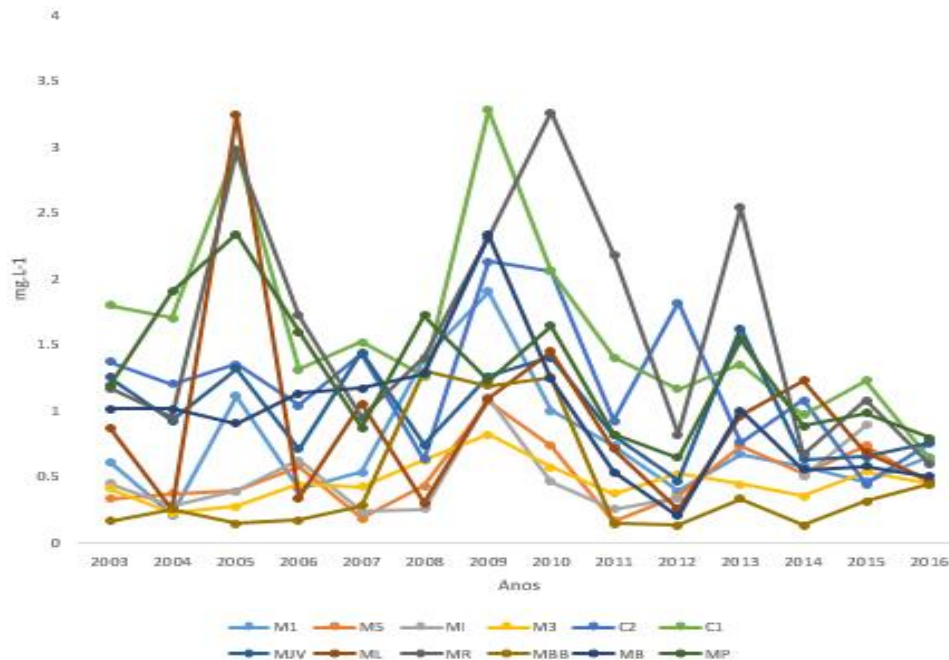
**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

De forma geral podemos identificar que, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o valor máximo de ferro dissolvido para águas doces Classe 3 é de 5,0 mg.L-1. As águas doces Classe 1, são águas que podem servir após um tratamento simplificado, para o abastecimento público, recreação, para proteger os ecossistemas aquáticos e também comunidades aquáticas em terras indígenas e irrigação, enquanto que a Classe 3 também serve para o consumo humano, após um tratamento avançado ou convencional, para pesca amadora, a dessedentação de animais, navegação, paisagismos e recreação.

Assim, de acordo com os resultados obtidos no período chuvoso, pode-se averiguar que, de todos os resultados de ferro total, apenas dois dos resultados, com valores de 0,18 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2003 e de 0,29 no ano de 2008, obtiveram valores inferiores em relação aos demais pontos, não ultrapassando o valor máximo para águas de Classe 3.

No Gráfico 12 evidencia-se o comportamento do período seco de ferro total, com o valor máximo apresentado de 3,28 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2009, e valor mínimo de 0,13 mg.L-1 no ponto MBB, nos anos de 2012 e 2013.

**Gráfico 12** - Comportamento de Ferro Total, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Nos resultados obtidos, também foi perceptível a falta de análise no ponto MI nos anos de 2013 e 2016.

Ao analisar os resultados do período seco, observou-se que 19 resultados apresentaram valores inferiores ao valor máximo permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005, de 0,3 mg.L-1 de ferro para água doce, Classe 1, os pontos restantes não ultrapassaram o valor máximo permitido, pela mesma Resolução para águas doces de Classe 3, com exceção do ponto MR no ano de 2008.

De forma geral, pode-se identificar que no período chuvoso os quantitativos de ferro nos pontos de estudo apresentaram valores superiores aos encontrados no período seco.

Assunção et al. (2016), em um trabalho realizado no reservatório da UHE Emborcação no Estado de Minas Gerais, nos anos de 2012, 2013, 2014 e 2015, constatou que os valores médios encontrados foram de 0,58 mg.L-1, 0,13 mg.L-1, 0,04 mg.L-1 e 0,12 mg.L-1, valores inferiores aos encontrados no reservatório da UHE Tucuruí, evidenciando elevada diferença de resultados entre os dois reservatórios.

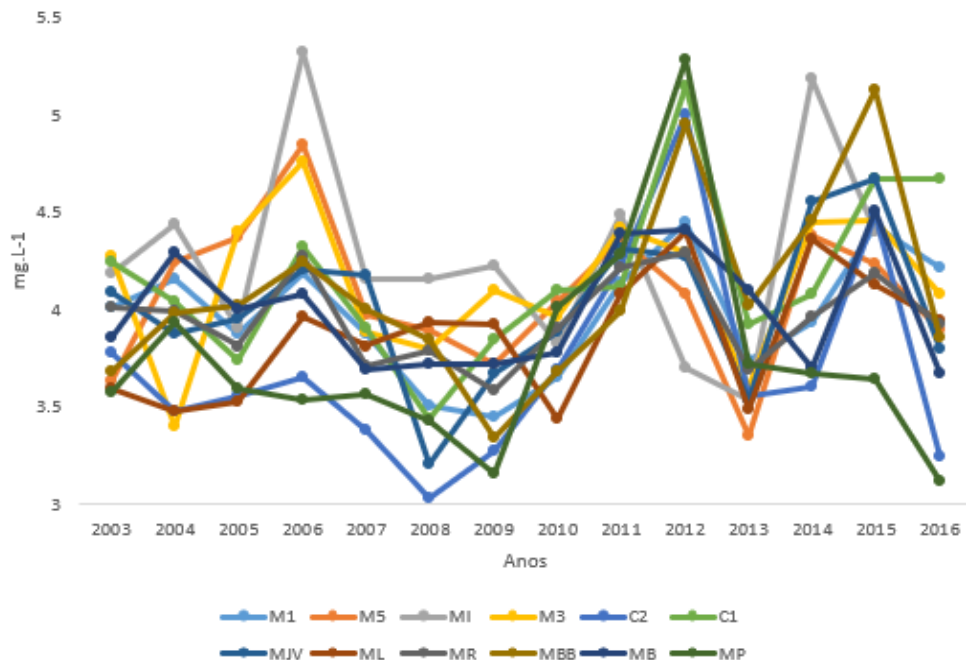
Tal informação pode indicar que no interior do reservatório, existe valores mais elevados de ferro total, podendo ser justificado pela característica geológica local.

### 6.2.7. Cálcio

No reservatório da UHE Tucuruí, o cálcio (Gráfico 13) apresentou valores que variaram entre 3,03 mg.L-1 no ponto C2, no ano de 2009 e 5,32 mg.L-1 no ponto MI, no ano de 2006.

Durante o estudo, identificou-se similaridade no comportamento dos resultados obtidos, sendo que o ponto MI apresentou os maiores valores durante o estudo, e o ponto C2 apresentou os valores menores.

**Gráfico 13** - Comportamento de Cálcio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Os anos de 2006, 2012 e 2015, apresentaram picos de crescimento não evidenciado nos demais anos.

De acordo com França & Martini (2014) o mineral cálcio é de fundamental importância para o organismo humano. Paulos (2014) em estudo sobre o quantitativo de cálcio em águas minerais vendido em Portugal, destacou que o cálcio na água é facilmente absorvido pelo organismo humano.

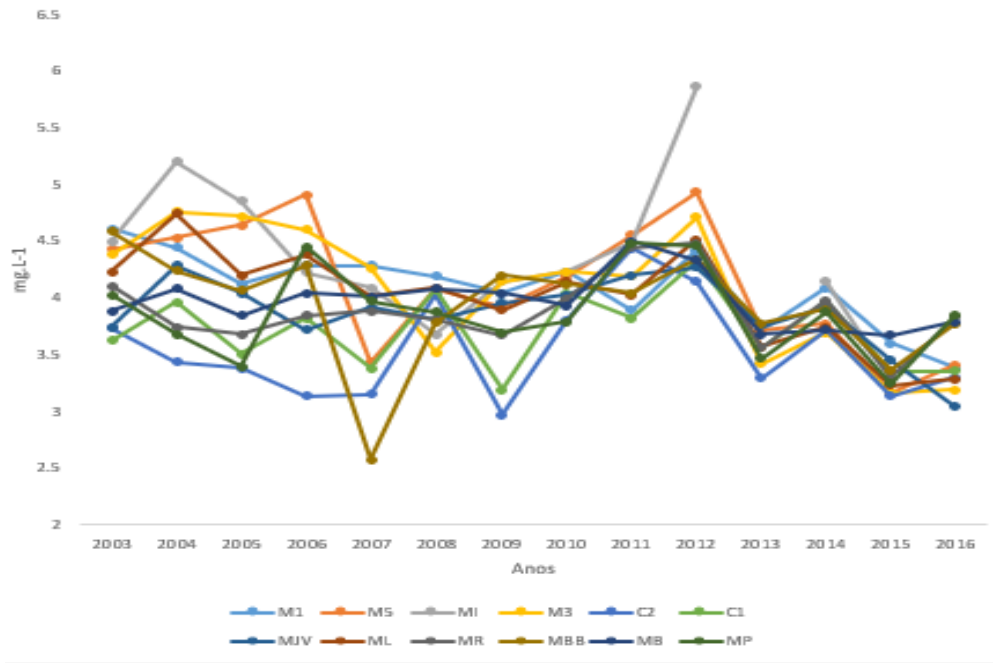
A Resolução CONAMA 357/2005 não faz referência a este parâmetro.

No período seco, foi encontrada novamente a peculiaridade da falta de análise no ponto MI, nos anos de 2013 e 2016.



No Gráfico 14, os valores obtidos no primeiro ano foram encontrados o valor máximo de 5,86 mg.L-1 no ponto MI, no ano de 2012 e o valor mínimo de 2,57 mg.L-1 no ponto MBB no ano de 2007.

**Gráfico 14** - Comportamento Cálcio, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Neste período foi perceptível a homogeneidade comportamental dos resultados, sendo que o ponto MI, apesar de apresentar menos resultados que os demais pontos, apresentou os maiores valores, e o ponto C2 foi o ponto que apresentou os menores valores médios.

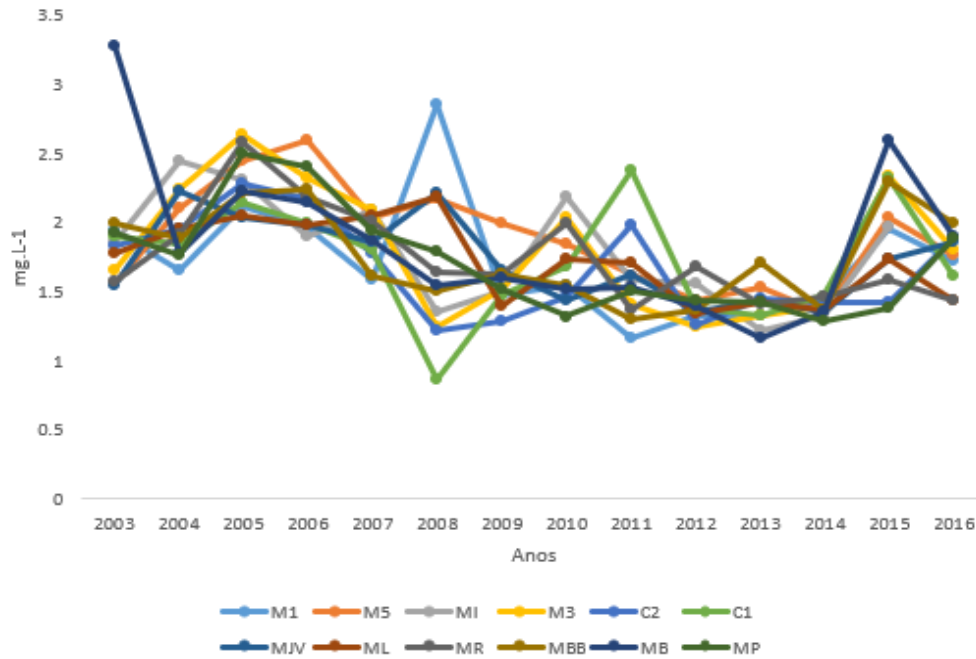
Ao se tratar do parâmetro cálcio, não foram identificadas legislações que pudesse determinar um quantitativo de valor máximo que o reservatório possa apresentar sem que cause danos ao meio aquático.

Por fim, ao comparar os valores entre os dois períodos foram identificados valores aproximados, e com poucas alterações.

#### 6.2.8. Magnésio

Para o parâmetro magnésio (Gráfico 15), também analisado para a manutenção do reservatório, observou-se no período chuvoso resultados com o comportamento similar em quase todos os pontos analisados.

**Gráfico 15** - Comportamento de Magnésio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O valor mínimo deste parâmetro foi de 0,87 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2008, e o valor máximo foi de 3,27 mg.L-1 no ponto MB no ano de 2003.

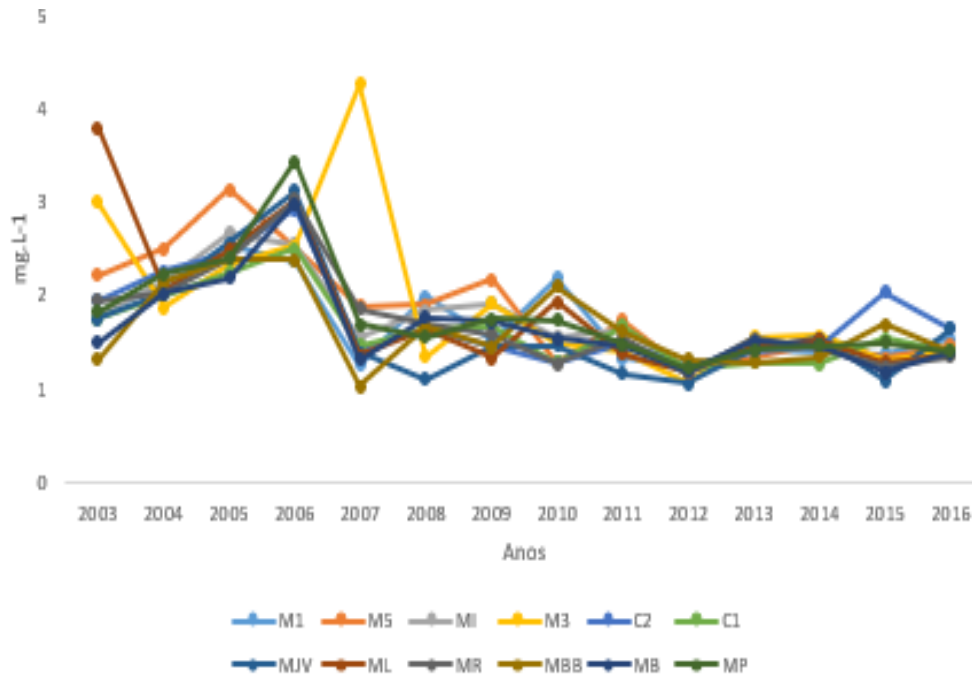
A Resolução CONAMA 357/2005, não faz referência ao limite deste parâmetro.

Entre os anos de 2006 ao ano de 2014, foi perceptível a redução dos valores de magnésio na maioria dos pontos estudados.

No período seco o magnésio apresentou um comportamento homogêneo, conforme evidenciado no Gráfico 16.

Vale ressaltar, que novamente no ponto MI identificou-se a peculiaridade da falta de análises neste ponto nos anos de 2013 e 2016.

**Gráfico 16** - Comportamento Magnésio, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O valor máximo encontrado de magnésio neste período foi de 4,26 mg.L-1 no ponto M3, no ano de 2007 e o valor mínimo de 1,02 mg.L-1 no ponto MBB, também no ano de 2007.

Durante o estudo, pode-se identificar que o ponto M3 apresentou os maiores resultados enquanto que o ponto MJV apresentou os menores valores.

Assim como o cálcio, o parâmetro magnésio também não foi encontrado nas legislações o quantitativo de valor máximo que possa interferir de alguma forma na qualidade de vida aquática.

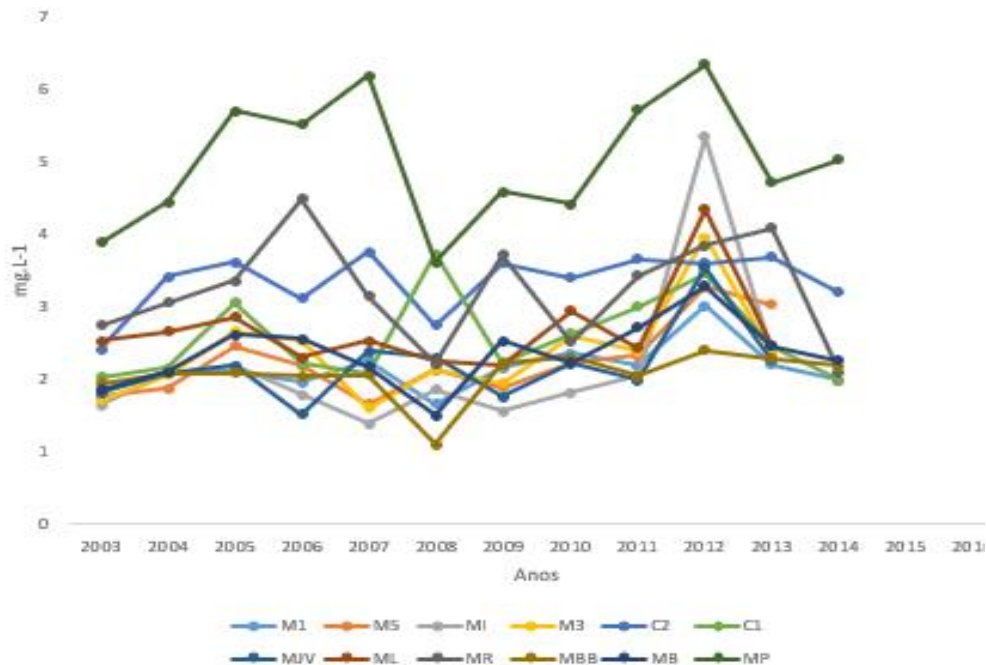
#### 6.2.9. Sódio

De acordo com Celligoi (1999), o sódio em águas doces é apresentado em  $\text{Na}^+$ , sendo o íon que quando associado proporcionam as altas concentrações de sódio, e quando concentrado sucedem  $\text{NaCO}_3^-$ ,  $\text{NaHCO}_4^-$  e  $\text{NaSO}_4^-$ .

No reservatório estudado, o parâmetro sódio também é verificado para a manutenção do reservatório. No Gráfico 17 pode-se identificar um comportamento similar na maioria dos pontos analisados. Porém, antes de qualquer discussão,

destaca-se novamente a peculiaridade da falta de análise no ano de 2014, nos pontos M5, MI, M3, MJV e ML, e em todos os pontos do ano de 2015 e 2016.

**Gráfico 17:** Comportamento de Sódio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



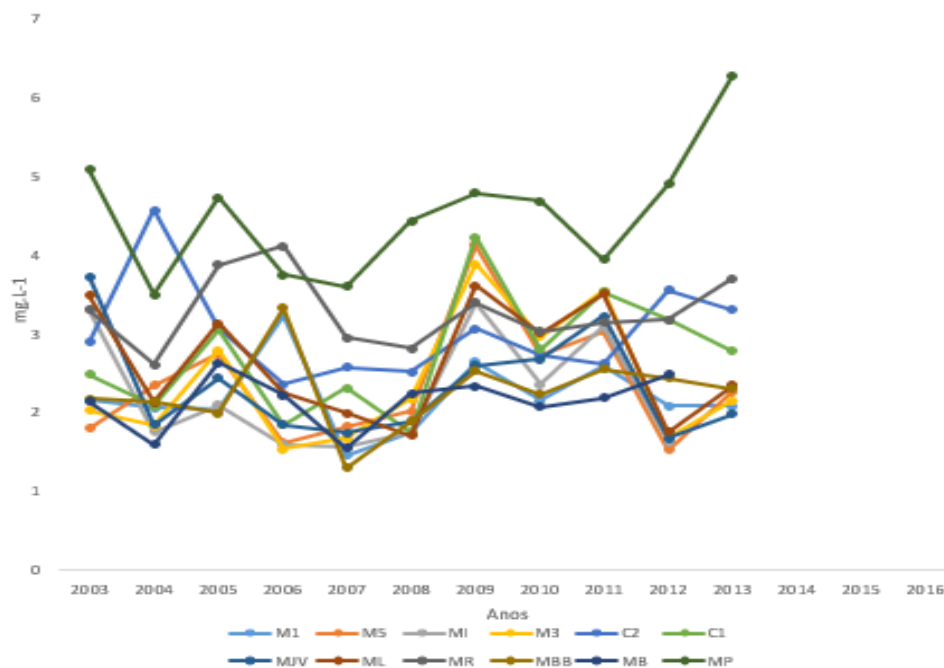
**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O ponto MBB, no ano de 2008 apresentou o valor mínimo do estudo de 1,1 mg.L-1 e o valor máximo de 6,35 mg.L-1 no ponto MP no ano de 2012, que por sua vez apresentou o comportamento quantitativo mais elevado durante os 14 anos de estudo e o ponto MBB apresentou os menores valores.

Em um estudo, com o objetivo de analisar a qualidade de água para irrigação, foi determinado que as águas de barragens, rios e poços normalmente apresentam o quantitativo de 150 mg.L-1 > 1500 mg.L-1 de sódio (EMBRAPA & MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2001). Apesar do reservatório da UHE Tucuruí não ter o propósito para irrigação, ao comparar os resultados pode-se identificar valores bem inferiores ao indicado por este estudo.

Para o período seco, o Gráfico 18 demonstra o quantitativo de sódio no reservatório apresentando um comportamento similar de forma geral. O único ponto que apresentou valores bem superiores aos demais pontos foi novamente o ponto MP, que também apresentou o mesmo comportamento do período chuvoso e os menores valores foram evidenciados no ponto M3.

**Gráfico 18** - Comportamento Sódio, no período Seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

No período seco também foi evidente a falta de análise, porém neste período, além dos anos de 2015 e 2016, o ano de 2014 inteiro não apresentou análises e o ano 2013, apenas os pontos MI e MB não apresentaram análises.

O valor máximo encontrado neste período foi de 6,28 mg.L-1, no ponto MP, no ano de 2013, e o valor mínimo de 1,3 mg.L-1 no ponto MBB, no ano de 2007.

Foi constatado uma redução nos valores de sódio, na maioria dos pontos, a partir do ano de 2005 ao ano de 2008, já no ano de 2009 foi evidente o crescimento dos valores de sódio.

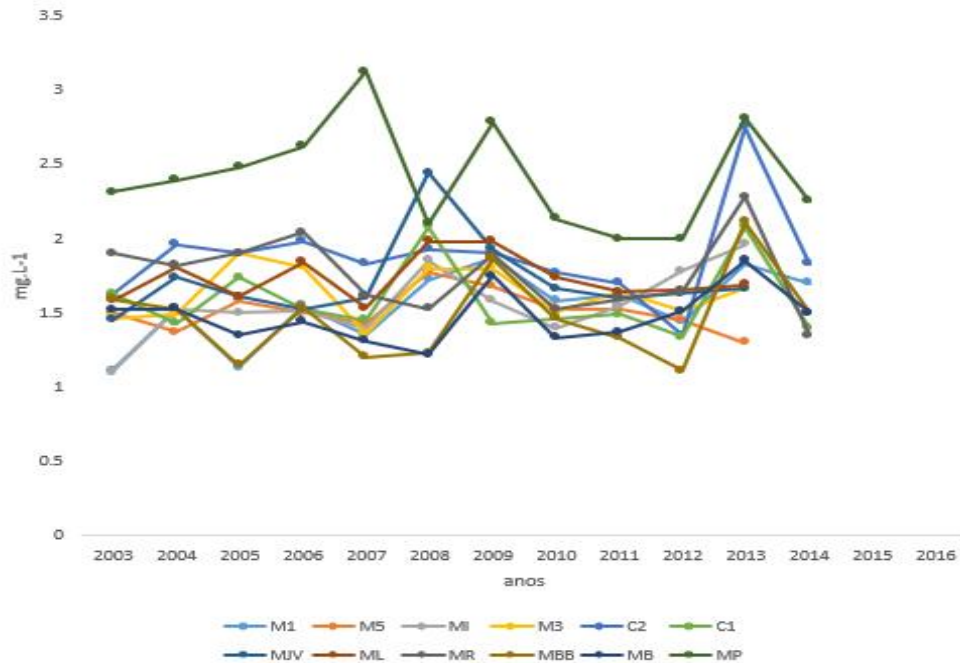
Nas Resoluções CONAMA 430/2011 e 357/2005, não são determinados valores limite para este parâmetro.

O sódio é um parâmetro que deve atender aos padrões organolépticos, quando referir-se ao abastecimento público. De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde de nº 2914/2011, o valor máximo permitido é de 200mg.L-1. Caso o reservatório da UHE Tucuruí fosse para o abastecimento público, os valores estariam aceitáveis quando enquadrados por esta Portaria.

#### 6.2.10. Potássio

O Potássio é outro parâmetro analisado para manutenção do reservatório. No Gráfico 19 pode-se verificar um comportamento similar, sendo evidenciado o valor mínimo de 1,1 mg.L-1 no ponto MI, no ano de 2003 e o valor médio máximo foi evidenciado no ponto MP com 3,12 mg.L-1, no ano de 2007.

**Gráfico 19** - Comportamento de Potássio, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



Fonte: Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

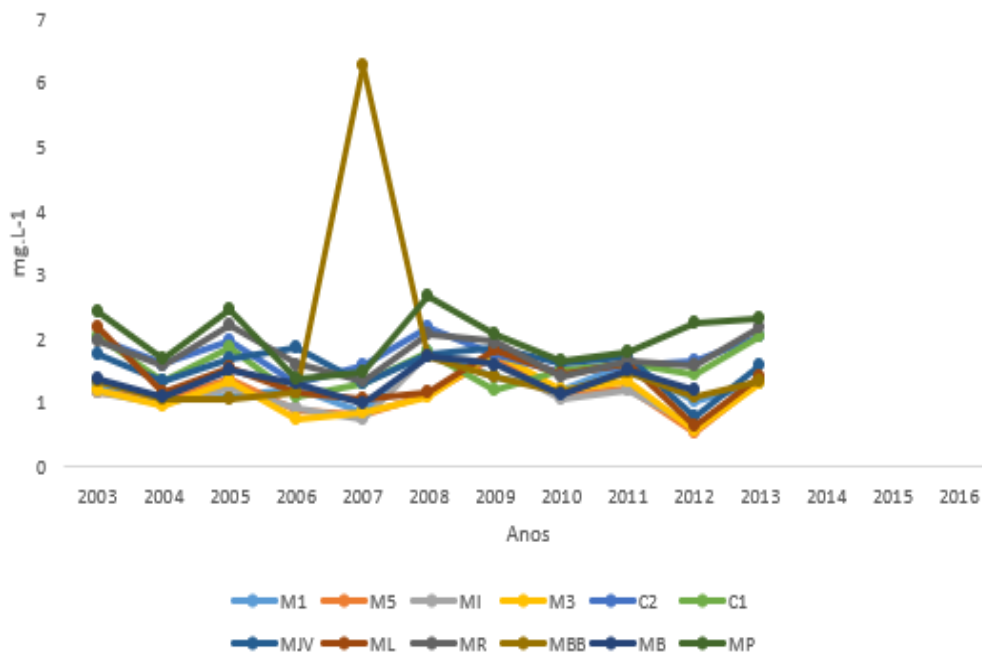
É importante ressaltar, que durante o período de análise novamente não houve a realização das análises de potássio nos anos de 2015 e 2016, já no ano de 2014 os pontos M5, MI, M3, MJV e ML não apresentaram resultados.

O ponto MP apresentou os maiores resultados do estudo, enquanto que o ponto MBB apresentou os menores resultados.

O potássio advém de rochas magmáticas alcalinas, oriundas do metassomatismo potássico e rochas metassedimentares cálcio-silicática, podendo facilmente ser encontrada no Brasil (SAPUCAIA; ARGOLLO; BARBOSA, 2005).

No Gráfico 20, verifica-se o comportamento do potássio no período seco podendo perceber que o ponto MBB do ano de 2007, apresentou o maior valor com 6,27 mg.L-1 e o menor valor médio foi de 0,53 mg.L-1 no ponto M5 no ano de 2012.

Gráfico 20: Comportamento Potássio, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante destacar que no período seco também ocorreu a falta de análise durante os anos de 2014, 2015 e 2016. No ano de 2013 nos pontos MI e MB também não apresentaram análises.

Durante o estudo, os valores de potássio no período seco apresentaram comportamento similar na maioria dos resultados obtidos, sendo que no ponto M3 foram evidenciados os menores resultados, e o ponto MP apresentou os maiores resultados.

Em um estudo sobre os teores de potássio em águas superficiais e sedimentos marginal do rio Piracicaba, situado no Estado de Minas Gerais, o potássio apresentou altas concentrações, com valores superiores à 50 mg.L-1 (QUEIROZ; SABARÁ; QUEIROZ; LEÃO; AMORIM; LIMA, 2016). valores este bem superiores aos encontrados no reservatório de Tucuruí.

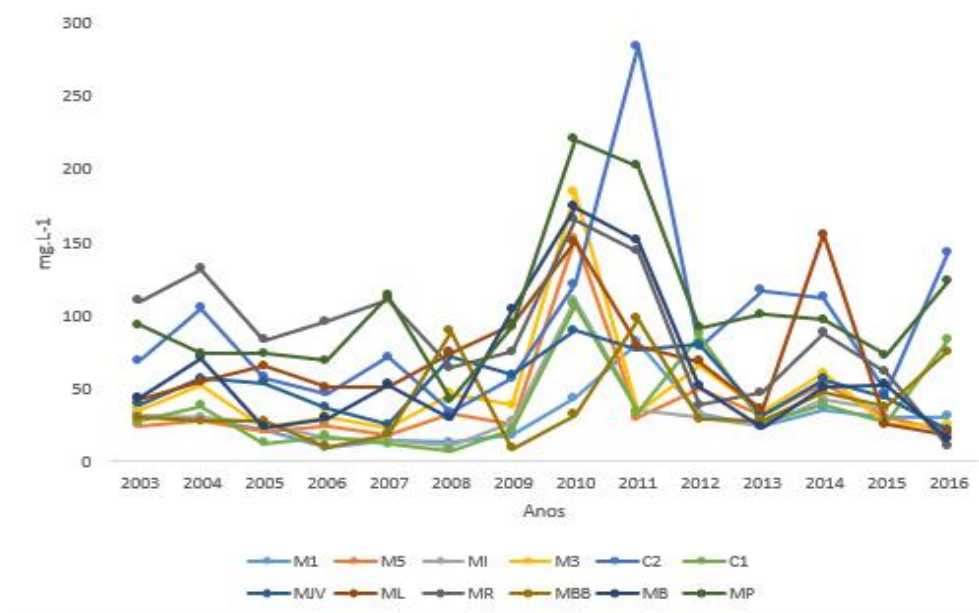
De acordo com Machado et al. (2017), o potássio em águas doces pode ser introduzido no ambiente aquático por meio de lixiviação de terras agrícolas e por rejeitos industriais, o que podemos levar em consideração no presente estudo, visto que o reservatório da UHE Tucuruí apresenta circundante a ele áreas agrícolas e de pastagem.



### 6.2.11. Amônia

No Gráfico 21 encontra-se mais um parâmetro realizado para a manutenção do reservatório durante o período chuvoso. Tal parâmetro é de grande importância na identificação da qualidade de água do reservatório, visto que o quantitativo do parâmetro amônia pode ser uma referência de contaminação por esgoto doméstico.

**Gráfico 21:** Comportamento de Amônia, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O valor mínimo de amônia encontrado foi de 7,69 mg.L-1 no ponto C1 no ano de 2008, e o valor máximo, de 284,65 mg.L-1 no ponto C2, em 2011.

O ponto MP foi o ponto que apresentou os maiores valores durante os 14 anos de análise, e o ponto M1 foi o que apresentou os menores resultados do estudo.

Entre os anos de 2009 a 2012 foram encontrados os valores mais altos do estudo na maioria dos pontos estudados.

A Resolução CONAMA 430/2011 determina o valor limite de amônia de 20 mg.L-1 de N-NH3, ao contrastar com os resultados obtidos no estudo, a maioria dos pontos apresentou valores superiores ao determinado pela Resolução.



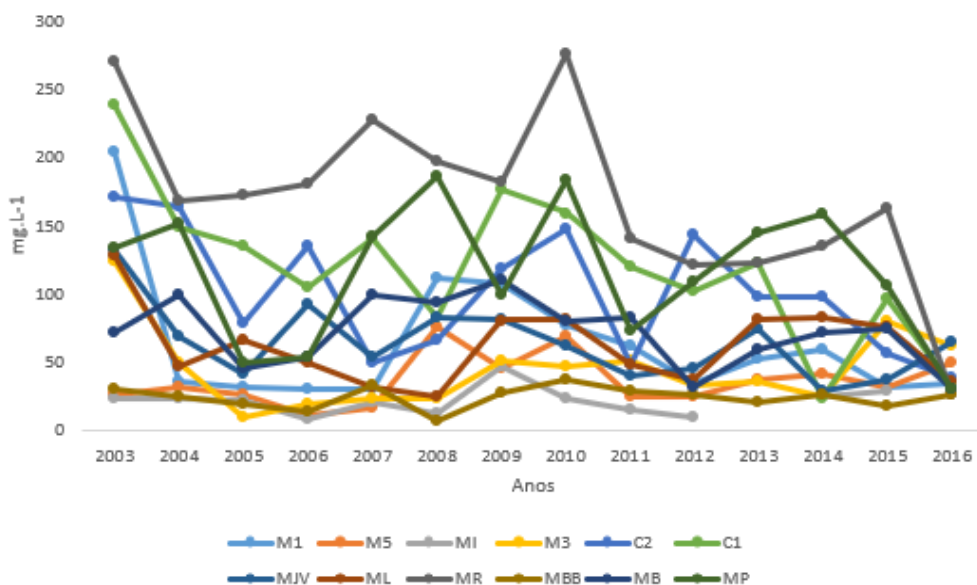
Os pontos M1 nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2009, apresentaram resultados que não ultrapassaram o máximo permitido, com valores que variaram entre 9,42 mg.L-1 à 17,89 mg.L-1, o ponto M5 não ultrapassou o permitido pela Resolução, exceto no ano de 2007, com o valor de 18,09 mg.L-1.

O ponto C1 nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 também não ultrapassaram o máximo permitido, com valores que variaram entre 10,7 mg.L-1 à 15,41 mg.L-1, no ponto C1, nos anos de 2005, 2006, 2007, 2008 não ultrapassou o limite permitido, com valores que variaram entre 7,69 mg.L-1 à 17,35 mg.L-1 e no ponto MBB nos anos de 2006, 2007 e 2009, com valores que variaram entre 8,95 mg.L-1 à 18,6 mg.L-1.

No Gráfico 22 é evidenciado o comportamento da amônia no período seco, no qual puderam ser percebidos valores que apresentaram comportamentos bem diferenciados, entre os pontos e os anos analisados, apresentando valores superiores em relação ao período chuvoso, demonstrando a alta concentração deste parâmetro no reservatório.

Destaca-se que no ponto MI nos anos de 2013 e 2016, as análises de amônia não foram realizadas.

**Gráfico 22:** Comportamento Amônia, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Neste período o valor mínimo obtido foi de 6,75 mg.L-1 no ponto MBB, no ano de 2008 e o valor máximo de 274,61 mg.L-1 no ponto MR em 2010.

Durante toda a análise, o ponto MR apresentou os maiores valores e o ponto MBB apresentou os menores resultados médios do estudo.

Ao enquadrar na Resolução CONAMA 430/2011, similarmente ao período chuvoso, a maioria dos pontos ultrapassaram o valor máximo determinado pela Resolução, sendo que apenas os pontos M5 no ano de 2006 e 2007 com os valores de 10,15 mg.L-1 e 15,87 mg.L-1, o M1 nos anos de 2006, 2007, 2008, 2011 e 2012 com valores que variaram entre 7,92 mg.L-1 à 19,57 mg.L-1, o ponto M3 no ano de 2006 com o valor de 19,3 mg.L-1 e o ponto MBB que variaram entre 6,15 mg.L-1 à 19,16 mg.L-1 não ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução.

De acordo com Reis e Mendonça (2009), a amônia advém da degradação ambiental de componentes inorgânicos e orgânicos na água e no solo, estando presente naturalmente nos recursos hídricos.

Piasentin et al. (2009) destaca que a amônia também pode advir de excreções de peixes, o que pode ser levando em consideração no reservatório da UHE Tucuruí, pelo fato, do incentivo pelo governo federal, através do Decreto Nº 4895 de 25 de novembro de 2003, que dispôs a orientação sobre a demarcação das primeiras áreas e parques aquícolas continentais (BRASIL, 2003) e que no ano de 2009 foram cedidos quatro parques aquícolas para criação de peixe (BRABO et al., 2013) no reservatório, que com o passar dos anos foi aumentando a atividade de criação de peixes, pode ter colaborado com porcentagem aumento do quantitativo de amônia no reservatório.

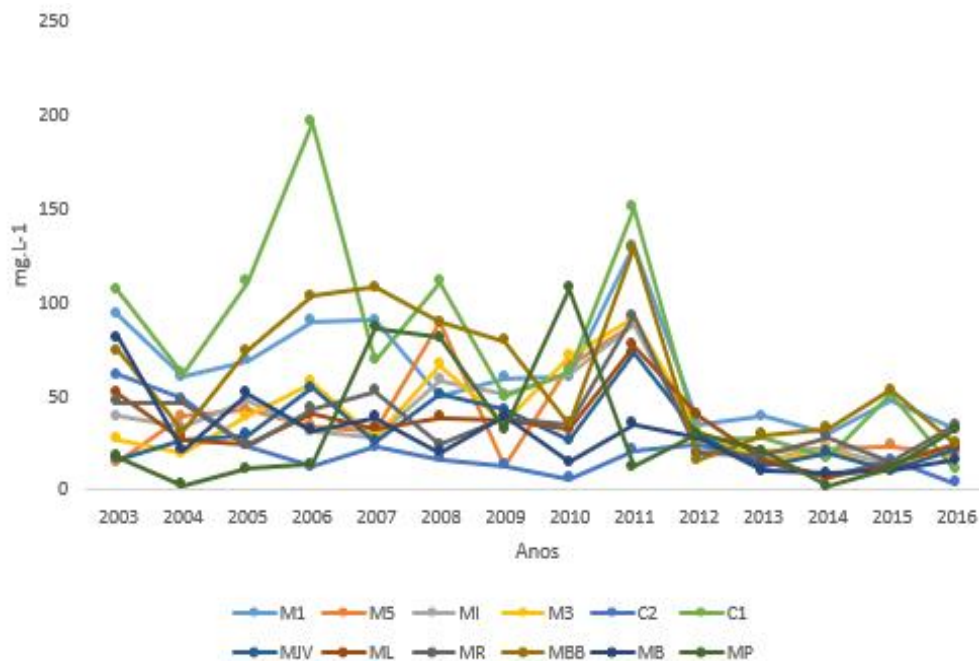
Nos 5 (cinco) reservatórios do sistema de abastecimento público do Estado de Pernambuco, que também apresenta criadouros de peixes, foram encontrados valores de amônia que variaram entre 0,078 mg.L-1 a 0,72 mg.L-1 que podem ser advindos das excreções dos peixes e também pela ração utilizada para a alimentação dos mesmos, ocasionando o aumento de nutrientes, proporcionando assim, a degradação e a eutrofização da água (MENDES et al., 2016).

#### 6.2.12. Nitrato

O Nitrato, assim como a amônia, é um parâmetro determinante para a qualidade da água do reservatório, visto que a constatação deste parâmetro indica também a contaminação por esgoto doméstico.

No Gráfico 23 encontra-se evidenciado os valores de nitrato durante o período chuvoso no reservatório.

**Gráfico 23** - Comportamento de Nitrato, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante destacar que este parâmetro no ponto MI, no ano de 2016 não apresentou realização de análise.

Igualmente ao parâmetro amônia, o parâmetro nitrato apresentou altos valores em relação aos demais parâmetros, com um valor médio máximo de 195,98 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2006 e o valor mínimo de 1,8 mg.L-1 no ponto MP, no ano de 2014.

No decorrer do estudo, o ponto C1 apresentou os maiores valores médios, enquanto que o ponto C2 apresentou os menores valores médios.

O ponto C1 situa-se na proximidade do centro urbano do município de Tucuruí, o que pode indicar uma provável contaminação, além de que a localidade do ponto apresenta uma característica diferenciada dos demais pontos estudados, visto que o ponto encontra-se em uma área com baixa vazão, em relação aos

demais pontos, o que faz aumentar o tempo de resiliência nesta área e, conseqüentemente, há o acúmulo de nutrientes.

Apesar do ponto C2 situar-se na proximidade do ponto C1, existe a particularidade de maior distância do centro urbano do município de Tucuruí, o que pode justificar o quantitativo menor de nitrato.

A Resolução CONAMA 357/2005 determina o valor limite de 10,0 mg.L-1 N para classe 1 a 3, similarmente ao parâmetro amônia. A maioria dos pontos ultrapassou o limite determinado pela Resolução.

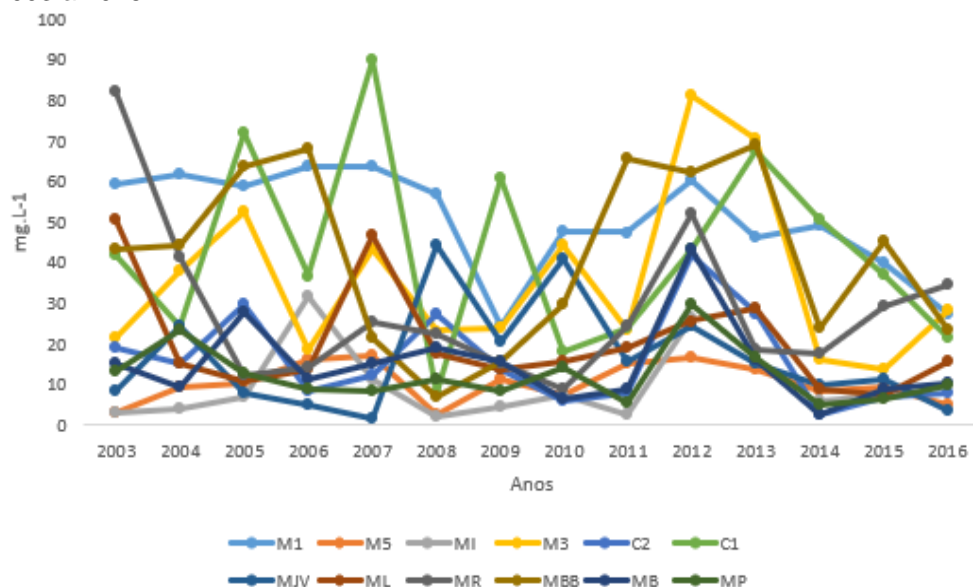
O comportamento deste parâmetro, no decorrer dos 14 anos, apresentou variações na maioria dos pontos estudados.

No reservatório, poucos foram os pontos que atenderam o limite determinado pela legislação sendo que no ano de 2014 4 dos 12 pontos apresentaram valores satisfatórios, sendo eles os pontos C2 com 7,44 mg.L-1, ML com 6,51 mg.L-1, MB com 8,83 e MP com 1,8 mg.L-1.

O ponto C2 também apresentou boas concentrações de nitrato nos anos de 2010 com o valor de 6,14 e 2016 com 3,37 mg.L-1, o ponto M3 apenas no ano de 2015, atendeu o determinado pela Resolução com o valor de 9,91 mg.L-1 e o ponto MJV no ano de 2015, com 9,98 mg.L-1, e os demais pontos ultrapassaram o limite determinado pela Resolução.

O comportamento do parâmetro nitrato no período seco apresentou um comportamento diferenciado em relação ao período chuvoso (Gráfico 24).

**Gráfico 24** - Comportamento Nitrato, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

No ano de 2013 e 2016 no ponto MI não foram realizadas análises.

Ao comparar com o período chuvoso, observam-se distintos comportamentos em cada ponto de amostragem e com valores inferiores (em geral) ao do período anterior.

O valor mínimo obtido foi de 1,29 mg.L-1 no ponto MJV, no ano de 2007 e o valor máximo foi de 89,97 mg.L-1 no ponto C1, também no ano de 2007.

No período seco, foi perceptível mais pontos de amostragem que atenderam o limite permitido pela Resolução, sendo os pontos M5 com valores que variaram entre 2,62 mg.L-1 à 9,22 mg.L-1, nos anos de 2003, 2004, 2008, 2010, 2014 à 2016, ponto MI nos anos de 2003 à 2005, 2008 à 2011, 2014 e 2015, com valores que variaram entre 1,74 mg.L-1 à 7,29 mg.L-1.

Também foi evidente nos pontos C2, nos anos de 2006, 2010, 2011, 201 à 2016, com valores que variaram entre 2,52 mg.L-1 à 8,08 mg.L-1; ponto MJV nos anos de 2003, 2005 à 2007, 2014 e 2016, com valores que variaram entre 1,29 mg.L-1 à 9,77 mg.L-1; ponto MR no ano de 2010, com o valor de 8,78mg.L-1, ponto MBB, no ano de 2008, com o valor de 6,75 mg.L-1; ponto MB, nos anos de 2004, 2010, 2011, 2014 e 2015 com valores de 2,34 mg.L-1 à 9,47 mg.L-1 e o ponto MP nos anos de 2006, 2007, 2009, 2011, 2014 à 2016, com valores que variaram entre 4,71 mg.L-1 à 9,78 mg.L-1.

Pereira et al. (2007) realizaram a análise da concentração de nitrato no Lago da UHE Tucuruí e encontraram altos índices, associando-o com o lançamento de esgoto doméstico, de fertilizantes e de outros materiais orgânicos lançados no reservatório, indicando o aparecimento de pontos de eutrofização.

No lago da UHE Tucuruí, os valores encontrados também podem indicar a contaminação da água por matéria orgânica, fertilizante e esgoto doméstico no Lago em todos os pontos de amostragem.

### 6.2.13. Nitrogênio

Outro parâmetro analisado é o nitrogênio, também determinante para o estudo de eutrofização por seu aparecimento determinar um aumento de nutrientes na água.

Porém, pela insuficiência de informações deste parâmetro, não foram confeccionados gráficos, visto que apenas foram poucos os pontos com análises realizadas no período chuvoso, no qual apenas os pontos MB no ano de 2003 e 2005, apresentaram resultados com valores de 1,58 mg.L-1 e 15,73 mg.L-1, Outro que apresentou resultado foi o C2 com 21,05 mg.L-1 no ano de 2005 e por fim o ponto MP com 28,5 mg.L-1 também no ano de 2005, no período chuvoso

Ressalta-se que devido à precariedade de informação deste parâmetro, não é possível a análise de tendências ou qualquer outra afirmação relacionada ao comportamento temporal deste parâmetro no reservatório.

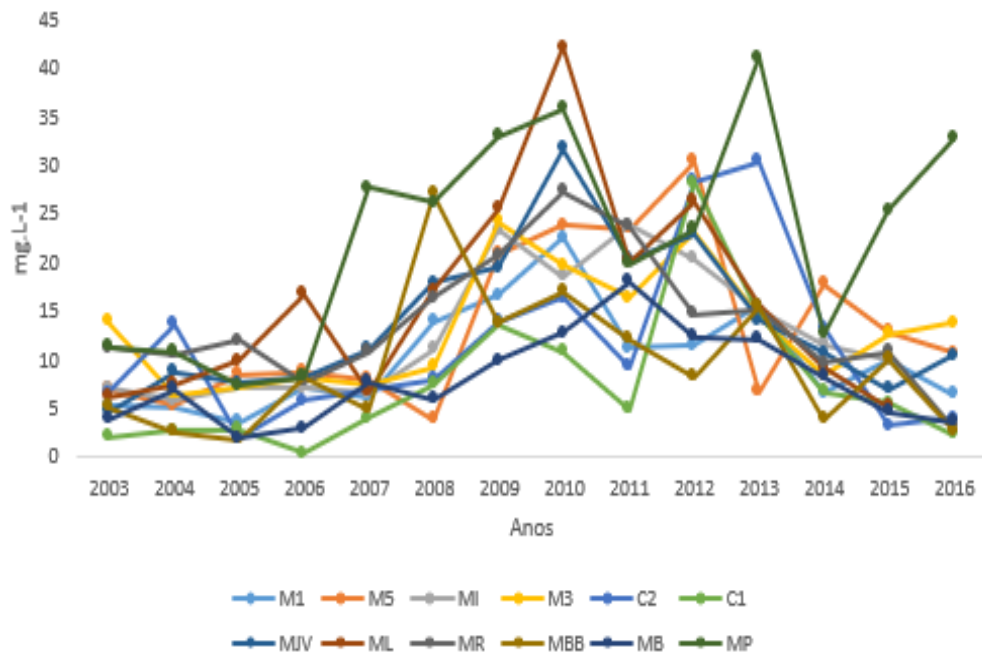
No período seco, o nitrogênio apresentou menos análises realizadas, comparando com o período chuvoso, no qual neste período apenas três resultados foram obtidos, com valores de 8,79 mg.L-1 no ponto ML no ano de 2003, 14,95 mg.L-1 no ponto M5 no ano de 2012 e 14,55 mg.L-1 no ponto MJV no ano de 2016.

#### 6.2.14. Fosfato

O fosfato nem sempre é oriundo de processos naturais, podendo ser produto da decomposição da matéria orgânica, pode advir de ações antropogênicas, e pela lixiviação de minerais (USEPA, 2010; EMÍDIO, 2012).

O fosfato também é um parâmetro analisado para a manutenção operacional do reservatório. No Gráfico 25 pode-se observar um comportamento diferenciado entre os pontos amostrais estudados.

**Gráfico 25** - Comportamento de Fosfato, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016

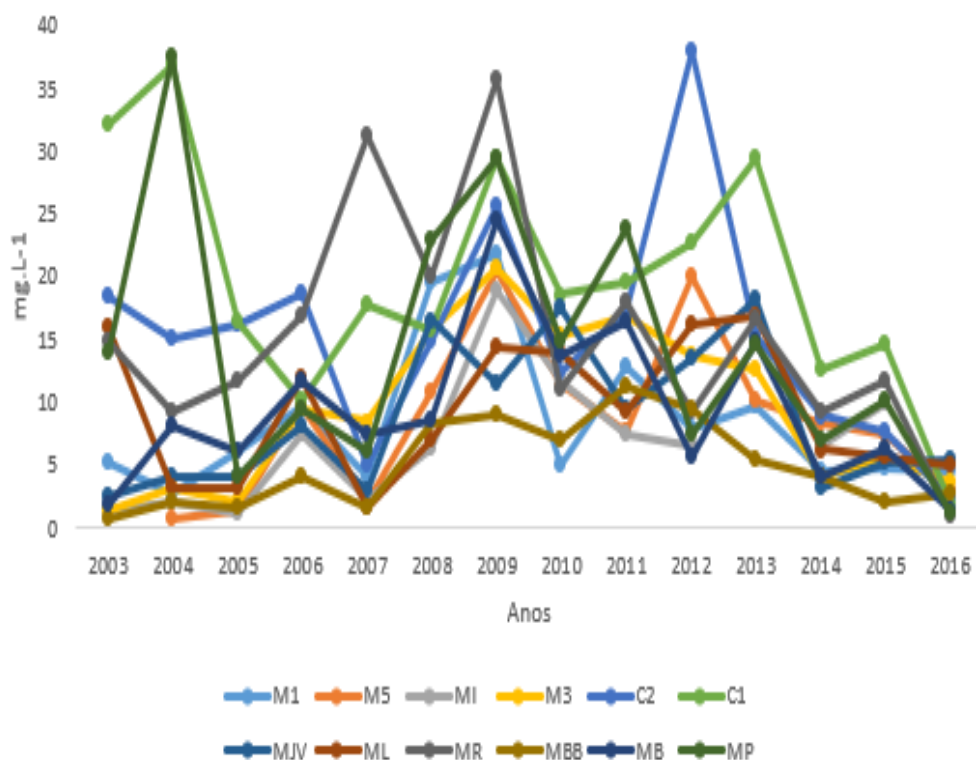


**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O valor médio mínimo encontrado no estudo foi de 0,42 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2006, e o valor máximo de 42,17 mg.L-1 no ponto ML, no ano de 2010.

No período seco (Gráfico 26), observa-se que o parâmetro fosfato apresentou um comportamento diferenciado do evidenciado no período chuvoso.

**Gráfico 26** - Comportamento Fosfato, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Inicialmente é importante salientar que durante este período o ponto M5 no ano de 2003, 2013 e 2016 não apresentou resultados.

O menor valor médio de fosfato encontrado no reservatório foi de 0,61 mg.L<sup>-1</sup> no ponto M5, no ano de 2004 e o valor médio máximo foi de 37,9 mg.L<sup>-1</sup> no ponto C2, no ano de 2012.

Durante este período, igualmente ao período chuvoso, o comportamento foi diferenciado com valores crescentes evidenciados a partir do ano de 2007 a 2014, os restantes dos anos apresentam valores inferiores aos encontrados durante o período já citado.

O ponto C1 apresentou os maiores resultados durante os 14 anos de estudo e o ponto MBB apresentou os menores resultados.

A Resolução CONAMA 357/2005 não faz referência ao quantitativo de fosfato.

Os fosfatos são comumente encontrados em produtos de limpeza residencial, tendo como propósito a diminuição da dureza da água, para facilitar a ação da limpeza (LEE, 1999; SOUZA, 2005).

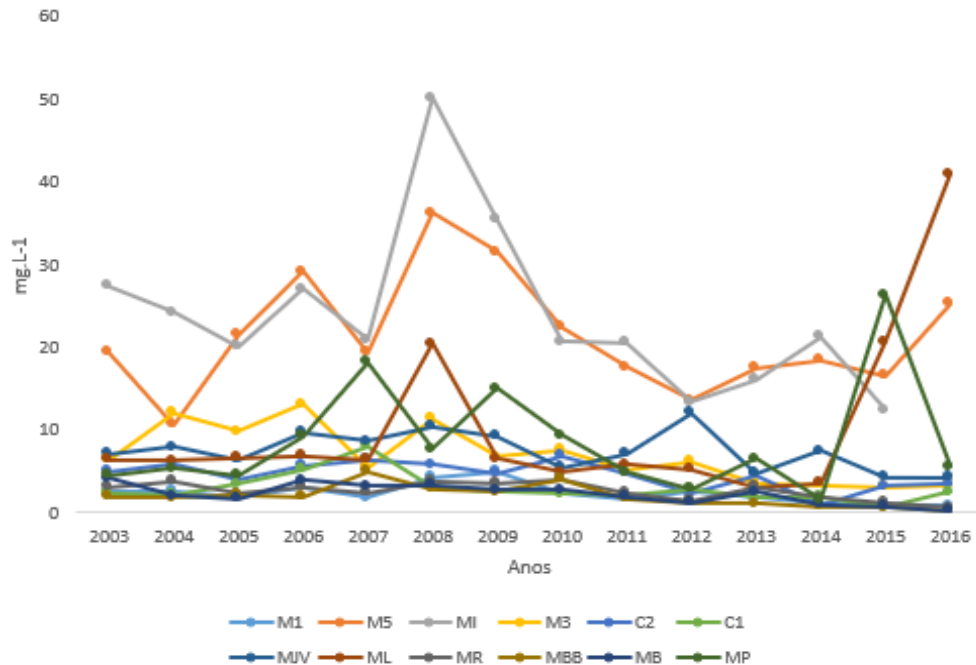
A partir dos resultados obtidos pode-se identificar altos índices de fosfato no reservatório, o que pode indicar a introdução desse material principalmente por ações antrópicas, visto que o reservatório apresenta grandes áreas que servem para pastagem de animais e dentre outras atividades.

#### 6.2.15. Sólidos Totais Solúveis (STS)

O parâmetro de Sólidos Totais Solúveis - STS, (no Gráfico 27), é de grande importância para a identificação de matéria orgânica e outros materiais solúveis em água.

**Gráfico 27** - Comportamento de STS, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016





**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que durante o ano de 2016 no ponto MI não ocorreu análise de STS.

O ponto MBB apresentou o menor valor médio com 0,25 mg.L-1, no ano de 2016 e o ponto MI apresentou o maior valor médio com 50,18 mg.L-1, no ano de 2008.

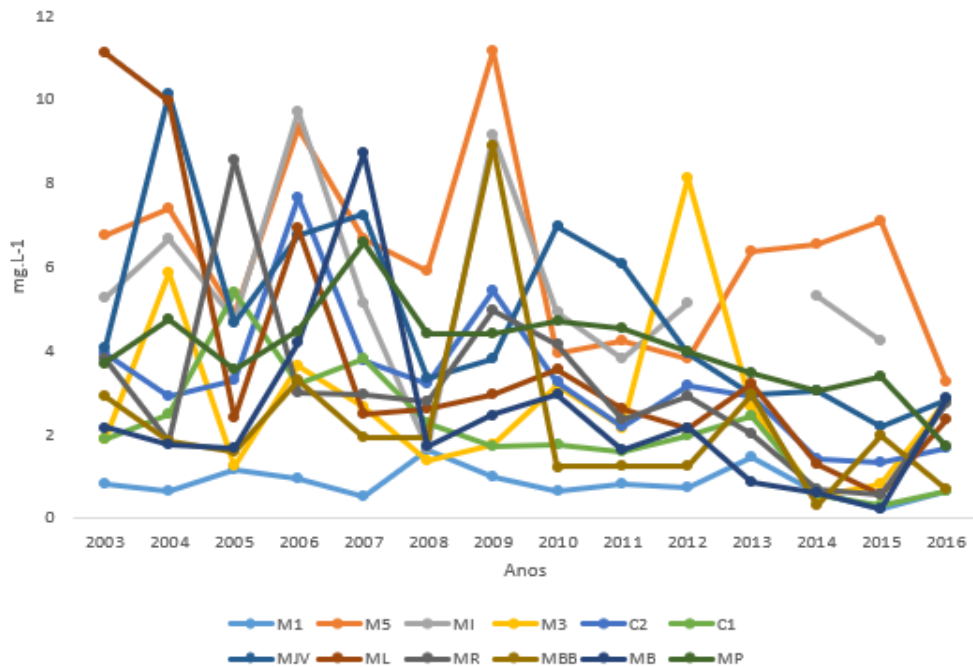
Os pontos M5 e MI apresentaram os maiores valores do estudo e o ponto MBB apresentou os menores valores.

Os maiores resultados podem ser justificados pela proximidade dos centros urbanos dos municípios de Itupiranga e Nova Ipixuna, além de que, os pontos que se encontram mais distante ao barramento da UHE Tucuruí pode apresentar maior influência de outras localidades de STS no recurso hídrico.

A Resolução CONAMA 357/2005 determina o valor limite de 500 mg.L-1 para águas doces classe 1, 2 e 3, e ao comparar com os resultados obtidos no período chuvoso, pode-se identificar que nenhum dos pontos estudados no reservatório ultrapassou o limite determinado pela referida Resolução.

No Período seco (Gráfico 28) observa-se o comportamento diferenciado do STS, com valores que no decorrer dos anos de estudo, apresentaram várias alterações.

**Gráfico 28** - Comportamento STS, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que durante os anos de 2013 e 2016, no ponto MI não foram realizadas análises.

O valor médio mínimo encontrado no período de seca foi no valor de 0,2 mg.L-1 no ponto MB, no ano de 2015 e o valor médio máximo foi de 11,13 mg.L-1 no ponto M5, no ano de 2009.

No período seco, observa-se uma grande variabilidade do parâmetro durante o período em estudo. Dentre os pontos que apresentaram valores elevados, o ponto M5 apresentou as maiores médias do estudo e o ponto M1 apresentou os menores resultados.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, no período de estiagem, nenhum dos pontos amostrais analisados ultrapassou o limite determinado pela Resolução.

Supõe-se que tais resultados devem-se ao baixo fluxo no reservatório, influenciando na decantação do material sólido para o fundo do reservatório.

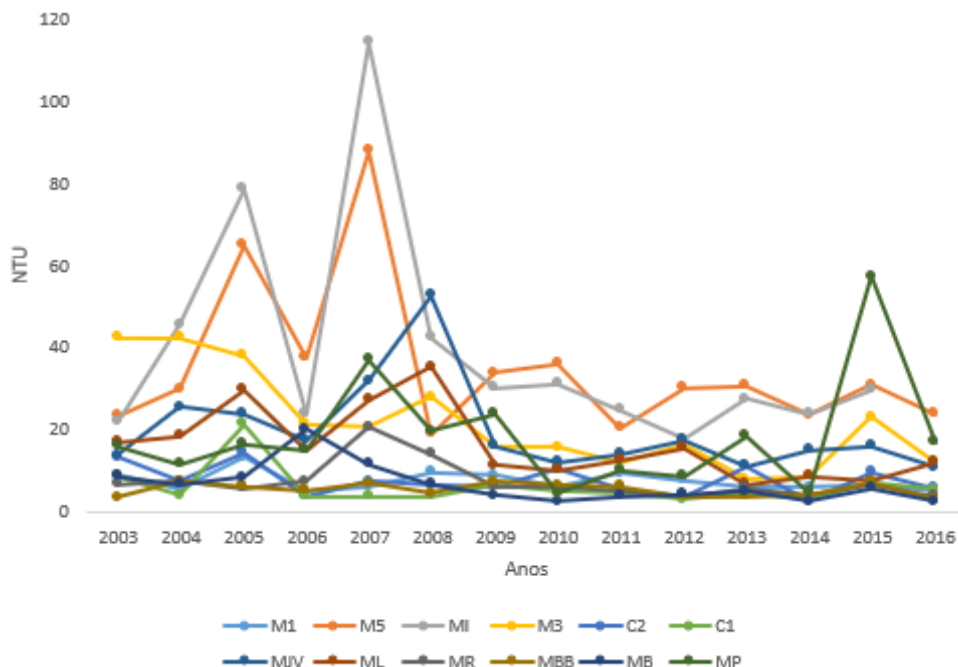
#### 6.2.16. Turbidez

O parâmetro turbidez também apresenta grande importância para a análise do comportamento do reservatório, pois, é um fator que pode determinar o

quantitativo de nutrientes no reservatório, auxiliando assim, em uma provável eutrofização do lago artificial da UHE Tucuruí.

No Gráfico 29 evidencia-se os resultados obtidos deste parâmetro deste o ano de 2003, com a elevação dos valores principalmente nos anos de 2005, 2007 e 2015 em quase todos os pontos analisados.

**Gráfico 29** - Comportamento de Turbidez, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que durante o ano de 2016 o ponto MI não apresentou realização de análise e os resultados restantes apresentaram um comportamento similar em quase todos os pontos.

O valor mínimo encontrado no estudo foi de 2,57 UNT no ponto MB, no ano de 2016, já o ponto MI apresentou o maior valor de 124,25 UNT no ano de 2007.

O ponto MI, durante o estudo apresentou os maiores valores do estudo e o ponto MP apresentou os maiores valores médios. De forma geral, os demais pontos de amostragem apresentaram um comportamento similar.

O período entre os anos de 2003 a 2008 foi o que apresentou maiores variações, sendo que no ano de 2007 foi quando a maioria dos pontos apresentou um aumento do quantitativo de turbidez no reservatório.

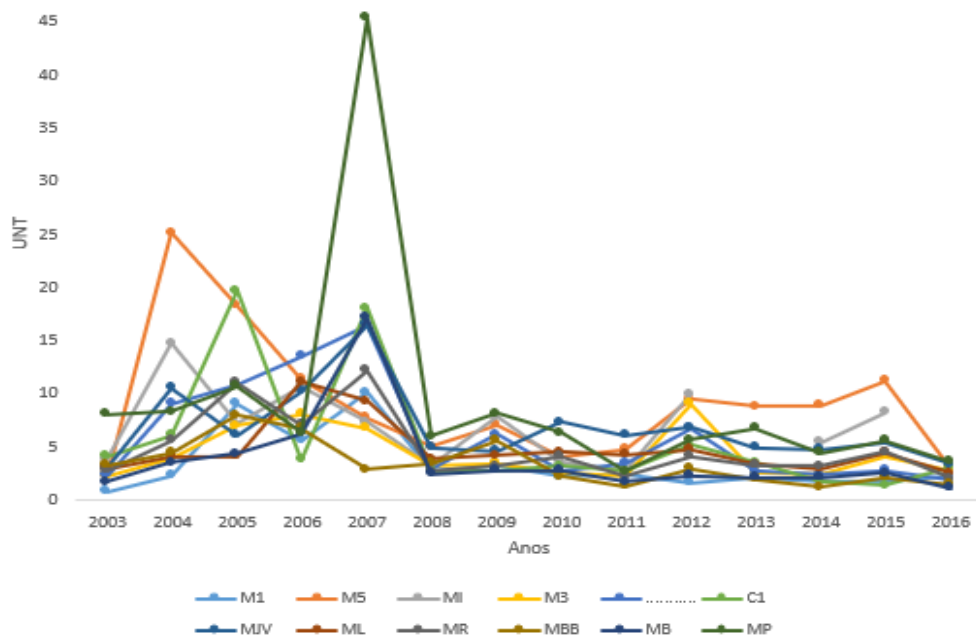
De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, a turbidez, para águas de Classe 1 não poderá ultrapassar o valor limite de 40 UNT, enquanto que para as águas de classe 2 e 3 o valor limite é de 100 UNT.

Ao comparar com os resultados obtidos, 10 amostragens ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução para águas de Classe 1.

Para águas de classe 2 e 3 apenas o ponto MI, no ano de 2007, ultrapassou o valor limite determinado pela Resolução.

Já no período seco, evidenciado no Gráfico 30 o parâmetro apresentou um comportamento similar na maioria dos pontos estudados, com a falta de análises nos anos de 2013 e 2016.

**Gráfico 30** - Comportamento Turbidez, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



Fonte: Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

O valor mínimo encontrado neste período foi de 0,81 UNT no ponto M1, no ano de 2003, e o valor máximo foi de 45,34 UNT no ponto MP, no ano de 2007.

Igualmente no período chuvoso, o período seco, durante os anos de 2003 a 2008, apresentou maiores variações, enquanto que o restante dos anos apresentou comportamentos mais similares.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, apenas o ponto MP, no ano de 2007, ultrapassou o limite máximo determinado para águas doces, classe 1, apresentando valor de 45,34 UNT.

Em um trabalho realizado por Lamparelli (2004), foi identificado que em reservatórios de São Paulo, o parâmetro turbidez apresentou uma média geométrica de 11,6 UNT. Nos reservatórios da UHE Tucuruí, os valores de turbidez, no período seco, apresentaram resultados, em sua maioria, inferiores ao encontrado por Lamparelli (2004), com valores médios mínimos de 0,81 UNT e o valor médio máximo de 45,34 UNT, sendo que apenas em poucas ocasiões os pontos apresentaram valores superiores a 11,6 UNT.

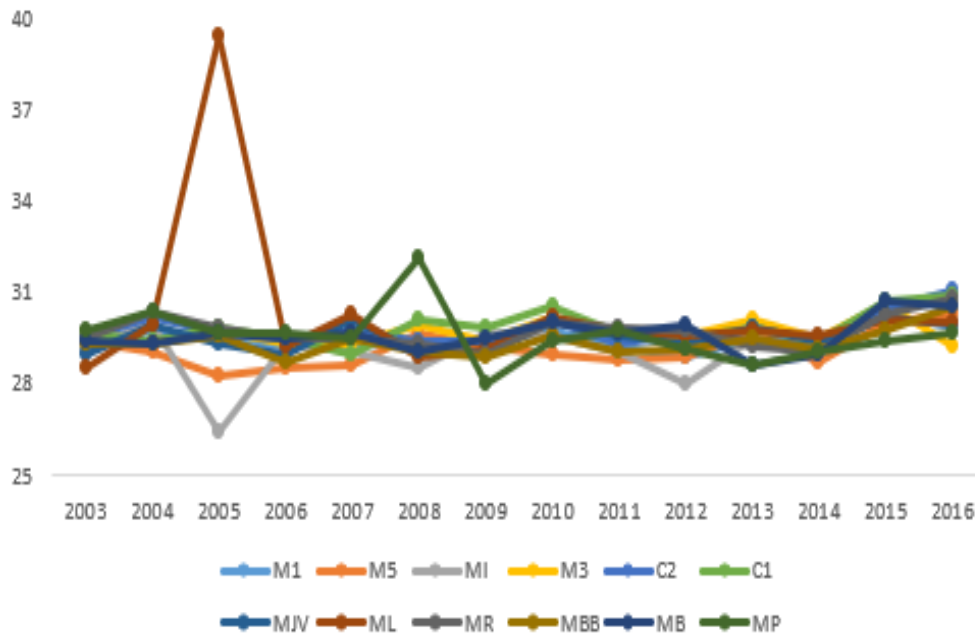
Isso pode ser justificável pela redução das chuvas na região, nesse período, o que pode proporcionar uma diminuição na introdução de material no Lago por carreamento. Além da diminuição da alimentação do reservatório pela água de chuva, existe uma redução na geração de energia (Gráfico 33), o que consequentemente diminui a vazão no interior do reservatório auxiliando assim na redução dos dados de turbidez.

#### 6.2.17. Sazonalidade

É de grande importância, a análise das características físicas do ambiente do reservatório, visto que o clima da região pode influenciar diretamente no comportamento do reservatório, já que a característica do clima, com altas ou baixas temperaturas, pode influenciar nas atividades fotossintéticas (OECD, 1977; LAMPARELLI, 2004).

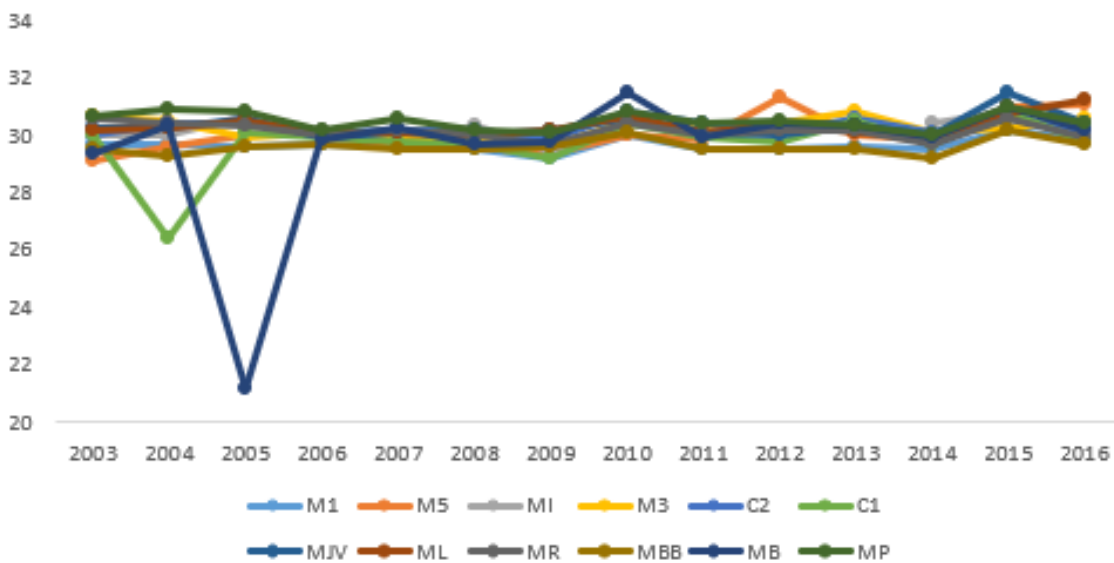
No município de Tucuruí pode-se considerar que existem dois períodos climáticos. Entre os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio há a ocorrência de chuvas (Gráfico 31), e nos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, são períodos sem ou com baixas precipitações (Gráfico 32).

**Gráfico 31** - Comportamento da sazonalidade, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 à 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

**Gráfico 32** - Comportamento da sazonalidade, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

A partir de uma análise preliminar dos gráficos, pode-se perceber que, em relação à sazonalidade da região, foram encontradas altas temperaturas, tanto no

período seco, quanto no período chuvoso, havendo poucas variações de valor entre os dois períodos.

É importante salientar, que no ano de 2016 o ponto MI não apresentou dados de temperatura.

#### 6.2.18. Cota

No Gráfico 33 segue os dados de cota do reservatório durante o período chuvoso, apresentando um comportamento similar na maioria dos pontos, com exceção do ano de 2008, em que os pontos MJV apresentaram a maior variação, e consequentemente, a maior profundidade do estudo, com 93,92 m. Os pontos MP e C1 apresentaram as menores variações e também os menores valores do estudo, com 25,0 m e 14,0 m.

**Gráfico 33** - Valores médios de cota no período chuvosos durante os anos de 2003 a 2016



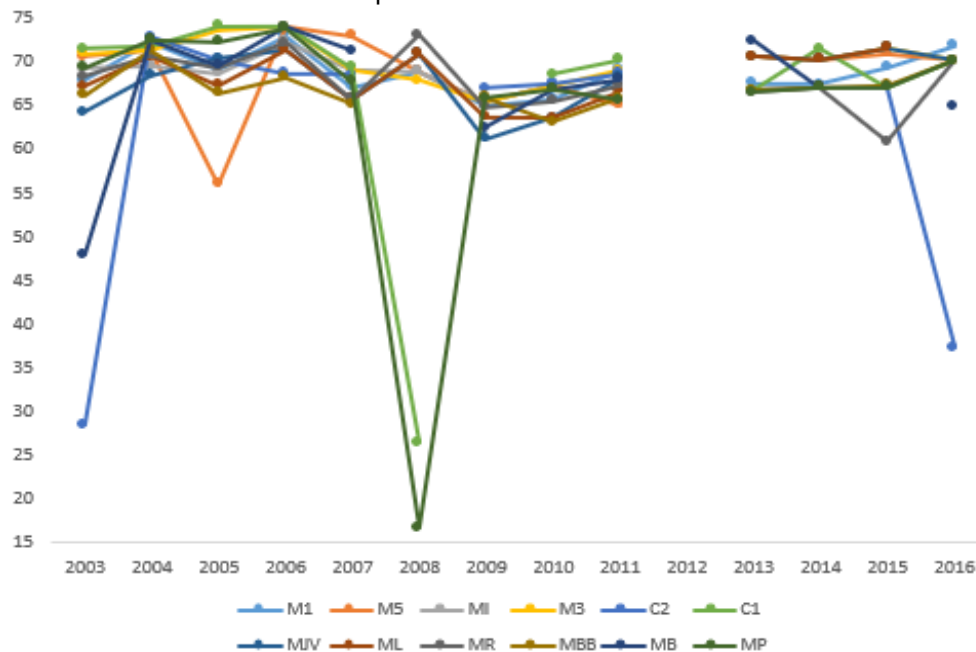
**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que neste período, no ponto M5, entre os anos de 2012 e 2013, não foram obtidos dados. Assim como no ponto MI, nos anos de 2008, 2012

e 2016; no ponto M3, no ano de 2012; no ponto MJV nos anos de 2012 e 2015; no ponto ML, nos anos de 2012 e 2015; e no ponto MBB no ano de 2003.

No período seco pode-se observar um comportamento diferenciado na maioria dos valores de cota, no Gráfico 34 encontra-se evidenciado tais valores.

**Gráfico 34** - Valores médios de cota no período seco durante os anos de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Durante o estudo, no período seco foi perceptível valores de cota menores novamente no ano de 2008 nos pontos MP e no ponto C1 com 16,67 m e 26,4 m, seguindo o mesmo comportamento do período chuvoso.

Os pontos MB, no ano de 2003 com o valor de 47,97 m, o ponto C2 nos anos de 2003 e 2016 com valores de 28,48 m e 37,3 m apresentaram os menores valores de cota, juntamente com o ponto C1 no ano de 2008, com o valor de 26,4 m.

Quando comparados com os valores obtidos do período chuvoso, os valores do período seco apresentaram valores inferiores.

#### 6.2.19. Vazão

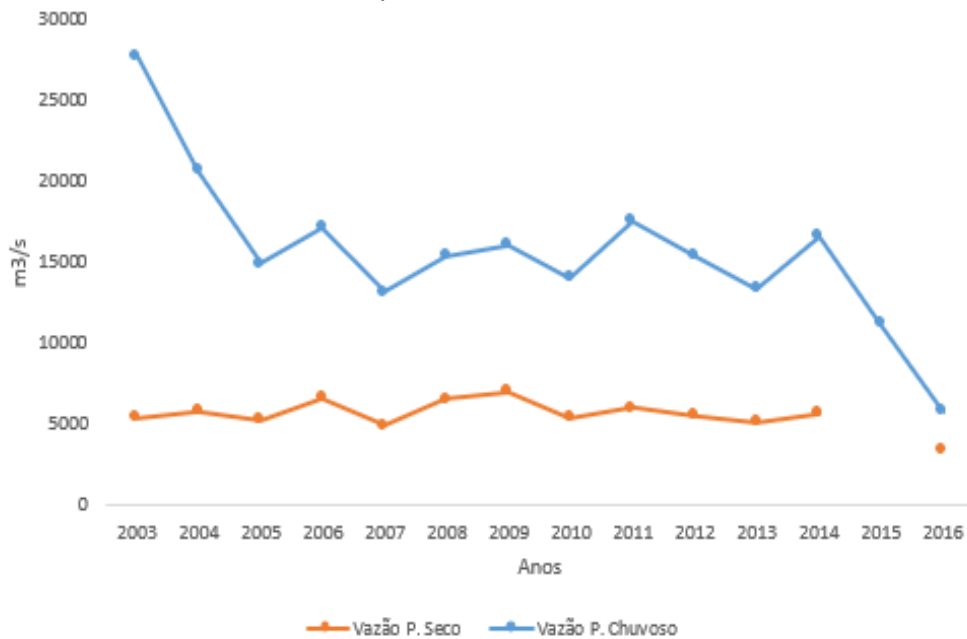
Para a análise de vazão turbinada deveu-se devido a importância da geração de energia, pois o reservatório da UHE Tucuruí apresenta tal finalidade.

Desta forma, a importância da análise da vazão turbinada com o processo de eutrofização que o reservatório possa adquirir, pois tais resultados podem interferir em diversas análises.



No Gráfico 35, encontra-se evidenciado os valores de vazão no reservatório, tanto no período chuvoso, quanto no período seco.

**Gráfico 35** - Valores médios de vazão no período chuvoso e seco durante os anos de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Durante o estudo percebeu-se a diminuição dos valores de vazão turbinada, sendo o valor mínimo evidenciado no ano de 2016, com o valor de 5798,00 m<sup>3</sup>/s, e o máximo no ano de 2003, com o valor de 27746,00 m<sup>3</sup>/s, no período chuvoso.

No período seco os valores de vazão turbinada foram bem inferiores ao evidenciado no período chuvoso. Com valor mínimo no ano de 2016, sendo 3373 m<sup>3</sup>/s, e o valor máximo no ano de 2009, correspondendo a 6981 m<sup>3</sup>/s

Destaca-se a falta de resultados no ano de 2015, no período seco.

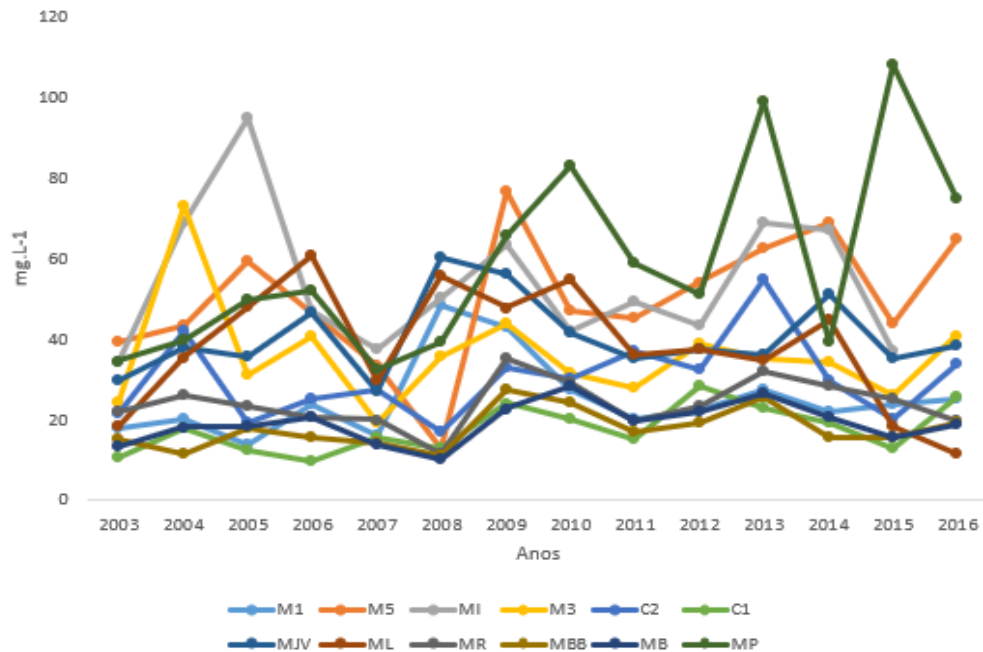
### 6.3. Identificação das variáveis de maior importância para a obtenção dos IET'S

#### 6.3.1. Fósforo

O fósforo em águas naturais pode ser dividido em fósforo particulado orgânico, fósforo solúvel reativo, fósforo particulado inorgânico e o fósforo não particulado inorgânico (CHAPRA, 1997; VEIGA, 2010).

Sendo um dos parâmetros de maior importância para o estudo de eutrofização, o fósforo é um dos principais nutrientes para o enriquecimento de algas no reservatório. Evidencia-se no Gráfico 36 os valores obtidos deste parâmetro.

**Gráfico 36** - Comportamento fósforo total, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que no ano de 2016 não ocorreu realização de análise nos pontos MI. E de forma geral, os valores de fósforo total apresentaram um comportamento similar entre os anos, sendo que entre os anos de 2009 a 2014, foram evidenciados os valores mais elevados do estudo. O valor mínimo médio foi encontrado no valor de 9,2 mg.L-1 no ponto C1, no ano de 2006, e o valor máximo foi de 107,76 mg.L-1 no ponto MP, no ano de 2015. Quanto ao ponto MP, este apresentou os valores mais elevados do estudo, e o ponto C1 apresentou valores menores.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o fósforo total para ambientes lênticos é de 0,020mg.L-1 para águas doces de classe 1, para a classe 2 o fósforo total para ambientes lênticos é de 0,030 mg.L-1 para os de classe 3, o valor limite é de 0,05 mg.L-1.

Ao comparar com os resultados obtidos no reservatório da UHE Tucuruí, foram identificados altos valores de fósforo total, em todos os pontos de amostragem.



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante destacar a não realização da análise novamente no ponto MI nos anos de 2013 e 2016.

O valor mínimo encontrado neste período foi de 6,2 mg.L-1 no ponto ML, no ano de 2012 e o valor máximo foi de 57,98 mg.L-1 no ponto MP, no ano de 2004.

Os resultados mostram que neste período o ponto MP apresentou os maiores resultados do estudo, enquanto que o ponto MBB apresentou os menores resultados. Além disso, apesar dos comportamentos diferenciados todos os valores obtidos foram superiores aos determinados pela Resolução.

Lamparelli em 2004, em seu estudo nos reservatórios de São Paulo, mostra que maioria dos valores médios encontrados, foram inferior ao valor médio de a 0,050 mg.L-1 e 6 (seis) dos 34 (trinta e quatro) pontos analisados apresentaram o valor médio superior a 0,070 mg.L-1 de fósforo total, valores este, bem inferiores aos encontrados no Reservatório da UHE Tucuruí.

De acordo com Klein & Agne (2012), apesar da grande importância do fósforo para os animais e plantas, este nutriente, que é utilizado em plantações, quando usado em grande escala, pode contaminar o recurso hídrico, o que pode ser levado em consideração no Lago da UHE Tucuruí, por existirem áreas de cultivo circundantes a esse reservatório.

É importante também destacar, que o Decreto Nº 4895 de 25 de novembro de 2003, que dispõe sobre a orientação para a demarcação das primeiras áreas e parques aquícolas continentais (BRASIL, 2003), já mencionado anteriormente, também pode estar auxiliando no aumento do quantitativo de fósforo no interior do reservatório, em razão de um dos componentes utilizados na produção da ração de peixes criados no Lago é o fósforo, o que pode, assim, justificar os elevados valores de fósforo no reservatório.

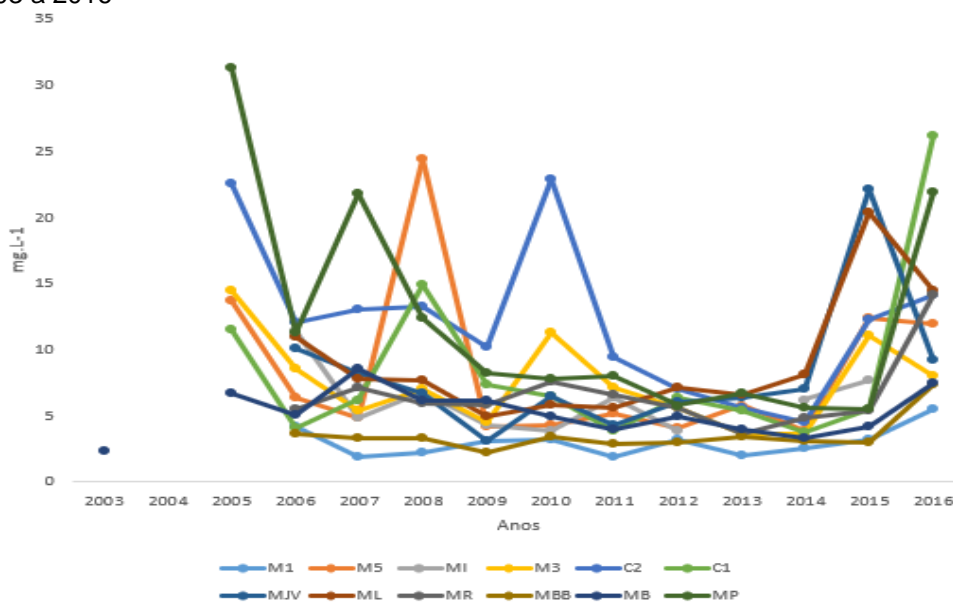
### 6.3.2. Clorofila

Devido o alto grau de relevância no meio ambiente aquático, por ser o pigmento de elevada importância para a realização da fotossíntese, e também por ser um indicativo de eutrofização, pela indicação de biomassa alga no ambiente

hídrico (ESTEVEES, 1988; BUZELLI & CUNHA-SANTINO, 2013) o quantitativo de clorofila deve ser monitorado para o estudo de eutrofização.

No Gráfico 38 encontram-se os dados de clorofila no reservatório estudado, apresentando poucas alterações, comportamento bem similar até o final do estudo.

**Gráfico 38** - Comportamento de Clorofila, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

No período chuvoso entre os anos de 2003 e 2004 não ocorreram realizações de análises, com exceção do ponto MB, com valor de 2,27 mg.L-1 no ano de 2003. No ano de 2005 os pontos que não apresentaram análises foram: M1, MI, MJV, ML, MR e MBB, no ano de 2013 e 2016, apenas o ponto MI não apresentou resultados.

O valor médio mínimo encontrado foi de 1,78 mg.L-1 no ponto MI, no ano de 2007. E o valor médio máximo foi de 31,26 mg.L-1 no ponto MP, no ano de 2005.

Comportamentalmente, os resultados apresentaram similaridade, visto que os valores obtidos nos pontos amostrais seguiram com variações de crescimento e queda de resultados. O ponto M1 apresentou os menores resultados, e o ponto MP apresentou os maiores resultados.

Foram evidentes alguns aumentos nos valores de clorofila no ponto MP nos anos 2005, 2007, e 2016. Também visualizado no ponto M5, no ano de 2008; no ponto C2, no ano de 2005, 2010 e 2015; no ponto ML no ano de 2015; e por fim no ponto C, no ano de 2016.

A Resolução CONAMA 357/2005 determina o valor de 10 ug L-1 de clorofila para águas de classe 1; 30 ug L-1 para águas de Classes 2; e 60 ug L-1 para águas de classe 3.

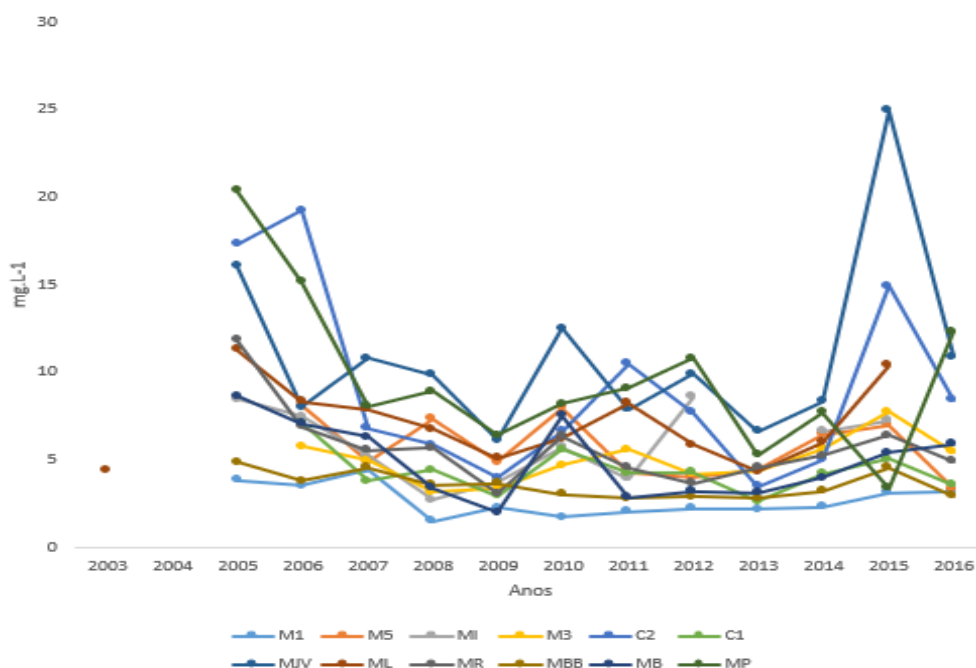
Como a Resolução fornece os valores limites de clorofila em  $\mu\text{g/L}$ , foi realizada uma transformação de valores para  $\text{mg.L-1}$ . Assim, ao converter os valores para  $\text{mg.L-1}$ , os valores limites determinados pela Resolução para as águas de classe 1, 2 e 3 em  $\text{mg.L-1}$  foi de: 0,001  $\text{mg.L-1}$ , 0,03  $\text{mg.L-1}$ , e 0,06  $\text{mg.L-1}$ .

Dos resultados obtidos no reservatório, todos apresentaram valores superiores ao limite determinado pela Resolução.

No reservatório de Itaparica, situado no rio São Francisco entre os estados da Bahia e Pernambuco, foi identificado um comportamento diferente do resultado encontrado no Lago da UHE Tucuruí. Onde o quantitativo de clorofila foi de 1,0 ug L-1 e 18,4 ug L-1 na região fluvial; 2,4 ug L-1 a 52,1 ug L-1 na zona lacustre; e 3,4 a 36,0  $\mu\text{g/L}$ ; enquadrando-se aos limites estabelecidos pela Resolução, para águas de Classe 2 (LOPES et al., 2015).

Durante o período seco, nos anos de 2003 e 2004 (Gráfico 39), o único ponto que apresentou análise foi o ponto ML no ano de 2003, com o valor de 4,41  $\text{mg.L-1}$ . No ano de 2005, os pontos M5, M3 e C1 não apresentaram análises; e no ano de 2013 e 2016, apenas o ponto MI não apresentou análise.

**Gráfico 39** - Comportamento clorofila, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

Um comportamento diferenciado foi apresentado no período seco, sendo que durante o estudo, o ponto M1 apresentou os menores valores médios, enquanto que o ponto MJV apresentou os maiores resultados.

O valor mínimo encontrado foi de 1,49 mg.L-1 no ponto M1, no ano de 2008. E o valor máximo foi de 24,93 mg.L-1, no ponto MJV no ano de 2015, valores estes inferiores ao encontrado no período anterior.

Ao comparar com a Resolução 357/2005, igualmente ao período chuvoso, todos os pontos ultrapassaram o limite determinado, indicando assim, uma provável eutrofização no lago.

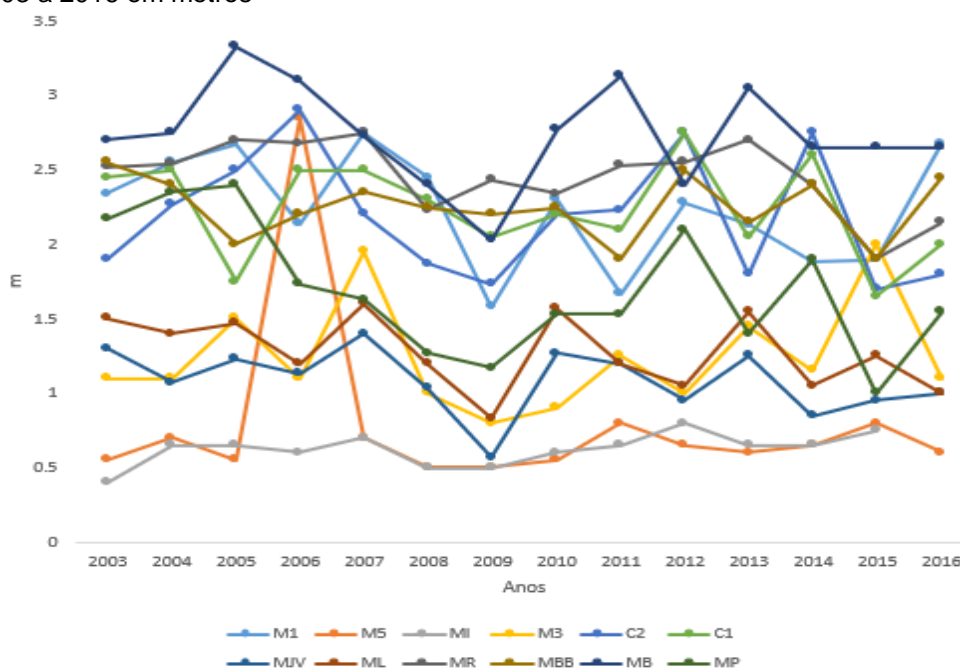
### 6.3.3. Transparência

Sendo um dos indicadores de qualidade ambiental, a transparência pode apontar vários centímetros ou até metros de visibilidade, podendo ser caracterizada com o oposto de turbidez (ESTEVES, 1988; PALMA et al., 2017).

Este também é inversamente proporcional ao quantitativo de material orgânico e inorgânico em relação ao coeficiente de irradiância e o trajeto da luz na coluna d'água os resultados de transparência podem ser obtidos (KIRK, 1994; PALMA et al., 2017).

No Gráfico 40 encontram-se os resultados do período chuvoso, com um comportamento similar na maioria dos pontos estudados.

**Gráfico 40** - Comportamento transparência, no período chuvoso, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016 em metros



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante salientar que no ano de 2016 no ponto M11 não houve realização de análise.

O valor mínimo encontrado no reservatório foi de 0,4 m no ponto M11 no ano de 2003, seguindo com valores inferiores nos anos seguintes em relação aos demais pontos. E o valor médio máximo foi de 3,33 m no ponto MB no ano de 2005, seguindo com altos valores nos demais anos estudados.

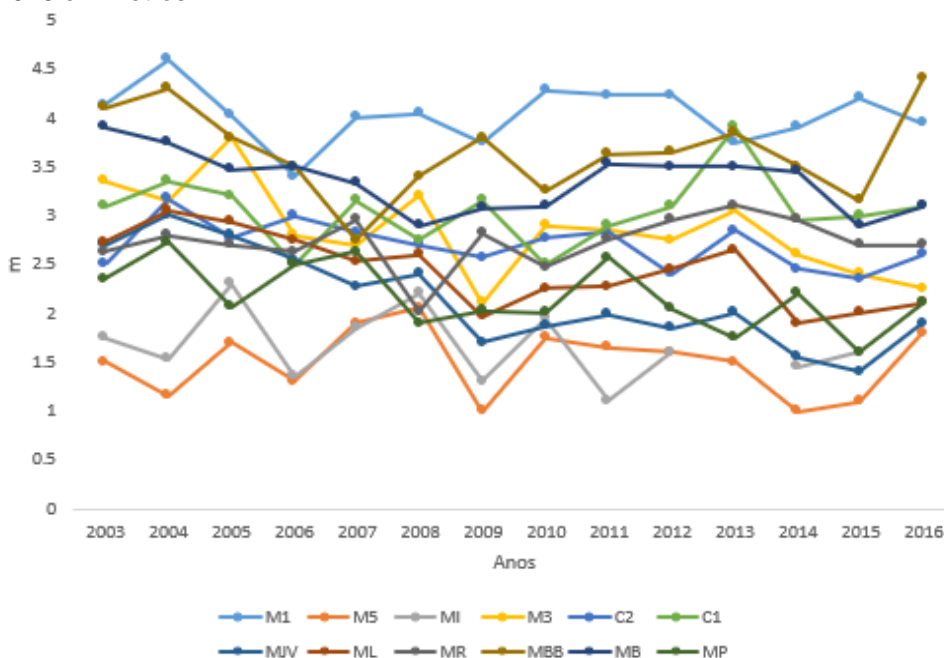
No reservatório de Ernestina, localizado no Rio Grande do Sul, obteve-se valor médio de 120,5 cm de transparência, onde, segundo autores Carlson (1977) e Lamparelli (2004), o reservatório de Ernestina pode estar apresentando uma alta produtividade de nutrientes (PALMA et al., 2017), o que também é evidenciado no reservatório de Tucuruí.

No Gráfico 41 pode-se identificar o comportamento do mesmo parâmetro no período seco, o qual, de forma geral, obteve resultados mais elevados em relação ao período chuvoso, ou seja, a transparência da água no período de estiagem é maior no lago da UHE Tucuruí.



Um dos fatores que pode indicar a menor transparência no período chuvoso é a introdução de matérias orgânicas e inorgânicas no Lago, principalmente através do carreamento de sólidos do solo pela água da chuva, o que ocasiona a diminuição dos valores de transparência.

**Gráfico 41:** Comportamento transparência, no período seco, no reservatório da UHE Tucuruí, do ano de 2003 a 2016 em metros



**Fonte:** Dados Eletronorte de 2003 a 2016.

É importante dizer que durante este período, o ponto MI não apresentou realização de análise nos anos de 2013 e 2016.

O valor mínimo encontrado no estudo foi de 1 m no ponto M5, nos anos de 2009 e 2014, enquanto que o valor médio máximo foi de 4,6 m no ponto M1, no ano de 2004.

Ao comparar os resultados identificou-se pouca variação de sazonalidade deste parâmetro. No reservatório de Peti em Minas Gerais, foi evidente a variação pela sazonalidade, apresentando valores de 0,5 m no período chuvoso e 1,5 m no período seco, comprovando a variação pela sazonalidade (SILVA et al., 2009).

A Resolução CONAMA 357/2005 não faz referência a este parâmetro.

#### 6.4. Cálculo do Índice de Estado Trófico

Para o Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), determinado pelo método de Carlson (1977) foi utilizado as equações 1,2 e 3 e, posteriormente, a média destes

resultados através da utilização dos dados de transparência, fósforo total e clorofila. Os resultados utilizados serão as médias anuais para cada parâmetro.

Para o cálculo do IET, determinado pela metodologia de Lamparelli (2004), foram utilizadas as equações 4 e 5, posteriormente foi calculado a média dos resultados.

No Anexo 1 contam os resultados médios anuais de transparência, clorofila, fosforo total dos anos de 2003 e 2016 classificados de acordo com o determinado pelo método de Carlson (1977).

É importante destacar que no ano de 2003 apenas os pontos ML e MB apresentaram análises suficientes para que o cálculo pudesse ser realizado, apresentando ambas as classificações mesotróficas.

Pela metodologia determinada por Lamparelli (2004), as classificações definidas foram mesotrófica e oligotrófica para o mesmo ano.

Ou seja, pela metodologia definida por Carlson (1977), de acordo com a Tabela 53, a água apresenta níveis aceitáveis. Enquanto que pela metodologia definida por Lamparelli (2004) apenas o ponto ML segue este mesmo comportamento, e o ponto MB apresenta uma água com qualidade superior, não trazendo problemas pela sua utilização.

No ano de 2004, não se obteve dados suficientes para a realização dos cálculos de IET's definidas pelos dois autores de referência.

Desta forma, apenas no ano de 2005 foi possível realizar a classificação, onde a maioria dos pontos amostrais definidos pela metodologia de Carlson (1977) apresentou classificação eutrófica com 67% dos resultados. A classificação mesotrófica foi evidenciada em 25% dos resultados, e 8% apresentaram classificação hiperreutrófica.

Durante o mesmo ano foi predominante a classificação eutrófica no reservatório, apresentando elevada produtividade natural, afetada por atividades humanas que proporcionam o aumento de nutrientes.

Pela metodologia de Lamparelli (2004), para o mesmo ano de 2005 foram definidas as classificações mesotrófica com 58% dos resultados, e eutrófica com 42% dos resultados.

Sendo a classificação mesotrófica evidenciada na maioria dos pontos, pode-se afirmar que a água do reservatório apresentou as mesmas características encontradas pela metodologia definida por Carlson (1977).

Pela metodologia definida por Carlson (1977) para o ano de 2006, as classificações apresentadas foram eutrófica, em 58% dos resultados, e classificação mesotrófica, com 42% dos resultados. De forma geral, boa parte do reservatório apresentou piores condições que a determinada por Lamparelli (2004), onde, 83% do reservatório apresentou classificação mesotrófica, e apenas 17% apresentou classificação oligotrófica.

Pode-se assim informar, que de forma geral, o reservatório apresenta níveis aceitáveis de qualidade de água e com prováveis implicações.

Para o ano de 2007, metade dos resultados apresentou classificação mesotrófica, e metade outra metade, classificação eutrófica, segundo a metodologia de Carlson (1977). Já pela metodologia de Lamparelli (2004), 83% dos resultados obtiveram classificação mesotrófica, e 17% apresentou classificação oligotrófica.

Desta forma, pode-se identificar claramente a diferença entre os resultados das metodologias adotadas.

Tal diferença pode ocorrer devido ao que Lamparelli (2004) afirmou em seus trabalhos nos reservatórios de São Paulo, onde a autora afirma que tal diferença deve-se ao fato de que o cálculo realizado por Carlson (1977) não atende regiões com climas temperados.

No ano de 2008, pela metodologia de Lamparelli (2004), a maioria dos resultados apresentou classificação mesotrófica (92%), obtendo melhor qualidade de água que o determinado pela metodologia de Carlson (1977), onde a maioria dos resultados apresentou classificação eutrófica (58%).

Já no ano de 2009, pela metodologia de Carlson (1977) a maioria dos resultados apresentou classificação eutrófica, entretanto, pela metodologia de Lamparelli (2004) os resultados, em sua totalidade, apresentaram a classificação mesotrófica, obtendo, assim, uma água com melhor qualidade do que definido pela metodologia de Carlson (1977).

Para o ano de 2010, a classificação foi eutrófica (75%) na maioria dos resultados, de acordo com a metodologia de Carlson (1977). Enquanto que para a metodologia de Lamparelli (2004), o maior resultado foi mesotrófica (92%), apresentando novamente melhor qualidade de água.

No ano de 2011, pela metodologia definida por Lamparelli (2004) a água do reservatório apresentou melhor qualidade, com a classificação mesotrófica (83%). Enquanto que pela metodologia definida por Carlson (1977), a maioria dos

resultados apresentou qualidade de água mais baixa com a classificação eutrófica (67%).

No ano de 2012, novamente o IET calculado por Lamparelli (2004) apresentou melhor qualidade de água, com a classificação mesotrófica (83%). Enquanto que pela metodologia de Carlson (1977), novamente apresentou qualidade inferior com a classificação eutrófica (58%).

No ano de 2013, pela primeira vez durante o estudo, para as duas metodologias de cálculo e classificação, a classificação mesotrófica foi identificada na maioria dos pontos estudados. Sendo que o resultado baseado na metodologia de Carlson (1977) apresentou 50% dos resultados, e o que foi baseado na metodologia de Lamparelli (2004), foi de 92% dos resultados.

Pela metodologia de Carlson (1977) pela primeira vez durante os 14 anos de estudo, a água do reservatório apresentou melhor qualidade. Já pela classificação determinada pela metodologia de Lamparelli (2004) esta permaneceu com a qualidade similar aos outros anos estudados, indicando que neste período, houve pouca influência de contaminantes externos ao reservatório.

No ano de 2014 a qualidade da água seguiu com mesmo comportamento evidenciado em outros anos de estudo, com a classificação mesotrófica em 83% dos resultados pela metodologia definida por Lamparelli (2004). Já pela metodologia de Carlson (1977), diferentemente do ano anterior, a qualidade da água do reservatório apresentou menor qualidade, retornando ao comportamento evidenciado na maioria dos anos estudados.

No ano de 2015, novamente a maioria dos resultados determinados pela metodologia de Carlson (1977) apresentou a classificação eutrófica, com 50% dos resultados, classificação mesotrófica com 42%, e 8% com a classificação hiperreutrófica, o que indica que grande parte do reservatório apresenta baixa qualidade de água. Enquanto que pela metodologia de Lamparelli (2004), a qualidade da água foi melhor, onde 83% do reservatório apresentou classificação mesotrófica.

No último ano de análise, pela metodologia de Lamparelli (2004), a maioria dos resultados permaneceu apresentando uma qualidade de água com melhor com a classificação mesotrófica (91%), do que a definida pelo outro autor, onde 73 % do reservatório apresentou a classificação eutrófica.

De forma geral percebe-se que durante os 14 anos de estudo no reservatório da UHE Tucuruí, pela metodologia de Lamparelli (2004) todos os anos apresentaram a mesma classificação, indicando uma melhor qualidade água. Já pela metodologia de Carlson (1977), apenas no ano de 2013 a qualidade da água do reservatório foi melhor que o indicado nos outros 13 anos.

A Tabela 8 mostra resumidamente a classificação dos resultados de IET's, durante os 14 anos de estudo.

**TABELA 9.** Classificação trófica, através dos resultados dos IET's, determinada pelo método de Carlson

Anos	IET(DS)	IET(CLa)	IET(PT)	IET
2003	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
2005	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Eutrófico; Hipereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico
2006	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Eutrófico; Hipereutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Ultraoligotrófico	Mesotrófico; Eutrófico
2007	Mesotrófico; Eutrófico	Eutrófico; Hipereutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico
2008	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico; Oligotrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico; Oligotrófico; Ultraoligotrófico	Mesotrófico; Eutrófico
2009	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico;	Mesotrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico;	Mesotrófico; Eutrófico
2010	Mesotrófico; Eutrófico;	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico; Oligotrófico;	Mesotrófico; Eutrófico
2011	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico;	Mesotrófico; Eutrófico
2012	Mesotrófico; Hipereutrófico;	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico;	Mesotrófico; Eutrófico
2013	Mesotrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico
2014	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Oligotrófico	Mesotrófico; Eutrófico
2015	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico; Oligotrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico
2016	Mesotrófico; Eutrófico	Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Hipereutrófico; Eutrófico	Mesotrófico; Eutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Na Tabela 9 encontram-se, resumidamente, as classificações determinadas por Lamparelli (2004).

**TABELA 10.** Classificação trófica, através dos resultados dos IET's, determinada pelo método de Lamparelli.

<b>Anos</b>	<b>Classificação IET(DS)</b>	<b>Classificação IET(CLa)</b>	<b>Classificação IET</b>
<b>2003</b>	Mesotrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2005</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2006</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2007</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2008</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2009</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2010</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2011</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2012</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2013</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2014</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2015</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Oligotrófico;
<b>2016</b>	Hipereutrófico;	Supereutrófico	Mesotrófico; Supereutrófico Eutrófico;

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Cada classe trófica apresenta uma característica própria, sendo assim, na Tabela 10 encontram-se descritas as características das classificações tróficas encontradas no estudo de caso da UHE Tucuruí (PRAXEDES et al., 2016; CETESB, 2007; LAMPARELLI, 2004).

**TABELA 11.** Características principais, das classificações Tróficas

<b>Classificação Trófica</b>	<b>Características</b>
<b>Ultraoligotrófico</b>	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
<b>Oligotrófico</b>	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
<b>Mesotrófico</b>	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
<b>Eutrófico</b>	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes.
<b>Supereutrófico</b>	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
<b>Hipereutrófico</b>	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Praxedes et al. (2016 ) apud ANA , apud CETESB (2007); LAMPARELLI (2004).

No Anexo 1 apresentam-se os resultados médios anuais de transparência, clorofila, e fósforo total (de 2003 a 2016), classificados de acordo com as determinações de Carlson (1977). Já no Anexo 2, encontram-se os resultados dos cálculos do IET, determinado pelo método de Lamparelli (2004), durante os 14 anos de estudo.

No reservatório da Pequena Central Hidrelétrica (PCH), situada no Estado do Espírito Santo, identificou em seu estudo diferentes níveis tróficos no interior do reservatório (TRINDADE & MENDONÇA, 2014).

Ainda de acordo com os autores, pela metodologia definida por Carlson (1977), no interior do reservatório obteve-se a classificação eutrófica nos meses de outubro, dezembro, e nos meses de fevereiro e abril de 2009. A classificação mesotrófica foi evidente no mês de junho de 2009. E identificou-se a classificação oligotrófica apenas no mês de agosto de 2009.

Também fazendo uso da metodologia definida por Lamparelli (2004), o estudo de Trindade e Mendonça (2014) indicou que nos meses de outubro e dezembro, o reservatório apresentou a classificação mesotrófica, evidenciando similaridade com as classificações obtidas neste estudo.

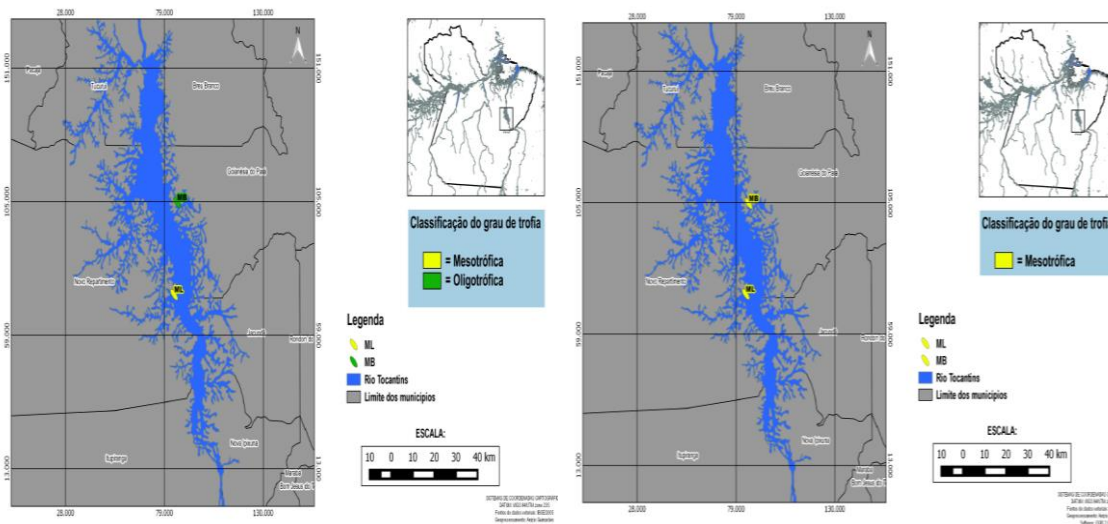
## 6.5. Análise espaço-temporal do comportamento do Índice de Estado Trófico (iet) no reservatório

Para a demonstração do comportamento trófico determinado por Carlson (1977) e Lamparelli (2004), foram confeccionados mapas demonstrativos dos valores de IET Médio, através da metodologia definida pelos dois autores.

Na Figura 9, podem-se identificar as classificações do IET, sendo que a esquerda encontram-se as classificações determinadas pela metodologia de Lamparelli (2004), e à direita a metodologia definida por Carlson (1977), para o ano de 2003, onde apenas dois pontos amostrais obtiveram resultados, devido a falta de importantes dados para o cálculo do Índice de estado trófico (IET).

Sendo assim, apenas os pontos ML e MB apresentaram dados suficientes para a realização desta análise, obtendo a classificação mesotrófica (em amarelo) e oligotrófica (em verde) em seus respectivos pontos pela metodologia definida por Lamparelli (2004).

**Figura 7** - Mapa do comportamento do IET, determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carrlson (1977), para o ano de 2003



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

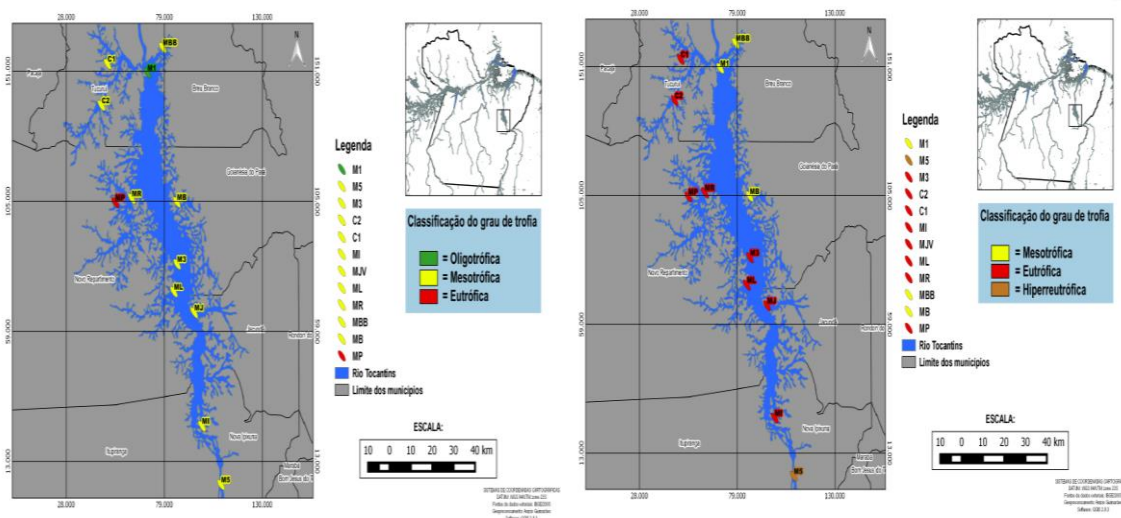
Ao realizar a classificação determinada por Carlson (1977), para o mesmo ano, pode-se identificar em ambos os pontos a classificação mesotrófica, demonstrando uma diferença entre os resultados obtidos por Lamparelli (2004).

É importante ressaltar que a falta da confecção do mapa para o ano de 2004 é devido a falta de dados neste ano.



Entretanto, no ano de 2005 (Figura 10) já foi possível a plotagem de todos os pontos amostrais do estudo. Onde foi possível identificar, de acordo com as classificações definidas por Lamparelli (2004), classificações oligotrófica (em verde), apenas no ponto M1; classificações mesotróficas (em amarelo), na maioria dos pontos estudados; e classificações eutróficas (em vermelho) apenas no ponto MP.

**Figura 8** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2005



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

A partir de uma análise preliminar, pode-se identificar que nas proximidades da barragem, onde encontram-se os pontos: M1, C1, C2 e MBB, a qualidade da água apresentou níveis aceitáveis, com exceção do ponto M1, que apresentou baixas concentrações, podendo estar relacionado ao fato do fluxo de água nesta área ser maior, o que diminui a probabilidade de concentrações de nutrientes nesta localidade.

O ponto MP apresentou o pior resultado com a classificação eutrófica, podendo-se supor que a área possa estar recebendo descargas de ações antrópicas, além disso, pelo fato da região apresentar pouca velocidade de escoamento, o aumento de nutriente na localidade pode ser proporcionado com mais facilidade.

Os demais pontos apresentaram a classificação mesotrófica, com produtividade intermediária, podendo apresentar níveis aceitáveis.

Já pela classificação determinada por Carlson (1977), o ano de 2005 apresentou a classificação Mesotrófica (em amarelo), em três dos pontos

analisados, sendo eles os pontos M1, MBB e MB; foi evidente também a classificação hiperreutrófica (em marrom), apenas no ponto M5; e a classificação eutrófica, na maioria dos pontos estudados (em vermelho).

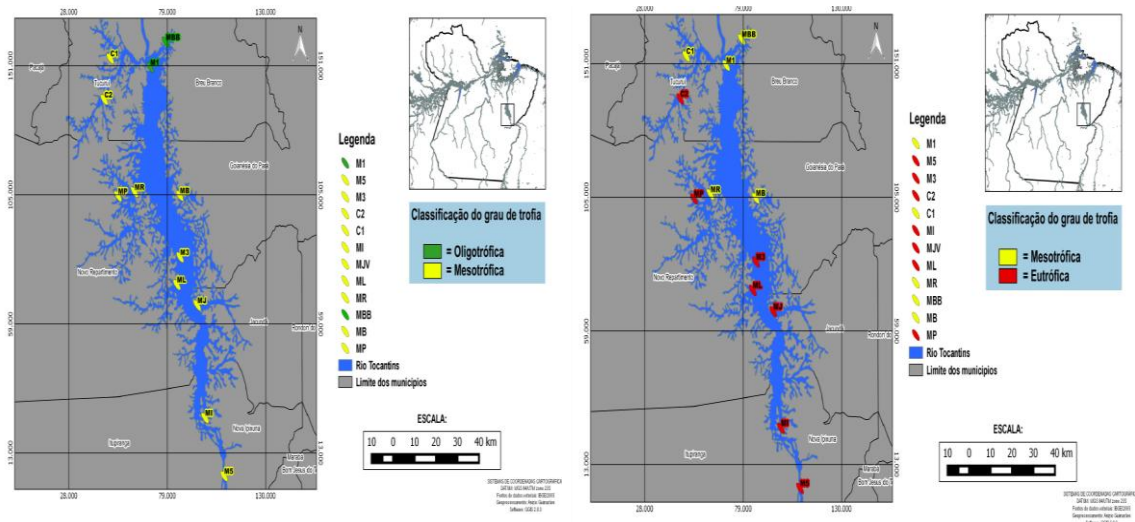
Pela metodologia de Carlson (1977), os pontos que se encontram próximo ao reservatório apresentaram qualidade inferior, principalmente nos pontos C1 e C2, indicando uma provável contaminação hídrica por ações antrópicas. Já o ponto M1 também diminuiu a qualidade da água por apresentar uma produtividade intermediária, e o ponto MBB apresentou a mesma classificação mesotrófica identificada pela metodologia do segundo autor.

O único que apresentou similaridade com a metodologia adotada por Lamparelli (2004) foi o ponto MB, com a classificação mesotrófica. O ponto M5, que é o ponto mais a jusante do reservatório, apresentou a pior classificação (hiperreutrófica), já indicando um comprometimento acentuado em seus prováveis usos, devido à elevada concentração de nutriente e matéria orgânica, podendo assim, estar sinalizando a introdução de material indesejado no Lago.

Os demais pontos apresentaram a classificação eutrófica, demonstrando uma qualidade inferior ao valor determinado por Lamparelli (2004).

Das classificações determinadas por Lamparelli (2004), Na Figura 11 pode-se identificar as classificações oligotrófica e mesotrófica, sendo que a classificação oligotrófica (em verde) fora determinada apenas nos pontos M1 e MBB, os demais pontos apresentaram classificação mesotrófica (na cor amarela).

**Figura 9** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2006



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Em uma análise geral, os pontos localizados na proximidade da barragem apresentaram as mesmas classificações evidenciadas no ano anterior, quando classificadas de acordo com a metodologia de Lamparelli (2004), indicando que não houve alterações em relação à qualidade de água ou prováveis novas fontes de contaminação hídrica.

O ponto MBB foi o único ponto que sofreu alteração ao apresentar uma qualidade melhor de água em relação ao ano anterior, juntamente com o ponto MP, que apresentou também melhoria na qualidade da água ao obter a classificação mesotrófica.

Os pontos restantes apresentaram o mesmo comportamento em relação ao ano anterior, com exceção do ponto MP, que também apresentou melhoria na qualidade da água neste ano.

Pela metodologia de Carlson (1977), as classificações enquadradas foram mesotrófica e eutrófica, destacada no mapa pelas cores amarela e vermelha respectivamente. Sendo que 5 dos pontos (M1, C1, MR, MBB e MB), apresentaram a classificação mesotrófica, enquanto que os 7 pontos restantes, apresentaram a classificação eutrófica (M5, M3, C2, MI, MJV, ML e MP).

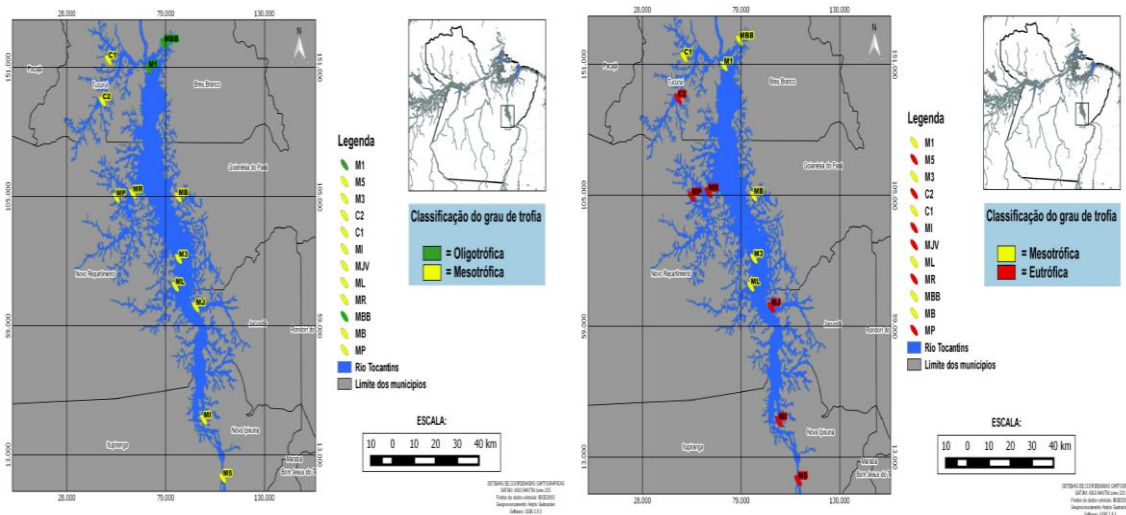
Novamente pela metodologia de Carlson (1977), a qualidade de água do reservatório apresentou melhorias quando comparadas com os resultados obtidos no ano anterior, porém, inferior a qualidade da água determinada por Lamparelli (2004), para o mesmo ano de 2006.

Os pontos que se encontram na proximidade do barramento, com exceção do ponto C2 que permaneceu com a mesma classificação em relação ao ano anterior, apresentaram melhorias de acordo com a metodologia de Carlson (1977), sendo que o ponto C1 neste ano apresentou classificação mesotrófica. Os pontos M1 e MBB permaneceram com as classificações mesotróficas evidenciadas no ano anterior.

Os pontos MR e MB, localizados mais ao centro do reservatório, apresentaram menor produtividade em relação ao ano anterior, obtendo a classificação mesotrófica, e por fim, o ponto M5, localizado mais a montante do reservatório, também apresentou um índice melhor de qualidade da água por obter neste ano a classificação mesotrófica

No ano de 2007, na Figura 12, os pontos foram classificados em oligotrófica (na cor verde) apenas nos pontos MBB e M1, e mesotrófica (na cor amarela), evidenciadas nos pontos M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR, MB e MP.

**Figura 10** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004), para o ano de 2007



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

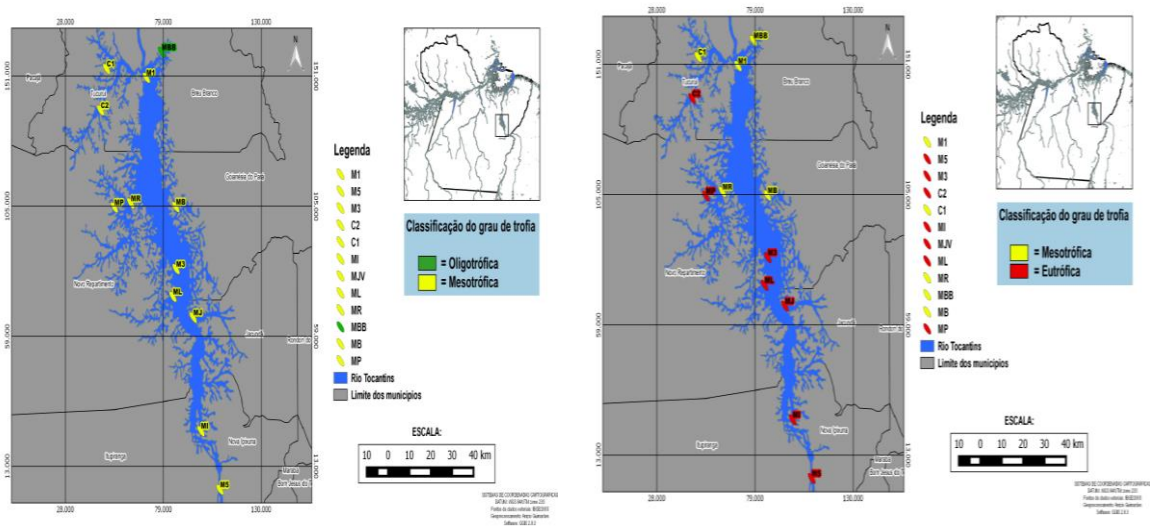
Neste ano foi evidente o mesmo comportamento do ano anterior, com os pontos M1 e MBB apresentando melhores qualidades da água em relação aos demais pontos, quando a classificação se fez pela metodologia de Lamparelli (2004).

Para este mesmo ano, pela metodologia de Carlson (1977), as classificações foram: mesotrófica, evidenciada na cor amarela, sendo assim enquadradas nos pontos, M1, M3, C1, ML, MBB e MB; e a classificação eutrófica, em vermelho, sendo encontradas nos pontos M5, C2, MI, MJV, MR e MP.

Em relação às classificações encontradas no ano anterior, foi perceptível novamente a melhoria na qualidade da água do reservatório, quando as classificações se deveram pela metodologia de Carlson (1977), no qual a mudança ocorreu mais ao centro do reservatório, mais precisamente nos pontos ML, M3 e MB. Nos demais pontos não se obtiveram alterações nos resultados.

Na Figura 13 observa-se a classificação definida por Lamparelli (2004) para o ano de 2008, apresentando as classificações: mesotrófica, nos pontos M1, M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR, MB e MP; e oligotrófica no ponto MBB.

**Figura 11** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2008



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

No ano de 2008, pela classificação definida por Lamparelli (2004), a qualidade da água próxima à barragem apresentou um declínio em sua qualidade, pelo fato do ponto M1 que até o ano de 2007 apresentou a classificação oligotrófica, neste ano obteve a classificação mesotrófica, podendo indicar uma provável contaminação externa.

Nos demais pontos analisados não foram evidenciadas alterações em relação aos anos anteriores.

Pelas classificações definidas pela metodologia de Carlson (1977), no ano de 2008 foram: mesotrófica em cinco dos pontos, sendo os pontos M1, C1, MR, MBB e MB; e a classificação eutrófica nos pontos M5, M3, C2, MI, MJV, ML e MP

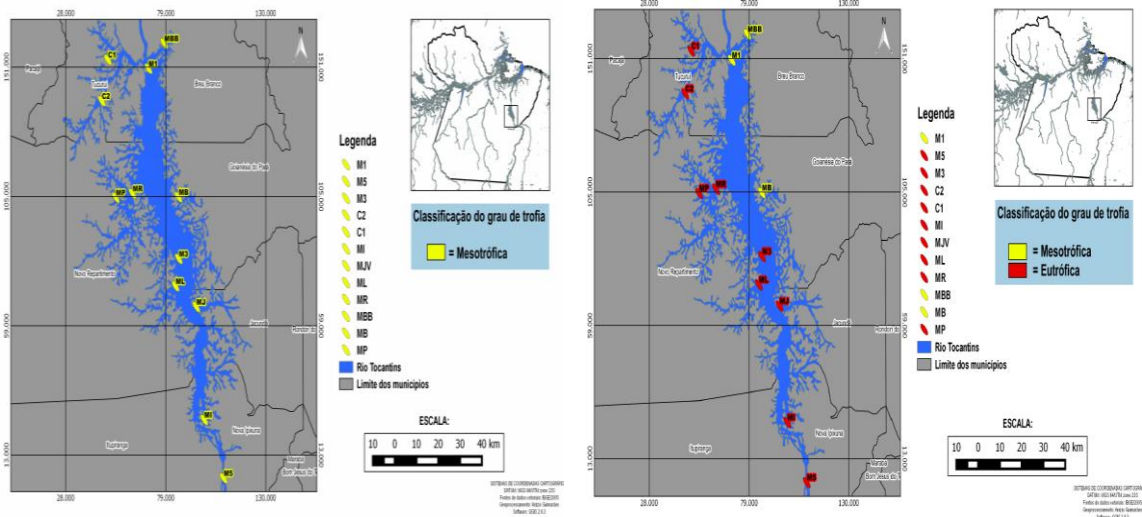
No ano de 2008, similarmente ao outro autor, para o mesmo ano foi identificado uma qualidade de água inferior em relação ao ano anterior, sendo que os pontos ML e M3 apresentaram a classificação eutrófica neste ano, porém o ponto MR obteve uma qualidade melhor, apresentando uma classificação mesotrófica, evidenciada antes apenas no ano de 2006.

A diminuição da qualidade da água pode advir de ações externas, não identificadas no ano anterior.

Na Figura 14, no ano de 2009, as classificações em todos os pontos foram mesotrófica de acordo com a classificação determinada por Lamparelli (2004).



**Figura 12** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2009



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Neste ano, de acordo com a metodologia definida por Lamparelli (2004), novamente foi perceptível a piora na qualidade da água do reservatório na proximidade da barragem, visto que todos os pontos apresentaram a classificação mesotrófica. No restante do reservatório não houve alterações.

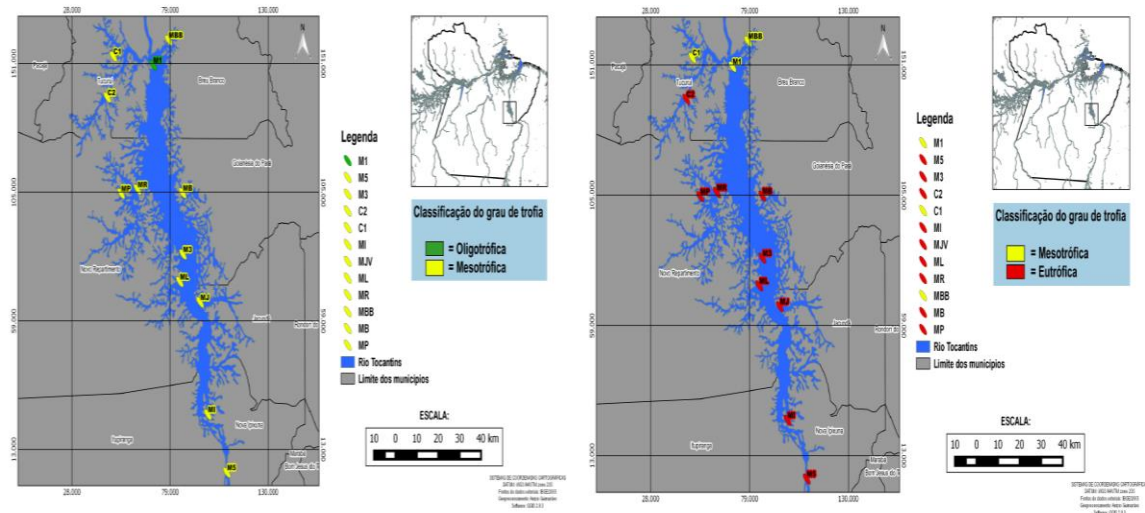
Na Figura 20, as classificações foram mesotrófica em três dos pontos, os pontos restantes (M5, M3, C2, C1, M1, MJV, ML, MR e MP) apresentaram a classificação eutrófica.

Igualmente ao encontrado nas classificações definidas por Lamparelli (2004), também foram evidenciadas a piora da qualidade da água, através das classificações definidas pela metodologia de Carlson (1977), onde no centro do reservatório apenas o ponto MB apresentou prováveis níveis aceitáveis.

Nos pontos localizados próximos ao barramento, apenas os pontos M1 e MBB apresentaram a classificação mesotrófica evidenciada no ano anterior.

Na Figura 15, pode-se observar a classificação determinada por Lamparelli (2004) para o ano de 2010, apresentando as classificações mesotrófica na maioria dos pontos estudados e oligotrófica apenas no ponto M1.

**Figura 13** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2010



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

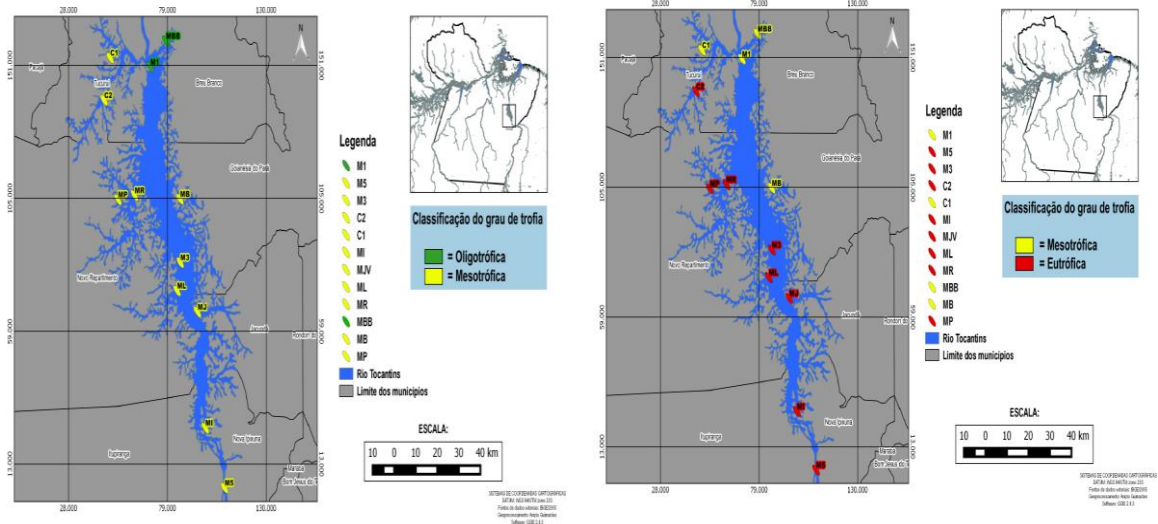
De acordo com a metodologia definida pela autora, neste ano foi perceptível o retorno da classificação oligotrófica no ponto M1, localizado na proximidade da barragem, indicando melhoria na qualidade da água. Os demais pontos não apresentaram alterações em relação ao ano anterior.

Para este mesmo ano, pela metodologia definida por Carlson (1977), as classificações foram as mesotrófica nos pontos M1, C1 e MBB e eutrófica, nos demais pontos, seguindo as classificações definidas por Carlson (1977).

Ainda pela metodologia de Carlson (1977), foi perceptível a melhoria apenas no ponto C1 ao apresentar a classificação mesotrófica, entretanto, no centro do reservatório foi evidente a diminuição da qualidade da água com a classificação eutrófica, os demais pontos apresentaram as mesmas classificações do ano anterior.

Na Figura 16 encontram-se as classificações para o ano de 2011, determinado por Lamparelli (2004), no reservatório da UHE Tucuruí, no qual, neste ano as classificações médias definidas foram oligotrófica em dois pontos de estudo (M1 e MBB), e mesotrófica nos pontos M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR, MB e MP.

**Figura 14** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2011



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Assim, neste ano foi perceptível a melhoria da qualidade da água no ponto MB e continuidade da qualidade da água oligotrófica no ponto M1. Os pontos restantes seguiram com o mesmo comportamento evidenciado nos anos anteriores.

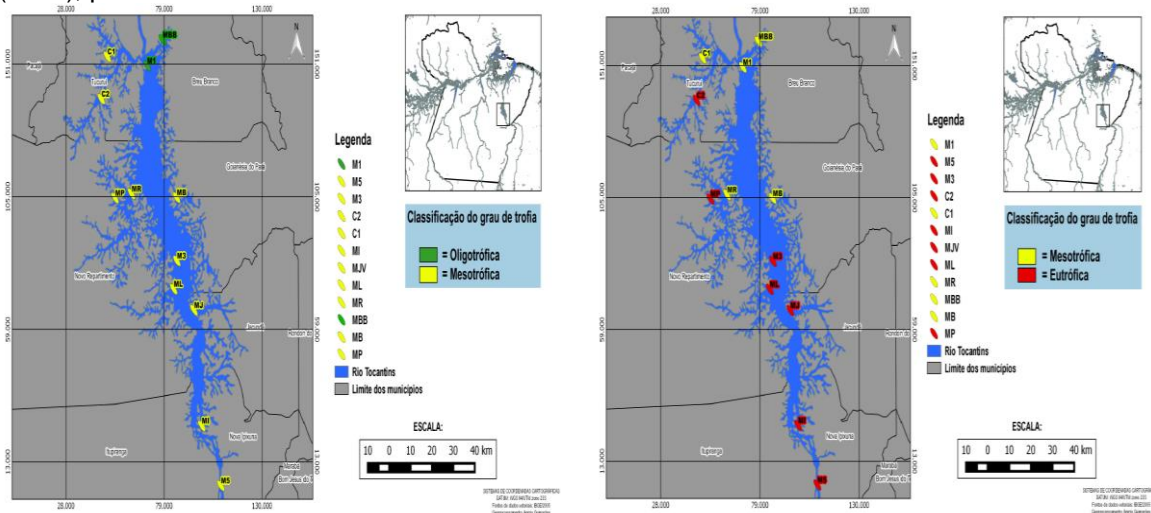
Para o mesmo ano de 2011, as classificações definidas pela metodologia de Carlson (1977) passariam a ser mesotrófica nos pontos M1, C1, MBB e MB, e a classificação eutrófica nos demais pontos.

Neste ano foi perceptível a melhoria da qualidade da água no ponto MB, pela metodologia deste autor, com a classificação mesotrófica, já os pontos restantes seguiram com o mesmo comportamento evidenciado no ano anterior.

Na Figura 17 os resultados obtidos pelo cálculo de Lamparelli (2004) apresentaram a classificação oligotrófica nos pontos M1 e MBB, e a classificação mesotrófica, nos demais pontos.



**Figura 15** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2012



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Já as classificações definidas por Carlson (1977) apresentaram as classificações mesotrófica em 5 dos pontos (M1, C1, MBB e MB), e eutrófica nos demais pontos.

Ainda pela metodologia definida pelo autor, o ponto MR no ano de 2012 apresentou melhoria na característica da água, sendo este o único ponto que apresentou alteração em relação ao ano passado.

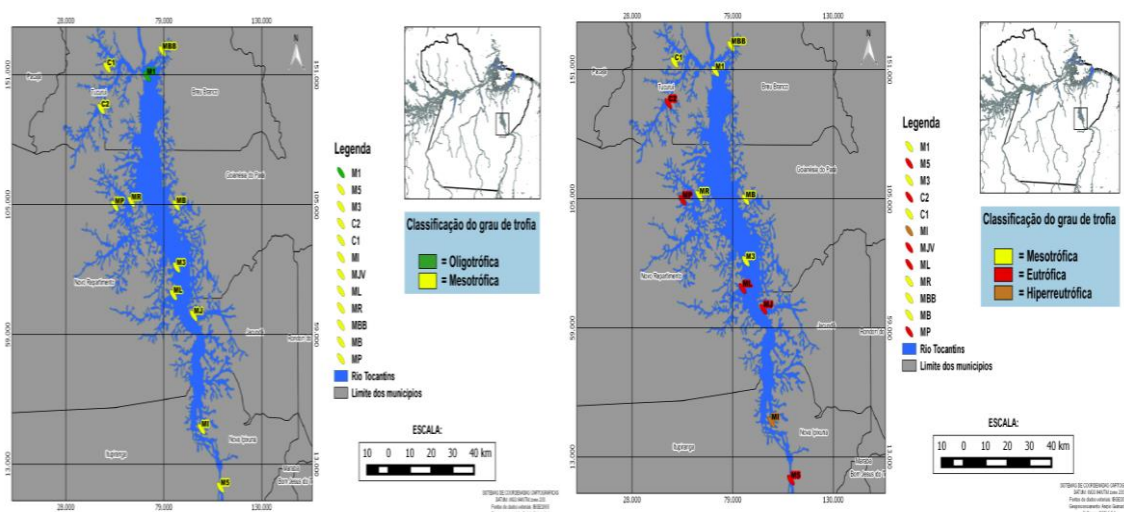
Em estudo realizado no mesmo reservatório, entre os anos de 2009 a 2012, os autores Lobato et al. (2014) encontraram classificações similares, sendo alcançados pela krigagem, fazendo o uso do inverso da distância ponderada, sendo que nos quatro anos de estudo, a maioria dos pontos estudados apresentou a classificação mesotrófica, com exceção do ponto MP e dos pontos mais a jusante do reservatório (MJV e MI), que apresentaram a classificação eutrófica.

O mesmo comportamento foi identificado no ano posterior. Já nos dois anos seguintes, foi perceptível a melhoria da qualidade da água no ponto MP com a classificação mesotrófica, no ano de 2011, porém no ultimo ano o ponto retornou a classificação evidenciada nos dois anos anteriores, entretanto o ponto MI seguiu com a mesma classificação eutrófica nos quatro anos de estudo.

Neste estudo, os autores também indicaram uma provável contaminação por esgoto doméstico.

As classificações mesotrófica e oligotrófica, foram encontradas no ano de 2013 (Figura 18), no ponto M1 para a classificação oligotrófica e nos pontos M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR, MBB, MB e MP apresentaram a classificação mesotrófica.

**Figura 16** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004), para o ano de 2013



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

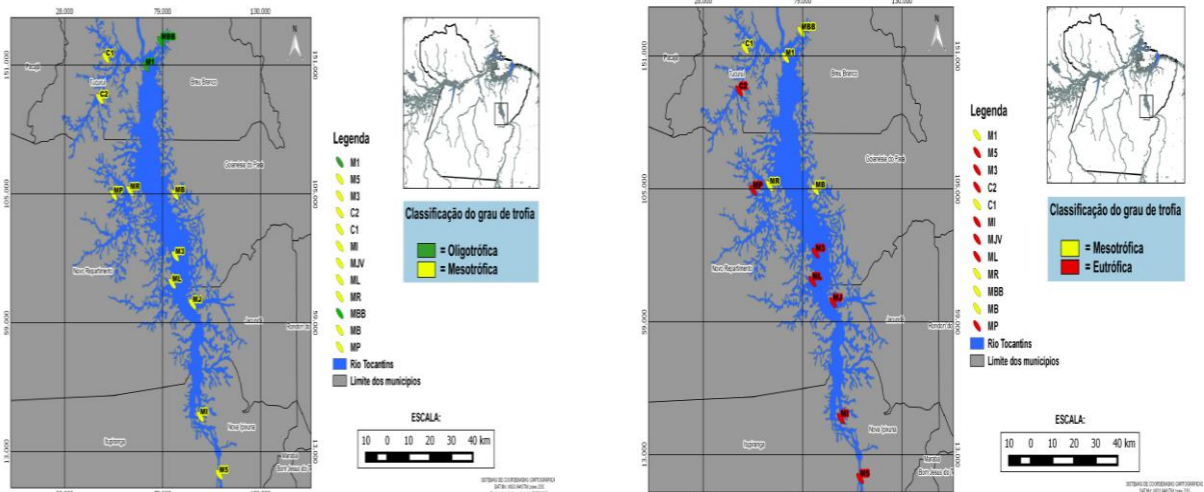
Pela classificação definida pela autora, foi perceptível novamente e queda da qualidade na água do reservatório, no ponto na proximidade à barragem (MBB), que voltou a apresentar a classificação mesotrófica.

Pela metodologia definida por Carlson (1977), fica evidente as classificações, mesotrófica, eutrófica e hiperreutrófica. Após oito anos, a classificação hiperreutrófica foi apresentada, desta vez no ponto MI. Nos pontos M1, M3, C1, MR, MBB e MB, foram enquadradas na classificação mesotrófica, e os pontos M5, C2, MJV, ML e MP, enquadraram-se na classificação eutrófica no ano de 2013, de acordo com a metodologia definida por Carlson (1977).

Apesar da classificação hiperreutrófica obtida no ponto MI, o que indica altas concentrações de material externo ao Lago, sendo introduzido na água o ponto MR, localizado no lado esquerdo do reservatório, obteve melhoria com a classificação mesotrófica.

Para o ano de 2014, (Figura 19), de acordo com as classificações determinadas por Lamparelli (2004), foram encontradas as classificações mesotrófica (M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR, MB e MP), e oligotrófica (M1, e MBB).

**Figura 17** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2014



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

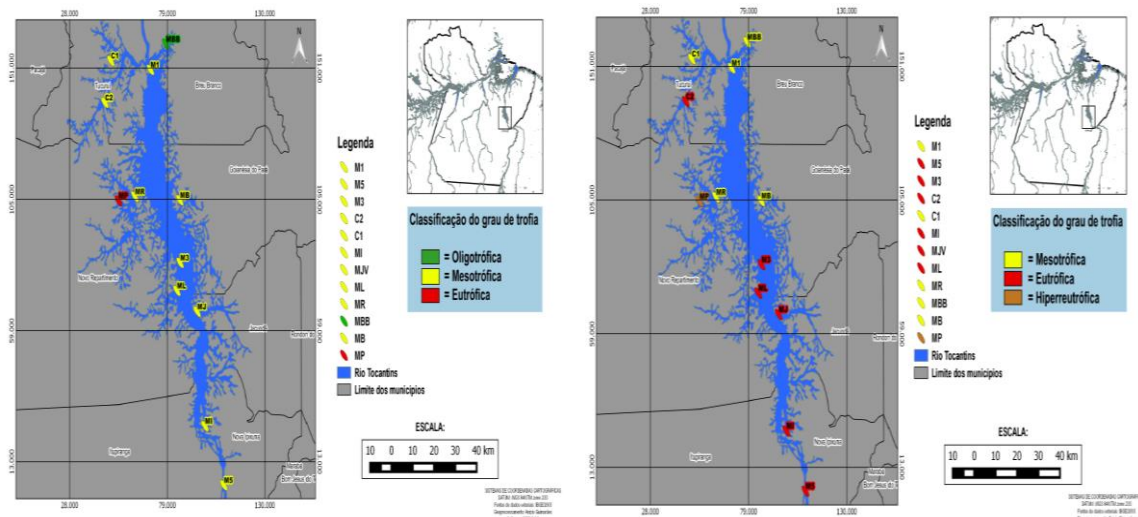
Novamente o ponto MBB volta a apresentar a classificação oligotrófica, podendo indicar que os contaminantes externos podem estar adentrando o Lago, porém não apresentam durante os anos uma continuidade.

No enquadramento definido por Carlson (1977), para este ano de 2014 foram mesotrófica para os pontos M1, C1, MR, MBB e MB; e a classificação eutrófica nos pontos M5, M3, C2, MI, MJV, ML e MP.

Neste ano foi perceptível a variação dos pontos M3, que apresentou piora na qualidade da água, porém o ponto MI, que no ano anterior apresentou a pior classificação trófica, no ano de 2014 apresentou uma melhora com a classificação eutrófica.

No ano de 2015 as classificações definidas por Lamparelli (2004) foram mesotrófica (M1, M5, M3, C2, C1, MI, MJV, ML, MR e MB), oligotrófica (MBB) e eutrófica (MP), evidenciadas na Figura 20.

**Figura 18** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2015



Fonte: GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Neste ano foi evidente a diminuição da qualidade da água no reservatório no ponto MP, apresentando a classificação eutrófica, e no ponto M1 com a classificação mesotrófica.

Pela metodologia de Carlson (1977), apresentou as classificações mesotrófica, nas tonalidades amarelo, eutrófica na coloração vermelha, e hiperreutrófica na cor marrom.

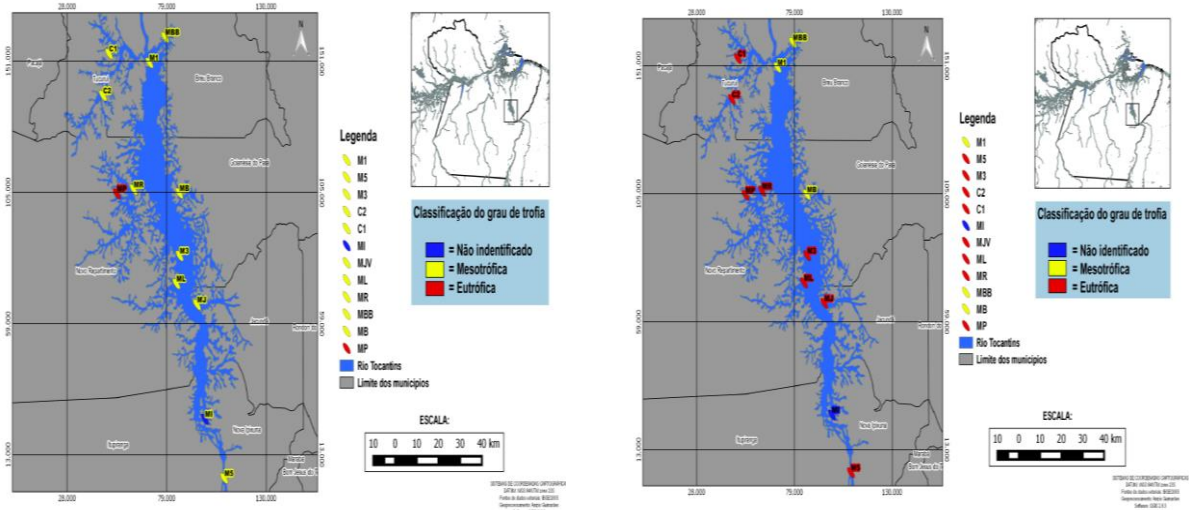
Pela primeira vez, durante os 14 anos de estudo, o ponto MP apresentou a classificação hiperreutrófica, indicando influência externas do reservatório que pode estar interferindo na qualidade da água. Os demais pontos seguiram com as classificações encontradas no ano anterior.

Tal alteração no ponto MP é evidenciada em diversos momentos sobre o estudo, visto que o referido ponto é o que mais apresentou alterações em diversos dos parâmetros analisados, indicando uma provável contaminação regular no ponto amostral.

Por fim, no último ano de estudo, pela classificação de Lamparelli (2004), apresentou a classificação mesotrófica na maioria dos pontos, sendo evidenciada na coloração amarela, e a classificação eutrófica com a cor vermelha. O ponto MI, não apresentou tonalidade, devido a falta de resultados, para este ponto.

Na Figura 21 encontram-se os resultados das classificações definidas tanto pelas metodologias de Lamparelli (2004) como pela metodologia de Carlson (1977).

**Figura 19** - Mapa do comportamento do IET determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004) e Carlson (1977), para o ano de 2016



**Fonte:** GUIMARÃES, A. Programa QGIS 2.8.3.

Novamente, neste ano foi perceptível que o único ponto que apresentou alterações foi o ponto MBB, apresentando uma classificação com qualidade inferior ao ano anterior.

No ano de 2016, as classificações determinadas por Carlson (1977) fôra, mesotrófica, sendo evidenciadas pela cor amarela, e a classificação eutrófica, na cor vermelha.

O ponto MI não obteve dados suficientes para o cálculo e também para sua classificação trófica.

Neste ano, pela metodologia definida por Carlson (1977), houve a diminuição da qualidade da água do reservatório nos C1 e MR, já o ponto MP apresentou uma melhoria de qualidade.

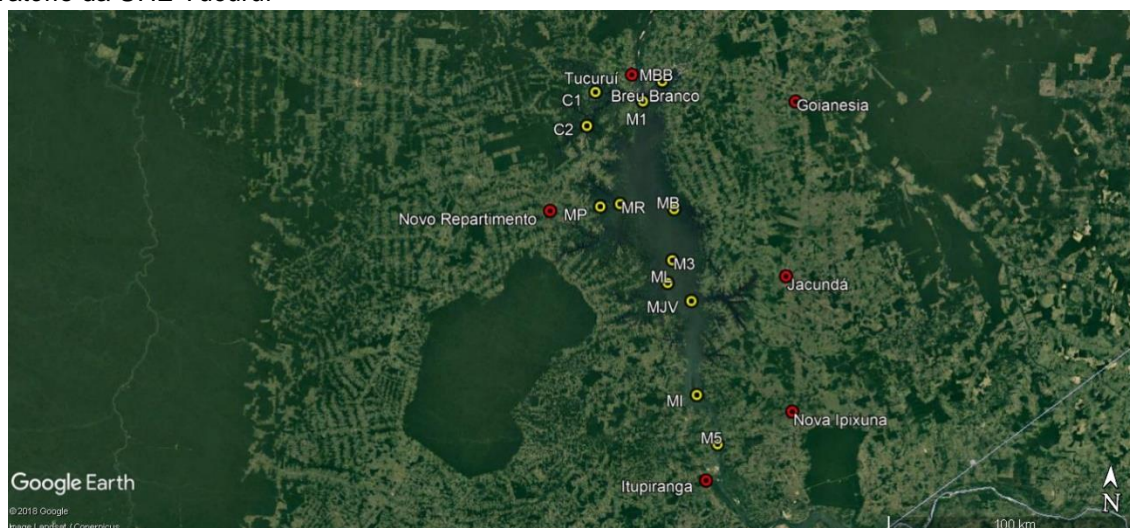
Por fim, pode-se destacar que pela metodologia de Lamparelli (2004), as classificações apresentaram mais variações nos pontos próximos ao barramento do reservatório, principalmente nos M1 e MBB, enquanto que pela metodologia definida por Carlson (1977), os pontos no centro do reservatório foram os que apresentaram as maiores variações, principalmente nos pontos ML, M3 e MJV.

Um fator que pode ser levado em consideração é uma provável contaminação de efluentes oriundos de centros urbanos.

Na Figura 22 encontra-se evidenciado a distância entre os centros urbanos e o reservatório de Tucuruí.



**Figura 20** - Mapa de localização entre os centros urbanos do município e os pontos amostrais do reservatório da UHE Tucuruí



**Fonte:** Google Earth, 2018.

A partir da visualização da Figura 22 e pelo fato de os municípios (pontos de coloração vermelha), que são circundantes ao Lago, apresentarem o percentual de esgotamento sanitário baixo, sendo que o município de Jacundá apresenta o maior percentual de saneamento com 15,3 %, tal fator pode ser determinante para o índice trófico encontrado no reservatório, pois supõe-se que a introdução de material no reservatório pode advir principalmente do esgotamento dos centros urbanos que não possuem ETE's.

A possível alteração da fauna e da flora de um ecossistema, também pode ocorrer devido as variações dos processos físicos, químicos e biológicos presentes no regime hidrológico regional (Aubert et al., 2013; Lai et al., 2013; Merten and Minella 2002, FREIRE et al., 2017), podendo ser considerado no reservatório da UHE Tucuruí.

Em estudo realizado por Freire et al. (2017) sobre a influência do regime hidrológico Amazônico, usando como estudo de caso a reservatório da UHE Tucuruí, foi identificado variações durante as fases hidrológicas na região, motrando o aumento de nutrientes no ambiente aquático, confirmando que tais variações alteram a qualidade de água do reservatório, proporcionando as diferentes classificações encontradas.

## **6.6. Análise estatística do comportamento do regime operacional com a situação de eutrofização no reservatório**

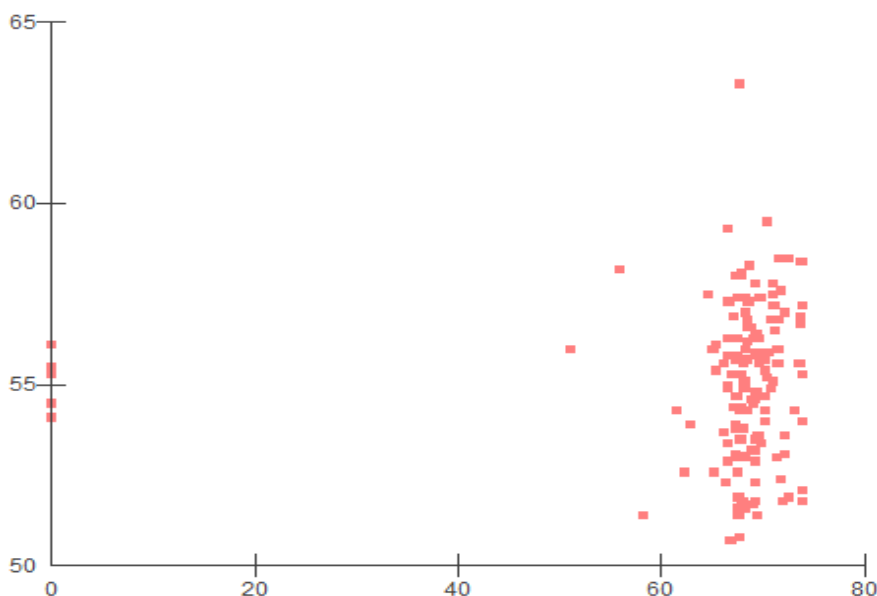
Para a análise de correlação de Pearson fez-se o uso inicialmente de duas variáveis, sendo a variável x os valores de IET médio, determinado pelo cálculo de Lamparelli (2004), e os valores de nível do reservatório (cota) sendo este a variável Y.

A escolha do uso destas variáveis para a correlação de Pearson ocorreu pela necessidade de identificação da influência destas variáveis uma com a outra, pelo fato de que ambas apresentam um grau de importância para a manutenção do reservatório.

Como resultante da Correlação de Pearson das duas variáveis já citadas, as variáveis apresentaram r igual a 0,0160, demonstrando uma fraca correlação entre os resultados dos IET médio e os dados de cota.

No Gráfico 42 está demonstrando a fraca correlação pela falta de agrupamento dos pontos da correlação dos dados de IET, elaborado por Lamparelli (2004), e os valores de cota do reservatório.

**Gráfico 42** - Gráfico de dispersão da correlação do IET Lamparelli (2004) e Cota do reservatório



**Fonte:** Elaborado pela autora (2018). Programa BioEstart.

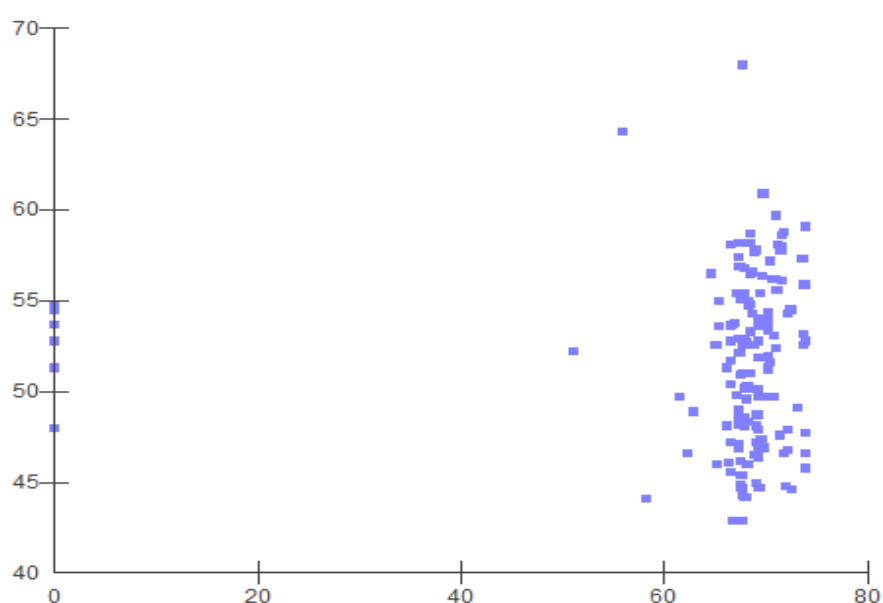
Com o propósito de comparação, também foi realizada a correlação dos resultados de IET médio determinado por Carlson (1977), com os dados de cota do reservatório.

Identificando uma correlação do IET médio de Carlson (1977) com os dados de cota, apresentando correlação negativa e fraca em que  $r$  apresentou o valor igual a de -0,0254.

Neste caso, pelo fato de o resultado da correlação ter sido negativa pode-se afirmar então que as variáveis não apresentam relação direta, ou seja, se os valores de IET de Carlson (1977) aumentar, os valores de cota não apresentaram o mesmo comportamento.

No Gráfico 43 está sendo demonstrado a fraca correlação entre os dados de IET Carlson (1977) e valores de cota dos reservatórios, onde os pontos apresentam-se agrupados.

**Gráfico 43** - Gráfico de dispersão da correlação do IET Carlson (1977) e Cota do reservatório



**Fonte:** Elaborado pela autora (2018). Programa BioEstart.

O objetivo de se realizar uma segunda correlação dos dados de IET de Lamparelli (2004) com a vazão defluente, define-se de acordo com Norte Energia (2015) como a vazão de água que retorna ao rio onde se encontra a Barragem da UHE Tucuruí, deveu-se ao fato de este reservatório, apresenta a funcionalidade de geração de energia, apresentando assim a importância de comprovação de uma provável ligação entre as duas variáveis.

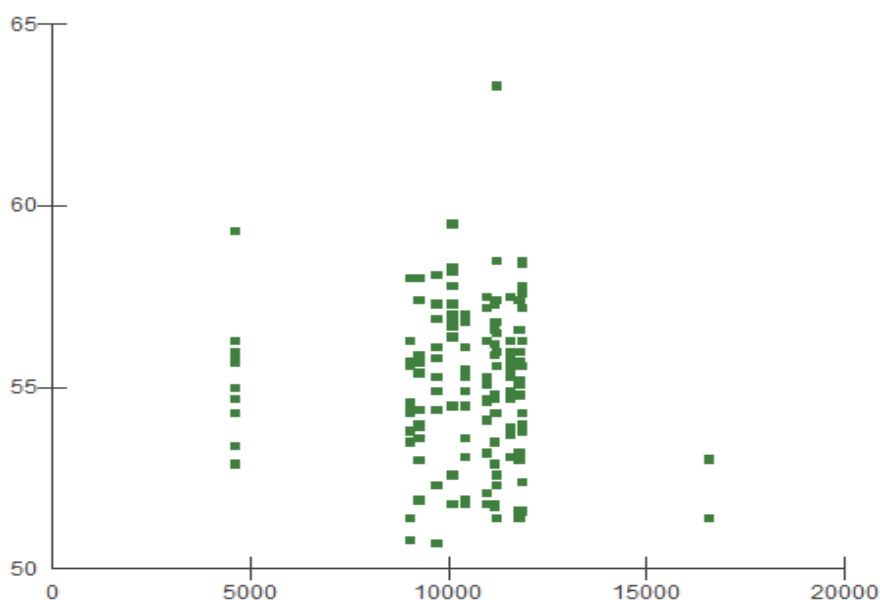
Para o resultado da correlação das variáveis já citadas, pode-se identificar uma correlação negativa devido ao fato de  $r$  ter se aproximado de -1, apresentando



o valor igual à  $-0,0532$ , ou seja, os valores obtidos do IET de Lamparelli, não apresentam relação direta com a vazão de geração de energia.

No Gráfico 44 é demonstrada a correlação negativa fraca entre os IET Lamparelli (2004), e a vazão defluente.

**Gráfico 44** - Gráfico de dispersão da correlação do IET Lamparelli (2004) e a vazão defluente



**Fonte:** Elaborado pela autora (2018). Programa BioEstart.

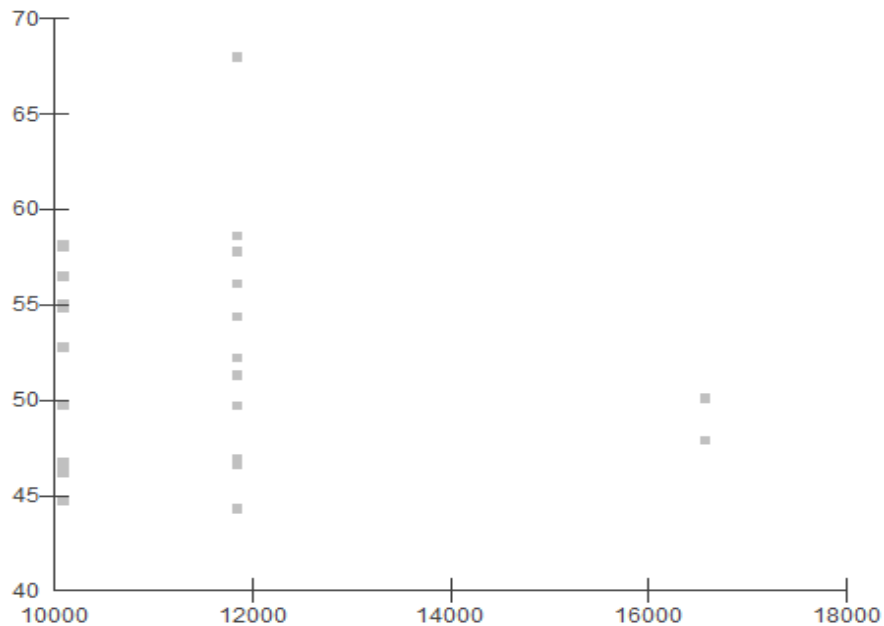
Novamente, para motivo de comparação, foi realizada a correlação dos dados dos resultados do IET médio de Carlson (1977) com os dados de vazão defluente.

Podendo identificar também uma correlação negativa fraca, ao utilizar-se os dados de IET media de Carlson (1977), com  $r$  apresentando o valor igual a  $-0,1175$ , demonstrando assim a não influência direta das duas variáveis.

De forma geral, pode-se identificar a falta de similaridade na primeira correlação dos resultados de IET determinado pelos dois autores com os dados de cota. Em contrapartida, ao comparar outros trabalhos acadêmicos, pode-se levantar a hipótese de que tal divergência evidenciada pode advir pelo fato de que a metodologia adotada por Carlson poderá não se enquadrar com as características físicas da região onde se encontra o reservatório.

No Gráfico 45 está evidenciado o gráfico de dispersão encontrada a partir da correlação das variáveis IET Carlson (1877) e vazão defluente.

**Gráfico 45** - Gráfico de dispersão da correlação do IET Carlson (1977) e a vazão defluente



**Fonte:** Elaborado pela autora (2018). Programa BioEstart.

As análises aqui apresentadas indicam que a dinâmica de operação do reservatório não apresenta significativa influência sobre o estado de trofia do reservatório. Indicando que fatores externos, como por exemplo, o lançamento de esgotos domésticos e o uso antrópico das margens do reservatório teriam maior significância.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas no reservatório da UHE Tucuruí, foi perceptível a eutrofização do Lago de forma espacial, devido a fatores externos ao reservatório, que de algum modo introduzem material para seu interior.

Isto foi claramente percebido a partir da análise de alguns parâmetros, sendo o principal o fósforo, que tanto no período seco, quanto no período chuvoso, apresentou valores superiores ao determinado pela Resolução CONAMA 357/2005, no qual tal parâmetro pode ter como principal fonte o lançamento de esgoto doméstico no reservatório.

No geral, os demais parâmetros apresentaram pouca variação entre os períodos chuvoso e seco, com alguns pontos que ultrapassaram o limite permissível indicando que a operacionalização do reservatório não está influenciando significativamente no processo de eutrofização do Lago.

A eutrofização do Lago também foi perceptível na realização dos cálculos dos Índices de Estado do Trófico (IET) tanto pelo método de Lamparelli quanto de Carlson.

Pela metodologia de Lamparelli (2004), os pontos M1 e MBB localizados próximo ao barramento apresentam melhor qualidade na água, com a classificação oligotrófica em alguns anos, porém a classificação mesotrófica foi a mais evidente nos 12 pontos amostrais no decorrer dos 14 anos de estudo. E por fim, o ponto MP localizado próximo ao município de Novo Repartimento, nos anos de 2005, 2015 e 2016, apresentou a classificação eutrófica, sendo este ponto considerado o mais problemático por apresentar a pior classificação trófica.

Pela metodologia de Carlson, a água do reservatório apresentou qualidade inferior ao encontrado pela metodologia de Lamparelli, o centro do reservatório principalmente nos pontos ML, M3, MR e MB apresentaram com maior frequência variações tróficas, sendo que as classificações predominantes foram as mesotrófica e eutrófica na maioria dos anos.

Nos anos de 2005, no ponto M5, e no ano de 2015, no ponto MP apresentaram a classificação hiperreutrófica, sendo considerados os pontos com as piores classificações tróficas definidas pela metodologia do autor, já que a classificação hiperreutrófica considera que a qualidade da água encontra-se em pior estado.

Por fim, as correlações realizadas demonstram que a operacionalização da dinâmica de reserva do lago (vazão e cotas) não possui significativa influência no índice de estado trófico da água do reservatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, American Public Health Association (1999). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 10300 Periphyton. Washington, 20th Edition.
- AKINBILE, C. O; YUSOFF, M. S; TALIB, S. H. A; HASAN, Z. A; ISMAIL, R; SANSUDIN, U. **Qualitative analysis and classification of surface water in Bukit Merah Reservoir in Malaysia**. Water Science & Technology: Water Supply. 2013.
- AQUINO, S; LATRUBESSE, E.M; FILHO, E.E.S. **Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.10, n.1, p.43-54, 2009.
- ARAÚJO, A. L; LOPES, M. L; PEREIRA, G. M. **Trinta anos de Operação das 23 Comportas do Vertedouro da UHE Tucuruí**. Comitê Brasileiro de Barragens - XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens.2015
- ARAGÃO, V.R.; VELOSO, V. H. S. **Análise Geral da Qualidade da Vida Aquática na Margem Oeste da Lagoa São Simão, Rio Grande do Sul**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria Revista Monografias Ambientais - REMOA e- V. 14, N. 2 (2014): Março, p. 3082 – 3087. 2013.
- AUTOMARE, M. M. **Água: a escolha da ciência**. São Paulo: Estudos Avançados, Universidade de São Paulo. 2015.
- AYRES, M; JR, M.A; AYRES, D. L; SANTOS, A.S. **BioESTAT 5.0 – Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas**. 2007.
- AYRES, M. **Elementos de Bioestatística – A seiva do Açaizeiro**. 2012.
- BARBOSA, I. B. R; CIRILLO, J. A. **Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água – Parte 1**. Engenharia Sanitária e Ambiental | v.20 n.1 | 2015 | 39-46
- BARROS, L.R. **O Índice do Estado Trófico e sua adaptação para Sistemas Lêntico do Semiárido Cearense**. 2013
- BEM, C.C. **Determinação do Estado de Eutrofização de Reservatórios: Estudo de Caso do Lago Barigui**. 2009. Acesso em 02/02/2018. Disponível em: [http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Workshop%20Agua%20Urbanas/S2P5\\_Carla\\_Cristina.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Workshop%20Agua%20Urbanas/S2P5_Carla_Cristina.pdf)
- BRABO, M. F; FLEXA, C. E.; VERAS, G. C; PAIVA, R. S; FUJIMOTO, R. Y. **VIABILIDADE ECONÔMICA DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ, ESTADO DO PARÁ**. Informações Econômicas, SP, v. 43, n. 3, maio/jun. 2013.

BRASIL. Constituição Federal de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Acesso em: 05/12/2016. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm).

BRASIL. DECRETO Nº 4.895, DE 25 DE NOVEMBRO DE 2003. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2003/decreto-4895-25-novembro-2003-497528-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acessado em: 18/08/2018.

BRASIL. Lei Nº 9.984, de 17 de Junho de 2000. Acesso em: 05/12/2016. Disponível em [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm).

BRASIL. Lei Nº 9434, de 08 de Janeiro de 1997. Acesso em: 05/12/2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama> .

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho. Publicada no D.O.U de 30/09/86. D.O.U de 30/7/89 pg11.356.1986.

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, 2013.

CAMPOS, M. L. A. M. **Introdução `Biogeoquímica de Ambientes Aquáticos**. Campinas, SP: Editora Átomo. 2010.

CARLSON, R. E. **A trophic state index for lakes**. Limnology and Oceanography. Vol.22. 1977.

CELLIGOI, A.. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas**. Geografia, Londrina, V. 8, n. 1, p. 91-97, jan.! jun. 1999.

CETESB, (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Cloro**. 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cloro.pdf>. Acesso em: 04/08/2018.

CETESB, (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2001**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2003, 2v (v.1: 271p/v.2 em CD ROM: Resultados dos Parâmetros e Indicadores de Qualidade das Águas). (Série Relatórios).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Alterações físico químicas. Disponível em: . Acesso em: 19 de out. 2013.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Estudos de Caso da Comissão Mundial de Barragens: Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil)**. 2000. Disponível em: [http://www.lima.coppe.ufrj.br/files/projetos/ema/tucurui\\_rel\\_final.pdf](http://www.lima.coppe.ufrj.br/files/projetos/ema/tucurui_rel_final.pdf). Data de Acesso 30/11/2016.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS (CMB). **Estudo de caso da usina hidrelétrica de Tucuruí (Brasil): Relatório final da fase de escopo**. Rio de Janeiro. 1999. 80 p.

CONCEIÇÃO, M; VIANA, D. IBRAHIM, E. **Analysis of water quality from 2012 to 2015 in HPP's Reservoir Embarcação, Minas Gerais**. e-Scientia, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 1-13 (2016). Editora UniBH. Disponível em: [www.unibh.br/revistas/escientia](http://www.unibh.br/revistas/escientia). Acessado em 16/05/2018.

CORDEIRO, V.S; 2017. **Vazão Ecológica, vazão ambiental e vazão de diluição. O que é vazão e qual a diferença entre estes termos**. Acessado em 29/01/2018. Disponível em : <https://limnonews.wordpress.com/2017/03/23/vazao-ecologica-vazao-ambiental-e-vazao-de-diluicao-o-que-e-vazao-e-qual-a-diferenca-entre-estes-terminos/>.

COUCEIRO, S.R.M.; HAMADA, N.; 2011. **Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos na Região Norte do Brasil**. Oecologia Australis 15(4): 762-774, Dezembro 2011 <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2011.1504.02>.

CUNHA, C.J.S.; 2013. **Variação Espacial e Temporal do Fitoplâncton do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí – Pará**.

CUNHA, D.G.F., CALIJURI, M.C., LAMPARELLI, M.C. 2013. **A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSIsr)**. Ecological Engineering.

CUNHA, A.C.; 2013. **Revisão descritiva sobre qualidade da água, parâmetros e modelagem de ecossistemas aquáticos tropicais**. Biota Amazônia.

ELETRONORTE; ENGEVIX-THEMAG. UHE Tucuruí. **Plano de utilização do reservatório. Caracterização e diagnóstico de reservatório e de sua área de influência (TUC-10-23346-RE)**. Brasília, DF, v.1.

EMBRAPA; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos básicos e práticos)**. ISSN 1516-1633 Dezembro, 2001.

ELETRONORTE. 1989. **Usina Hidrelétrica Tucuruí: Memória Técnica. Diretoria Técnica (DT), Departamento de Projetos (TPR), Projeto Memória, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE)**, Brasília, DF. 681 p.

ELETRONORTE, 2015. **Manual do Sistema de Gestão Ambiental – UHE Tucuruí**.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMIDI, V. J. G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3154/1/A%20problem%C3%A1tica%20do%20f%C3%B3sforo%20nas%20%C3%A1guas%20para%20consumo%20humano%20e%20%C3%A1guas%20residuais%20.pdf>. Acessado em 10/08/2018.

ESTEVEES, A. F. **Fundamentos de Limnologia**. Editora Inter-Ciência/FINEP, 1988.

ESTEVEES, F. A.; PEREIRA, F. M. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª Edição. 2011.

ESTEVEES, F. de A; PANOSSO, R. (2011). “**Fósforo**”. In: ESTEVEES, F. de A (Org.) **Fundamento da Limnologia**. 3ª ed. São Paulo. Editora Interciência, 2011.

FAO, 2011. **THE STATE OF THE WORLD'S H LAND AND WATER RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e08.pdf>. Acessado em 27/04/2017.

FEARNSIDE, P., M. **Barragens na Amazônia 2: Hidrelétricas Planejadas em Longo Prazo na Amazônia Brasileira**. Amazônia Real & INPE. 2013.

FEARNSIDE, P.M. 2001a. **Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia**. Environmental Management 27(3): 377- 396. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/tucambientais.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/tucambientais.pdf).

FIGUEIRÊDO, M. C. B; TEIXEIRA, A.S; ARAÚJO, L. F. P; ROSA, M. F; PAULINO, W. D; MOTA, S; ARAÚJO, J. C. **Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios a Eutrofização**. 2007. Eng. Sanit. Ambient. vol.12 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2007.

FIORUCCI, A. R; FILHO, E. B. **A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ambientes Aquáticos**. 2005.

FONSECA, I.F. **A Construção de Grandes Barragens no Brasil, na China e na Índia: Semelhanças e Peculiaridade dos Processos de Licenciamento Ambiental em países Emergentes** - IPEA. 2013. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2037/1/TD\\_1868.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2037/1/TD_1868.pdf). Data de Acesso 23/11/2016.

FRANÇA, N. A. G; MARTINI, L. A. **Série de Publicações ILSI Brasil - Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes: Cálcio**. 2ª edição revisada. 2014. Disponível em: <http://ilsil.org/brasil/wp-content/uploads/sites/9/2016/05/Fasci%CC%81culo-1-Seg-Edic%CC%A7a%CC%83o-Ca%CC%81lcio.pdf>. Acessado em 08/08/2018.

FREIRE, J. C. A; HAUSER-DAVIS, R. A; LOBATO, T. C; MORAIS, J. M; OLIVEIRA, T.F; SARAIVA, A. C. F. **the Amazon Hydrological Regime on Eutrophication Indicators of a Hydroelectric Power Plant Reservoir**. Bull Environ Contam Toxicol (2017) 98:677–681. DOI 10.1007/s00128-017-2030-9.

IBGE, 2008. **Mapa Esquemático de Solos do Estado do Pará**. - 1ª edição.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e estatística**. v4.3.8.15.5. disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em 02/08/2018.



JONES, JOHN R., KNOWLTON, MATTHEW F., OBRECHT, DANIEL V. AND GRAHAM, JENNIFER L. (2011) **'Temperature and oxygen in Missouri reservoirs'**, **Lake and Reservoir Management**, 27: 2, 173 — 182, First published on: 16 June 2011 (iFirst) To link to this Article: DOI: 10.1080/07438141.2011.583713 URL: <http://dx.doi.org/10.1080/07438141.2011.583713>.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

KURODA, E.K; SANTOS, A.C. A; QUEIROZ, L.A; CALIJURI, M.C; BERNARDO, L.D. **Determinação de clorofila pelo método espectofotométrico visando o monitoramento da eficiência do tratamento de águas para abastecimento**. 2005. 23º Congresso Bras. De Eng. Sant. E Ambiental.

LAMPARELLI, M.C. (2004). **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**. (Ph.D. thesis). São Paulo: USP

LEE, J.H.; KIM, J.M.; KIM, D.S.; HUANG, S.J.; AN, K.G. (2010) **Nutrients and chlorophyll-a dynamics in a temperate reservoir influenced by Asian monsoon along with in situ nutrient enrichment bioassays**. *Limnology*, v. 11, p. 49-62.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, São Paulo, 1997.

LEE, J.D. **Química inorgânica**. São Paulo, Editora Edgrad Blücher. 1999.

LOBATO, T. C; HAUSER-DAVIS, R; OLIVEIRA, T. F; MACIEL, M. C; TAVARES, M.R.M; SILVEIRA, A. M; SARAIVA, A. C. F. **Categorization of the trophic status of a hydroelectric power plant reservoir in the Brazilian Amazon by statistical analyses and fuzzy approaches**. *Science of the Total Environment* 506–570 (2015) 613–620.

LOPES, H; SOBRAL, M. C; GUNKEL, G.; CANDEIAS, A.L; MELO G. **Comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica, rio São Francisco**. *Eng Sanit Ambient* | v.20 n.3 | jul/set 2015 | 475-484.

MACHADO, U. L. R; MAIA, C. E; BRAGA, A. Q. C; DUMAS, P.J; SOUZA, F.R. **RAZÃO DE ADSORÇÃO DE POTÁSSIO EM ÁGUAS DA REGIÃO DO BAIXO AÇU**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320115847>. Acessado em: 09/08/2018.

MARANHO, L.A; BOTELHO, R.G; NOGUEIRA, L. A; TORNISIELO, V.L. **Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna***. *Eng. Sanit. Ambient.* vol.22 no.1 Rio de Janeiro Jan./Feb. 2017.

MENDES, C. F; BARBOSA, V. V.; CRUZ, P. S; BARBOSA, J.E.L; NERY, J. F. **Avaliação da Qualidade de água em reservatórios do semiárido: um olhar**

**sobre a legislação e as cianobactérias.** V Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2016. Disponível em: <http://cobesa.com.br/2016/download/cobesa-2016/IVCOBESA-187.pdf>. Acessado em 17/08/2018.

MEYER, S. T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde.** Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, jan/mar, 1994.

MUNHOS, G. P; MARQUES, T. **Estudo de Turbina para Implantação em uma Central Hidrelétrica.** 2015.

OECD (Organization For ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT). **Eutrophication of water: monitoring, assessment and control.** OECD.Paris.154p.1982.

PAULOS, E. M. S. **Qualidade da água para consumo humano.** 2014. Disponível em:<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2783/1/Trabalho%20Final%20%20EIsa%20Paulos%20-%20Qualidade%20da%20%20C%20A1gua%20para%20consumo%20humano.pdf>. Acessado em 08/08/2018.

PALMA, J. V. N; FILHO,W. P.; KRAMER, G.; KAISER, E.A. **Avaliação da transparência e pH do Reservatório da Usina Hidroelétrica Ernestina – RS.** Ciência e Natura, Santa Maria v.39, Ed. Esp. PROCAD/CAPES 2017, p. 164 – 170 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X.

PDM - PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE TUCURUÍ. 2006.

PEREIRA, P.S., VEIGA, B.V., DZIEDZIC, M. **Avaliação da influência do fósforo e do nitrogênio no processo de eutrofização de grandes reservatórios.** Estudo de caso: Usina hidrelétrica Foz do Areia. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

PEREIRA, S. F. P. (UFPA); SARAIVA A. C. F. (ELN); BEZERRA, C. S. (ELN); MESCOUTO, C. S. T. (UFPA); SANTOS, S. V. P. (UFPA). **NITRATO EM ÁGUA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A EUTROFIZAÇÃO NO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ.** 2007. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/4/4-320-212.htm>. Acessado em 09/08/2018.

PIASENTIN, A. M.; SEMENSATTO JUNIOR. D. L; SAAD, A. R.; MONTEIRO JUNIOR, A. J; RACZKA, M. F. **ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) DO RESERVATÓRIO TANQUE GRANDE, GUARULHOS (SP): ANÁLISE SAZONAL E EFEITOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

QUEIROZ, M. T. A; SABARÁ, M. G; QUEIROZ, C. A; LEÃO, M. M. D; AMORIM, C. C; LIMA, L. R. P. **Estudo sobre os teores de Tório, Urânio e Potássio nas águas superficiais e sedimento marginal do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil.**

2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/2017nahead/1809-4457-esa-s1413-41522016126287.pdf>. Acessado em: 05/08/2018.

REIS, J. A. T; MENDONÇA, A. S. F. **Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água**. Eng Sanit Ambient. v.14 n.3. jul/set 2009.353-362

Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Alterado pela Resolução CONAMA 430/2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Data de cesso em: 06/12/2016.

Resolução CONAMA Nº 430 de 17 de março de 2005 - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." - Data da legislação: 13/05/2011.

ROMANESCU, G; ROMANESCU, A.M; ROMANESCU, G. History of building the main Dam and Reservoir. 2014 2<sup>nd</sup> International Conference - Water resources and wetlands. 11-13 September, 2014 Tulcea (Romania). Acesso em: 2/04/2017. Disponível em : [http://www.limnology.ro/water2014/proceedings/64\\_Romanescu.pdf](http://www.limnology.ro/water2014/proceedings/64_Romanescu.pdf)

SADOFF, C., Hall, J., Grey, D., Aerts, J., Ait-Kadi, M., Brown, C., . . . Wiberg, D. (2015). *Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task*. Oxford, UK: University of Oxford.

SALAS, HJ. MARTINO, P. **Metodologías simplificadas para evaluación de eutrofication em lagos cálidos tropicales**. Relatório CEPIS.60p.2001

SANTANA, A. C; BENTES, E. S; HOMMA, A. K. O; OLIVEIRA, F.A; OLIVEIRA, C.M. **Influência da barragem de Tucuruí no desempenho da pesca artesanal, Estado do Pará**. Rev. Econ. Sociol. Rural vol.52 no.2 Brasília Apr./June 2014.

SANTOS, J. C. N; ANDRADE, E. M; NETO, J. R. A; MEIRELES, A> C. M; PALÁCIO, H. A. Q. **Land Use Trophic State Dynamics in Tropical Semi-arid reservoir**. Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 1, p. 35-44, jan-mar, 2014.

SAPUCAIA, N.S.; ARGOLLO, R.M.; BARBOSA, J.S.F. (2005) **Teores de potássio, urânio, tório e taxa de produção de calor radiogênico no embasamento adjacente às bacias sedimentares de Camamu e Almada, Bahia, Brasil**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 4, pp. 453-475.

Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza  
SCHAFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. Porto Alegre. Ed. Da Universidade, UFRGS. 1985.

SCHINDLER, D.W. **Recent Advances in the Understanding and Management os Eutrophication**. Limnol.Oceanogr., 51. 2006.

SILVA, S; OLIVEIRA, M; VULCÃO, J; MENEZES, M; SARAIVA, A. **Influência da Precipitação e Operação de um Reservatório na Qualidade da Água: Um Estudo de Caso para Usina Hidrelétrica de Tucuruí – PA.** Congresso Brasileiro de Química. 2016.

SILVA, E. F. **Condição trófica em rios do estado de Minas Gerais.** 2012.

SILVA, A. P. S; DIAS, C. T; BASTOS, R. K. X; SILVA, E. **Qualidade da Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais.** R. Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1063-1069, 2009.

SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO) - Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades divulga anualmente o "Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. 2015.

Smittenberg R. H., Hopmans E. C., Schouten S., Hayes J. M., Eglinton T. I. and Damste J. S. S. **Compound-specific radiocarbon dating of the varved Holocene sedimentary record of Saanich Inlet, Canada.** Paleoceanography, 2004.

SIQUEIRA, RICARDO BARBOSA POSCH, 2006. **Construção de Diagramas de Custos para PCH Incorporando Turbinas de Mercado,** 150 f. Dissertação de Mestrado. Em: Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

SORREL, B. K. **Lake Quality in New Zealand.** 2006.

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; AZEVEDO, S.M.O.F.; BRANCO, C.W.C.; HUSZAR, V.L.M. (2012) **Eutrophication and retention time affecting spatial heterogeneity in a tropical reservoir.** Limnologica, v. 42, n. 3, p. 197-203.

SOUZA, R. A. S. **Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais.** 2005.

SOUZA, Zulcy de; FUCHS, Rubens Dario; SANTOS, Afonso H. Moreira. **Centrais hidro e termelétricas.** São Paulo: Edgard Blücher; Itajubá-MG: Escola de Engenharia, 1983.

Standard methods for the examination of water and wastewater. Editorial Revisions 2011.. Disponível em <https://www.standardmethods.org>. Data de acesso: 01/12/2016.

TARGA, M. S; BATISTA, G. T. **Benefits and legacy of the water crisis in Brazil.** Rev. Ambient. Água vol.10 no.2 Taubaté Apr./June 2015.

TOLEDO, A. P. **Informe Preliminar sobre Estudos para obtenção de um Índice para Avaliação do Estado Trófico de Reservatórios de regiões Quentes Tropicais.** São Paulo. CETESB.

TRINDADE, P. B. C.B; MENDONÇA, A. S. F. **Eutroização em reservatórios – Estudo de Caso: reservatório de Rio Bonito (ES)**. 2014. Eng Sanit Ambient | v.19 n.3 | jul/set 2014 | 275-282.

TUNDISI et al. **Represas Artificiais. Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J.G. **Recursos Hídricos no Futuro: problemas e soluções**. 2008.

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

VEIGA, B. V. **Fatores intervemientes na Dinâmica do fósforo em ambientes lênticos – Investigação sobre o reservatório de Alagados do Estado do Paraná**.2010. Disponível em: file:///C:/Users/Michelle/Downloads/Tese\_Bruno\_Victor\_Veiga.pdf. Acessado em: 11/08/2018.

VESTENHA, L. R. et al. **Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG**, 1995. 240 p.

USEPA (1976). **Process design manual for phosphorus removal. U.S. Environmental protection agency Technology Transfer**. Disponível em: <http://nepis.epa.gov/>. Acessado em: 11/08/2018.

WEIZER, J.M. **Estudo da Regularização da Vazão da UHE de Tucuruí: Impactos na Vazão Ecológica do Rio Tocantins**. 2017.

WEN, G; LI, X.; QIU, X.; CHENG, Y.; SUN, Y. HUANG, T. **Characteristics of Water Pollution in Typical Reservoirs**. © Springer International Publishing Switzerland 2016.

T. Huang (ed.), **Water Pollution and Water Quality Control of Selected Chinese Reservoir Basins, The Handbook of Environmental Chemistry**. 38. 2016

WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. 3.ed. San Diego: Saunders, 2001.

WORLD COMISSION DAMS. **Comissão Mundial de Barragens. Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil): Relatório Final**. South Africa, novembro de 2000.

WLEGAND, M.C; PLEDRA, J. I. G; ARAÚJO, J. C. **Vulnerabilidade à Eutrofização de dois lagos tropicais de Climas Úmido (CUBA) e Semiárido (BRASIL)**. 2016.

WORLD WATER COUNCIL. **Water crisis**.2017.

**ANEXOS**

ANEXO A: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET), determinada por Carlson (1977).

Anos	Pontos	IET(DS)	Classificaç ão	ET(CLa)	Classificaç ão	IET(PT)	Classificaç ão	IET
2003	ML	49.16	Mesotrófico	54.14	Eutrófico	41.62	Mesotrófico	mesotrófica
	MB	42.78	Mesotrófico	47.64	Eutrófico	41.83	Mesotrófico	mesotrófica
2004	M1	42.60	Mesotrófico	52.72	Eutrófico	37.33	Oligotrófica	mesotrófica
	M5	74.74	HiperEutrófi co	65.23	HiperEutrófi co	52.97	Mesotrófico	hiperreutrófi ca
	M3	45.94	Mesotrófico	65.74	HiperEutrófi co	46.23	Mesotrófico	eutrófica
	C2	46.05	Mesotrófico	68.74	HiperEutrófi co	47.18	Mesotrófico	eutrófica
	C1	48.43	Mesotrófico	63.56	HiperEutrófi co	47.74	Mesotrófico	eutrófica
	MI	54.34	Mesotrófico	79.55	HiperEutrófi co	30.57	Oligotrófica	eutrófica
	MJV	51.05	Eutrófico	66.81	HiperEutrófi co	51.91	Mesotrófico	eutrófica
	ML	48.62	Mesotrófico	63.35	HiperEutrófi co	50.92	Mesotrófico	eutrófica
	MR	45.67	Mesotrófico	63.80	HiperEutrófi co	46.10	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	44.64	Mesotrófico	55.07	Eutrófico	38.43	Oligotrófica	mesotrófica
	MB	42.34	Mesotrófico	59.69	Eutrófico	42.18	Mesotrófico	mesotrófica
2005	MP	48.43	Mesotrófico	71.19	HiperEutrófi co	51.98	Eutrófico	eutrófica
	M1	46.78	Mesotrófico	52.80	Eutrófico	40.32	Mesotrófico	mesotrófica
	M5	58.62	Eutrófico	58.97	Eutrófico	51.64	Eutrófico	eutrófica
	M3	48.62	Mesotrófico	58.83	Eutrófico	48.26	Mesotrófico	eutrófica
	C2	44.49	Mesotrófico	68.78	HiperEutrófi co	50.21	Eutrófico	eutrófica
	C1	46.78	Mesotrófico	56.16	Eutrófico	42.85	Mesotrófico	mesotrófica
	MI	60.29	HiperEutrófi co	61.60	HiperEutrófi co	54.59	Eutrófico	eutrófica
	MJV	52.34	Eutrófico	61.21	HiperEutrófi co	53.10	Eutrófico	eutrófica
	ML	51.36	Eutrófico	61.89	HiperEutrófi co	55.21	Eutrófico	eutrófica
	MR	45.89	Mesotrófico	57.39	Eutrófico	43.90	Mesotrófico	mesotrófica
	MBB	48.62	Mesotrófico	52.30	Eutrófico	37.15	Oligotrófica	mesotrófica
	MB	43.08	Mesotrófico	57.19	Eutrófico	42.78	Mesotrófico	mesotrófica
2007	MP	48.43	Mesotrófico	65.01	HiperEutrófi co	54.26	Eutrófico	eutrófica
	M5	56.21	Eutrófico	55.03	Eutrófico	46.49	Mesotrófico	mesotrófica
	M3	47.80	Mesotrófico	55.62	Eutrófico	42.35	Mesotrófico	eutrófica
	C2	46.67	Mesotrófico	62.05	HiperEutrófi co	47.60	Mesotrófico	mesotrófica
	C1	44.49	Mesotrófico	54.27	Eutrófico	45.42	Mesotrófico	eutrófica
	MI	56.44	Eutrófico	55.35	Eutrófico	46.93	Mesotrófico	mesotrófica
MJV	51.28	Eutrófico	61.63	HiperEutrófi co	45.06	Mesotrófico	eutrófica	

Anos	Pontos	IET(DS)	Classificaç ão	ET(CLa)	Classificaç ão	IET(PT)	Classificaç ão	IET
	ML	49.50	Mesotrófico	54.22	Eutrófico	45.10	Mesotrófico	eutrófica
	MR	44.89	Mesotrófico	57.40	Eutrófico	50.74	Eutrófico	mesotrófica
	MBB	46.50	Mesotrófico	52.98	Eutrófico	35.09	Ultraoligotrófica	eutrófica
	MB	44.01	Mesotrófico	59.24	Eutrófico	42.92	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	49.09	Mesotrófico	66.82	HiperEutrófico	50.42	Eutrófico	mesotrófica
2008	M1	43.00	Mesotrófico	45.47	Mesotrófico	52.98	Eutrófico	eutrófica
	M5	53.86	Eutrófico	66.68	HiperEutrófico	36.67	Oligotrófica	mesotrófica
	M3	49.30	Mesotrófico	55.79	Eutrófico	47.67	Mesotrófico	eutrófica
	C2	53.22	Eutrófico	61.48	HiperEutrófico	43.61	Mesotrófico	eutrófica
	C1	44.15	Mesotrófico	59.85	Eutrófico	39.96	Ultraoligotrófica	eutrófica
	MI	70.00	HiperEutrófico	54.82	Eutrófico	48.41	Mesotrófico	mesotrófica
	MJV	63.22	HiperEutrófico	60.25	HiperEutrófico	55.59	Eutrófico	eutrófica
	ML	63.22	HiperEutrófico	58.95	Eutrófico	51.31	Eutrófico	eutrófica
	MR	50.00	Eutrófico	56.22	Eutrófico	40.06	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	46.78	Mesotrófico	51.72	Eutrófico	38.84	Ultraoligotrófica	mesotrófica
	MB	48.62	Mesotrófico	54.84	Eutrófico	36.28	Ultraoligotrófica	mesotrófica
	MP	63.22	HiperEutrófico	62.77	HiperEutrófico	51.30	Eutrófico	mesotrófica
2009	M1	44.25	Mesotrófico	49.16	Mesotrófico	50.84	Eutrófico	eutrófica
	M5	63.22	HiperEutrófico	54.29	Eutrófico	57.09	Eutrófico	mesotrófica
	M3	54.64	Eutrófico	53.00	Eutrófico	50.98	Eutrófico	eutrófica
	C2	48.96	Mesotrófico	58.77	Eutrófico	50.13	Eutrófico	eutrófica
	C1	46.21	Mesotrófico	55.54	Eutrófico	48.71	Mesotrófico	eutrófica
	MI	61.52	HiperEutrófico	53.08	Eutrófico	56.13	Eutrófico	eutrófica
	MJV	58.24	Eutrófico	54.49	Eutrófico	52.38	Eutrófico	eutrófica
	ML	55.15	Eutrófico	55.29	Eutrófico	51.07	Eutrófico	eutrófica
	MR	46.05	Mesotrófico	54.18	Eutrófico	53.69	Eutrófico	eutrófica
	MBB	44.15	Mesotrófico	50.01	Eutrófico	47.14	Mesotrófico	eutrófica
	MB	46.50	Mesotrófico	53.22	Eutrófico	46.87	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	53.22	Eutrófico	59.10	Eutrófico	57.12	Eutrófico	mesotrófica
2010	M1	42.82	Mesotrófico	48.27	Mesotrófico	37.61	Oligotrófica	eutrófica
	M5	57.98	Eutrófico	57.11	Eutrófico	51.25	Eutrófico	mesotrófica
	M3	50.74	Eutrófico	59.96	Eutrófico	47.71	Mesotrófico	eutrófica
	C2	46.90	Mesotrófico	65.96	HiperEutrófico	48.13	Mesotrófico	eutrófica
	C1	47.67	Mesotrófico	57.13	Eutrófico	44.74	Mesotrófico	eutrófica
	MI	56.44	Eutrófico	54.87	Eutrófico	49.54	Mesotrófico	mesotrófica
	MJV	53.49	Eutrófico	61.62	HiperEutrófico	51.05	Eutrófico	eutrófica



Anos	Pontos	IET(DS)	Classificaç ão	ET(CLa)	Classificaç ão	IET(PT)	Classificaç ão	IET
	ML	50.66	Eutrófico	57.16	Eutrófico	52.86	Eutrófico	eutrófica
	MR	47.31	Mesotrófico	58.55	Eutrófico	47.10	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	45.41	Mesotrófico	50.86	Eutrófico	41.93	Mesotrófico	eutrófica
	MB	44.49	Mesotrófico	57.45	Eutrófico	48.58	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	51.76	Eutrófico	59.95	Eutrófico	58.69	Eutrófico	eutrófica
2011	M1	44.39	Mesotrófico	46.05	Mesotrófico	43.55	Mesotrófico	eutrófica
	M5	57.01	Eutrófico	54.99	Eutrófico	48.93	Mesotrófico	mesotrófica
	M3	49.64	Mesotrófico	58.10	Eutrófico	47.10	Mesotrófico	eutrófica
	C2	46.61	Mesotrófico	62.00	HiperEutrófi co	49.32	Mesotrófico	eutrófica
	C1	46.78	Mesotrófico	52.98	Eutrófico	43.05	Mesotrófico	eutrófica
	MI	64.54	HiperEutrófi co	56.34	Eutrófico	51.09	Eutrófico	mesotrófica
	MJV	54.54	Eutrófico	57.00	Eutrófico	52.49	Eutrófico	eutrófica
	ML	52.09	Eutrófico	58.25	Eutrófico	49.58	Mesotrófico	eutrófica
	MR	45.99	Mesotrófico	56.67	Eutrófico	48.31	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	44.44	Mesotrófico	49.63	Mesotrófico	40.02	Mesotrófico	eutrófica
	MB	42.64	Mesotrófico	52.19	Eutrófico	44.60	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	49.64	Mesotrófico	60.49	Eutrófico	54.91	Eutrófico	mesotrófica
2012	M1	42.56	Mesotrófico	49.23	Mesotrófico	41.95	Mesotrófico	eutrófica
	M5	58.24	Eutrófico	53.18	Eutrófico	49.68	Mesotrófico	mesotrófica
	M3	50.89	Eutrófico	55.13	Eutrófico	52.27	Eutrófico	eutrófica
	C2	46.33	Mesotrófico	59.16	Eutrófico	53.76	Eutrófico	eutrófica
	C1	44.49	Mesotrófico	56.00	Eutrófico	48.59	Mesotrófico	eutrófica
	MI	57.37	Eutrófico	57.48	Eutrófico	48.52	Mesotrófico	mesotrófica
	MJV	55.15	Eutrófico	59.94	Eutrófico	49.33	Mesotrófico	eutrófica
	ML	51.93	Eutrófico	57.89	Eutrófico	44.22	Mesotrófico	eutrófica
	MR	45.41	Mesotrófico	54.57	Eutrófico	43.82	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	43.77	Mesotrófico	49.98	Mesotrófico	40.55	Mesotrófico	mesotrófica
	MB	44.39	Mesotrófico	53.47	Eutrófico	42.69	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	49.43	Mesotrófico	60.30	HiperEutrófi co	53.26	Eutrófico	mesotrófica
2013	M1	44.44	Mesotrófico	46.69	Mesotrófico	45.16	Mesotrófico	eutrófica
	M5	59.30	Eutrófico	55.13	Eutrófico	54.15	Eutrófico	mesotrófica
	M3	48.30	Mesotrófico	53.18	Eutrófico	47.66	Mesotrófico	eutrófica
	C2	47.80	Mesotrófico	54.49	Eutrófico	54.05	Eutrófico	mesotrófica
	C1	44.25	Mesotrófico	53.13	Eutrófico	47.15	Mesotrófico	eutrófica
	MI	66.21	HiperEutrófi co	55.70	Eutrófico	60.79	HiperEutrófi co	mesotrófica
	MJV	52.95	Eutrófico	57.92	Eutrófico	50.77	Eutrófico	hiperreutrófi ca
	ML	49.30	Mesotrófico	56.18	Eutrófico	50.54	Eutrófico	eutrófica
	MR	44.64	Mesotrófico	53.27	Eutrófico	49.22	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	44.15	Mesotrófico	50.60	Eutrófico	45.91	Mesotrófico	mesotrófica
	MB	43.22	Mesotrófico	52.30	Eutrófico	46.57	Mesotrófico	mesotrófica
	MP	53.40	Eutrófico	57.03	Eutrófico	61.68	HiperEutrófi	mesotrófica

Anos	Pontos	IET(DS)	Classificaç ão	ET(CLa)	Classificaç ão	IET(PT)	Classificaç ão	IET
							co	
2014	M1	44.69	Mesotrófico	48.07	Mesotrófico	42.37	Mesotrófico	eutrófica
	M5	62.69	HiperEutrófi co	55.62	Eutrófico	57.75	Eutrófico	mesotrófica
	M3	50.89	Eutrófico	54.57	Eutrófico	47.39	Mesotrófico	eutrófica
	C2	46.21	Mesotrófico	54.74	Eutrófico	49.30	Mesotrófico	eutrófica
	C1	45.25	Mesotrófico	53.00	Eutrófico	45.32	Mesotrófico	eutrófica
	MI	59.30	Eutrófico	57.76	Eutrófico	57.60	Eutrófico	mesotrófica
	MJV	57.37	Eutrófico	59.56	Eutrófico	52.46	Eutrófico	eutrófica
	ML	54.34	Eutrófico	58.68	Eutrófico	51.25	Eutrófico	eutrófica
	MR	45.78	Mesotrófico	55.39	Eutrófico	48.05	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	43.54	Mesotrófico	50.67	Eutrófico	39.80	Oligotrófica	mesotrófica
	MB	43.91	Mesotrófico	52.11	Eutrófico	43.32	Mesotrófico	mesotrófica
MP	49.64	Mesotrófico	58.11	Eutrófico	50.79	Eutrófico	mesotrófica	
2015	M1	47.61	Mesotrófico	50.73	Eutrófico	42.16	Mesotrófico	eutrófica
	M5	63.22	HiperEutrófi co	60.89	HiperEutrófi co	50.25	Eutrófico	mesotrófica
	M3	67.37	HiperEutrófi co	61.53	HiperEutrófi co	45.05	Mesotrófico	eutrófica
	C2	50.74	Eutrófico	65.16	HiperEutrófi co	49.39	Mesotrófico	eutrófica
	C1	45.41	Mesotrófico	55.87	Eutrófico	37.41	Oligotrófica	eutrófica
	MI	64.15	HiperEutrófi co	58.38	Eutrófico	50.99	Eutrófico	mesotrófica
	MJV	57.37	Eutrófico	70.62	HiperEutrófi co	47.92	Mesotrófico	eutrófica
	ML	56.78	Eutrófico	67.60	HiperEutrófi co	43.82	Mesotrófico	eutrófica
	MR	47.98	Mesotrófico	56.91	Eutrófico	44.34	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	44.49	Mesotrófico	52.49	Eutrófico	35.84	Oligotrófica	mesotrófica
	MB	46.50	Mesotrófico	54.93	Eutrófico	38.48	Oligotrófica	mesotrófica
MP	64.15	HiperEutrófi co	78.90	HiperEutrófi co	60.97	HiperEutrófi co	mesotrófica	
2016	M1	43.26	Mesotrófico	55.09	Eutrófico	42.47	Mesotrófico	hiperreutrófi ca
	M5	55.15	Eutrófico	59.50	Eutrófico	48.42	Mesotrófico	mesotrófica
	M3	50.97	Eutrófico	58.23	Eutrófico	44.57	Mesotrófico	eutrófica
	C2	48.62	Mesotrófico	64.15	HiperEutrófi co	43.89	Mesotrófico	eutrófica
	C1	46.50	Mesotrófico	68.27	HiperEutrófi co	40.39	Mesotrófico	eutrófica
	MJV	53.22	Eutrófico	62.21	HiperEutrófi co	44.86	Mesotrófico	eutrófica
	ML	53.68	Eutrófico	65.76	HiperEutrófi co	34.04	Oligotrófica	eutrófica
	MR	47.80	Mesotrófico	63.17	HiperEutrófi co	40.32	Mesotrófico	eutrófica
	MBB	42.22	Mesotrófico	56.88	Eutrófico	37.66	Oligotrófica	mesotrófica
	MB	44.74	Mesotrófico	58.56	Eutrófico	38.23	Oligotrófica	mesotrófica
	MP	51.28	Eutrófico	68.30	HiperEutrófi co	54.83	Eutrófico	eutrófica



ANEXO B: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET), determinada por Lamparelli (2004).

Anos	Pontos	IET(PT)	Classificação	IET(CL)	Classificação	IET	Classificação
<b>2003</b>	ML	52.0	HiperEutrófico	54.0	Supereutrófico	53,02	Mesotrófico
	MB	52.1	HiperEutrófico	50.7	Supereutrófico	51,44	Oligotrófico
<b>2005</b>	M1	50.2	HiperEutrófico	53.3	Supereutrófico	51,76	Oligotrófico
	M5	56.8	HiperEutrófico	59.5	Supereutrófico	58,18	Mesotrófico
	M3	54.0	HiperEutrófico	59.8	Supereutrófico	56,89	Mesotrófico
	C2	54.4	HiperEutrófico	61.3	Supereutrófico	57,83	Mesotrófico
	C1	54.6	HiperEutrófico	58.7	Supereutrófico	56,66	Mesotrófico
	MI	47.4	HiperEutrófico	66.7	Supereutrófico	57,05	Mesotrófico
	MJV	56.4	HiperEutrófico	60.3	Supereutrófico	58,35	Mesotrófico
	ML	55.9	HiperEutrófico	58.6	Supereutrófico	57,28	Mesotrófico
	MR	53.9	HiperEutrófico	58.8	Supereutrófico	56,38	Mesotrófico
	MBB	50.7	HiperEutrófico	54.5	Supereutrófico	52,58	Mesotrófico
	MB	52.3	HiperEutrófico	56.8	Supereutrófico	54,52	Mesotrófico
	MP	56.4	HiperEutrófico	62.5	Supereutrófico	59,45	Eutrófico
<b>2006</b>	M1	51.5	HiperEutrófico	53.3	Supereutrófico	52,41	Mesotrófico
	M5	56.2	HiperEutrófico	56.4	Supereutrófico	56,33	Mesotrófico
	M3	54.8	HiperEutrófico	56.3	Supereutrófico	55,58	Mesotrófico
	C2	55.6	HiperEutrófico	61.3	Supereutrófico	58,48	Mesotrófico
	C1	52.6	HiperEutrófico	55.0	Supereutrófico	53,78	Mesotrófico
	MI	57.5	HiperEutrófico	57.7	Supereutrófico	57,61	Mesotrófico
	MJV	56.9	HiperEutrófico	57.5	Supereutrófico	57,20	Mesotrófico
	ML	57.7	HiperEutrófico	57.9	Supereutrófico	57,8	Mesotrófico
	MR	53.0	HiperEutrófico	55.6	Supereutrófico	54,31	Mesotrófico
	MBB	50.2	HiperEutrófico	53.1	Supereutrófico	51,62	Oligotrófico
	MB	52.5	HiperEutrófico	55.5	Supereutrófico	54,02	Mesotrófico
	MP	57.3	HiperEutrófico	59.4	Supereutrófico	58,39	Mesotrófico
<b>2007</b>	M1	50.1	HiperEutrófico	51.5	Supereutrófico	50,83	Oligotrófico
	M5	54.1	HiperEutrófico	54.4	Supereutrófico	54,26	Mesotrófico
	M3	52.3	HiperEutrófico	54.7	Supereutrófico	53,54	Mesotrófico
	C2	54.6	HiperEutrófico	58.0	Supereutrófico	56,25	Mesotrófico
	C1	53.6	HiperEutrófico	54.1	Supereutrófico	53,85	Mesotrófico
	MI	54.3	HiperEutrófico	54.6	Supereutrófico	54,44	Mesotrófico
	MJV	53.5	HiperEutrófico	57.7	Supereutrófico	55,61	Mesotrófico
	ML	53.5	HiperEutrófico	54.0	Supereutrófico	53,77	Mesotrófico
	MR	55.9	HiperEutrófico	55.6	Supereutrófico	55,75	Mesotrófico
	MBB	49.3	HiperEutrófico	53.4	Supereutrófico	51,36	Mesotrófico
	MB	52.6	HiperEutrófico	56.5	Supereutrófico	54,57	Mesotrófico
	MP	55.7	HiperEutrófico	60.3	Supereutrófico	58,04	Mesotrófico
<b>2008</b>	M1	56.8	HiperEutrófico	49.7	Supereutrófico	53,24	Mesotrófico
	M5	50.0	HiperEutrófico	60.3	Supereutrófico	55,11	Mesotrófico
	M3	54.6	HiperEutrófico	54.8	Supereutrófico	54,70	Mesotrófico
	C2	52.9	HiperEutrófico	57.7	Supereutrófico	55,27	Mesotrófico
	C1	51.3	HiperEutrófico	56.9	Supereutrófico	54,10	Mesotrófico
	MI	54.9	HiperEutrófico	54.3	Supereutrófico	54,61	Mesotrófico

Anos	Pontos	IET(PT)	Classificação	IET(CL)	Classificação	IET	Classificação
	MJV	57.9	HiperEutrófico	57.1	Supereutrófico	57,48	Mesotrófico
	ML	56.1	HiperEutrófico	56.4	Supereutrófico	56,26	Mesotrófico
	MR	51.4	HiperEutrófico	55.0	Supereutrófico	53,21	Mesotrófico
	MBB	50.9	HiperEutrófico	52.8	Supereutrófico	51,83	Oligotrófico
	MB	49.8	HiperEutrófico	54.3	Supereutrófico	52,07	Mesotrófico
	MP	56.1	HiperEutrófico	58.3	Supereutrófico	57,21	Mesotrófico
2009	M1	55.9	HiperEutrófico	51.5	Supereutrófico	53,71	Mesotrófico
	M5	58.5	HiperEutrófico	54.1	Supereutrófico	56,30	Mesotrófico
	M3	56.0	HiperEutrófico	53.4	Supereutrófico	54,70	Mesotrófico
	C2	55.6	HiperEutrófico	56.3	Supereutrófico	55,96	Mesotrófico
	C1	55.0	HiperEutrófico	54.7	Supereutrófico	54,86	Mesotrófico
	MI	58.1	HiperEutrófico	53.5	Supereutrófico	55,80	Mesotrófico
	MJV	56.6	HiperEutrófico	54.2	Supereutrófico	55,36	Mesotrófico
	ML	56.0	HiperEutrófico	54.6	Supereutrófico	55,29	Mesotrófico
	MR	57.1	HiperEutrófico	54.0	Supereutrófico	55,56	Mesotrófico
	MBB	54.4	HiperEutrófico	51.9	Supereutrófico	53,15	Mesotrófico
	MB	54.2	HiperEutrófico	53.5	Supereutrófico	53,89	Mesotrófico
	MP	58.5	HiperEutrófico	56.5	Supereutrófico	57,51	Mesotrófico
2010	M1	50.4	HiperEutrófico	51.1	Supereutrófico	50,71	Oligotrófico
	M5	56.1	HiperEutrófico	55.5	Supereutrófico	55,78	Mesotrófico
	M3	54.6	HiperEutrófico	56.9	Supereutrófico	55,75	Mesotrófico
	C2	54.8	HiperEutrófico	59.9	Supereutrófico	57,34	Mesotrófico
	C1	53.3	HiperEutrófico	55.5	Supereutrófico	54,42	Mesotrófico
	MI	55.4	HiperEutrófico	54.4	Supereutrófico	54,86	Mesotrófico
	MJV	56.0	HiperEutrófico	57.7	Supereutrófico	56,87	Mesotrófico
	ML	56.8	HiperEutrófico	55.5	Supereutrófico	56,13	Mesotrófico
	MR	54.3	HiperEutrófico	56.2	Supereutrófico	55,27	Mesotrófico
	MBB	52.2	HiperEutrófico	52.4	Supereutrófico	52,26	Mesotrófico
	MB	55.0	HiperEutrófico	55.7	Supereutrófico	55,31	Mesotrófico
	MP	59.2	HiperEutrófico	56.9	Supereutrófico	58,05	Mesotrófico
2011	M1	52.8	HiperEutrófico	50.0	Supereutrófico	51,40	Oligotrófica
	M5	55.1	HiperEutrófico	54.4	Supereutrófico	54,76	Mesotrófico
	M3	54.3	HiperEutrófico	56.0	Supereutrófico	55,16	Mesotrófico
	C2	55.3	HiperEutrófico	57.9	Supereutrófico	56,60	Mesotrófico
	C1	52.6	HiperEutrófico	53.4	Supereutrófico	53,03	Mesotrófico
	MI	56.0	HiperEutrófico	55.1	Supereutrófico	55,56	Mesotrófico
	MJV	56.6	HiperEutrófico	55.4	Supereutrófico	56,02	Mesotrófico
	ML	55.4	HiperEutrófico	56.1	Supereutrófico	55,72	Mesotrófico
	MR	54.8	HiperEutrófico	55.3	Supereutrófico	55,06	Mesotrófico
	MBB	51.4	HiperEutrófico	51.7	Supereutrófico	51,55	Oligotrófico
	MB	53.3	HiperEutrófico	53.0	Supereutrófico	53,16	Mesotrófico
	MP	57.6	HiperEutrófico	57.2	Supereutrófico	57,40	Mesotrófico
2012	M1	52.2	HiperEutrófico	51.5	Supereutrófico	51,86	Oligotrófico
	M5	55.4	HiperEutrófico	53.5	Supereutrófico	54,47	Mesotrófico
	M3	56.5	HiperEutrófico	54.5	Supereutrófico	55,50	Mesotrófico
	C2	57.1	HiperEutrófico	56.5	Supereutrófico	56,82	Mesotrófico

<b>Anos</b>	<b>Pontos</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>Classificação</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>Classificação</b>	<b>IET</b>	<b>Classificação</b>
	C1	55.0	HiperEutrófico	54.9	Supereutrófico	54,95	Mesotrófico
	MI	54.9	HiperEutrófico	55.7	Supereutrófico	55,30	Mesotrófico
	MJV	55.3	HiperEutrófico	56.9	Supereutrófico	56,09	Mesotrófico
	ML	53.1	HiperEutrófico	55.9	Supereutrófico	54,50	Mesotrófico
	MR	53.0	HiperEutrófico	54.2	Supereutrófico	53,59	Mesotrófico
	MBB	51.6	HiperEutrófico	51.9	Supereutrófico	51,75	Oligotrófico
	MB	52.5	HiperEutrófico	53.7	Supereutrófico	53,07	Mesotrófico
	MP	56.9	HiperEutrófico	57.1	Supereutrófico	57,00	Mesotrófico
<b>2013</b>	M1	53.5	HiperEutrófico	50.3	Supereutrófico	51,90	Oligotrófica
	M5	57.3	HiperEutrófico	54.5	Supereutrófico	55,90	Mesotrófico
	M3	54.6	HiperEutrófico	53.5	Supereutrófico	54,04	Mesotrófico
	C2	57.3	HiperEutrófico	54.2	Supereutrófico	55,72	Mesotrófico
	C1	54.4	HiperEutrófico	53.5	Supereutrófico	53,93	Mesotrófico
	MI	60.1	HiperEutrófico	54.8	Supereutrófico	57,43	Mesotrófico
	MJV	55.9	HiperEutrófico	55.9	Supereutrófico	55,88	Mesotrófico
	ML	55.8	HiperEutrófico	55.0	Supereutrófico	55,40	Mesotrófico
	MR	55.2	HiperEutrófico	53.6	Supereutrófico	54,40	Mesotrófico
	MBB	53.8	HiperEutrófico	52.2	Supereutrófico	53,04	Mesotrófico
	MB	54.1	HiperEutrófico	53.1	Supereutrófico	53,60	Mesotrófico
	MP	60.5	HiperEutrófico	55.4	Supereutrófico	57,95	Mesotrófico
<b>2014</b>	M1	52.4	HiperEutrófico	51.0	Supereutrófico	51,66	Oligotrófica
	M5	58.8	HiperEutrófico	54.7	Supereutrófico	56,78	Mesotrófico
	M3	54.5	HiperEutrófico	54.2	Supereutrófico	54,34	Mesotrófico
	C2	55.3	HiperEutrófico	54.3	Supereutrófico	54,78	Mesotrófico
	C1	53.6	HiperEutrófico	53.4	Supereutrófico	53,51	Mesotrófico
	MI	58.8	HiperEutrófico	55.8	Supereutrófico	57,28	Mesotrófico
	MJV	56.6	HiperEutrófico	56.7	Supereutrófico	56,65	Mesotrófico
	ML	56.1	HiperEutrófico	56.3	Supereutrófico	56,17	Mesotrófico
	MR	54.7	HiperEutrófico	54.6	Supereutrófico	54,68	Mesotrófico
	MBB	51.3	HiperEutrófico	52.3	Supereutrófico	51,77	Oligotrófico
	MB	52.8	HiperEutrófico	53.0	Supereutrófico	52,87	Mesotrófico
	MP	55.9	HiperEutrófico	56.0	Supereutrófico	55,94	Mesotrófico
<b>2015</b>	M1	52.3	HiperEutrófico	52.3	Supereutrófico	52,28	Mesotrófico
	M5	55.7	HiperEutrófico	57.4	Supereutrófico	56,52	Mesotrófico
	M3	53.5	HiperEutrófico	57.7	Supereutrófico	55,59	Mesotrófico
	C2	55.3	HiperEutrófico	59.5	Supereutrófico	57,40	Mesotrófico
	C1	50.3	HiperEutrófico	54.9	Supereutrófico	52,57	Mesotrófico
	MI	56.0	HiperEutrófico	56.1	Supereutrófico	56,05	Mesotrófico
	MJV	54.7	HiperEutrófico	62.2	Supereutrófico	58,46	Mesotrófico
	ML	53.0	HiperEutrófico	60.7	Supereutrófico	56,84	Mesotrófico
	MR	53.2	HiperEutrófico	55.4	Supereutrófico	54,28	Mesotrófico
	MBB	49.6	HiperEutrófico	53.2	Supereutrófico	51,39	Oligotrófica
	MB	50.7	HiperEutrófico	54.4	Supereutrófico	52,55	Mesotrófico
	MP	60.2	HiperEutrófico	66.4	Supereutrófico	63,27	Supereutrófico
<b>2016</b>	M1	52.4	HiperEutrófico	54.5	Supereutrófico	53,43	Mesotrófico
	M5	54.9	HiperEutrófico	56.7	Supereutrófico	55,79	Mesotrófico

<b>Anos</b>	<b>Pontos</b>	<b>IET(PT)</b>	<b>Classificação</b>	<b>IET(CL)</b>	<b>Classificação</b>	<b>IET</b>	<b>Classificação</b>
M3	53.3	53.3	HiperEutrófico	56.0	Supereutrófico	54,66	Mesotrófico
C2	53.0	53.0	HiperEutrófico	59.0	Supereutrófico	56,00	Mesotrófico
C1	51.5	51.5	HiperEutrófico	61.1	Supereutrófico	56,29	Mesotrófico
MJV	53.4	53.4	HiperEutrófico	58.0	Supereutrófico	55,72	Mesotrófico
ML	48.9	48.9	HiperEutrófico	59.8	Supereutrófico	54,33	Mesotrófico
MR	51.5	51.5	HiperEutrófico	58.5	Supereutrófico	55,00	Mesotrófico
MBB	50.4	50.4	HiperEutrófico	55.4	Supereutrófico	52,87	Mesotrófico
MB	50.6	50.6	HiperEutrófico	56.2	Supereutrófico	53,41	Mesotrófico
MP	57.6	57.6	HiperEutrófico	61.1	Supereutrófico	59,33	Eutrófico