



**Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"**

**Programa Interunidades**

**unesp** 

**Doutorado**

---

**Engenharia Civil e Ambiental**

**AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE, VARIABILIDADE  
TEMPORAL E QUANTITATIVA EM RESERVATÓRIOS DO RIO TIETÊ**

**ANA MARIA TADDEI CARDOSO DE BARROS**

Bauru

2019

# **AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE, VARIABILIDADE TEMPORAL E QUANTITATIVA EM RESERVATÓRIOS DO RIO TIETÊ**

**ANA MARIA TADDEI CARDOSO DE BARROS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental da UNESP - Campus de Bauru, para obtenção do título de doutor(a) em Engenharia Civil e Ambiental (Geotecnia).

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Lodi

BAURU  
2019



Barros, Ana Maria Taddei Cardoso de.

Avaliação da heterogeneidade, variabilidade temporal e quantitativa em reservatórios do rio Tietê. / Ana Maria Taddei Cardoso de Barros, 2019

135 f. CD Rom: il.

Orientador: Paulo César Lodi

Co orientador: Gustavo Garcia Manzato

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019.

1. Avaliação multitemporal. 2. Eutrofização do rio Tietê. 3. Bacia Hidrográfica Tietê Batalha. 4. Dados de qualidade de água. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Avaliação da heterogeneidade, variabilidade temporal e quantitativa em reservatórios do rio Tietê.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ANA MARIA TADDEI CARDOSO DE BARROS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 11 dias do mês de julho do ano de 2019, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO CESAR LODI - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ILZA MACHADO KAISER do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA do(a) Depto de Engenharia Ambiental / Centro Universitário de Lins - UNILINS, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ANA FLÁVIA VIEIRA PONTES DE MORAES do(a) -, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. LILIANE LAZZARI ALBERTIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de ANA MARIA TADDEI CARDOSO DE BARROS, intitulada **AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL, VARIABILIDADE TEMPORAL E QUANTITATIVA EM RESERVATÓRIOS DO RIO TIETÊ**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO CESAR LODI

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ILZA MACHADO KAISER

Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ANA FLÁVIA VIEIRA PONTES DE MORAESProf<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. LILIANE LAZZARI ALBERTIN



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Bauru

### PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA: **ANA MARIA TADDEI CARDOSO DE BARROS**

DE: "AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL, VARIABILIDADE TEMPORAL E QUANTITATIVA EM RESERVATÓRIOS DO RIO TIETÊ"

PARA:

*"Avaliação da heterogeneidade, variabilidade temporal e quantitativa em reservatórios do rio Tietê"*

Bauru, 11 de julho de 2019.

Prof. Dr. Paulo César Lodi  
Orientador



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação  
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP  
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

## DEDICATÓRIA

*Aos meus amados pais, Andreia e Eduardo.*

*Ao meu marido Renato, amore mio.*

*Aos colegas Engenheiros Ambientais e Sanitaristas, que  
trabalham em prol da sustentabilidade.*

## AGRADECIMENTOS

*Ao Prof. Paulo César Lodi, não só pela orientação e contribuição na minha formação desde o mestrado, mas também pela amizade ao longo dos anos.*

*Ao meu co orientador Prof. Gustavo Garcia Manzato, pelas valiosas contribuições.*

*Aos professores do departamento da Pós de Engenharia Civil e Ambiental de Bauru, que tão bem me receberam e por contribuírem na minha formação.*

*A CETESB, na figura do Sr. Fábio Neto Moreno, que disponibilizou prontamente os dados brutos de 30 anos de monitoramento das bacias hidrográficas estudadas neste trabalho.*

*A UNILINS, por me receber como docente e incentivar a minha formação.*

*A minha família, por todo apoio e carinho.*

*Ao meu marido Renato, pelo incentivo e imensa paciência nos momentos de incertezas.*

*A Deus, por colocar essas pessoas maravilhosas em minha vida e por ter me sustentado até aqui.*

*Graças a Ele e a todos os citados acima consegui concluir minha meta de ser doutora aos 30 anos.*

## SUMÁRIO

RESUMO	XIX
<i>ABSTRACT</i>	XX
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo Geral	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Revisão estruturada	7
3.2 Estudos de qualidade ambiental	14
3.3 Dinâmica sistêmica de uma bacia hidrográfica	17
3.4 Características dos reservatórios	21
4. MATERIAIS	23
4.1 Organização e Análise Exploratória dos dados	23
4.2 Dados avaliados	24
4.3 Área de estudo	25
4.3.1 Bacia Tietê Batalha (UGHRI 16)	29
4.3.2 Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGHRI 6)	33
4.3.3 Bacia hidrográfica do Sorocaba e médio Tietê (UGHRI 10)	36
4.3.4 Levantamento do uso e ocupação via SIG	38
5. MÉTODO	40
6. RESULTADOS	42
6.1 Análise das tendências dos parâmetros	42
6.1.1 Alumínio	43
6.1.2 Cádmio	44
6.1.3 Chumbo	46
6.1.4 Clorofila-a	47
6.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5,20</sub> )	49
6.1.6 Fósforo Total	52
6.1.7 Oxigênio Dissolvido	63
6.1.8 Nitrogênio Amoniacal	66
6.1.9 Condutividade	69



6.1.10 Turbidez	71
6.1.11 Dados pluviométricos	73
6.2 Análises das tendências temporais	76
6.3 Análises das tendências espaciais	81
7. CONCLUSÕES	110
8. TRABALHOS FUTUROS	113
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
10. APÊNDICE	123
APÊNCIDE I	123
11. ANEXO	133

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Entrada de dados utilizadas no projeto.....	4
Figura 2: Fenômenos de eutrofização no (a) rio Dourado (afluente do rio Tietê) e no (b) córrego da prainha de Sabino/SP em 2019. ....	5
Figura 3: Levantamento de revistas que publicaram sobre “avaliação multitemporal” e “SIG”..	8
Figura 4: Produções científicas sobre modelagem com SIG, dados de uso e ocupação e problemas ambientais de autores chineses. ....	9
Figura 5: Autores que mais publicaram sobre “avaliação multitemporal” e “SIG”. ....	10
Figura 6: Artigos publicados por diversos autores na temática eutrofização, SIG e avaliação multitemporal em estudos ambientais.....	10
Figura 7: Número de documentos publicados sobre “qualidade do rio Tietê” e “SIG”. ....	11
Figura 8: Produção de CUNHA. D. G.F desde 2010 a 2019. ....	12
Figura 9: Produção de Cunha, DFG, Calijuri, M. do C. na área da engenharia ambiental e ciências do ambiente. ....	13
Figura 10: Países que mais publicaram no período de 2009 a 2018.....	14
Figura 11: Tipos de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica. ....	20
Figura 12: Modelo de compartimentalização no eixo longitudinal de reservatórios artificiais..	22
Figura 13: Localização dos pontos de monitoramento físico químicos e pluviométricos descritos na Tabela 2. ....	25
Figura 14: Divisões das Unidades de Gerenciamento de Recursos hídricos no estado de São Paulo. Em destaque as UGRHI estudadas. ....	26
Figura 15: Bacia do Rio Tietê e suas seis sub bacias.....	27
Figura 16: Rio Tietê - São Paulo.....	28
Figura 17: Hidrovia Tietê-Paraná. ....	29
Figura 18: UGRHI 16 – Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha. ....	30
Figura 19: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 16.....	32
Figura 20: UGRHI 6 – Bacia Hidrográfica do Alto Tietê .....	34
Figura 21: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 06.....	35

Figura 22: Histórico da qualidade da água monitorados pelo Comitê da bacia do Alto Tietê entre os anos de 2007 a 2016. ....	36
Figura 23: UGRHI 10 – Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê .....	37
Figura 24: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 10. ....	38
Figura 25: Classificações das 22 UGRHIS de acordo com os usos preponderantes do solo.....	39
Figura 26: Fluxograma do método adotado. ....	41
Figura 27: Valores médios de alumínio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5. ....	43
Figura 28: Valores médios de alumínio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	44
Figura 29: Valores médios de cádmio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.....	45
Figura 30: Valores médios de cádmio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos....	45
Figura 31: Valores médios de chumbo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.....	46
Figura 32: Valores médios de chumbo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	47
Figura 33: Valores médios de clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 5. ....	47
Figura 34: Evolução histórica da distribuição percentual do Estado Trófico médio anual, no período de 2011 a 2016.....	48
Figura 35: Tendências do IET em pontos com piora e melhora significativas, entre 2011 e 2016. ....	49
Figura 36: Valores médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5,20) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.....	49
Figura 37: Valores médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5,20) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.....	50
Figura 38: Registro de florações no córrego do Esgoto em Sabino/SP no ano de (a) 2007, (b) 2012 e (c) 2014, (d) 2018, respectivamente.....	50
Figura 39: Valores médios de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5 e na resolução Conama.....	52
Figura 40: Valores médios de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	53
Figura 41: Análise de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) por trimestre no ponto 5. ....	53
Figura 42: Análise de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) por trimestre e da pluviometria ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) do ponto 5.....	54
Figura 43: Análise do parâmetro fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pluviometria ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) nos anos de 1993 e 1994.....	55
Figura 44: Relação da clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) com o fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5. ....	56

Figura 45: Média de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1 por trimestre de 1986 a 2016 no ponto 2. .....	57
Figura 46: Análise do parâmetro fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pluviometria ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) nos anos de 1993 e 1994 no ponto 2.....	58
Figura 47: Média de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 2 por trimestre de 1986 a 2016.....	59
Figura 48: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 1 e 2, respectivamente.....	59
Figura 49: Média de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 3 por trimestre de 1995 a 2014.....	60
Figura 50: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 2 e 3, respectivamente.....	61
Figura 51: Média da concentração de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 4 por trimestre de 1986 a 2016.....	61
Figura 52: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 3 e 4 no período de 1995 a 2014. ....	62
Figura 53: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 4 e 5. ....	63
Figura 54 : A distribuição do OD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos no ponto 5. ....	64
Figura 55 : Valores médios de Oxigênio Dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.....	64
Figura 56: Valores médios de Oxigênio Dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto TIPR 02400 por trimestre. ....	65
Figura 57: Valores médios de oxigênio dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.....	65
Figura 58: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5. ....	66
Figura 59: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1. ....	67
Figura 60: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 2. ....	67
Figura 61: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 3. ....	68
Figura 62: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1. ....	68
Figura 63: Valores médios de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) no ponto 5.....	69
Figura 64 :Valores médios de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos. .....	70
Figura 65: Relação entre a condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) em verde e a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) em azul no ponto 5. ....	70
Figura 66: Valores médios de turbidez (UNT) no ponto 5. ....	71

Figura 67: Valores médios de turbidez (UNT) ao longo dos anos em todos os pontos.....	72
Figura 68: Semelhança entre a condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) e a turbidez (UNT) ao longo das décadas. .....	72
Figura 69: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto C5-110 (Ibitinga-SP) do DAEE, do período de 1985 a 1997. ....	73
Figura 70: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto C6-085 (Sales-SP) do DAEE, do período de 1985 a 2000. ....	74
Figura 71: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto E2-130 (Pirapora) do DAEE, do período de 1989 a 2010. ....	74
Figura 72: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto E3-233 (Cajamar-SP) do DAEE, do período de 1985 a 2000. ....	75
Figura 73: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto D5-063 (Botucatu) do DAEE, do período de 1985 a 2001. ....	75
Figura 74: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto E4-129 (Araçariguama) do DAEE, do período de 1985 a 2000.....	76
Figura 75: Média das cotas (m) medidas de montante no período de 1993 a 2016 do reservatório de Promissão. ....	77
Figura 76: Comparativo entre os valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no ponto 5, o limite estabelecido na CONAMA e o valores do pH.....	78
Figura 77: Comportamento no inverno (jun. a set.) da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no ponto 5.....	79
Figura 78: Comportamento no verão (dez. a mar.) da temperatura( $^{\circ}\text{C}$ ) no ponto 5.....	79
Figura 79: Correlação entre os parâmetros temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 5 .	80
Figura 80: Comparação entre os parâmetros temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 2. .....	80
Figura 81: Comparação entre os parâmetros temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e pH no ponto 5. ....	81
Figura 82: Ocupação urbana no estado de São Paulo. Em destaque (verde) as áreas das UGRHI 6, 10 e 16.....	82
Figura 83: Imagem de satélite de 1989 da UGHRI 6.....	84
Figura 84: Imagem de satélite de 2014 da UGHRI 6.....	85
Figura 85: Levantamento da Cobertura da Terra na área da sub bacia Alto Tietê em 2016. ....	85
Figura 86: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Alto Tietê e seus arredores em 2016. .....	87

Figura 87: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Tietê Sorocaba do ano de 2016.	88
Figura 88: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Tietê Batalha do ano de 2016. ...	89
Figura 89: Comparação da concentração média de Fósforo Total em mg L <sup>-1</sup> entre 1989 a 2016 nos pontos situados na Barragem de Pirapora de Bom Jesus (ponto 1) e a Barragem de Promissão (ponto 5).....	90
Figura 90: Comparação da concentração média de Oxigênio Dissolvido (OD) em mg L <sup>-1</sup> entre 1989 a 2016 nos pontos situados na Barragem de Pirapora de Bom Jesus (ponto 1) e a Barragem de Promissão (ponto 5). .....	90
Figura 91: Imagem de 1989 do reservatório de Promissão.....	92
Figura 92: Imagem de 1993 do reservatório de Promissão.....	92
Figura 93: Imagem de 2000 do reservatório de Promissão.....	93
Figura 94 : Imagem de 2007 do reservatório de Promissão. Em destaque o córrego Esgotão (Sabino/SP) e as setas indicam a presença de clorofila-a na água. ....	94
Figura 95: Imagem de 2014 do reservatório de Promissão.....	94
Figura 96: Trecho do rio Tietê e dos afluentes mais próximos da UHE Promissão. As setas apontam a contribuição de carga de clorofila a dos afluentes e os círculos áreas de plantio de laranja. Em destaque registro de áreas de cultivo de laranja no entorno da UHE em 2001. ....	95
Figura 97: Dados da série histórica entre 1950 a 2006 do censo agropecuário. ....	96
Figura 98: Imagem do reservatório de Promissão de 1985.....	97
Figura 99: Imagem do reservatório de Promissão de 1990.....	97
Figura 100: Imagem do reservatório de Promissão de 1995.....	98
Figura 101: Imagem do reservatório de Promissão de 2000.....	98
Figura 102: Imagem do reservatório de Promissão de 2005.....	99
Figura 103: Imagem do reservatório de Promissão de 2010.....	99
Figura 104: Imagem do reservatório de Promissão de 2015.....	100
Figura 105: Imagem do reservatório de Promissão de 2017.....	100
Figura 106: Uso do solo nos estabelecimentos agropecuários do estado São Paulo nos anos de 1940 a 1960 em ha. No destaque a evolução na área de cultivo de cana de açúcar. ....	101
Figura 107: Dados temporais de cobertura em 1986 (a) e 2017 (b) do município de Cafelândia/SP. ....	101
Figura 108: Dados temporais de cobertura em 1986 (a) e 2017 (b) no município de Lins/SP.	102
Figura 109: Expansão da área para colheita de 2003 a 2012 no estado de São Paulo. ....	102

Figura 110: Dados temporais de cobertura em 1986. ....	103
Figura 111: Dados temporais de cobertura em 2017. ....	103
Figura 112: Efetivos de animais em estabelecimentos agropecuários por espécie no intervalo de 1970-2006 no estado de São Paulo. ....	104
Figura 113: Mapa Hipsométrico do estado de São Paulo. Em destaque, as sub bacias 6, 10 e 16. ....	105
Figura 114: Dados Pedológicos das bacias em estudo.....	106
Figura 115: Imagem de 1989 de um trecho do rio Tietê para estudo comparativo. ....	107
Figura 116: Imagem de 2007 de um trecho do rio Tietê para estudo comparativo. ....	108
Figura 117: Imagem de 2007 do limite da bacia Tietê Sorocaba para estudo comparativo. ....	108
Figura 118: Concentração média do parâmetro escherichia coli* (NMP/100ml) no ponto 5. .	123
Figura 119 : Concentração média do parâmetro zinco total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5.....	124
Figura 120: Concentração média do parâmetro pH no ponto 5. ....	124
Figura 121: Concentração média do parâmetro temperatura (°C) no ponto 5. ....	125
Figura 122 : Concentração média do parâmetro níquel total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5. ....	125
Figura 123: Concentração média do parâmetro mercúrio total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5.....	126
Figura 124: Concentração média do parâmetro cromo total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5. ....	126
Figura 125: Concentração média do parâmetro cobre total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5. ....	127
Figura 126: Concentração média do parâmetro manganês total (mg L <sup>-1</sup> ) no ponto 5. ....	127
Figura 127: Valores médios de cobre total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos...	128
Figura 128: Valores médios de cromo total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos.	128
Figura 129: Valores médios de ferro total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos....	129
Figura 130: Valores médios de manganês total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	129
Figura 131: Valores médios de mercúrio total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	130
Figura 132: Valores médios de níquel total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos.	130
Figura 133: Valores médios de potássio (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	131
Figura 134: Valores médios do pH (UN pH) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	131
Figura 135: Valores médios de zinco total (mg L <sup>-1</sup> ) ao longo dos anos em todos os pontos...	132
Figura 136: Valores médios de temperatura da água (°C) ao longo dos anos em todos os pontos. ....	132

Figura 137: Evolução populacional de Lins entre 1991 a 2010.....	133
Figura 138: Evolução populacional de Guaiçara entre 1991 a 2010. ....	133
Figura 139: Evolução populacional de Sabino entre 1991 a 2010.....	133
Figura 140: Evolução populacional de Cafelândia entre 1991 a 2010. ....	134
Figura 141: Evolução populacional de Pirajuí entre 1991 a 2010. ....	134
Figura 142: Taxa de urbanização da UGRHI 16 no intervalo de 1980 a 1996.....	134
Figura 143: Crescimento populacional entre o período de 1980 a 1996. ....	135
Figura 144: Estimativa da população do estado de São Paulo.....	135



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenciação entre as características básicas entre rios, reservatórios e lagos.....	21
Tabela 2: Pontos de análises. ....	24
Tabela 3 : Dados históricos de clorofila a do ponto 1 (1996 a 2014). ....	51
Tabela 4:Estado trófico de lagos temperados ( $\text{mg L}^{-1}$ ).....	66
Tabela 5 : Porcentagem da população atendida pela coleta e pelo tratamento de esgoto e Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios (ICTEM) nas áreas urbanas das 22 UGRHI. Em destaque as 3 UGHRI estudadas. ....	83

## LISTA DE SIGLAS

ANA = Agência Nacional das Águas  
APP = Área de Preservação Permanente  
 $\mu\text{S}/\text{cm}$  = Microsiemens por centímetro  
CBH-TB = Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê Batalha  
CCEM = Canadian Council of Ministers of the environment  
CESP = Companhia Energética de São Paulo  
CETESB = Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAB= Companhia Nacional de Abastecimento  
CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COT = Carbono Orgânico Total  
CPRM = Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais  
DAEE = Departamento de Água e Energia Elétrica  
DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO = Demanda Química de Oxigênio  
DNPM = Departamento Nacional de Proteção Mineral  
EH = Potencial redox  
EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias  
EPA = Environmental Protection Agency  
Gb = Giga Byte  
 $\text{g}/\text{cm}^3$  = Grama por centímetro cúbico  
GIS = Geographic Information System  
GPS = Sistema de Posicionamento Global  
IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IEA = Instituto de Economia Agrícola do estado de São Paulo  
INMET = Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IQA = Índice da Qualidade da Água  
 $\text{km}^2$ = Quilômetro Quadrado  
MDE = Modelo de Elevação Digital  
MMA = Ministério do Meio Ambiente

mm = milímetros

mg L<sup>-1</sup> = Miligrama por Litro

N = nitrogênio

NASA = National Aeronautics and Space Administration

N.D. = Não Detectável

OD = Oxigênio Dissolvido

OSGEO = Open Source Geospatial Foundation

pH = Potencial Hidrogeniônico

QGIS = Quantum Geographic Information System

RGMS = Região Metropolitana de São Paulo

SAGA = System for Automated Geoscientific Analyses

SIG = Sistema de Informação Geográfica

SIGRH = Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina

UGHRI = Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNT = Unidade Nefelométricas de Turbidez

UTM = Unidade Transversa de Mercator

VM = Valor Máximo

VMP = Valor Máximo Permitido

web = rede mundial de computadores

WGS = World Geodetic System

## RESUMO

A gestão de recursos ambientais, principalmente dos recursos hídricos, tem seu aprimoramento galgado na soma de modelos de desenvolvimento sustentáveis com a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos das intervenções antrópicas, que facilitam a compreensão das interações entre diversos fatores, bem como a dinâmica dos processos naturais. Dessa maneira, o presente trabalho objetivou avaliar a heterogeneidade, variabilidade temporal e quantitativa em diferentes reservatórios de Usinas Hidrelétricas instaladas no curso do rio Tietê por meio da utilização de técnicas de análise exploratória de dados físico-químicos, pluviométricos e espaciais de um período de 30 anos. O estudo visa contribuir para o entendimento da distribuição espacial das principais atividades econômicas da região, para a compreensão das interrelações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico, principalmente dos recursos hídricos e finalmente para o manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia Tietê Batalha e, conseqüentemente, do rio Tietê que sofre com problemas de eutrofização há mais de 10 anos. Para tanto, utilizaram-se dados de monitoramento da qualidade da água para a construção de um estudo detalhado do reservatório de Promissão, combinando-os com imagens de satélite de todo o período proposto. Através da análise exploratória identificou-se comportamentos que ocorreram durante o período estudado a fim de apontar possíveis impactos ambientais sucedidos nas áreas de influências que podem ter interferido na qualidade ambiental da região. Os principais resultados mostram que a correlação da temperatura nos meses quentes com o aumento das algas tem extrema importância no processo de eutrofização devido à estratificação térmica que ocorre nos reservatórios, alterando a densidade da água e fazendo com que as algas se concentrem na superfície, acarretando a mortandade de peixes. A ausência de tratamento de esgoto apresenta como consequência a elevada carga orgânica nos corpos hídricos das bacias 6 e 10, na grande São Paulo. O reservatório de Ibitinga difere do reservatório de Promissão, pois sofre com a carga remanescente de esgoto do rio Pirapora, tanto que não acompanha a mesma evolução, reforçando a hipótese da boa eficiência da autodepuração do rio Tietê ao longo do curso. Como a UGHRI 16 possui vocação canavieira, muitas áreas encontram-se expostas devido aos períodos de final de safra e entressafra, que ocorrem a preparação da terra e a aplicação de fertilizantes justamente na estação das chuvas (verão), favorecendo a lixiviação dessas substâncias aos corpos hídricos. As concentrações de fósforo total no reservatório de Promissão não são influenciadas diretamente pelas cargas provenientes das UGHRI 6 e 10.

**Palavras-Chave:** Avaliação multitemporal; Eutrofização do rio Tietê; Bacia Hidrográfica Tietê – Batalha; Dados de qualidade da água.

## ABSTRACT

*The management of environmental resources, especially water resources, has been improved in the sum of sustainable development models with the evaluation of cumulative and synergetic impacts of anthropic interventions, which facilitate the understanding of the interactions among several factors, as well as the dynamics of the processes natural resources. In this way, the present work aimed to evaluate the heterogeneity and temporal variability in different reservoirs of hydroelectric plants installed in the Tietê river course through the use of Exploratory Analysis techniques of physico-chemical, pluviometric and spatial data of a period of 30 years. The study aims to contribute to the understanding of the spatial distribution of the main economic activities in the region, in order to understand the interrelations between the forms of occupation and the intensity of the processes responsible for the degradation of the physical environment, especially water resources and finally to the sustainable management of the water resources of the Tietê Batalha basin and, consequently, of the Tietê river that suffers with eutrophication problems for more than 10 years. For this purpose, water quality monitoring data were used to construct a detailed study of the Promissão reservoir, combining it with satellite images of the entire proposed period. Through the exploratory analysis of a complex database, behaviors that occurred during the studied period were identified in order to point out possible environmental impacts in the area that may have interfered with the environmental quality of the region. The main results show that the correlation of the temperature in the warm months with the increase of the algae is extremely important in the process of eutrophication due to the thermal stratification that occurs in the reservoirs, altering the density of the water and causing the algae to concentrate on the surface. The absence of sewage treatment results in high organic load in the water bodies of basins 6 and 10, in the greater São Paulo. The reservoir of Ibitinga differs from the Promissão reservoir, as it suffers from the remaining sewage load of the Pirapora river, so much that it does not follow the same evolution, reinforcing the hypothesis of the self-purification of the Tietê river along the course. As UGHRI 16 has a sugarcane vocation, many areas are exposed due to the end of harvest and the off-season, which is the preparation of the soil and the application of fertilizers in the rainy season (summer), favoring the leaching of these substances to the water bodies. The concentrations of total phosphorus in the Promissão reservoir are not influenced directly by the UGHRI 6 and 10 loads.*

**Keywords:** *Multitemporal evaluation; Eutrophication of the Tietê River; Tietê - Batalha Hydrographic Basin; Water quality data.*

## 1. INTRODUÇÃO

Análises históricas apontam que as civilizações, desde os primórdios, procuravam se alojar em regiões próximas à água. Com a crescente ocupação humana em aglomerados urbanos, houve o aumento da geração de resíduos de modo que, a concentração de poluentes nos meios hídricos, como despejos de esgoto e efluentes diversos, tornaram-se um grande problema, com soluções desafiadoras como as propostas por Oliveira (2015), Cunha et al. (2014) e Campanha (2010). Segundo Donadio et al. (2005), qualidade da água de um manancial constitui uma importante parte de um frágil equilíbrio na bacia hidrográfica, que pode sofrer alterações de ordem física, química ou climática.

Esse crescimento humano, fruto do desenvolvimento, trouxe consigo a substituição gradativa de ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos, com ocupações antrópicas diversas que são responsáveis por gerar grande quantidade de resíduos líquidos, sólidos e gasosos que interferem na qualidade do meio ambiente se não receberem o devido tratamento e disposição final adequada. Benini et al. (2003) ressaltaram a importância de se verificar as condições do entorno, uma vez que o fator agravante foi a remoção de grande parte da vegetação nativa que desencadeou processos erosivos responsáveis pelo assoreamento e deposição de sedimentos nos corpos hídricos, constituindo, assim, um cenário propenso a enchentes e a impactos negativos ao homem e à natureza.

Nesse sentido, estudos voltados para a conservação e monitoramento do meio ambiente são imprescindíveis. No entanto, segundo Oliveira (2015), trabalhar com dados ambientais é um desafio, uma vez que o comportamento das variáveis se modifica por razões diversas. Para esses autores, estudos voltados à extração de dados limnológicos, por exemplo, precisam de etapas particularizadas para alcançar efetividade e apresentar resultados que exprimem o comportamento real das variáveis.

Por décadas a inexistência de monitoramentos resultou na precariedade das bases de dados com séries temporais significativas. Nesse sentido, a necessidade de aprimoramento da gestão, das técnicas de coleta de dados e da realização de diagnósticos ambientais foram crescentes. Veja-se por exemplo a divisão do território nacional em bacias hidrográficas que surgiu como uma ferramenta facilitadora para o planejamento urbano e rural, bem como no cuidado com os recursos naturais (TUCCI, 2006). Em paralelo, houve empenho na criação de políticas públicas como a lei no 9433 de 1997, a qual estabelece a Política Nacional de Recursos

Hídricos e prevê como uns dos fundamentos básicos a bacia hidrográfica sendo unidade territorial para implementação da gestão hídrica no Brasil.

No contexto nacional existem diversas áreas em que a disponibilidade de recurso hídrico para abastecimento humano e industrial estão comprometidas devido às altas quantidades de substâncias tóxicas presentes nas águas subterrâneas, mananciais e lagos (ATLAS ESGOTO, 2019).

O levantamento das principais causas é um importante norte na tentativa de solucionar os problemas ambientais, sendo fundamental o monitoramento da qualidade hídrica, a fiscalização por órgãos competentes, formulação de políticas públicas e as mudanças de práticas para a correção das ações impactantes ao meio ambiente. O órgão ambiental responsável por esse trabalho no estado de São Paulo é a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), que realiza desde 1980 o monitoramento das águas interiores (mananciais) e litorâneas. As legislações brasileiras possuem critérios e diretrizes ambientais em níveis federal e estadual como a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), a Lei nº9433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos hídricos e a Lei nº7663/1991 que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991), as quais objetivam disponibilizar instrumentos legais para auxiliar na gestão hídrica, fixar limites para diversas variáveis em sistemas de água doce e buscar a redução dos lançamentos de cargas poluentes através de cobranças e fiscalizações nos diversos setores. Apesar disso, ainda existem diversos locais com problemas de contaminação. Estudos realizados por Nascimento e Villaça (2008), por exemplo, mostram que a bacia do rio Tietê, possui diversas áreas com problemas de contaminação provenientes da elevada atividade industrial, que têm como consequência a geração de efluentes com cargas heterogêneas e que não passam por Estações de Tratamentos (ETE), fato que vem comprometendo uma importante fonte de abastecimento de muitos municípios do estado de São Paulo.

Segundo Cunha et al. (2012) para obter-se sucesso no processo de gestão dos recursos hídricos é fundamental considerar parâmetros como a capacidade de suporte dos corpos d'água, os padrões de qualidade definidos pelos órgãos fiscalizadores, a carga da emissão de poluentes, o desenvolvimento tecnológico e as inovações, além dos aspectos sociais, os quais juntos caminham para a sustentabilidade dos sistemas aquáticos. Nesse contexto, ferramentas como triagem de dados e análises de imagens podem ser extremamente úteis na avaliação do processo. Além disso, a gestão de recursos ambientais, principalmente o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, tem seu aprimoramento galgado na soma de modelos de desenvolvimento sustentáveis com a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos das intervenções antrópicas,

que facilitam a compreensão das interações entre diversos fatores, bem como a dinâmica dos processos naturais.

O rio Tietê é o principal corpo hídrico do estado, reconhecido pela péssima qualidade da água nos trechos que cruzam a cidade de São Paulo. Problemas de poluição no rio Tietê não são particularidades da capital, podendo ser notados em diversos passivos ambientais que acontecem nos reservatórios do interior paulista e que interferem na qualidade de vida da população. Um exemplo são os registros constantes de eutrofização (crescimento de algas pelo excesso de nutrientes) que ocorrem no Córrego do Esgotão e em demais braços do rio Tietê situados a montante da usina Hidrelétrica de Promissão, prejudicando a atividade econômica (pesca) e o turismo dos municípios da região.

O reservatório situa-se no centro do estado de São Paulo, é formado pelo rio Tietê que é um importante corpo hídrico que percorre desde zonas densamente habitadas, regiões industrializadas, até áreas agrícolas e pecuárias, todas responsáveis por grande carga de DBO. A perda da qualidade hídrica não só prejudica o meio ambiente e a vida aquática, mas também compromete as fontes de abastecimento humano e o desenvolvimento dos municípios, ocasiona a redução do valor econômico da terra, restringe as atividades de uso e ocupação do solo, além de reduzir o interesse da ocupação humana.

A identificação das fontes de poluição hídrica contribui para a minimização dos impactos ambientais e na preservação das fontes de abastecimento, além de contribuir na universalização do saneamento básico. Além disso, o rio Tietê possui vários pontos de análises de monitoramento da qualidade da água ao longo do seu curso, distribuídos em onze barragens, possibilitando o estudo comportamental dos reservatórios do sistema cascata.

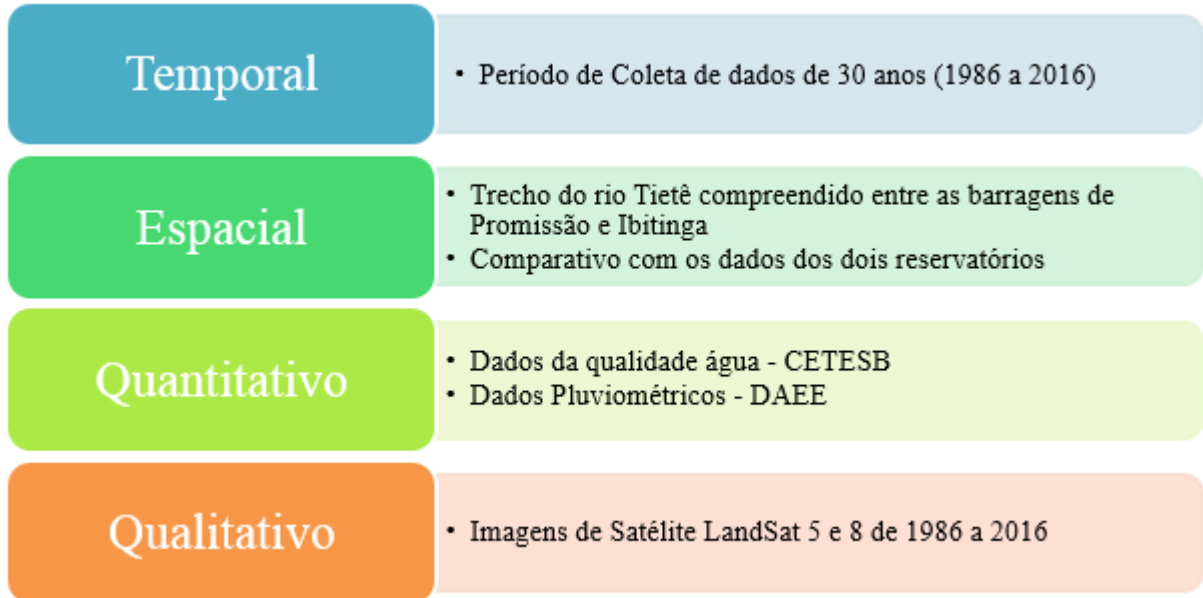
Estudos sobre a evolução das condições sanitário-ambientais do rio Tietê até o reservatório de Barra Bonita foram realizados por Santos (2005) e sugerem a possibilidade de contaminação por conta de contribuições difusas de poluição por esgotos de origem doméstica e industrial. Da mesma forma, estudos de identificação de fontes poluidoras na bacia do rio Tietê são importantes para eliminar e/ou minimizar as fontes de resíduos que chegam aos mananciais e os impactos ambientais e sociais dessa problemática.

Desta forma, este trabalho apresenta uma avaliação da influência da urbanização da capital nas águas do interior do estado. Foram avaliadas a heterogeneidade, a variabilidade temporal e a quantitativa ao longo de um período de 30 anos de dados de monitoramento, em diferentes reservatórios de Usinas Hidrelétricas instaladas no curso do rio Tietê, por meio de análise exploratória de diversos dados como físico-químicos, pluviométricos e espaciais. Para tanto, construiu-se uma base com os diversos dados sobre o rio Tietê para, posteriormente,



estudar-se com ênfase o reservatório de Promissão. Em seguida, realizou-se o cruzamento de imagens de satélite com as informações extraídas dos dados refinados, objetivando-se identificar correlações de causa e efeito. Esses passos estão ilustrados na Figura 1.

**Figura 1: Entrada de dados utilizadas no projeto.**



Esses passos foram essenciais na verificação da hipótese da contribuição da carga poluidora proveniente da região metropolitana de São Paulo ser a fonte principal de impactos ambientais no reservatório de Promissão ou se os processos de uso e ocupação da região são as principais influências na qualidade da água (Figura 2). Existem diversos prismas nesta conjectura que merecem enfoque e que podem agregar aos esforços de melhoramento do saneamento e à qualidade do rio Tietê.

**Figura 2: Fenômenos de eutrofização no (a) rio Dourado (afluente do rio Tietê) e no (b) córrego da prainha de Sabino/SP em 2019.**



(a)

(b)

**Fonte: BOND, 2019.**

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a heterogeneidade, a variabilidade temporal e quantitativa de dados em diferentes reservatórios de Usinas Hidrelétricas instaladas no curso do rio Tietê a fim de verificar a hipótese da contribuição da carga poluidora proveniente da região metropolitana de São Paulo ser a fonte principal de impactos da qualidade hídrica no reservatório de Promissão. Para tanto, realizou-se uma análise exploratória de dados físico-químicos e pluviométricos, comparados com imagens de satélite de um período de 30 anos em três reservatórios do rio Tietê.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- I) Construção da base de dados de 30 anos integrando informações de qualidade da água, dados pluviométricos e espaciais de reservatórios do rio Tietê;
- II) Diagnóstico Ambiental do reservatório de Promissão com ênfase na análise do uso e ocupação do solo x qualidade da água;
- III) Verificação da hipótese levantada a fim de contribuir nas tomadas de decisões relacionadas ao planejamento, fiscalização e gestão hídrica do rio Tietê;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo foi subdividido em quatro partes para apresentar diferentes enfoques dentro da temática deste trabalho, sendo a primeira para abordar a produção, a segunda para elucidar sobre estudos ambientais, a terceira sobre a dinâmica sistêmica de bacias hidrográficas e a quarta sobre características dos reservatórios.

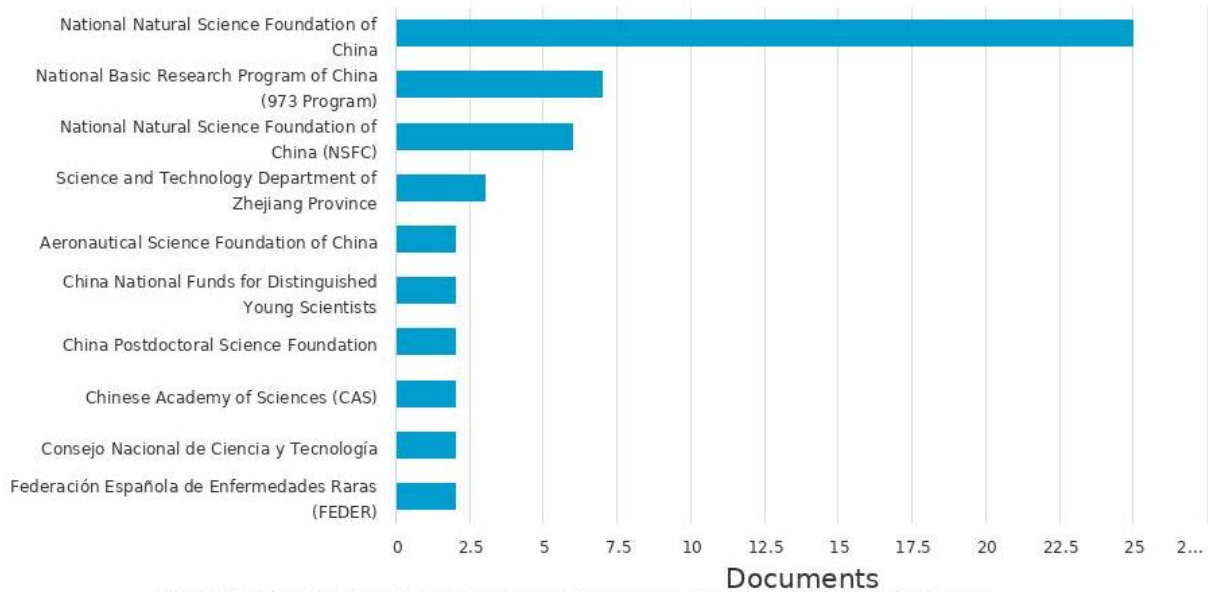
#### 3.1 Revisão estruturada

Com objetivo de contemporizar a temática deste trabalho na comunidade científica, esta parte da revisão bibliográfica foi baseada na estrutura proposta por De Camargo Fiorini & Jabbour (2017), composta por uma série de etapas. A primeira etapa constitui-se na realização de uma pesquisa em banco de dados utilizando as palavras chave de artigos relacionados com a temática deste trabalho. A base de dados utilizada foi a SCOPUS e as palavras chave foram combinadas para conseguir focar na área de conhecimento desejada, uma vez que as mesmas podem ser utilizadas em diferentes campos. Na segunda etapa aplicou-se um filtro utilizando os resumos e através do resultado foi possível ter um espectro da produção científica na temática no período de 2010 a 2019.

A busca inicial foi realizada priorizando artigos publicados em revistas e congressos, resultando em aproximadamente 4000 artigos, os quais foram filtrados de acordo com as principais revistas, áreas de conhecimento e tipo de documentos. A Figura 3 mostra as principais revistas e a quantidade de publicações realizadas no período de 2010 a 2019 sobre SIG e avaliação multitemporal. Aponta-se que a revista “*National Natural Science Foundation of China*”, assim como demais periódicos chineses destacam-se pelo número de publicações em grande parte do período estudado.

Após o surgimento das imagens de satélites e da elaboração dos banco de dados digitalizados, estudos analisando a multitemporalidade têm se popularizado em diversas áreas de conhecimento (BAYMA & SANO (2015); BRYHN et al. (2010); CORSEUIL (2006); CALIJURI, M. do C.; DOS SANTOS (2003)), podendo-se notar a diversidade da nacionalidade das revistas que mais publicaram sobre o assunto.

**Figura 3: Levantamento de revistas que publicaram sobre “avaliação multitemporal” e “SIG”.**



Fonte: SCOPUS, 2019

Pesquisadores chineses como Liu, Y.G., Wan, L., Huang, X. Gong, W., Yang, X. estudam a aplicação de SIG como uma ferramenta para refletir a distribuição espacial da qualidade ambiental, análise de vulnerabilidade ecológica e modelagem de classificação da cobertura do solo (Figura 4).

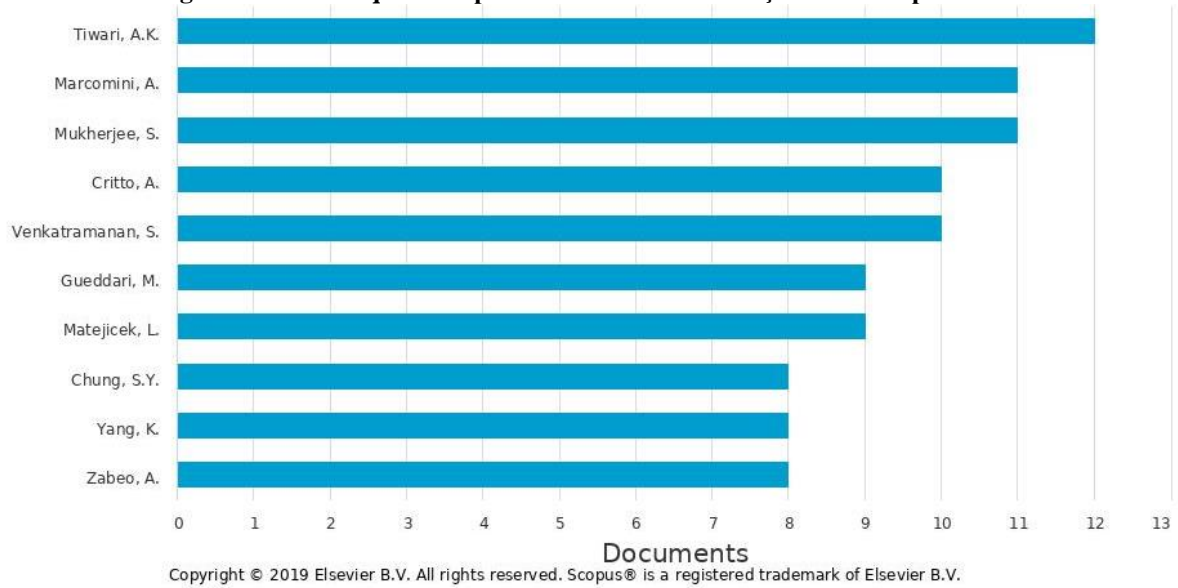
**Figura 4: Produções científicas sobre modelagem com SIG, dados de uso e ocupação e problemas ambientais de autores chineses.**

Título do documento	Autores	Ano	Fonte
Comparação da mudança do uso da terra / cobertura do solo e padrões de paisagem na Reserva Natural Nacional de Honghe e na região de Jiansanjiang, China	Wan, L. , Zhang, Y. , Zhang, X. , Qi, S. , Na, X.	2015	Indicadores Ecológicos 51 , pp. 205-214
Visualizar resumo <input type="button" value="Capes-BR"/> Visualizar no Publisher Documentos relacionados			
Comparação com modelagem de classificação supervisionada em cobertura de uso da terra usando dados landsat 8 OLI: Um exemplo no condado de miyun, no norte da China	Gong, W. , Yuan, L. , Fan, W. , Wang, X. , Stott, P.	2016	Meio Ambiente da Natureza e Tecnologia de Poluição 15 (1) , pp. 243-248
Visualizar resumo <input type="button" value="Capes-BR"/> Documentos relacionados			
Avaliação da vulnerabilidade ecológica usando o método GIS e o processo de hierarquia analítica (AHP) em Yan'an, China	Hou, K. , Li, X. , Wang, J. , Zhang, J.	2016	Revista polonesa de estudos ambientais 25 (2) , pp. 599-605
Visualizar resumo <input type="button" value="Capes-BR"/> Visualizar no Publisher Documentos relacionados			
Combinando o AHP com o GIS na avaliação sintética da qualidade do ambiente ecológico - Um estudo de caso da província de Hunan, China	Ying, X. , Zeng, G.-M. , Chen, G.-Q. (...), Wang, K.-L. , Huang, D.-Y.	2007	Modelagem Ecológica 209 (2-4) , pp. 97-109

**Fonte: SCOPUS, 2019**

Nota-se na Figura 5 que, dentre os autores que mais publicaram sobre uso de SIG em pesquisas ambientais aliadas à multitemporalidade está Tiwari, A.K. do *Department of Environmental Science & Engineering*. Suas pesquisas relacionam-se com o Índice de qualidade das águas na Índia, sendo uma das publicações o artigo “*GIS-Based Evaluation of Water Quality Index of Groundwater Resources in West Bokaro coalfield, India*”.

**Figura 5: Autores que mais publicaram sobre “avaliação multitemporal” e “SIG”.**



**Fonte: SCOPUS, 2019.**

Outro autor de destaque é Marcomini, A. (2015) que trabalha nas áreas temáticas de ciências ambientais e engenharia e desenvolveu pesquisas na Itália sobre poluição em águas subterrâneas. Muitas delas são realizadas juntamente com Critto, A. que possui, entre 2012 a 2016, quatro artigos relacionados a fontes de poluição das águas, classificação do estado ecológico das

bacias hidrográficas e estudo de impactos ambientais na qualidade das águas subterrâneas. A Figura 6 mostra um resumo da produção de Marcomini, A. e Critto, A.

**Figura 6: Artigos publicados por diversos autores na temática eutrofização, SIG e avaliação multitemporal em estudos ambientais.**

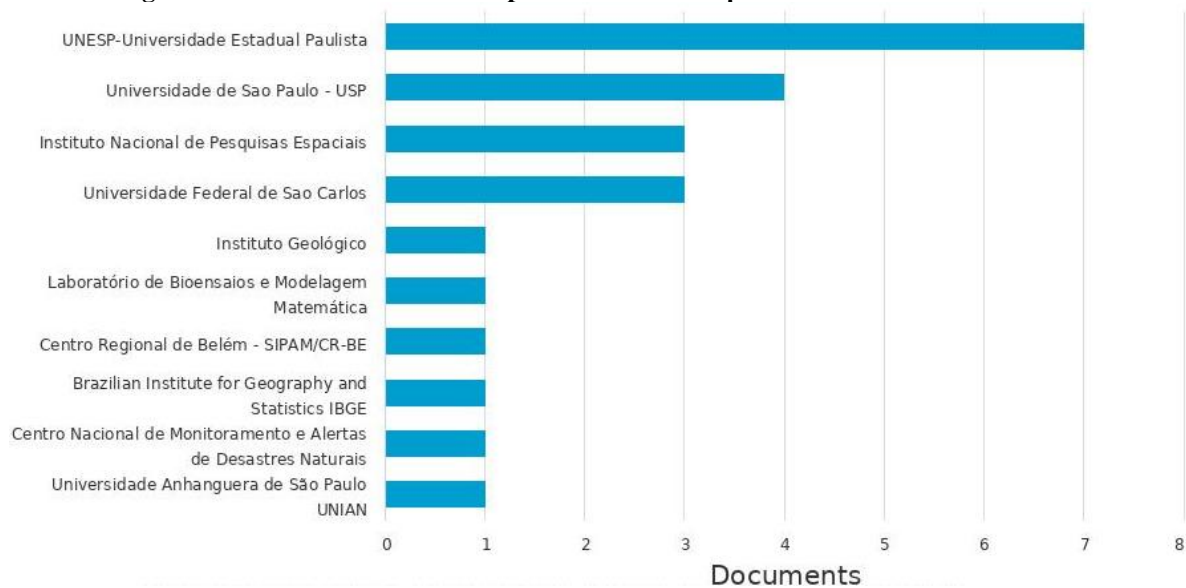
Título	Autores	Ano	Fonte
Impactos da mudança climática na qualidade da água marinha: o estudo de caso do mar do norte do Adriático	Rizzi, J. Torresan, S. Critto, A. Zabeo, A. Brigolin, D. Carniel, S. Pastres, R. Marcomini, A.	2016	Boletim de Poluição Marinha
Avaliação Regional de Riscos para os impactos das mudanças climáticas nos aquíferos costeiros	Iyalomhe, F. Rizzi, J. Pasini, S. Torresan, S. Critto, A. Marcomini, A.	2015	Ciência do Meio Ambiente Total
Metodologia de priorização baseada em riscos para a classificação das fontes de poluição das águas subterrâneas	Pizzol, L. Zabeo, A. Critto, A. Giubilato, E. Marcomini, A.	2015	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação do impacto das alterações climáticas nas águas subterrâneas planas de Veneto e Friuli. Parte II: Uma avaliação de risco regional espacialmente resolvida	Pasini, S. Torresan, S. Rizzi, J. Zabeo, A. Critto, A. Marcomini, A.	2012	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação integrada dos riscos para a classificação do estado ecológico da DQA aplicada à bacia hidrográfica do rio Llobregat (Espanha). Parte II - Processo de avaliação aplicado a cinco linhas de evidências ambientais	Gottardo, S. Semenzin, E. Giove, S. Zabeo, A. Critto, A. de Zwart, D. Ginebreda, A. von der Ohe, PC Marcomini, A.	2011	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação integrada dos riscos para a classificação do estado ecológico da DQA aplicada à bacia hidrográfica do rio Llobregat (Espanha). Parte I - abordagem difusa para agregar indicadores biológicos	Gottardo, S. Semenzin, E. Giove, S. Zabeo, A. Critto, A. de Zwart, D. Ginebreda, A. Marcomini, A.	2011	Ciência do Meio Ambiente Total

Impactos da mudança climática na qualidade da água marinha: o estudo de caso do mar do norte do Adriático	Rizzi, J. Torresan, S. Critto, A. Zabeo, A. Brigolin, D. Carniel, S. Pastres, R. Marcomini, A.	2016	Boletim de Poluição Marinha
Avaliação Regional de Riscos para os impactos das mudanças climáticas nos aquíferos costeiros	Iyalomhe, F. Rizzi, J. Pasini, S. Torresan, S. Critto, A. Marcomini, A.	2015	Ciência do Meio Ambiente Total
Metodologia de priorização baseada em riscos para a classificação das fontes de poluição das águas subterrâneas	Pizzol, L. Zabeo, A. Critto, A. Giubilato, E. Marcomini, A.	2015	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação do impacto das alterações climáticas nas águas subterrâneas planas de Veneto e Friuli. Parte II: Uma avaliação de risco regional espacialmente resolvida	Pasini, S. Torresan, S. Rizzi, J. Zabeo, A. Critto, A. Marcomini, A.	2012	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação integrada dos riscos para a classificação do estado ecológico da DQA aplicada à bacia hidrográfica do rio Llobregat (Espanha). Parte II - Processo de avaliação aplicado a cinco linhas de evidências ambientais	Gottardo, S. Semenzin, E. Giove, S. Zabeo, A. Critto, A. de Zwart, D. Ginebreda, A. von der Ohe, PC Marcomini, A.	2011	Ciência do Meio Ambiente Total
Avaliação integrada dos riscos para a classificação do estado ecológico da DQA aplicada à bacia hidrográfica do rio Llobregat (Espanha). Parte I - abordagem difusa para agregar indicadores biológicos	Gottardo, S. Semenzin, E. Giove, S. Zabeo, A. Critto, A. de Zwart, D. Ginebreda, A. Marcomini, A.	2011	Ciência do Meio Ambiente Total

Fonte: SCOPUS, 2019.

A pesquisa realizada com as palavras chave “qualidade do rio Tietê” e “SIG” apontaram que o maior número de produções no Brasil ocorreram na UNESP, USP, INPE e UFSCAR (Figura 7).

**Figura 7: Número de documentos publicados sobre “qualidade do rio Tietê” e “SIG”.**

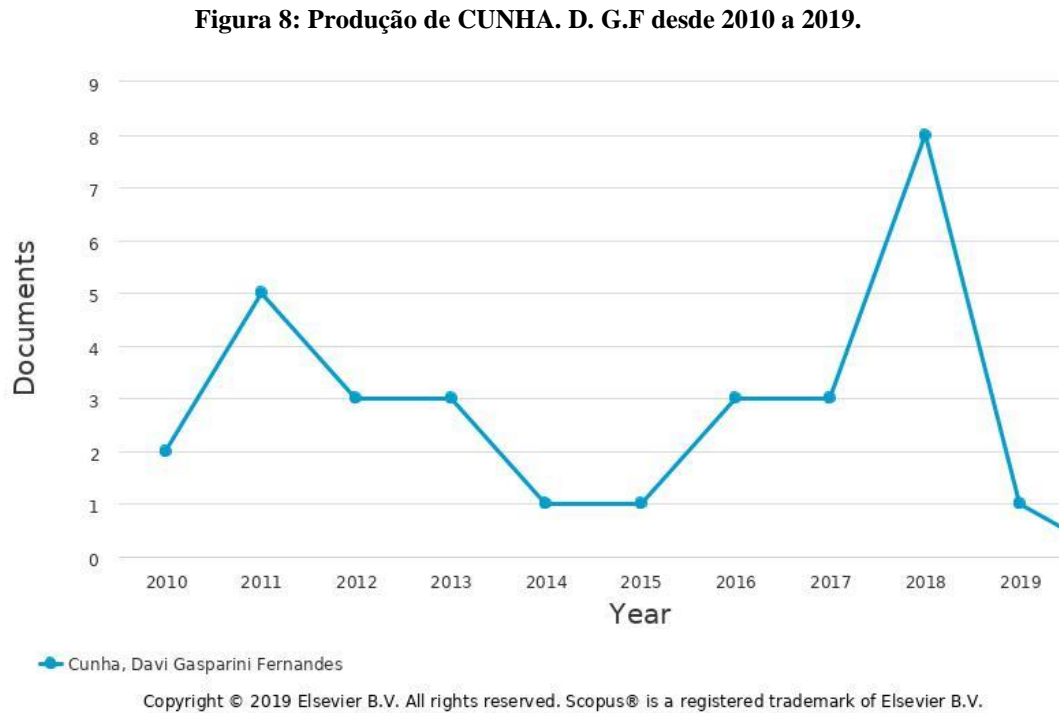


Fonte: SCOPUS, 2019.

Uma autora brasileira com produção relevante na área ambiental é a pesquisadora da USP Calijuri, M. do Carmo, que já trabalhou com modelagem ambiental do reservatório de Ibitinga e do sistema Cantareira. Em conjunto com Tarrarello, D. e demais autores, produziram diversos artigos sobre monitoramento eco-hidrológico e modelagem de ambientes aquáticos, ambos desenvolvidos através de análise de multitemporalidade e SIG.



Cunha, D.G.F também possui ampla produção na área de engenharia Ambiental e Sanitária desde 2011, com estudos voltados aos temas de eutrofização, remoção de microalgas e monitoramento de reservatórios . Nota-se na Figura 8 que em 2018 Cunha publicou 8 artigos no tocante à eutrofização.



**Fonte: SCOPUS, 2019.**

Na totalidade da produção de Cunha, 17 artigos foram co-escritos com Calijuri, M.do Carmo. Esses artigos foram publicados em revistas das áreas de engenharia ambiental e ciências do ambiente e possuem estudos sobre a qualidade hídrica em diversos prismas, conforme ilustra a Figura 9. Muitos deles abordam a caracterização de corpos hídricos, fatores relacionados à qualidade da água, grau de trofia e problemas de contaminação. Nota-se que são temas discutidos mundialmente, mostrando-se atuais e ao mesmo tempo necessários.

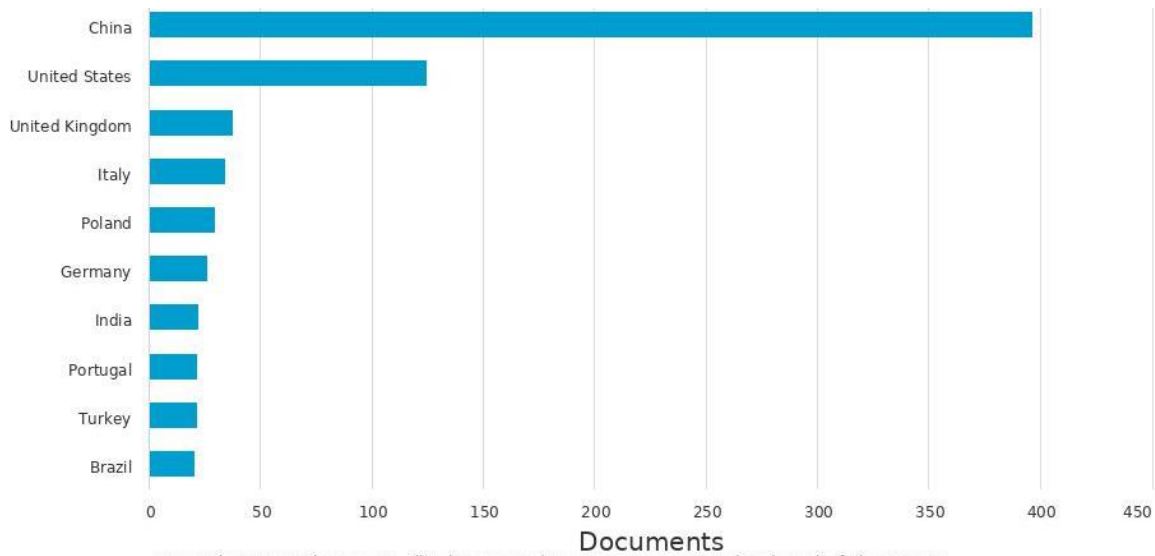
**Figura 9: Produção de Cunha, DFG, Calijuri, M. do C. na área da engenharia ambiental e ciências do ambiente.**

Título do documento	Autores	Ano	Fonte
Padrões de paisagem influenciam concentrações de nutrientes em sistemas aquáticos: dados de ciência cidadã do Brasil e do México	Cunha, DGF, Magri, RAF, Tromboni, F., (...), Riveros, EV, Velázquez, JA	2019	Ciência de Água Doce
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Variação do metabolismo do riacho ao longo de um gradiente ambiental tropical <a href="#">Acesso livre</a>	Saltarelli, WA, Dodds, WK, Tromboni, F., (...), Palhares, JCP, Cunha, DGF	2018	Jornal de Limnologia
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Caracterização e avaliação de fatores que influenciam a remoção de microcistina-LR por carvão ativado granular produzido a partir de diferentes matérias-primas   [Caracterização e avaliação de fatores que determinam a transformação de microcistina-LR em um volume ativado granular produzido a partir de diferentes matérias-primas] <a href="#">Acesso livre</a>	Araújo, LS, Coutinho, AR, Álvarez-Méndez, MO, (...), Calijuri, MDC, Cunha, DGF	2018	Engenharia Sanitária e Ambiental
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Absorção de nutrientes em um canal de riachos simplificado: manipulação experimental do tempo de residência hidráulico e armazenamento temporário	Cunha, DGF, Finkler, NR, Calijuri, MDC, (...), Tromboni, F., Dodds, WK	2018	Ecohidrologia
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Dinâmica de absorção de nitrogênio e fósforo em riachos de florestas tropicais do Cerrado <a href="#">Acesso livre</a>	Finkler, NR, Tromboni, F., Boéchat, IG, Gücker, B., Cunha, DGF	2018	Água (Suíça)
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Fatores relacionados à qualidade da água e limiares para concentrações de microcistina em reservatórios subtropicais brasileiros	Cunha, DGF, Dodds, WK, Loiselle, SA	2018	Águas Interiores
Efeitos do lixiviado de macrófitas em <i>Anabaena</i> sp. e <i>Chlamydomonas moewusii</i> em ecossistemas tropicais de água doce	Bottino, F., Vargas, SR, Miwa, ACP, (...), Bianchini, I., Cunha, DGF	2018	Limnologia
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Perspectiva do nexo água-energia-alimento no desafio da eutrofização <a href="#">Acesso livre</a>	Reddy, VR, Cunha, DGF, Kurian, M.	2018	Água (Suíça)
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Uma Visão para o Monitoramento Global da Biodiversidade com a Ciência do Cidadão	Pocock, MJO, Chandler, M., Bonney, R., (...), Zaviezo, T., Danielsen, F.	2018	Avanços na pesquisa ecológica
Visualizar resumo ▾ Documentos relacionados			
Taxas de absorção de amônio e nitrato pelas comunidades fitoplanctônicas em dois reservatórios tropicais eutróficos	Gasparini Fernandes Cunha, D., Fernandes de Melo Lima, V., Menegante Néri, A., (...), Tromboni, F., Maranger, R.	2017	Revista Internacional de Hidrobiologia

**Fonte: SCOPUS, 2019.**

Na temática da Engenharia Ambiental e SIG, o Brasil aparece em décimo lugar no número de publicações nos últimos 10 anos, mostrando a importância em desenvolver estudos e pesquisas junto à comunidade científica. Países como a China e os EUA já sinalizaram essa tendência, uma vez que são países com diversos passivos ambientais, investindo em pesquisa e desenvolvimento nessa linha (Figura 10).

De maneira geral, a quantidade de estudos nessa temática foi crescente ao passar dos anos com 39 publicações em 2009 e 86 em 2015, conforme levantamento da SCOPUS (2019).

**Figura 10: Países que mais publicaram no período de 2009 a 2018.**

Fonte: SCOPUS, 2019.

Na área de estudos ambientais, a dinâmica dos ciclos naturais é muito alta e as alterações são frequentes, uma vez que as mudanças na cobertura da Terra e os impactos ambientais são constantes. Dessa forma, é necessária a inclusão de novas informações, que são geradas diariamente e podem ser coletadas com a mesma frequência, alterando os resultados das análises e, conseqüentemente, da percepção das problemáticas ambientais. Portanto, sempre haverá a necessidade de investimento em pesquisas, desenvolvimento de tecnologias e aprimoramento das técnicas para acompanhar a evolução ambiental do globo terrestre.

### 3.2 Estudos de qualidade ambiental

A qualidade ambiental de uma região não se define apenas por um ou dois fatores, mas sim pela combinação de variáveis que ocorrem no meio econômico, social e ambiental e que juntas norteiam o desenvolvimento de uma área (ROHDE, 2013; CREMONEZ, 2014; OLIVEIRA, 2015; PORCHER, 2018). Esses fatores geram uma grande quantidade de dados que precisam ser computados para darem suporte à tomada de decisão e ao manejo sustentável, contribuir na descoberta da origem de um problema e/ou na solução do mesmo. Todavia, os progressos na área de processamento e na velocidade de compilação de dados nas últimas décadas permitiram ir de práticas manuais, tediosas e demoradas para análises de dados rápidas e automáticas. Quanto mais complexos forem os conjuntos de dados coletados e conseqüentemente

o número de amostras, maior será o potencial para a descoberta de fatores relevantes ou de anormalidades (URBAN, 2016).

Vários estudos foram realizados com essa proposta de arranjos de informações ambientais. Para tanto, uma das dificuldades apresentadas por Rohde (2013) é a obtenção de informações ambientais no Brasil, pois estas encontram-se dispersas, desconectadas entre os órgãos, ruidosas, muitas de natureza especulativa, exigindo do pesquisador, após a busca em diversas bases e verificação de disponibilidade, elaborar o arranjo que melhor atende ao modelo proposto. Neste âmbito, Oliveira (2015) levantou diversos dados e estudou sobre as possibilidades de recuperar a qualidade das águas do rio Tietê utilizando estudos de tendências precedidos de análises exploratórias. Conjuntamente, ele verificou a sazonalidade por meio de dados brutos da rede de monitoramento da CETESB e com apoio de softwares estatísticos.

De acordo com Winston (2016) é necessário utilizar sistemas de suporte às decisões que apresentem opções de modelagem matemática e métodos quantitativos para verificação de anormalidades de amostras ou testes de hipóteses alternativas. Para isto, existem diversos métodos e estudos combinados com geotecnologias como, por exemplo, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com a finalidade de interpretar dados e prever comportamentos, resultando em ferramentas de suporte tradicional na área ambiental. Outro instrumento da caracterização ambiental é a multitemporalidade das análises com períodos longos que possibilitam acompanhar a evolução das interferências antrópicas e alterações ambientais (ELY; DUBREUIL, 2017; MATSUOKA; FERNANDES, 2018).

O uso de geotecnologias em estudos ambientais e agrônômicos trouxe uma facilidade na compilação de dados e no monitoramento de áreas, uma vez que os fenômenos estudados e/ou avaliados normalmente ocorrem em extensas áreas, de maneira que levaria muito tempo para realizar os levantamentos, coletar os dados e compilá-los conjuntamente (NASCIMENTO; SILVA, 2014). Para tanto, desenvolveram-se métodos com grande potencial de utilização na área ambiental, entre eles o escolhido por Chang et al. (2008) com o SIG associado com avaliação multicriterial, assim como, (2009) e Baiocchi et al. (2014) que fizeram a associação do SIG com avaliação multicriterial e lógica fuzzy, além de Nascimento; Silva (2014) que utilizaram SIG como instrumento complementar.

O emprego de quimiométricas juntamente com imagens de satélite tem sido evidenciado em vários trabalhos na literatura para auxiliar a interpretação dos resultados do comportamento sazonal dos parâmetros físico-químicos em um corpos hídricos (SCHETTINI et al. (2005), CAMPANHA et al.(2010), BAYMA; SANO (2015), MANZIONE (2018)). Os estudos sobre o comportamento lacustre e o fenômeno de eutrofização acompanharam essa tendência e

evidenciaram o avanço dessa problemática nos corpos hídricos, possibilitando a inserção de banco de dados variados (LAMPARELLI (2004); SANTOS et al. (2014)).

Estudos ambientais realizados no reservatório de Jurumirin –SP (HENRY et al., 1998) e no reservatório de Barra Bonita – SP (CALIJURI, 1999; CALIJURI; DOS SANTOS, 2001) utilizaram dados físico químicos com espacialidade para avaliar o comportamento de fitoplânctons. Dos Santos (2003) verificou a heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de reservatórios com diferentes graus de trofia no estado de São Paulo. Na mesma linha, Bryhn et al. (2010) fizeram a previsão dos efeitos ao longo dos anos da redução de nutrientes e das mudanças climáticas sobre as concentrações de fósforo no lago Bourget, na França e Caputo et al. (2008) estudaram a qualidade do reservatório de Catalonia, na Espanha.

Michel (2012) realizou um estudo sobre zoneamento ambiental de uma área situada no lago de Itaipu utilizando técnicas de processamentos de imagens de satélites e de avaliação do espaço temporal da degradação ambiental e da cobertura vegetal entre 1999 a 2011 e verificou um aumento da área vegetativa considerada mais densa (de 45,40% para 52,93%) além de uma redução das áreas consideradas com baixo nível vegetativo (de 46,60% para 40,30%) em um período de doze anos.

No diagnóstico ambiental realizado por Grossi (2006) sobre a microbacia hidrográfica do Rio Queima Pé, utilizou-se a modelagem espacial embasada em dados de um monitoramento do Índice de Qualidade da Água (IQA) processados juntamente com imagens de satélites. Freitas et al. (2013) realizaram a seleção de indicadores e os combinaram com imagens de satélite para analisar a gestão das Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica do rio Jundiá Mirim, no estado de São Paulo.

Fujaco et al. (2010) buscaram o histórico do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de mapas topográficos e geológicos, combinados com imagens de satélites no período de trinta anos, com o objetivo de observar as mudanças do uso e ocupação do solo através da definição de grupos vegetacionais.

Inserida na problemática de qualidade das águas, Lamparelli (2004) estudou sobre os diferentes graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo, questionando os atuais métodos de monitoramento dos recursos hídricos e para isso utilizou-se de dados paramétricos, espaciais, temporais e hidrodinâmicos. O uso de métodos de análise espaço temporal contribuem para ampliar o conhecimento em estudos de poluentes (HUANG et al. 2016).

Da mesma forma, Midugno; Roisenberg (2013) avaliaram os impactos ambientais em três bacias hidrográficas, situadas em diferentes contextos urbanos paisagísticos na cidade de Porto Alegre/RS. A influência de atividades humanas sobre a composição química de águas e

sedimentos coletados sazonalmente foi determinada a partir da análise em laboratório de parâmetros físico químicos. Para tal, foram associados dados de densidade populacional, uso e ocupação do solo, características físicas dos cursos d'água, bem como da geologia, pedologia e cobertura vegetal.

Estudos de detecção gradual das mudanças na cobertura terrestre com base em imagens multitemporais foram realizados por Zanotta et al. (2012). A metodologia objetivou modelar imagens que retratam o ambiente natural de forma realista, criando um modelo para detectar graus de associação para mudanças em conjuntos de dados de imagem de sensoriamento remoto multitemporal. Com essa nova abordagem foi possível verificar a eficiência dos *shapes* produzidos que apontaram elevados graus de mudanças intermediárias.

Face ao exposto, nota-se que existem diversos métodos que podem ser utilizados em avaliações multitemporais em bacias hidrográficas (CALIJURI, 1999; Dos SANTOS, 2003; GROSSI, 2006; NASCIMENTO;VILLAÇA, 2008; CUNHA, 2012; MICHEL, 2012; ZANOTTA et al., 2012; FREITAS et al., 2013; OLIVEIRA, 2015; URBAN, 2016).

As contribuições dessas pesquisas bem como de outros autores (BRAGA et al., 2002; GROPPPO et al., 2005; POLIDORO et al., 2010; CUNHA et al., 2013; MIDUGNO; ROISENBERG, 2013; PIZZOL et al., 2015; IYALOMHE et al., 2015; RIZZI et al, 2016; WANG et al., 2018) são extremamente úteis para o diagnóstico de problemas ambientais de modo a nortear o presente trabalho.

### **3.3 Dinâmica sistêmica de uma bacia hidrográfica**

As constantes alterações de uso e ocupação do solo sem planejamento causam diversos impactos negativos ao meio ambiente que podem refletir no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, no regime das bacias hidrográficas. Neste sentido, a preocupação com a gestão dos recursos hídricos cresceu trazendo consigo o planejamento ambiental como peça chave para alcançar o equilíbrio entre as atividades antrópicas e a capacidade de recuperação do meio ambiente. Para Braga (2012), Tercini (2014), Davis ; Masten (2016), a dependência hídrica não se limita ao abastecimento humano, sendo esta a finalidade mais nobre, como também envolve os processos industriais, navegação, agricultura, pecuária, geração de energia, dissolução de resíduos, urbanização, entre outros. Por questões topográficas, os rios fazem papel de receptor da bacia, recebendo diferentes cargas que crescem à medida que a ocupação humana acontece,

aumentando a demanda de água com qualidade. Ou seja, é um ciclo de dependência que ainda não foi compreendido em sua totalidade pela humanidade.

Oliveira (2015) afirma que uma forma de estudar grandes bacias hidrográficas e com altas concentrações populacionais como a do rio Tietê é avaliar de forma integrada o conhecimento do ambiente, as características naturais (solo, água, bioma), o histórico da ocupação humana, parâmetros de interferências quanti-qualitativos, entre outros.

Uma evolução importante para a gestão de recursos hídricos aconteceu nos anos 90, no período em que a divisão territorial por bacias hidrográficas se consolidou e se mantém até os dias atuais. Donadio et al. (2005) explicaram que a adesão da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é internacionalmente aceita, não somente por representar uma unidade física com caracterização própria, mas também pela funcionalidade dos elementos que a compõe.

Para Cremonez (2014), a bacia hidrográfica é a principal ferramenta de análise e aplicação de medidas para o planejamento em áreas degradadas, uma vez que elas podem ser analisadas sob a ótica de um sistema ambiental aberto, no qual é possível verificar os fluxos de entrada e saída tanto de matéria quanto de energia. Na mesma perspectiva, Tricart (1977) já afirmava, na década de setenta, que o dinamismo presente nos sistemas faz com que se enquadre perfeitamente nas análises ambientais, oferecendo a visão holística e com isso fornecendo os conhecimentos básicos para a uma atuação eficaz. Ainda, ao considerar o ambiente como um sistema ambiental, pode-se estudá-lo a partir da Teoria Geral do Sistema proposta por Bertalanffy (2010), no qual os sistemas devem ser analisados globalmente, de forma a envolver todas as suas interdependências, ou seja, cada um dos elementos, ao serem reunidos, desenvolvem características que não se encontravam em seus componentes isolados.

A dinâmica sistêmica de uma bacia hidrográfica é diretamente alterada quando ocorrem interferências naturais ou antrópicas no solo, no clima e no relevo, fatores estes que refletem na quantidade e disponibilidade de água. Um exemplo de interferência antrópica que ocorre no estado de São Paulo e que altera a dinâmica hídrica é a presença de Usinas hidrelétricas em séries no rio Tietê.

A escolha das bacias como unidade de estudo foi a base para diversos trabalhos que utilizaram diferentes abordagens metodológicas (PEREIRA (2006); SANTOS (2009); LAMPARELLI (2014); OLIVEIRA (2015)). Neste sentido, o estudo de Lamparelli (2014) avaliou o grau de trofia de corpos de água do estado de São Paulo em 35 pontos amostrais em rios e 34 em reservatórios entre os anos de 1996 e 2001. Marques et al. (2007) relataram presença de pesticidas em cursos de água da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, da UGRHI 11, confrontante à UGRHI 6, que foi analisada no presente estudo. Pode ser observado a presença de

impactos negativos em algumas UGHRIs devido ao elevado nível de densidade demográfica e do grau de industrialização.

Marcon (2005) avaliou a efetividade da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, constatando problemas de escassez de água e elevado grau de degradação dos mananciais. Todos esses autores trabalharam na hipótese que o lançamento de efluentes sanitários sem tratamento nos mananciais é a principal causa de problemas de eutrofização nos reservatórios. Para tanto, elencaram as variáveis que interferem nos níveis de trofia como o oxigênio dissolvido, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e fósforo total.

Medidas mitigadoras como, por exemplo, cessar as fontes de poluição como o lançamento de efluentes sem tratamento, reflorestamentos de APPs e adição de cobertura vegetativa do solo ajudam a recuperar a vitalidade da superfície, melhorando as condições presentes, ao passo que a impermeabilização oriunda da urbanização remove a camada superficial, prejudicando as taxas de infiltração da bacia (TUCCI, 2006).

De acordo com Cunha et al. (2014), são informações representativas as propriedades geológicas e pedológicas pois afetam as concentrações naturais (*background*); e as atividades como consumo de água, construção de barragens, lançamento de efluentes e escoamento superficial que potencializam impactos no meio hídrico.

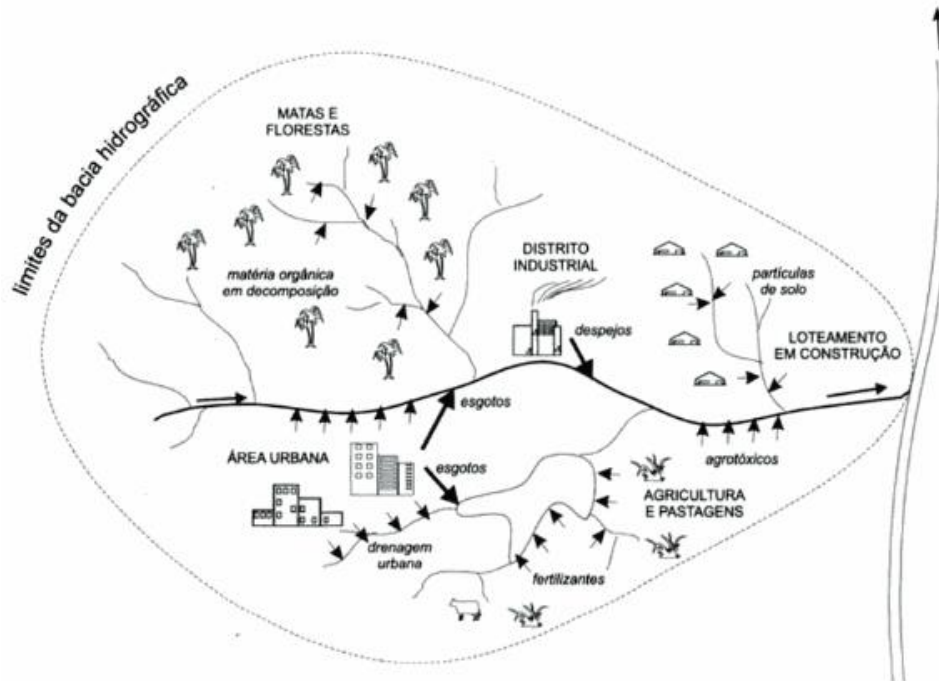
Os impactos ambientais mais comuns causados pelas atividades antrópicas dentro da bacia hidrográfica estão intimamente ligados à perda de solo devido às mudanças do uso e ocupação por diversas atividades, lançamentos de efluentes sem tratamento, ausência de matas ciliares, utilização demasiada de agrotóxicos, manejo do solo inadequado ou inexistente, destinação incorreta de resíduos sólidos, entre outros.

A ausência de planejamento das atividades rurais e urbanas desencadeia a descaracterização dos vales, encostas e leitos de cursos d'água, elevando a quantidade de erosões no solo, representando perda da camada fértil, causando o empobrecimento do solo e assoreando represas, além de carrear para as águas dos rios resíduos de adubos e outros elementos químicos (SANTOS, 2009). Outro aspecto ambiental é a remoção de vegetação e de gramíneas responsáveis por reduzir a velocidade de escoamento superficial, potencializando os efeitos deletérios sobre a qualidade da água e dos sedimentos. Corseuil (2006) afirma que as atividades variadas do uso e manejo do solo dentro da bacia hidrográfica causam alterações na superfície interferindo na capacidade de evapotranspiração da bacia, no aumento de vazões máximas e na diminuição das mínimas; além de gerar fontes pontuais e difusas de contaminação, conforme ilustra a Figura 11. A união de elementos como água, tipo de solo, clima, cobertura vegetal;



somados a fatores socioeconômicos como uso e ocupação, população e renda permitem analisar e avaliar as condições ambientais de uma região.

**Figura 11: Tipos de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica.**



**Fonte: VON SPERLING, 2014.**

Além disso, à medida que as cidades crescem desordenadamente, nota-se a ausência ou precariedade de serviços de saneamento básico, que conduzem a perdas de qualidade das águas superficiais e subterrâneas devido à falta de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), transporte de material sólido pelo escoamento pluvial e presença de ligações clandestinas de esgotos doméstico e industrial (TUCCI, 2006).

Assim, é importante que se realize um planejamento ambiental adequado para vislumbrar tais situações. Franco (2001) afirma que a somatória de fatores como multidisciplinariedade de profissionais, cruzamento de dados, levantamentos de informações de campo ao longo dos anos e o acesso a tecnologias são maneiras de pesquisar os meios que contribuirão no planejamento ambiental e, posteriormente, na ampliação de ações no sentido de melhorar a qualidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

### 3.4 Características dos reservatórios

Para estudar o comportamento de reservatórios é preciso conhecer seus mecanismos e suas características físicas, químicas e operacionais, que diferem dos meios aquáticos de formações naturais como rios e lagos. Neste tocante, Thornton et al. (1990), Caputo et al. (2008), Cunha et. al. (2014) realizaram diversos estudos para compreender a sistemática e interpretar os dados extraídos dos reservatórios ao redor do mundo. Na Tabela 1 pode-se observar as diferenciações básicas entre rios, reservatórios e lagos.

Para tanto, Cunha et. al. (2014) afirma que também são necessários levantamentos sobre as características geológicas, climáticas, topográficas, hidrológicas, morfométrias, e físico-químicas da água. Todas essas informações juntas contribuem na sistematização e avaliação da qualidade ambiental, de forma a gerar o instrumental necessário para a formulação de indicadores de monitoramento ambiental dos espaços urbanos e rurais (SCHUSSEL; NASCIMENTO, 2015).

**Tabela 1: Diferenciação entre as características básicas entre rios, reservatórios e lagos.**

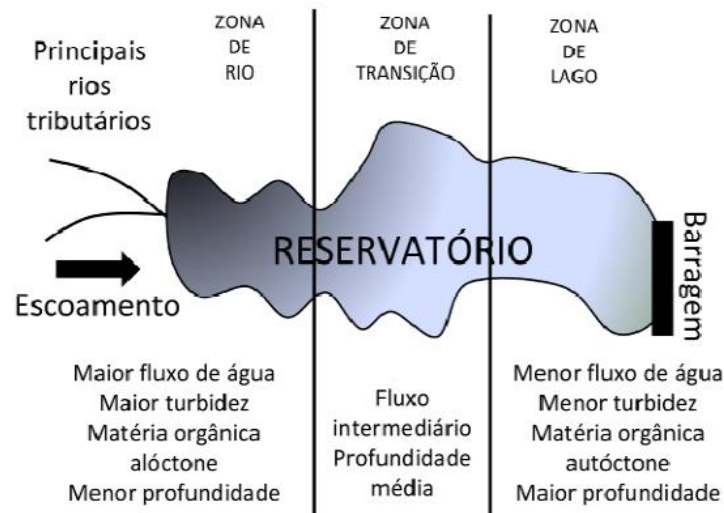
<b>Características</b>	<b>Rios</b>	<b>Reservatórios</b>	<b>Lagos</b>
Morfologia	Alongada	Intermediária	Circular/ovoide
Fluxo	Rápido e direcional	Intermediário	Lento e não direcional
Influência da bacia de drenagem	Muito grande	Intermediária	Menor
Aporte de material em suspensão	Elevado	Intermediário	Pequeno
Fonte de nutrientes*	Advecção	Advecção e reciclagem interna	Reciclagem interna
Mecanismo de perda de nutrientes*	Advecção	Advecção e sedimentação	Sedimentação
Fonte de matéria orgânica*	Predomínio alóctone	Alóctone e autóctone	Predomínio autóctone
Estrutura espacial	Gradientes longitudinais	Gradientes longitudinais e verticais	Gradientes verticais

**Fonte: THORNTON et al., 1990.**

Por existirem essas diferenças, o comportamento de um poluente em reservatórios artificiais será diferente e individualizado, por isso o levantamento de uso e ocupação do solo e propriedades físicas e químicas do solo e da água da região são de suma importância. Identificar as diferenças e interpretar os dados de cada área que abriga o reservatório auxiliam no aprimoramento das técnicas de monitoramento e das ferramentas de gestão de recursos hídricos. Dessa forma, Cunha e Calijuri (2012) propuseram um modelo de compartimentalização no eixo

longitudinal de reservatórios artificiais baseado nas vertentes de Thornton et al. (1990), dividindo a extensão entre os tributários e a barragem em três zonas chamadas de zona de rio, zona de transição e zona de lago. Em cada uma das zonas existem alterações de fluxo de água, profundidade, mecanismos de perdas de nutrientes e de turbidez, que são responsáveis por influenciar na dispersão de poluentes, conforme a Figura 12.

**Figura 12: Modelo de compartimentalização no eixo longitudinal de reservatórios artificiais.**



Fonte: Cunha & Calijuri, 2012.

O modelo de compartimentalização contribui na interpretação do comportamento de diferentes variáveis favorecendo a previsão do balanço de massa de reservatórios, que apesar de sofrerem constantes interferências do meio ambiente, possibilita a previsão dos compartimentos longitudinais. Neste tocante, os processos de acumulação, ciclagem e sedimentação das cargas orgânicas (nitrogênio e fósforo) podem ser entendidos e diagnosticados, favorecendo na remediação e processos de eutrofização (LAMPARELLI (2004); FIGUEIREDO, et al. (2007); TUNDISI & MATSUMARA-TUNDISI (2008)). Apesar de sua importância econômica, as UHE e o represamento de um ecossistema lótico tendem a produzir alterações bióticas e abióticas tanto a jusante quanto a montante do reservatório (SILVA, 2014). Neste tocante, Soares (2005) aponta que os usos irregulares ou ocupações inadequadas dos reservatórios e suas margens tem sido uma grande preocupação do setor elétrico devido aos problemas que podem causar à manutenção, à operação e à preservação de seus patrimônios, bem como à segurança das pessoas.

## **4. MATERIAIS**

Para a compreensão da dinâmica sistêmica da área de estudo, precisou-se de vários tipos de dados que foram buscados em diferentes bases e posteriormente comparados. No Brasil existem extensas bases de dados ambientais que englobam diversos estudos como os realizados em nível federal pela SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental que possui o SNIS – Sistema Nacional de informações sobre Saneamento, dados da ANA – Agência Nacional das Águas e IBGE com dados gerais. Em nível estadual destaca-se a base da CETESB que realiza monitoramento da qualidade hídrica, do solo e atmosférica; além de informações sobre os SES – Serviços de Esgotamento Sanitário e o DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica através do Banco de Dados Hidrológicos. Todas as bases citadas anteriormente foram utilizadas neste estudo.

### **4.1 Organização e Análise Exploratória dos dados**

A construção de um modelo objetivo pautou-se na entrada de dados organizados em quatro tipos de atributos de origens temporal, espacial, quantitativo e qualitativo. O atributo temporal foi definido pelo período de 30 anos de coleta de dados no intervalo entre 1986 a 2016, com o intuito de realizar a análise da heterogeneidade nos pontos escolhidos. Esta periodicidade deu-se pela disponibilidade de dados da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo criada em 1974 e operada até os dias atuais pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo).

O atributo espacial considerou como área principal de estudo o reservatório de Promissão/SP (UGRHI 16) no rio Tietê e como áreas secundárias elencou-se demais sub bacias (UGHRI 6 e 10), totalizando cinco pontos em três UGRHIs diferentes.

O atributo quantitativo definiu-se por dados da qualidade da água fornecidos pela CETESB compostos por análises de 22 parâmetros, com periodicidade de seis coletas/ano durante 30 anos, totalizando aproximadamente 440000 medições e por dados pluviométricos anuais cedidos pelo DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) referentes ao mesmo período com o objetivo de acompanhar a periodicidade do atributo temporal.

Já o atributo qualitativo relaciona-se com imagens dos satélites LandSat 5 e 8 do período de 1986 a 2016, juntamente com as fusões de imagens disponibilizadas pelo INPE as quais foram obtidas durante o ano de 2010 através do cruzamento de aproximadamente 400 representações

do estado de São Paulo. O uso dos recursos geoespaciais vem ao encontro da verificação das interferências da ocupação antrópica em cada reservatório analisado, ou seja, dos usos preponderantes do solo no decorrer das décadas.

A análise exploratória dos dados foi subsequente à organização dos mesmos por atributo, sendo possível aplicar técnicas gráficas para avaliar as principais características como sazonalidade, variações espaciais e temporais e estudo de tendências. Após plotar separadamente cada parâmetro no tempo e no espaço propostos, foram trabalhadas correlações de variáveis.

## 4.2 Dados avaliados

Os 22 parâmetros selecionados no estudo estão previstos na Resolução CONAMA nº 357/2005 atualizada em 2011 pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Como todos os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela CETESB, a listagem dos parâmetros é padronizada pelas resoluções do referido órgão, a saber: alumínio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), cádmio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), chumbo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), cobre total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), crômio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), cor verdadeira ( $\text{Pt L}^{-1}$ ), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Escherichia Coli. ( $\text{UFC100mL}^{-1}$ ), ferro total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), manganês total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), mercúrio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), níquel total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrogênio-nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Oxigênio Dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ), potássio ( $\text{mg L}^{-1}$ ), pH (U.pH), turbidez (UNT), zinco total ( $\text{mg L}^{-1}$ ), temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A CETESB identifica os pontos de monitoramento através de códigos com informações sobre os rios, mas para facilitar este estudo definiu-se a nomenclatura dos pontos de 1 a 5, acompanhando o sentido corrente do rio Tietê. A descrição, localização e nomeação dos pontos de coleta estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Pontos de análises.**

PONTOS	CÓDIGO CETESB	UGRHI	RESERVATÓRIO	DESCRIÇÃO
1	TIET 02050	UGRHI 6 - Alto Tietê	Biritiba – Mirim (a)	Primeiro ponto de antes de São Paulo
2	TIPI 04900	UGRHI 6 - Alto Tietê	Barragem de Pirapora de Bom Jesus (b)	Após cruzar São Paulo
3	TIBB 02900	UGRHI 10 - Sorocaba e Médio Tietê	Reservatório de Barra Bonita (c)	Rio Tietê – Margem Direita

4	TIET 02600	UGRHI 16 - Tiete Batalha	Próximo à UHE de Ibitinga (d)	Rio Tietê - Margem Direita
5	TIPR 02400	UGRHI 16 - Tiete Batalha	Rio Tietê, próximo a Pongai (e)	Ponte na rodovia SP-333- Pongai-Borborema

Complementando os atributos quantitativos, os dados históricos pluviométricos (mm/mês) das três bacias foram disponibilizados pelo DAEE, através do SIBH - Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas, no qual os pontos que estão dentro da área em estudo foram definidos pelo órgão e possuem nomenclaturas específicas. As informações da Tabela 2 e a localização dos pontos pluviométricos podem ser observados na Figura 13.

**Figura 13: Localização dos pontos de monitoramento físico químicos e pluviométricos descritos na Tabela 2.**

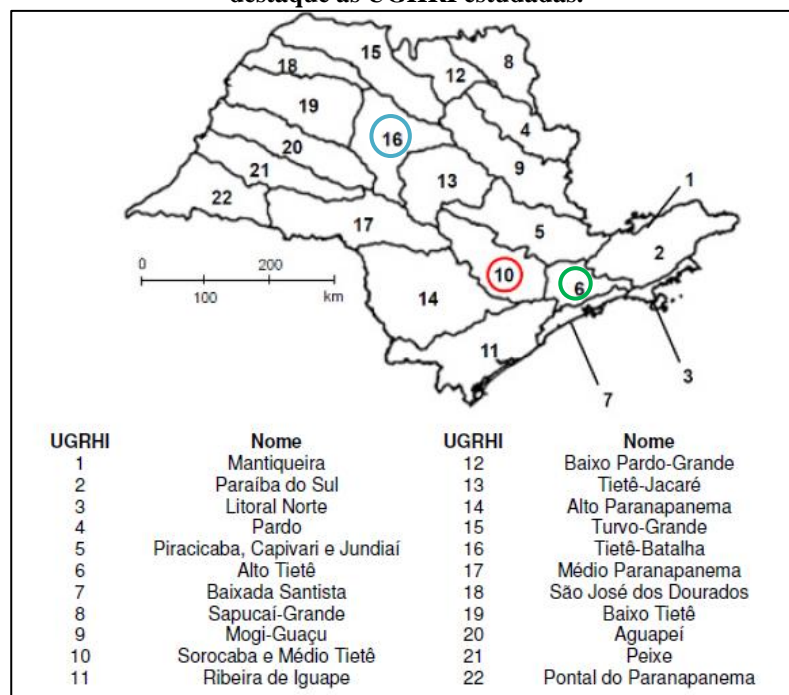


### 4.3 Área de estudo

O território do estado de São Paulo é dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) com classificações específicas de cada bacia de acordo com a forma de uso e ocupação do solo. A primeira sub bacia do estudo é a Tietê Batalha (UGRHI 16), que

situa-se no centro do Estado de São Paulo, a segunda é do Sorocaba e Médio Tietê (UGHRI 10) próxima à capital do estado e a terceira é a sub bacia do Alto Tietê (UGRHI 6), antes do rio Tietê atravessar São Paulo (Figura 14). A escolha da bacia 6 foi para verificar as características iniciais do rio Tietê, pois abriga pontos na nascente e após passar a RMSP. Já a bacia 10 foi para estudar, no decorrer da trajetória, qual seria a resposta do rio as cargas poluidoras. A bacia 5 foi cogitada, mas levantamentos prévios constataram que o banco de dados disponível estava mais completo na 10, além de possuir as características semelhantes à 6, tornado a análise redundante.

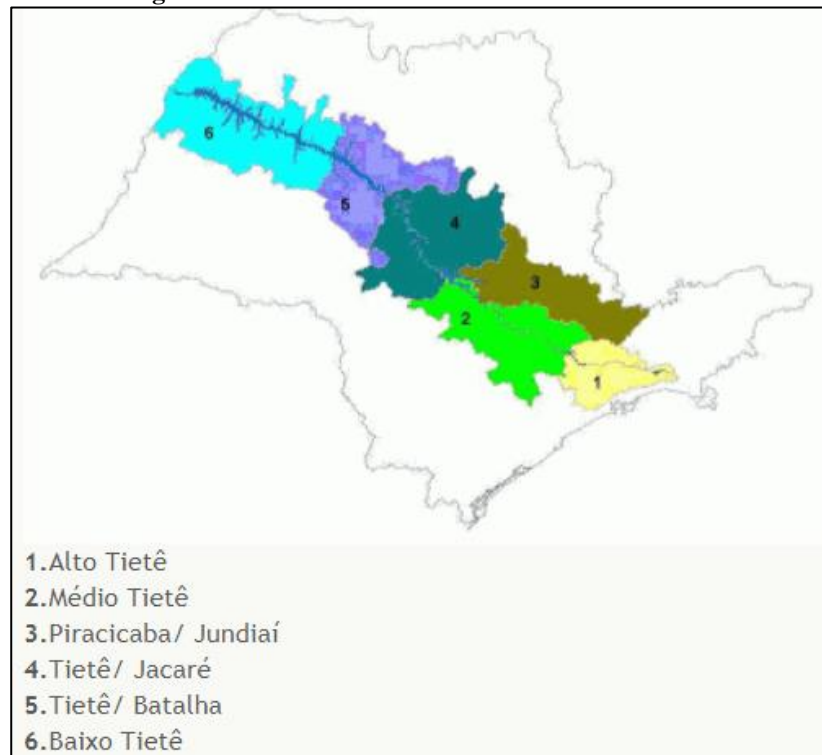
**Figura 14: Divisões das Unidades de Gerenciamento de Recursos hídricos no estado de São Paulo. Em destaque as UGHRI estudadas.**



Fonte: SIGRH, 2012.

A bacia do Rio Tietê é uma unidade hidrográfica da Bacia do Rio Paraná, composta por seis sub bacias: Alto Tietê, onde está inserida a Região Metropolitana de São Paulo; Piracicaba, Capivari e Jundiáí; Sorocaba/Médio Tietê; Tietê/Jacaré; Tietê/Batalha e Baixo Tietê, conforme Figura 15.

**Figura 15: Bacia do Rio Tietê e suas seis sub bacias.**



**Fonte: ANA, 2011.**

A UGHRI 16 é o foco do estudo e abriga dois pontos de monitoramentos de qualidade da água que foram utilizados via comparação com os dados pluviométricos. As UGRHIs 6 e 10 deve-se ao teste de hipótese quanto ao nível de contribuição da carga orgânica proveniente da grande São Paulo nos reservatórios do interior do estado, pois localizam-se a montante (UGHRI 6) e a jusante (UGHRI 10) da capital.

De acordo com o DAEE (2015), o rio Tietê têm sua nascente em Salesópolis/SP a 22 km do oceano Atlântico, possui seu fluxo no sentido contrário ao oceano devido aos picos rochosos da Serra do Mar, seguindo para a região metropolitana de São Paulo e posteriormente para o interior do estado, cruzando aproximadamente 1100 km até a foz no rio Paraná, conforme ilustra a Figura 16.



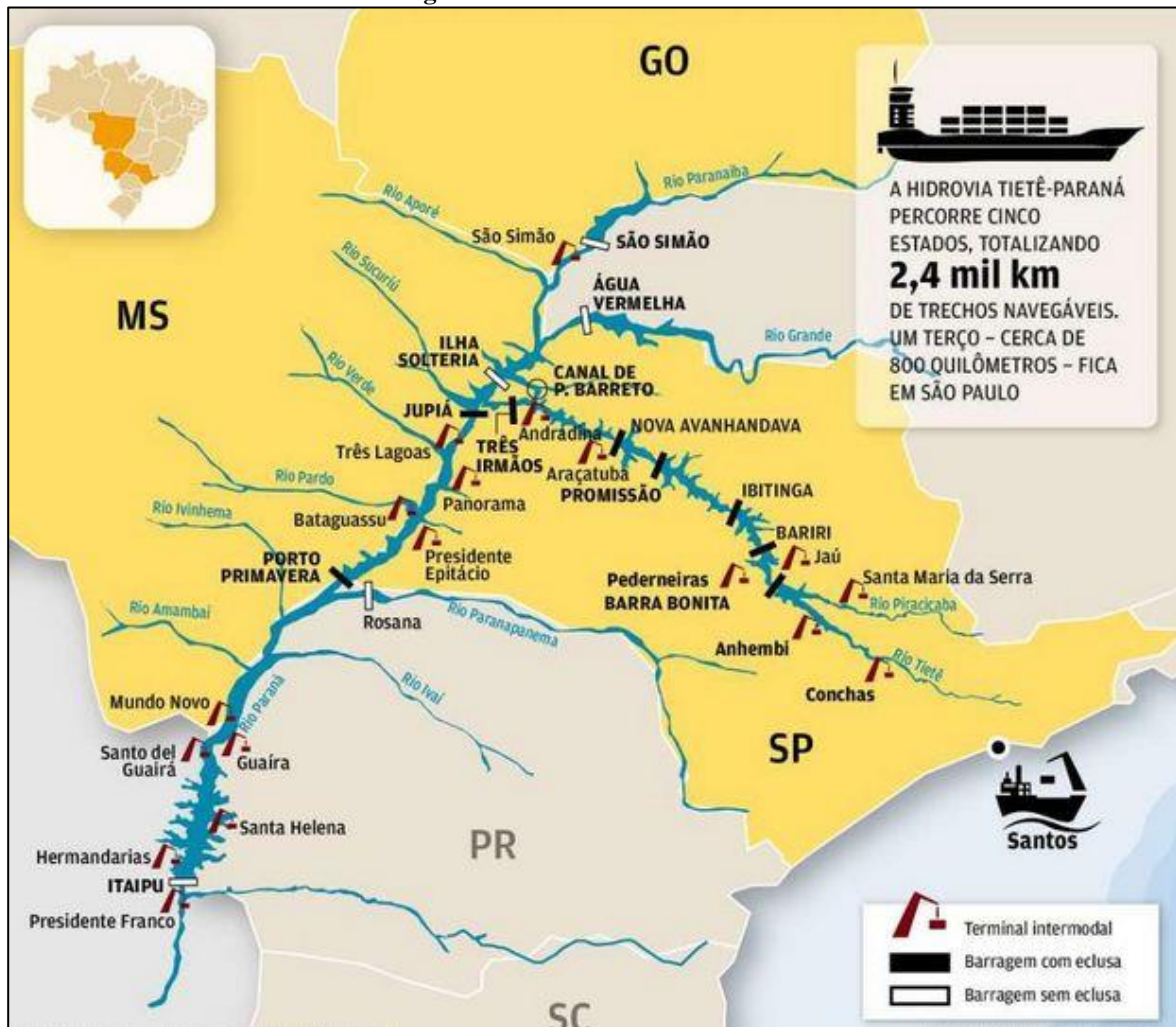
**Figura 16: Rio Tietê - São Paulo.**

**Fonte: SIGRH, 2012.**

Por atravessar praticamente todo estado de São Paulo, o rio Tietê recebe grandes volumes de cargas poluidoras das diversas atividades desenvolvidas no seu entorno, é muito utilizado para escoamento de grãos através da hidrovía Tietê-Paraná e possui várias barragens construídas com o intuito de aproveitar seu potencial hidrelétrico, conforme Figura 17.

O gerenciamento hídrico em toda a bacia do Rio Tietê é essencial para garantir a conservação e melhoria da qualidade da água nos reservatórios pois abriga a maior população entre as Regiões Hidrográficas do Estado, sendo a maior geradora de efluente doméstico, com valor de 1.651.417 kg DBO/dia, segundo Relatório da Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo (2015).

Figura 17: Hidrovia Tietê-Paraná.



Fonte: Departamento Hidroviário, Governo do Estado (2013).

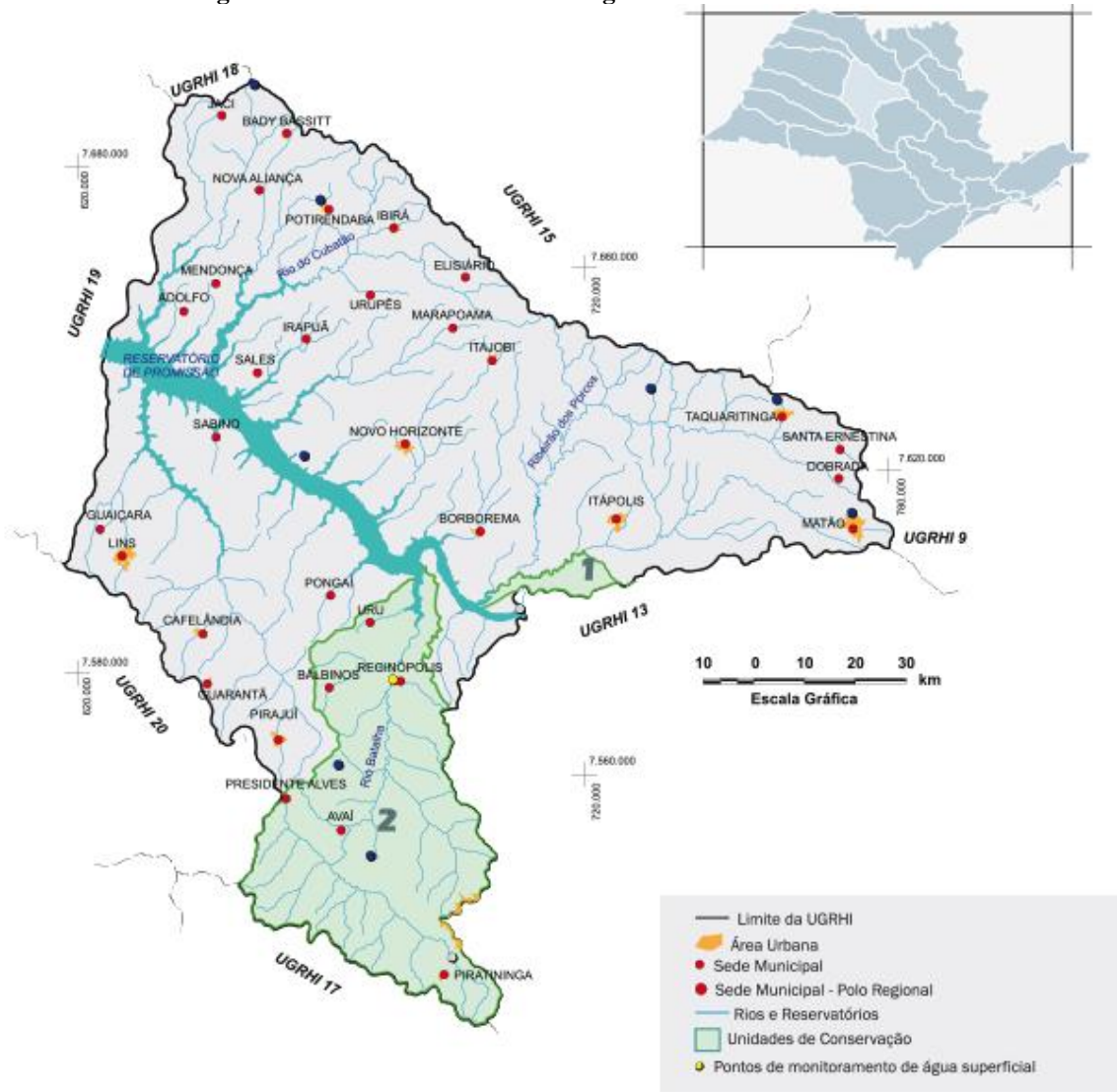
Por se tratar de um sistema cascata de UHE e possuir grandes reservatórios, a operação para geração da eletricidade pode alterar toda a dinâmica fluvial natural de um curso d'água, trazendo complexidade na compreensão destas interferências na gestão hídrica. A vazão do rio Tietê é muito grande, mas a renovação de água desses afluentes é lenta, favorecendo o surgimento de remansos que favorecem o processo de eutrofização.

#### 4.3.1 Bacia Tietê Batalha (UGHRI 16)

A bacia do Tietê Batalha é identificada como UGRHI 16 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos), o qual agrega 36 municípios e concentra 1,3% da população total do Estado de São Paulo (CARDOSO, 2014). Segundo o Relatório de situação dos Recursos Hídricos do estado de São Paulo (SIRGH, 2016), a sub bacia Tietê Batalha ocupa área de 13.149 km<sup>2</sup> e

disponibiliza água de ótima qualidade e em quantidade abundante para o estado, fatores que favorecem altos investimentos na sua extensão. A Figura 18 apresenta os limites da bacia Tietê Batalha.

**Figura 18: UGRHI 16 – Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha.**



**Fonte: SIGRH, 2015.**

As principais cidades localizadas na UGRHI são: Matão, Lins, Taquaritinga, Itápolis e Novo Horizonte. Dois pontos fortes do trecho estudado são a Hidrovia Tietê Paraná e a malha ferroviária que são utilizadas tanto para transportar minérios e combustíveis quanto cargas em geral. Destaca-se também a passagem do gasoduto Brasil Bolívia que introduziu o gás natural como combustível industrial, comercial e residencial em vasta área do interior, ampliando as fontes energéticas no estado e aumentando a possibilidade de construção de usinas termelétricas.

Os cursos d'água que se sobressaem na região são os rios Tietê, que já se encontra com qualidade superior ao trecho que corta a grande São Paulo, Batalha, Dourado, rio dos Porcos e Ribeirão Barra Mansa (CBH TIETÊ BATALHA, 2015). A grande disponibilidade de recursos hídricos faz com que a região seja desenvolvida no âmbito do lazer, pesca e da atividade de piscicultura. O IQA medido em 9 pontos de amostragens pela CETESB apontaram classificação de boa qualidade em 67% e ótima em 33% (CETESB, 2016).





















Já em relação as características geológicas, de acordo com levantamento realizado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê Batalha (2015), as características dos sítios rochosos da região são de rochas sedimentares e vulcânicas, situados em uma fração transitória entre a formação da Serra Geral (basaltos) e Formação Adamantina (arenitos).

A composição da litologia é basicamente de arenitos e argilitos com latossolo vermelho amarelo com distribuição generalizada, além de frações com podzólico vermelho amarelo, características essas que classificam a área como de alta susceptibilidade aos processos erosivos (CBH TIETÊ BATALHA, 2015).

A UGHRI 16 abriga uma importante Usina Hidrelétrica que faz parte do sistema cascata do rio Tietê, a UHE Mário Lopez Leão, situada em Promissão /SP, que contribui na regulação dos demais reservatórios, tendo seu nível oscilado em até 3m durante o ano. O reservatório de Promissão possui 530 km<sup>2</sup> de área, volume útil de 2.128 hm<sup>3</sup> e opera com uma cota mínima de 379,7 m e uma cota máxima de 384,0 m (AES Tietê, 2012).

Em relação aos dados de cobertura de saneamento levantados pelo DAEE (2017), a UGRHI 16 apresentou uma boa situação no geral, com melhora na porcentagem de tratamento de esgoto de 2015 com 92,3% em relação à 2014, com 75,6 %, passando da classificação de regular para bom (Figura 19).

**Figura 19: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 16.**

Saneamento básico - Abastecimento de água						
Parâmetros	2010	2011	2012	2013	2014	Síntese da Situação e Orientações para gestão
Índice de atendimento de águas (%)	 93,4	 94,2	 94,1	 94,8	 94,2	Não existem dados 2015 para o indicador. Segundo informações do SNIS 2014, foram avaliados 27 municípios da UGRHI, os quais o índice médio de atendimento de água foi classificado como "bom"; contudo o índice 94,2% encontra-se abaixo da média estadual. Dos municípios avaliados, 17 tem índice "bom" (≥ 90%) de atendimento e 10 apresentam índice "regular" (≥ 50% e < 90%). Necessidade de avaliar a prestação de serviços públicos de abastecimento nos 6 municípios, para os quais não constam dados. A meta é melhorar os atuais índices de saneamento.
Saneamento básico - Esgotamento sanitário						
	2011	2012	2013	2014	2015	Síntese da Situação e Orientações para gestão
Esgoto coletado * (%)	 94,0	 96,7	 96,5	 96,3	 98,7	De forma geral, os indicadores de coleta e tratamento de esgoto na UGRHI apresentam-se acima da média estadual; contudo devem ser melhoradas estas condições. Com enquadramento "bom", os sistemas de saneamento na UGRHI chegam à 98,7% de coleta e 92,3% de tratamento do esgoto coletado. A notável melhora na tratabilidade se deve à busca de recursos financeiros em outras fontes, que possibilitou a implantação de novos sistemas de tratamento. Apesar do aumento na eficiência nos sistemas de tratamento, o índice permanece classificado como "regular" para a redução de carga orgânica, haja visto a carga poluidora remanescente de 5.914 kgDBO/dia. A entrada em operação das ETEs de Cafelândia (em obras) e Reginópolis deve promover imediata elevação do índice de tratamento e consequente redução da carga poluidora lançada nos corpos d'água.
Esgoto tratado * (%)	 73,0	 74	 73,9	 75,6	 92,3	
Eficiência do sistema de esgotamento * (%)	 63,0	 63,5	 63,3	 62,0	 78,1	
Esgoto remanescente * (kg DBO/dia)	9.354	9.321	9.746	10.163	5.914	

Faixas de referência para os parâmetros:	
<b>Índice de atendimento de água</b>	
<b>Esgoto coletado</b>	
<b>Esgoto tratado</b>	
<b>Resíduo sólido urbano disposto em aterro enquadrado como Adequado</b>	
< 50%	Ruim
≥ 50% e < 90%	Regular
≥ 90%	Bom
<b>Eficiência do sistema de esgotamento</b>	
< 50%	Ruim
≥ 50% e < 80%	Regular
≥ 80%	Bom

Fonte: DAEE, 2017.

Outra característica da bacia é a oferta de recursos minerais como argila, areia, cascalho e brita, todas matérias primas para a construção civil, encontradas nas planícies aluviais dos principais cursos d'água em grande parte cobertas pelo reservatório da barragem de Promissão (CBH TIETÊ BATALHA, 2015).

O regime térmico possui características tropicais e subtropicais, com inverno seco e frio e verão quente, úmido e com elevados índices pluviométricos.

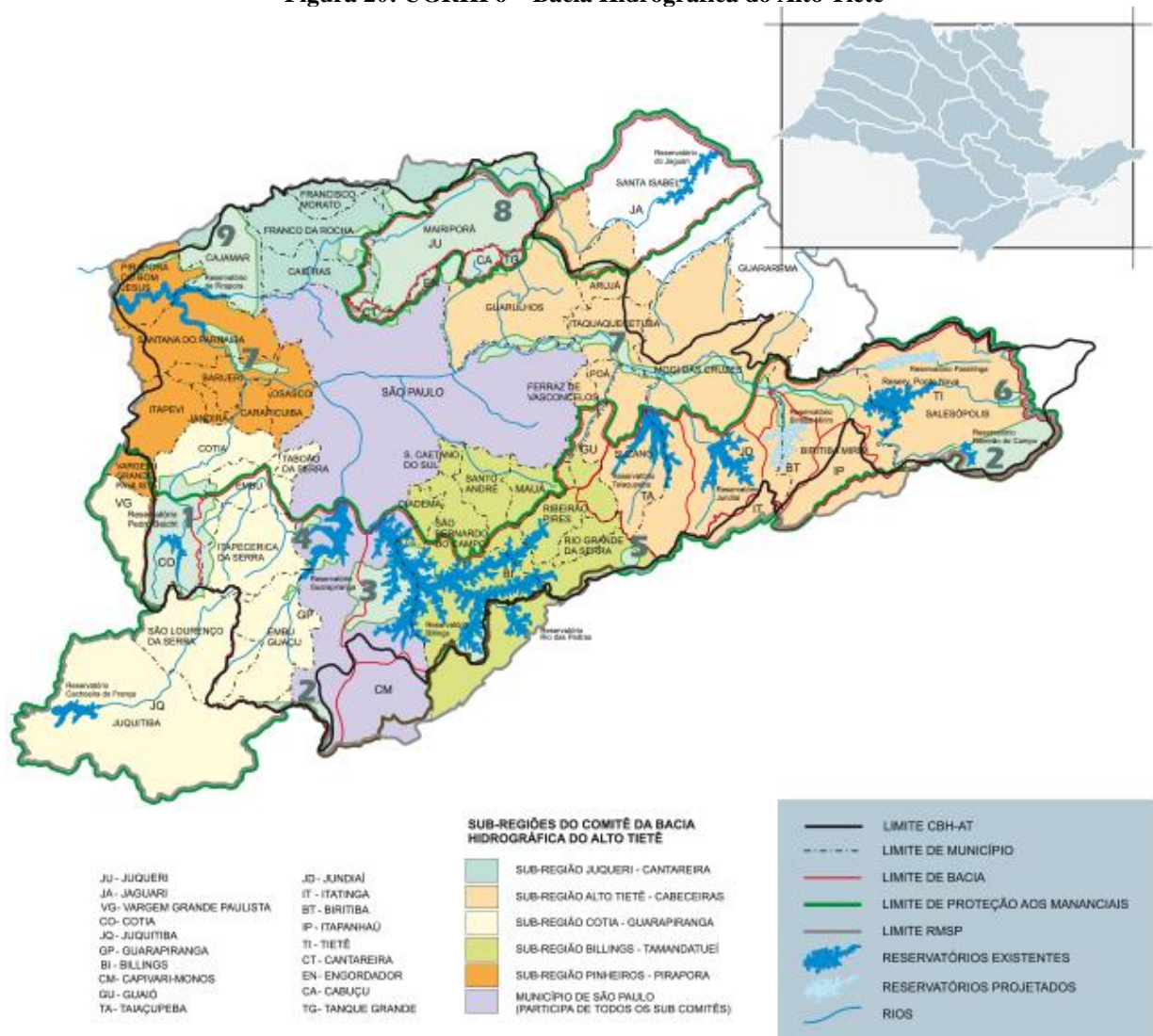
Os principais usos e ocupações do solo são de atividades urbanas, industriais e agroindustriais. Os municípios são de pequeno e médio porte, com indústrias nas áreas de produtos alimentícios como frigoríficos e laticínios, produção de matéria prima como usinas de açúcar e álcool e curtumes. Nas áreas rurais há cultivo de culturas que alimentam as indústrias como cana de açúcar, laranja, extração de areia, além de criação de bovinos (CARDOSO, 2014).

#### **4.3.2 Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGHRI 6)**

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê compreende a parte superior do rio Tietê, delimitada por uma área de drenagem desde suas nascentes, na divisa dos municípios de Salesópolis e Paraibuna, seguindo a direção geral leste - oeste até atingir a Barragem de Rasgão, em Pirapora do Bom Jesus, perfazendo uma área de drenagem de 5.868 km<sup>2</sup> (Figura 20). De acordo com os dados da SEDAE (2016), possui 20.404.925 hab., distribuídos em 99% na área urbana e 1% na rural.

Extremamente desenvolvida, a região é o maior polo econômico do país, sendo responsável por gerar 15% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. A metrópole de São Paulo centraliza a sede dos mais importantes complexos industriais, comerciais e financeiros que controlam grande parte das atividades econômicas do País, além de possuir setor de transporte, de serviços técnicos às empresas, de saúde e de telecomunicações abrangentes. A Figura 2<sup>o</sup> mostra os limites da bacia hidrográfica do Alto Tietê, além das demais sub bacias e dos limites do município de São Paulo.

Figura 20: UGRHI 6 – Bacia Hidrográfica do Alto Tietê



Fonte: SIGRH, 2015.

A Figura 21 apresenta a síntese e classificação dos dados sobre a evolução do saneamento na bacia durante os anos de 2012 a 2016; e aponta bom índice em abastecimento urbano de água mas ruim em percentagem de eficiência de sistema de esgotamento em todos os anos apresentados.

Figura 21: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 06.

Saneamento básico - Abastecimento de água					
Parâmetros	2012	2013	2014	2015	2016
Índice de atendimento urbano de água (%)	99,3	99,1	99,2	97,2	99,3
Saneamento básico - Esgotamento sanitário					
	2013	2014	2015	2016	2017
Esgoto coletado * (%)	88,5	88,6	88,8	83,2	84,1
Esgoto tratado * (%)	53,8	52,7	53,4	52,0	53,1
Eficiência do sistema de esgotamento * (%)	42,5	46,7	48,1	43,5	46,2
Esgoto remanescente * (kg DBO/dia)	633.254	591.173	579.084	635.868	609.818
Saneamento básico - Manejo de resíduos sólidos					
	2013	2014	2015	2016	2017
Resíduo sólido urbano disposto em aterro enquadrado como Adequado (%) **	100,0	100,0	96,2	98,9	98,8

Faixas de referência:	
<b>Índice de atendimento urbano de água</b>	
< 80%	Ruim
≥ 80% e < 95%	Regular
≥ 95%	Bom
<b>Esgoto coletado</b>	
<b>Esgoto tratado</b>	
<b>Resíduo sólido urbano disposto em aterro enquadrado como Adequado</b>	
< 50%	Ruim
≥ 50% e < 80%	Regular
≥ 90%	Bom
<b>Eficiência do sistema de esgotamento</b>	
< 50%	Ruim
≥ 50% e < 80%	Regular
≥ 80%	Bom

Fonte: DAEE, 2017.

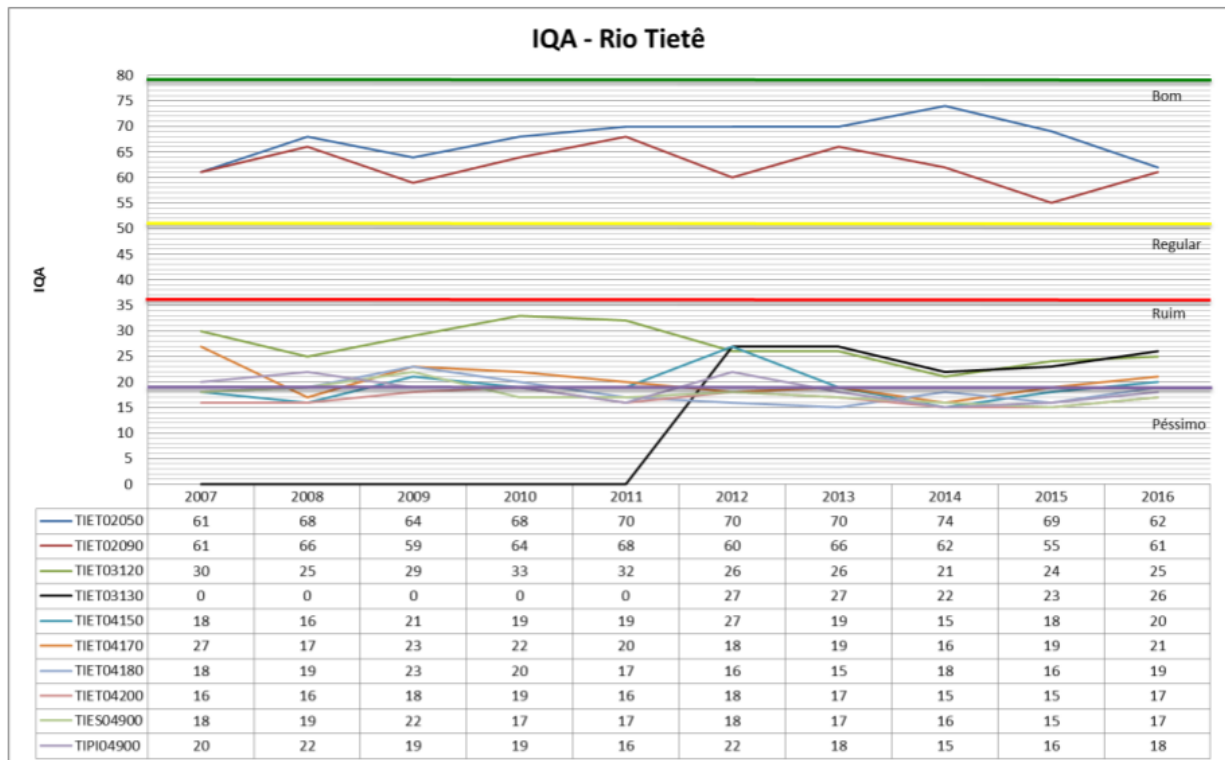
Como cobertura vegetal, a região apresenta 1.773 km<sup>2</sup> de vegetação natural remanescente, correspondendo a 30% da área da UGRHI, sendo a Floresta Ombrófila Densa a de maior ocorrência. A sub bacia possui várias áreas de proteção ecológica como parques ecológicos, parques estaduais como o da Cantareira e da Serra do mar, além de reservas biológicas (SIRGH, 2016).

A evolução dos dados históricos do rio Tietê nos trechos que pertencem a sub bacia 6 pode ser verificada na Figura 22. Nota-se que as regiões a montante das bacias hidrográficas dos



rios afluentes ao Tietê apresentam melhor qualidade em relação às regiões à jusante das mesmas bacias. O mesmo pode ser observado com a qualidade do próprio Rio Tietê que é o principal corpo receptor de lançamentos de esgotos de variadas fontes. Infere-se que apenas os dois pontos que se localizam na região Alto Tietê-Cabeceiras na porção inicial do rio têm resultados classificados como ‘Bom’. Já os dois próximos pontos no sentido montante-jusante apresentam resultados classificados como ‘Ruim’ e os demais pontos apresentaram resultados classificados predominantemente como ‘Péssimo’, mostrando a precariedade do saneamento básico na região metropolitana (FABHAT, 2017).

**Figura 22: Histórico da qualidade da água monitorados pelo Comitê da bacia do Alto Tietê entre os anos de 2007 a 2016.**



Fonte: FABHAT, 2017.

#### 4.3.3 Bacia hidrográfica do Sorocaba e médio Tietê (UGHRI 10)

De acordo com o Coordenadoria de Recursos Hídricos (CORHI, 2004), a UGRHI 10 – Sorocaba/Médio Tietê compreende diversas bacias hidrográficas que desaguam no rio Tietê, iniciando na barragem de Rasgão e se estendendo até a barragem de Barra Bonita, somando uma área de drenagem de 11829 km<sup>2</sup> (Figura 23). Entre os quinze rios que a compõem, destaca-se o



Segundo levantamento realizado pela SIGHI (2016), a situação geral da qualidade dos recursos da bacia encontra-se com índices de Qualidade de Água para Fins de Abastecimento Público - IAP e Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática – IVA com classificação Ruim, sendo 50% no IAP e 57% no IVA.

A síntese do saneamento básico dos anos de 2013 a 2017 apresentou pequeno aumento na porcentagem de esgoto tratado de 73,8 para 75,4% e na eficiência do sistema de esgotamento de 62,6 para 65,8% (Figura 24).

**Figura 24: Síntese dos dados de Saneamento da UGRHI 10.**

<b>Saneamento básico - Esgotamento sanitário</b>					
	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Esgoto coletado * (%)</b>	86,8	88,0	89,0	86,4	87,6
<b>Esgoto tratado * (%)</b>	73,8	75,1	75,5	73,8	75,4
<b>Eficiência do sistema de esgotamento * (%)</b>	62,6	65,5	64,8	64,6	65,8
<b>Esgoto remanescente * (kg DBO/dia)</b>	35.474	32.964	34.090	34.846	34.026

Fonte: DAEE, 2017.

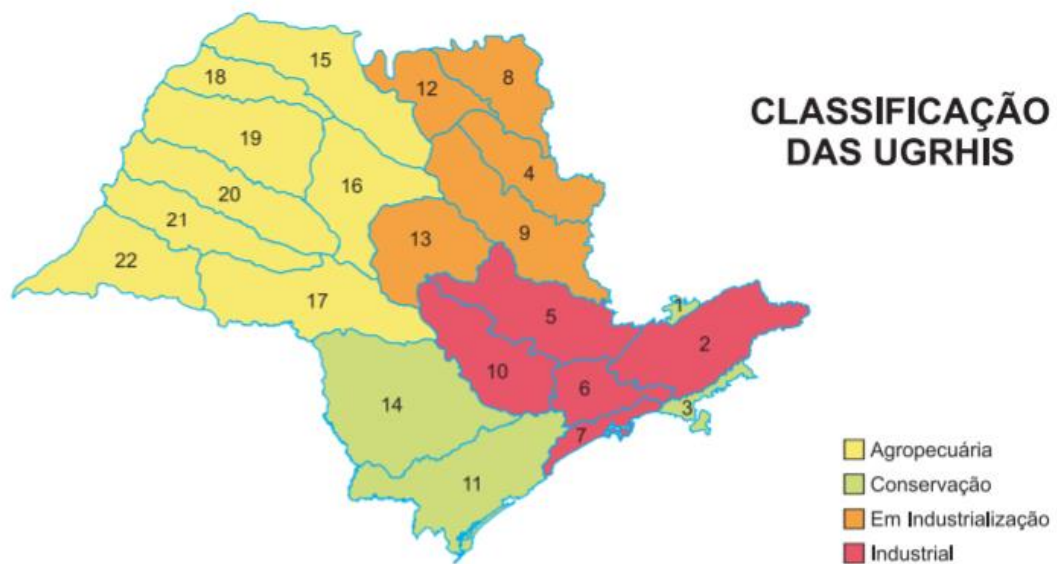
#### 4.3.4 Levantamento do uso e ocupação via SIG

O mapeamento do uso do solo mediante técnicas de análises espaciais é muito utilizado e tornou-se um processo eficiente para estudos dos fenômenos naturais nas mais variadas escalas.

Este trabalho fez a delimitação da microbacia do rio Tietê no Sistema de Informação Geográfica (SIG) tendo como base as imagens de satélites de 1980, 1986, 1993, 2000, 2007 e 2014 cedidas pelo INPE. Esta ferramenta possibilitou a elaboração de mosaicos das imagens das bandas de satélites processadas contendo a hidrografia, as curvas de nível da área, a declividade e tipos de uso e ocupação do solo, que serão apresentadas no item 6.3.

Analisou-se conjuntamente as classificações das UGRHIS obtidas por levantamentos da CETESB segundo os usos preponderantes do solo (conservação, industrial e em industrialização) e respectivos dados de área territorial e densidade populacional, conforme Figura 25.

**Figura 25: Classificações das 22 UGRHIS de acordo com os usos preponderantes do solo.**



Fonte: CETESB, 2016.

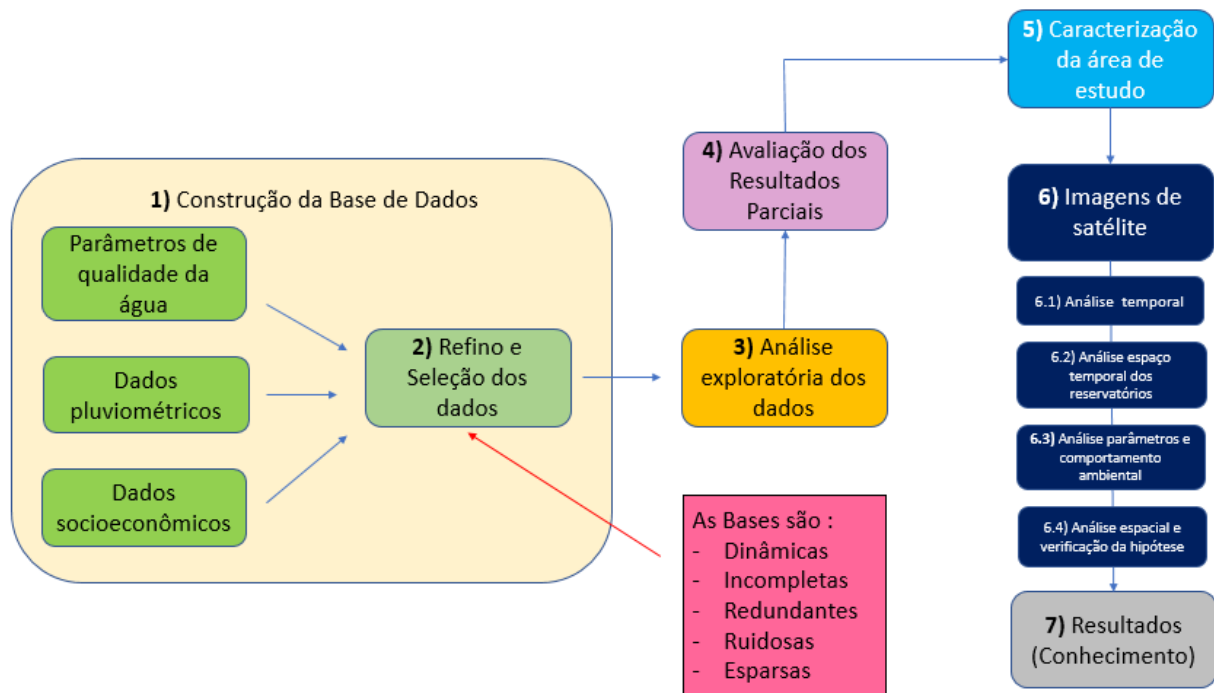
## 5. MÉTODO

A elaboração do método de estudo foi dividida em etapas devido ao volume de dados trabalhados. A etapa 1 denominou-se construção da base de dados a qual constituiu-se da escolha dos reservatórios, dos pontos e dos tipos de dados trabalhados para que os resultados oferecessem informações relevantes na análise. Para tanto, foram levantadas informações de qualidade da água em suas concentrações médias, pluviometria anual, hidrografia, geologia, crescimento populacional, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo de cada ponto selecionado em suas respectivas bacias hidrográficas.

A etapa 2 foi o refino e seleção dos dados que melhor atenderiam aos objetivos, filtrados por disponibilidade e continuidade perante a temporalidade proposta. Na etapa 3 realizou-se a análise exploratória dos dados (físico químicos, pluviométricos e socioeconômicos) e a produção gráfica de tendências temporais, o que pôde dar sequência na etapa 4, com a avaliação dos resultados parciais tanto numéricos quanto de tendência. Com esses levantamentos prontos, seguiu-se a etapa 5 que teve como finalidade buscar, através da caracterização da área de estudo, explicações para as concentrações de alguns parâmetros que chamaram a atenção pelos seus comportamentos ao longo do tempo e que influenciavam na hipótese levantada.

Na etapa 6 realizou-se as análises das tendências espaciais através das imagens de satélites processadas em software, comparando-as com os valores de qualidade hídrica encontrados na área foco do estudo durante as três décadas; verificando se as mesmas coincidiram com a caracterização da bacia (etapa 5). Por fim, a etapa 7 reuniu todas as informações relevantes dos levantamentos e análises anteriores afim de explicar o comportamento dos reservatórios e a relação com a eutrofização na UGHRI 16. O fluxograma da Figura 26 detalha as etapas do processo.

Figura 26: Fluxograma do método adotado.



A realização das análises temporal e espacial neste estudo foram complementadas com a análise quantitativa dos reservatórios e tiveram seu fundamento galgado nos trabalhos de Lamparelli (2004) e Calijuri et al. (2008), entre outros citados nas referências, que realizaram essas análises com dados de qualidade da água e pluviometria em UGRHIs do estado de São Paulo por meio do cálculo de concentrações médias e verificaram a existência de diferenças estatísticas entre os resultados dos monitoramentos em diferentes períodos. Outros estudos que contribuíram na elaboração do método foram Groppo (2005), Tercini (2014), Oliveira (2015), que não deixaram de analisar historicamente demais reservatórios pois, assim como este estudo, consideraram a espacialidade um fator importante ambientalmente.

Adotou-se o uso de ferramentas de exploração de banco de dados e *softwares* com base no estudo realizado por Berthold et al., (2013), considerando a temporalidade de 30 anos na tentativa identificar e levantar as fontes de possíveis impactos ambientais sucedidos na área de estudo e quais deles interferem na qualidade ambiental da região.

## 6. RESULTADOS

Todas as análises apresentadas neste capítulo se restringem às contribuições referentes às três sub bacias discutidas neste estudo, uma vez que existem 22 no estado de São Paulo. Dessa forma, a apresentação dos resultados foi organizada em três itens: análise de tendências dos parâmetros da área de interesse (reservatório de Promissão), análises das tendências temporais e análise das tendências espaciais. As mesmas serão apresentadas acompanhando a linha de raciocínio utilizada para a elaboração do método de pesquisa. Para tanto, foram avaliados aproximadamente 440.000 dados via data mining no período entre 1989 a 2016 referentes aos 5 pontos de monitoramento de qualidade da água.

### 6.1 Análise das tendências dos parâmetros

As análises desse capítulo foram subdivididas por parâmetro e em cada item contém apreciações no âmbito da temporalidade e da espacialidade. A análise no âmbito temporal iniciou-se a partir do refino e seleção dos dados, que deram início a exploração dos mesmos através da elaboração dos gráficos (parâmetro x anos) com as informações a priori do reservatório de Promissão (ponto 5), contendo as concentrações médias dos parâmetros ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos (azul) e o respectivo valor orientador da resolução CONAMA 357/05 (vermelho), que também apresenta as classificações dos corpos hídricos. A referida resolução possui somente quatorze anos, mas foi aplicada em toda a temporalidade deste estudo. A classificação do corpo hídrico no ponto 5 é classe 2.

Avaliou-se também os níveis de não conformidade com o enquadramento legal no decorrer dos 30 anos. Os elementos que apresentaram inconformidade legal neste período foram alumínio, cádmio, chumbo, condutividade, ferro total, fósforo total, mercúrio, níquel e clorofila – a. Os gráficos dos demais parâmetros que estavam enquadrados na legislação encontram-se no Apêndice II.

Após a análise temporal do reservatório de Promissão, realizou-se a análise espacial de cada parâmetro por ponto, ou seja, a verificação da variação dos parâmetros nos 5 reservatórios (TIPI 02050, TIET 04900, TIET 02600, TIBB 02900, TIPR 02400) ao longo das três décadas.

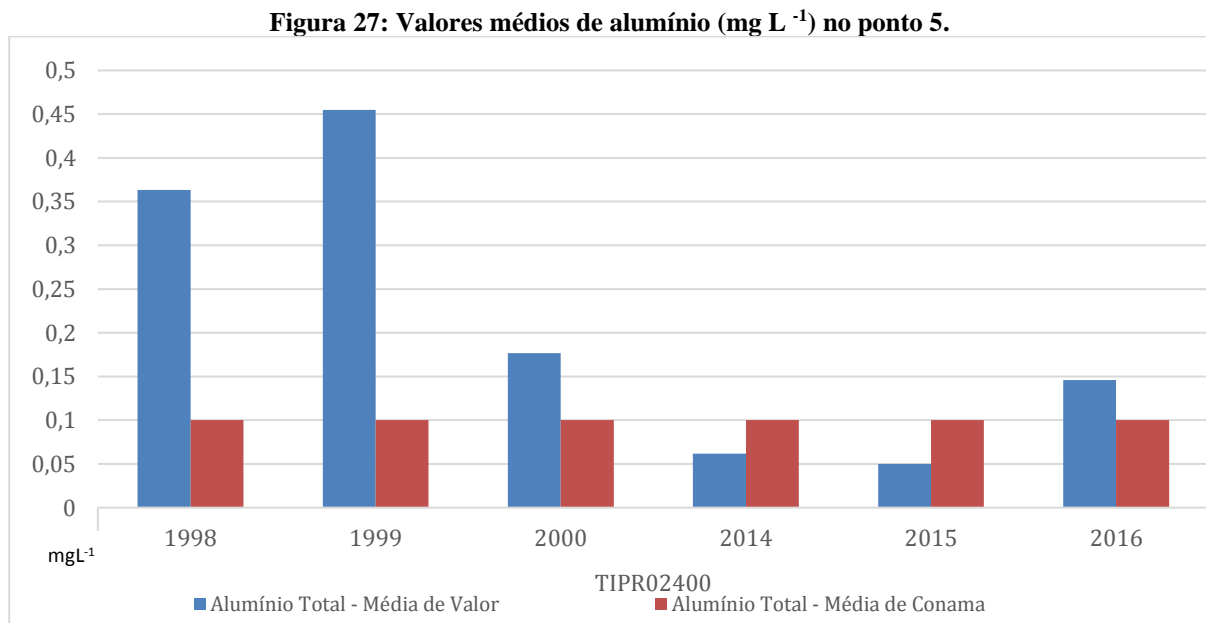
Os gráficos apresentados exprimem as tendências dos dados e não os valores absolutos, pois em alguns parâmetros não houveram a continuidade das amostragens.

### 6.1.1 Alumínio

A região estudada possui formações rochosas constituídas por óxidos de alumínio, alta susceptibilidade à erosão, além de possuir vocação agrícola, somando fatores que colaboram com a concentração de alumínio nos corpos hídricos, apesar de sua baixa solubilidade. Observa-se que a concentração média de alumínio no ponto 5 (Figura 27) apresentou expressivo valor em 1999 com  $0,45 \text{ mg L}^{-1}$  e que, nos próximos 20 anos foi decrescendo, sendo em 2015 a menor média ( $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ ). No ponto 1 não foi possível analisar este parâmetro em todos os anos propostos, pois a base de dados está incompleta. Essa é uma falha recorrente dos bancos de dados de monitoramentos ambientais.

Ao analisar nos demais pontos (Figura 28) percebe-se a oscilação acompanhando os períodos de maiores médias pluviométricas.

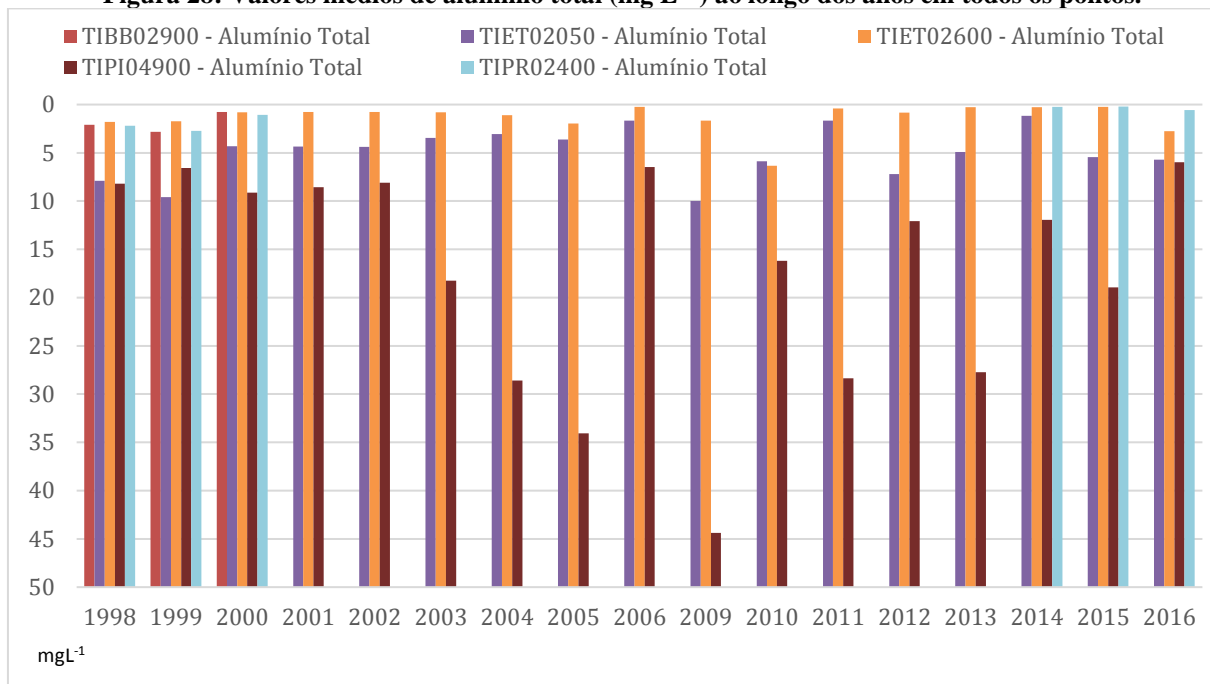
Para Piveli et. al (2006), Alves et. al. (2010) os estudos ambientais devem levar em consideração a quantidade de metais que estão presentes naturalmente na composição das rochas e minerais, os quais são incorporados no meio aquático através do intemperismo, de atividades industriais e agrícolas.



Na comparação, o alumínio apresentou picos em 2005 nos três reservatórios em que há dados. O ponto 1 apresentou as maiores concentrações ( $44,4 \text{ mg L}^{-1}$ ) em toda a temporalidade e com o passar dos quilômetros entre um reservatório e outro ocorre a diminuição notória da concentração, além da semelhança na tendência.



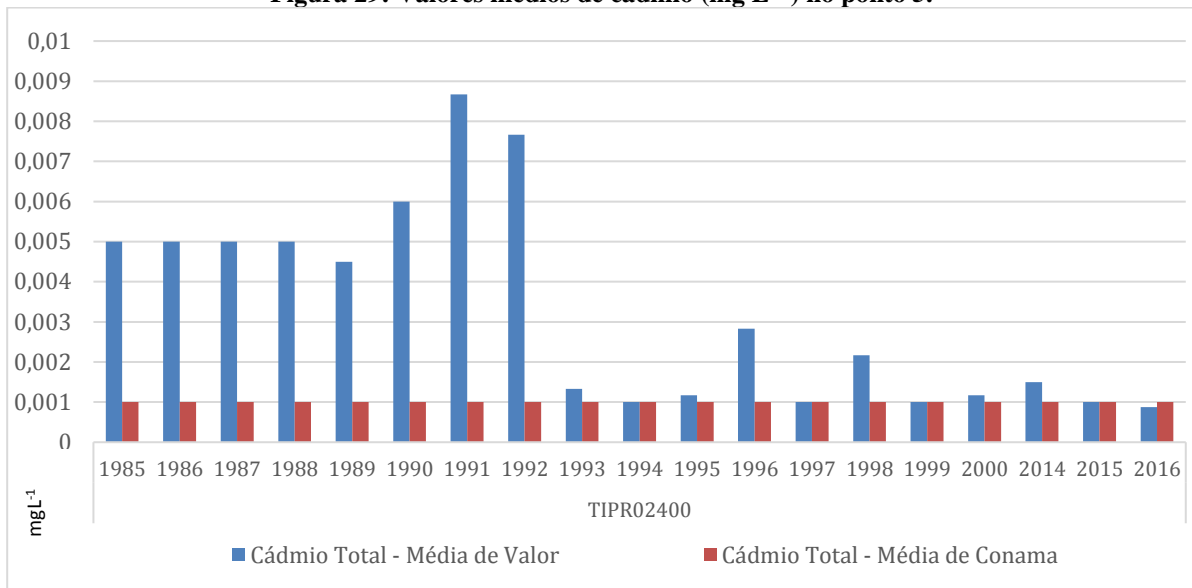
**Figura 28: Valores médios de alumínio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



### 6.1.2 Cádmi

Em todas as análises, o cádmio mostrou-se acima da concentração permitida pela Portaria 518/2004 ( $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ ) e resolução CONAMA 375/05, conforme apresentado na Figura 29. A redução da quantidade desse metal ao longo dos anos pode ser vinculada às mudanças do perfil da produção agrícola no estado.

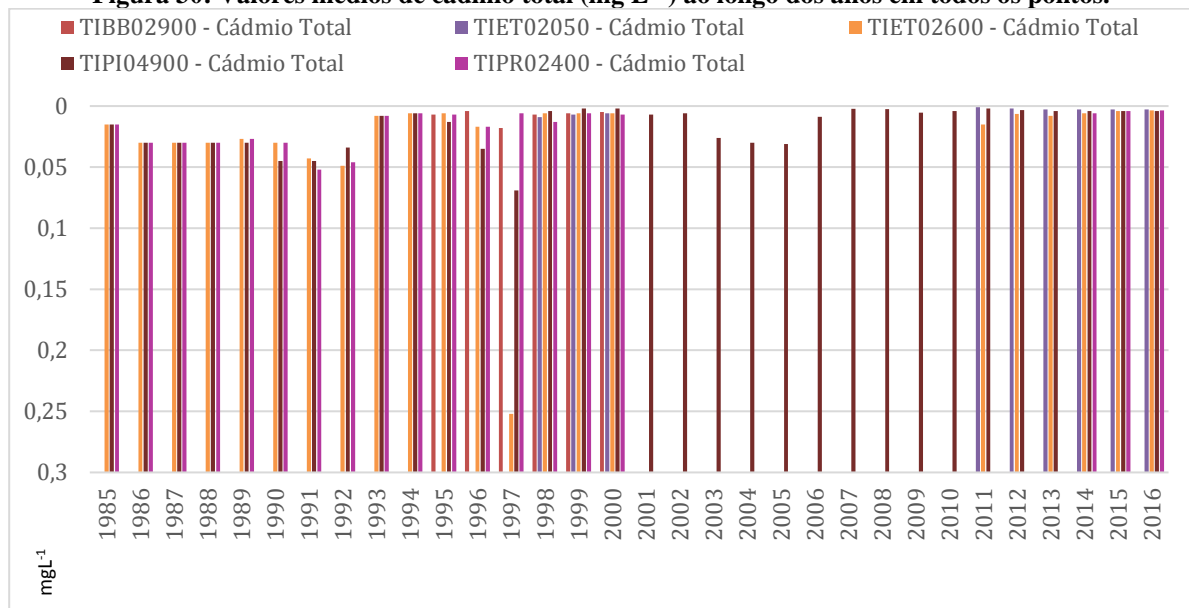
**Figura 29: Valores médios de cádmio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.**



O cádmio está presente em efluentes industriais de diversos setores e em áreas agrícolas pela utilização de inseticidas. Segundo Piveli et al. (2006) o cádmio não possui benefícios aos seres vivos, mas são nocivos aos seres humanos em altas concentrações, podendo causar intoxicação.

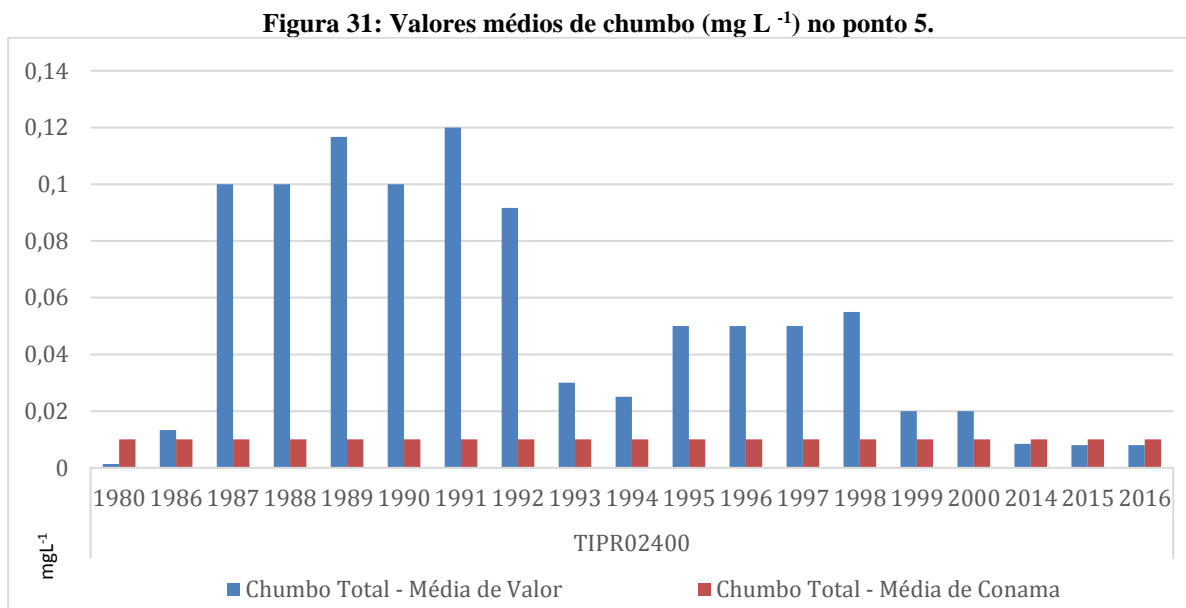
Observa-se na Figura 30 que os dados são incompletos na maioria dos pontos monitorados, enfraquecendo as análises. O ponto 1 possui o maior registro de cádmio, permitindo a verificação da diminuição da concentração média ao longo dos anos. Pelos registros iniciais dos demais pontos comparados com os finais podem-se prever a mesma tendência redutiva.

**Figura 30: Valores médios de cádmio total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



### 6.1.3 Chumbo

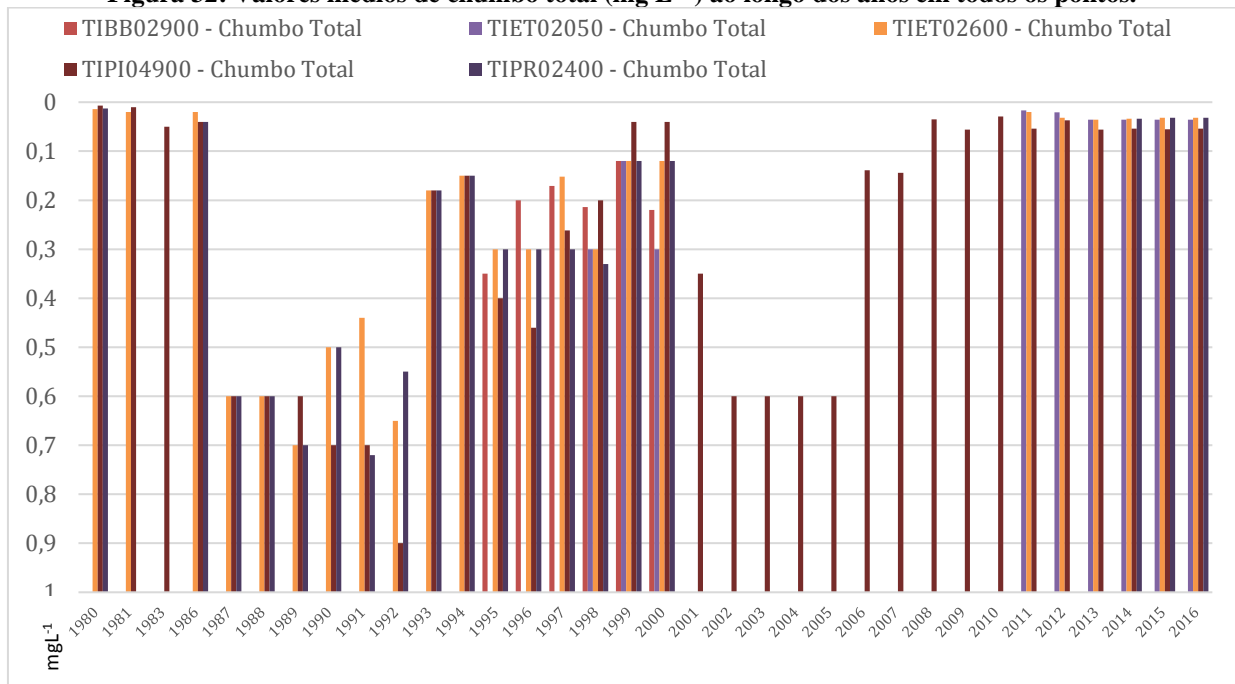
O surgimento das leis ambientais após a década de 1980 fizeram com que as indústrias se tornassem responsáveis pelo tratamento de seus resíduos, resultando na diminuição das cargas de metais nos efluentes lançados nos corpos d'água. Descargas de efluentes industriais e atividades mineradoras são consideradas as principais fontes de chumbo na água. A concentração no ponto 5 pode ser observada na Figura 31 e exibe redução ao longo dos anos.



A região de Sorocaba, por exemplo, abrigou até 2015 fábricas de baterias que foram cenários de contaminação humana com rejeitos enterrados contendo chumbo. O Alto Vale do Ribeira teve problemas com a desativação de mineradoras e metalúrgicas que geraram como passivos ambientais a contaminação de rios e solos em diversas áreas da região considerada província de chumbo do Brasil no século XX, mostrando que a alteração do uso e ocupação do solo interfere na qualidade ambiental.

Os valores médios de chumbo ao longo dos anos nos demais pontos de análise (Figura 32) apontaram redução do elemento no meio aquático. Isso não significa a redução dos efeitos pois os metais possuem a característica bioacumulação nos ecossistemas e permanecem disponíveis por muitos anos na cadeia alimentar.

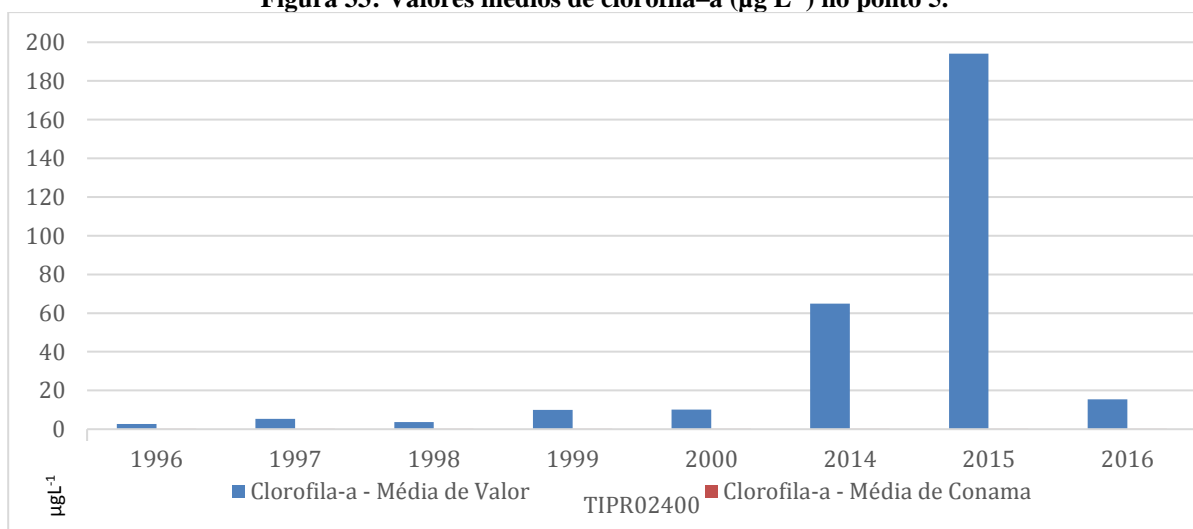
**Figura 32: Valores médios de chumbo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



#### 6.1.4 Clorofila-a

Outro parâmetro que apresentou desconformidade foi a clorofila-a cujas concentrações aumentaram ao longo dos anos, conforme apresentado na Figura 33. Após o ano 2000 houve ascensão das médias no reservatório de Promissão.

**Figura 33: Valores médios de clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 5.**

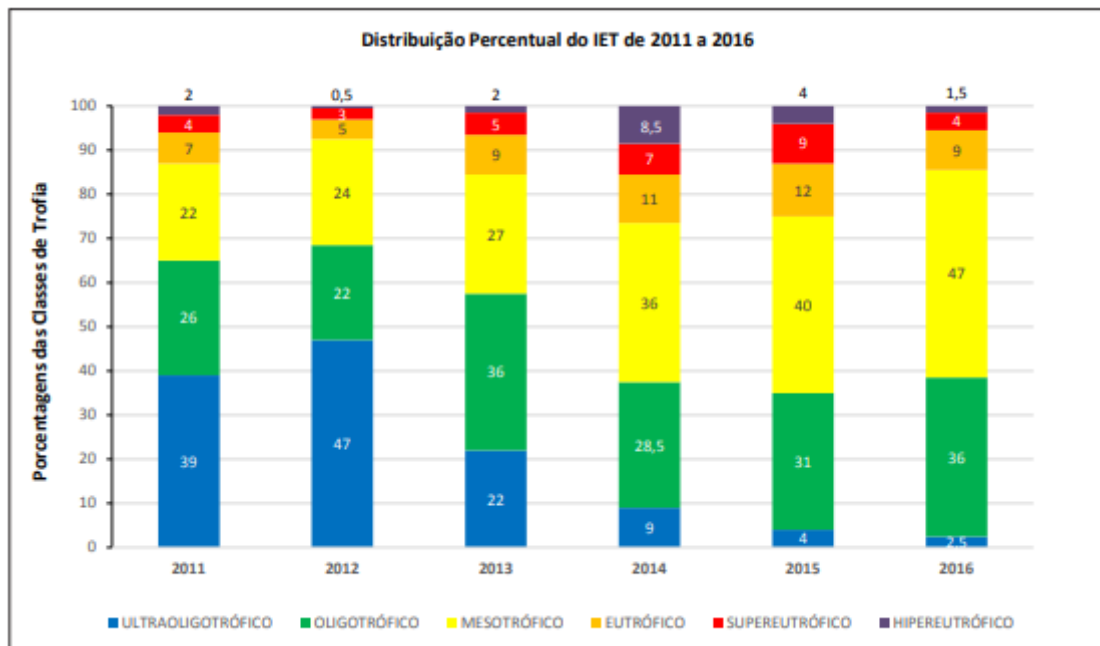


Deve-se lembrar que a presença de algas nos corpos hídricos é natural, sendo somente a sua extrapolação considerada um fenômeno anormal que pode ser de origem natural ou artificial.

As bases de dados de monitoramento ambiental mostraram-se esparsas quanto a clorofila-a, impossibilitando a análise completa do período proposto neste estudo. Nota-se que nos últimos anos houve aumento progressivo resultando em um pico, chegando a  $200 \mu\text{g L}^{-1}$  em 2014, ano que houveram registros de intensa floração de microalgas no reservatório de Promissão (UGHRI 16).

Apesar da ausência de dados de clorofila nos pontos analisados pode-se verificar nos Relatórios Anuais da Qualidade das Águas Interiores do estado de São Paulo (CETESB, 2017), que abrangem diversos pontos em toda a extensão do rio Tietê, que há evolução de clorofila (Figura 34).

**Figura 34: Evolução histórica da distribuição percentual do Estado Trófico médio anual, no período de 2011 a 2016**



Fonte: CETESB, 2017.

A evolução histórica da distribuição percentual do estado trófico anual especificamente do reservatório de Promissão apontou que há tendência de piora neste índice devido ao aumento das concentrações de fósforo e clorofila-a (Figura 35).

**Figura 35: Tendências do IET em pontos com piora e melhora significativas, entre 2011 e 2016.**

UGRHI	Código	Manancial	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Tendência
16	TIET02600	Rio Tietê	55	55	58	64	65	60	P
	TIPR02990	Reservatório de Promissão	52	48	50	53	63	58	P

P = tendência de piora      M = tendência de melhora

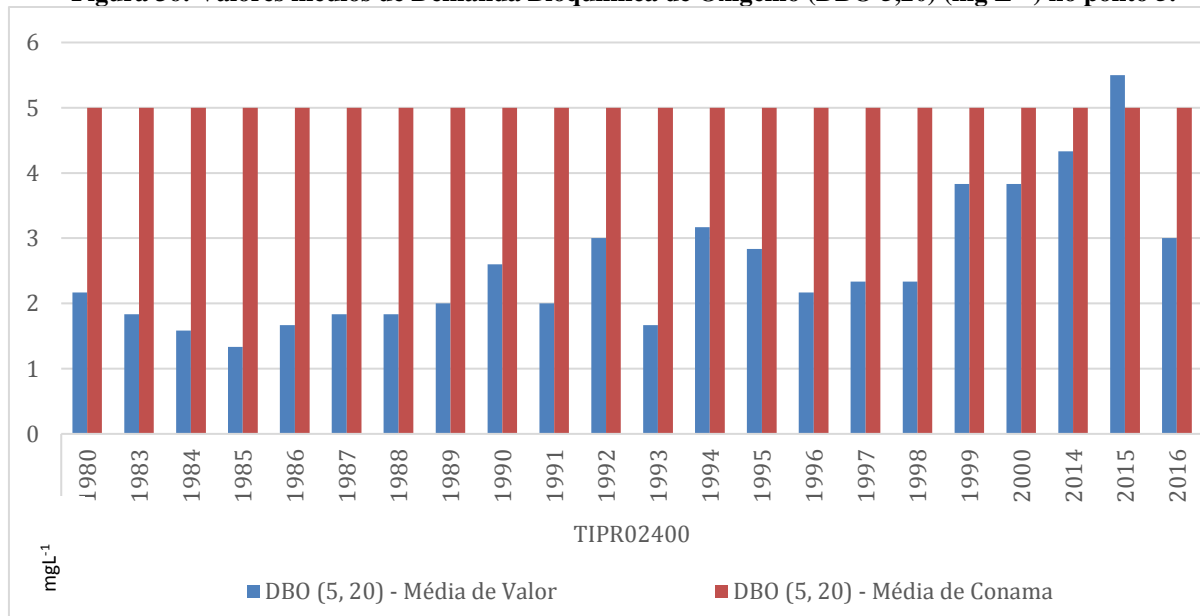
Fonte: CETESB, 2017.

A frequência dos fenômenos de eutrofização deu origem a uma ação civil pública do Ministério Público do Estado de São Paulo (Processo 2206154-89.2018.8.26.0000) contra a CETESB e a empresa responsável pela UHE. O MP exigiu, entre várias medidas, que sejam tomadas providências quanto a identificação de fontes poluidoras e recuperação de APP do reservatório de Promissão (TJSP, 2019).

### 6.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>)

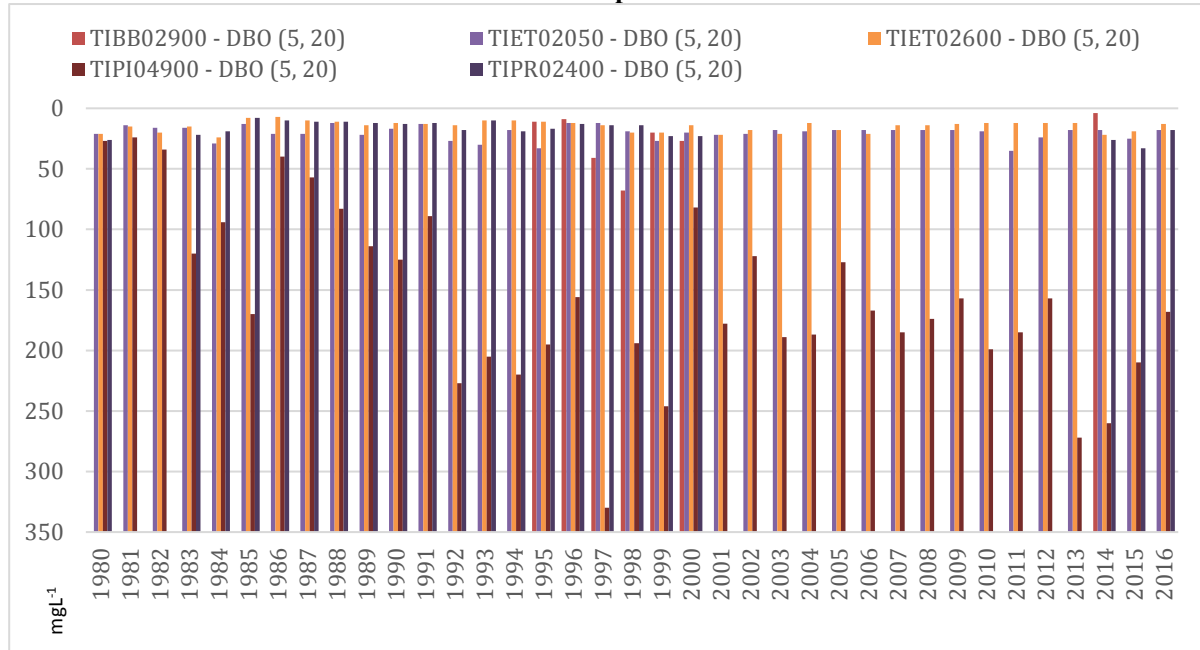
Observa-se no mesmo período o aumento da DBO<sub>5,20</sub> (Figura 36) associado ao excesso de microalgas e que também coincide com os meses mais quentes do ano. O menor valor da série foi 1,33 mg L<sup>-1</sup> em 1985 ao passo que o maior foi 5,5 mg L<sup>-1</sup> em 2015.

**Figura 36: Valores médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>) (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



As maiores médias ao longo dos anos por pontos foram as seguintes: ponto 1 obteve 330 mg L<sup>-1</sup> em 1997, ponto 3 com 68 mg L<sup>-1</sup> em 1998, ponto 2 com 35 mg L<sup>-1</sup> em 2011, ponto 4 com 16 mg L<sup>-1</sup> em 2014 e finalmente, ponto 5 com 33 mg L<sup>-1</sup> em 2015 (Figura 37).

**Figura 37: Valores médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5,20) (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



Na Tabela 3 pode-se constatar a clorofila -a no ponto 5 teve um aumento significativo ao longo dos anos, principalmente a partir do ano de 2000. Neste mesmo período foram relatados pela CETESB diversos problemas de eutrofização na prainha de Sabino, prejudicando a população local (Figura 38). Este trecho em questão possui como fator complicante a hidrodinâmica do córrego Esgotão que é classificada como lântica, ou seja, a renovação da água naquele trecho ocorre de forma lenta e favorece a estratificação térmica das águas do reservatório, bem como a permanência de nutrientes por mais tempo resultando no acúmulo das algas na superfície do córrego.

**Figura 38: Registro de florações no córrego do Esgoto em Sabino/SP no ano de (a) 2007, (b) 2012 e (c) 2014, (d) 2018, respectivamente.**

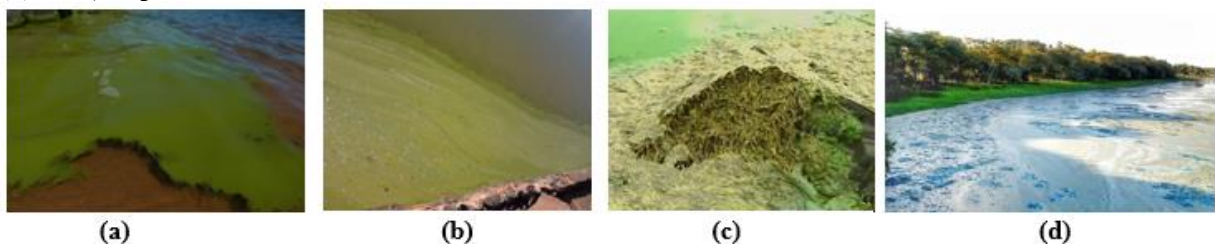


Tabela 3 : Dados históricos de clorofila a do ponto 1 (1996 a 2014).

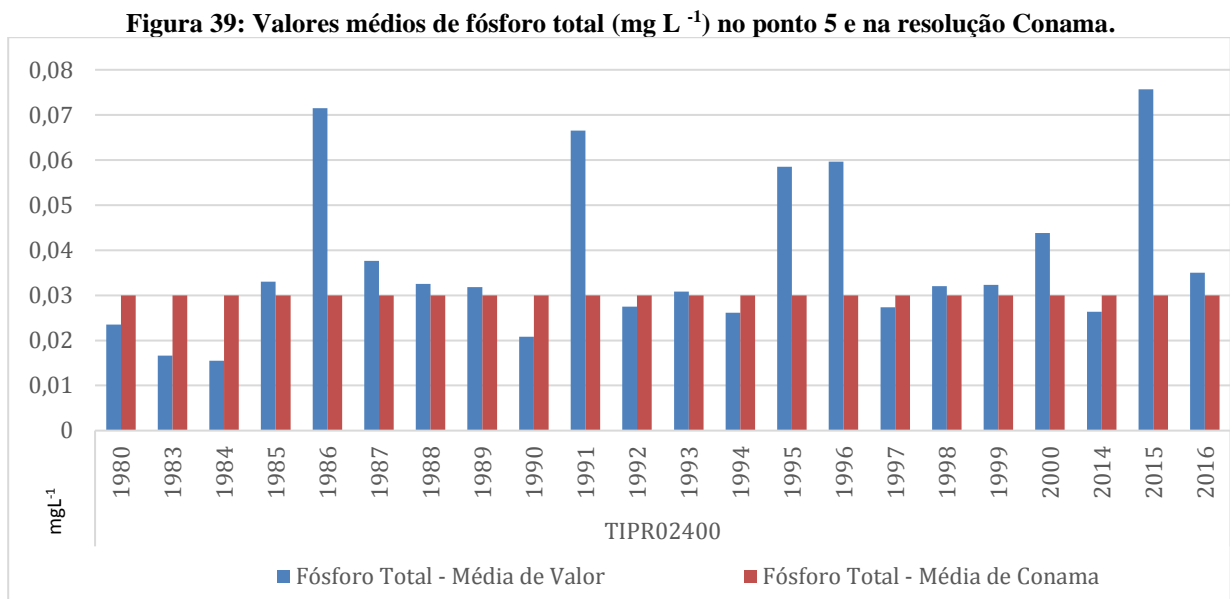
DADOS HISTÓRICOS - PONTO TIPR02400							
DATA COLETA	HORA COLETA	FÓSFORO TOTAL		FÓSFORO TOTAL		CLOROFILA- a	
16/01/1996	09:15:00	0,032	mg/L	32	µg/L	2,01	µg/L
26/03/1996	07:55:00	0,258	mg/L	258	µg/L	6,15	µg/L
07/05/1996	09:30:00	0,010	mg/L	10	µg/L	2,01	µg/L
04/07/1996	09:30:00	0,038	mg/L	38	µg/L	3,08	µg/L
03/09/1996	09:30:00	0,010	mg/L	10	µg/L	1,21	µg/L
19/11/1996	09:55:00	0,010	mg/L	10	µg/L	1,87	µg/L
07/01/1997	09:50:00	0,010	mg/L	10	µg/L	2,14	µg/L
06/05/1997	09:55:00	0,032	mg/L	32	µg/L	4,15	µg/L
03/07/1997	08:35:00	0,017	mg/L	17	µg/L	7,88	µg/L
15/09/1997	10:10:00	0,010	mg/L	10	µg/L	11,5	µg/L
04/11/1997	09:30:00	0,010	mg/L	10	µg/L	0,8	µg/L
06/01/1998	09:15:00	0,014	mg/L	14	µg/L	2,14	µg/L
03/03/1998	09:20:00	0,074	mg/L	74	µg/L	6,95	µg/L
05/05/1998	09:30:00	0,017	mg/L	17	µg/L	3,75	µg/L
07/07/1998	07:15:00	0,017	mg/L	17	µg/L	1,34	µg/L
08/09/1998	09:00:00	0,041	mg/L	41	µg/L	4,55	µg/L
05/01/1999	08:45:00	0,011	mg/L	11	µg/L	38,49	µg/L
27/04/1999	09:30:00	0,026	mg/L	26	µg/L	0,8	µg/L
09/06/1999	09:40:00	0,034	mg/L	34	µg/L	3,48	µg/L
04/08/1999	09:30:00	0,032	mg/L	32	µg/L	1,87	µg/L
13/10/1999	09:25:00	0,041	mg/L	41	µg/L	5,88	µg/L
15/12/1999	09:30:00	0,050	mg/L	50	µg/L	8,82	µg/L
11/04/2000	09:00:00	0,025	mg/L	25	µg/L	2	µg/L
27/06/2000	09:10:00	0,010	mg/L	10	µg/L	1,73	µg/L
24/08/2000	09:40:00	0,057	mg/L	57	µg/L	20,58	µg/L
17/10/2000	09:15:00	0,046	mg/L	46	µg/L	16,03	µg/L
27/01/2014	13:40:00	0,023	mg/L	23	µg/L	48,37	µg/L
19/05/2014	13:40:00	0,024	mg/L	24	µg/L	11,58	µg/L
21/07/2014	14:15:00	0,020	mg/L	20	µg/L	14,43	µg/L
24/11/2014	13:00:00	0,054	mg/L	54	µg/L	185,5	µg/L
26/01/2015	14:00:00	0,200	mg/L	200	µg/L	650,4	µg/L
18/05/2015	13:50:00	0,029	mg/L	29	µg/L	69,91	µg/L
20/07/2015	13:45:00	0,019	mg/L	19	µg/L	20,58	µg/L
16/11/2015	14:10:00	0,079	mg/L	79	µg/L	35,82	µg/L
28/01/2016	14:00:00	0,073	mg/L	73	µg/L	12,03	µg/L
09/05/2016	14:00:00	0,013	mg/L	13	µg/L	12,56	µg/L
04/07/2016	13:40:00	0,045	mg/L	45	µg/L	15,5	µg/L
21/11/2016	13:55:00	0,023	mg/L	23	µg/L	21,38	µg/L

Fonte: CETESB, 2016.



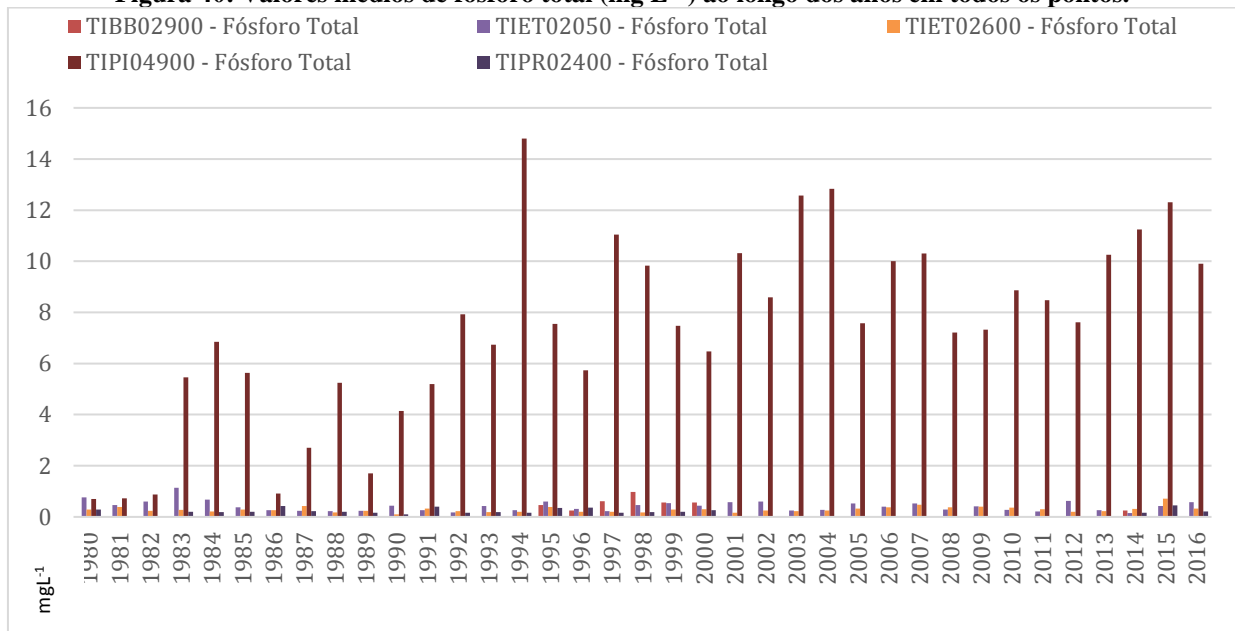
### 6.1.6 Fósforo Total

A carga de N/P (nitrogênio/fósforo) é alta no rio Tietê desde sua passagem pela grande São Paulo devido, principalmente, aos despejos de esgoto sem tratamento; mas ao longo do curso têm uma parcela processada pela autodepuração das águas. A Figura 39 exhibe o comportamento oscilante da concentração média de fósforo total ao longo dos anos no ponto 1 (reservatório de Promissão).



Cunha (2014) evidencia a tendência de diminuição das concentrações de fósforo entre a cabeceira e a barragem, indicando a existência das taxas de assimilação das formas dissolvidas pelos fitoplanctons ao longo do reservatório, assim como a adsorção para os sedimentos. Já relação N/P, deve-se considerar que o nitrogênio nas águas pode ser destinado a duas finalidades: ser consumido pelas plantas e microalgas; e ser processada na volatilização na forma de amônia com variações no pH.

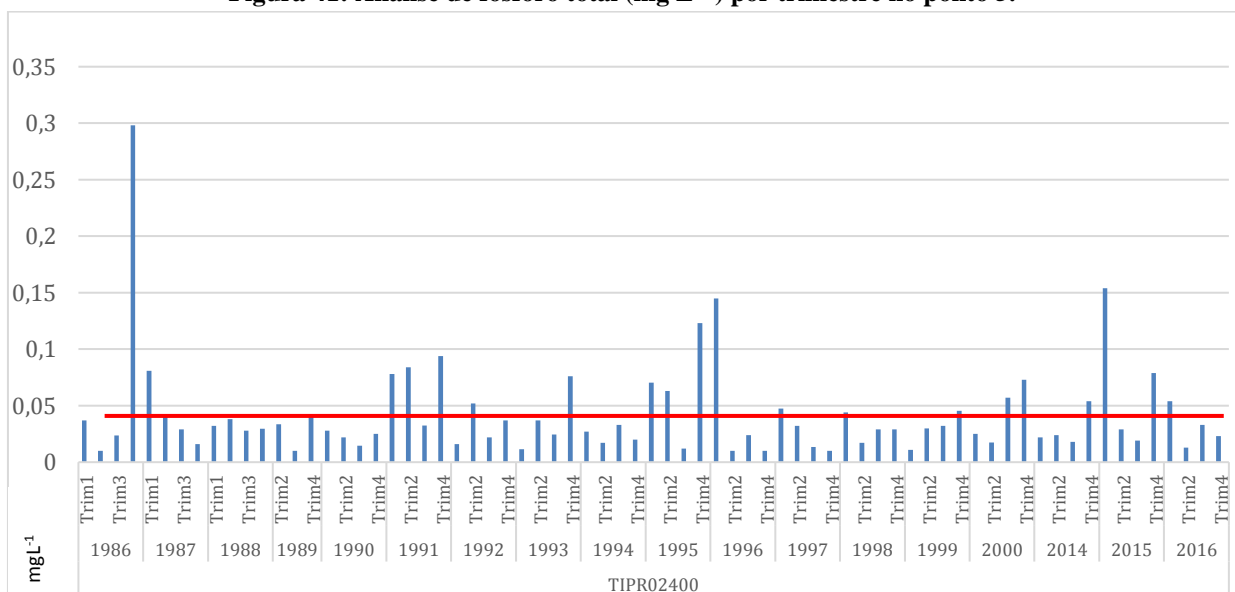
**Figura 40: Valores médios de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



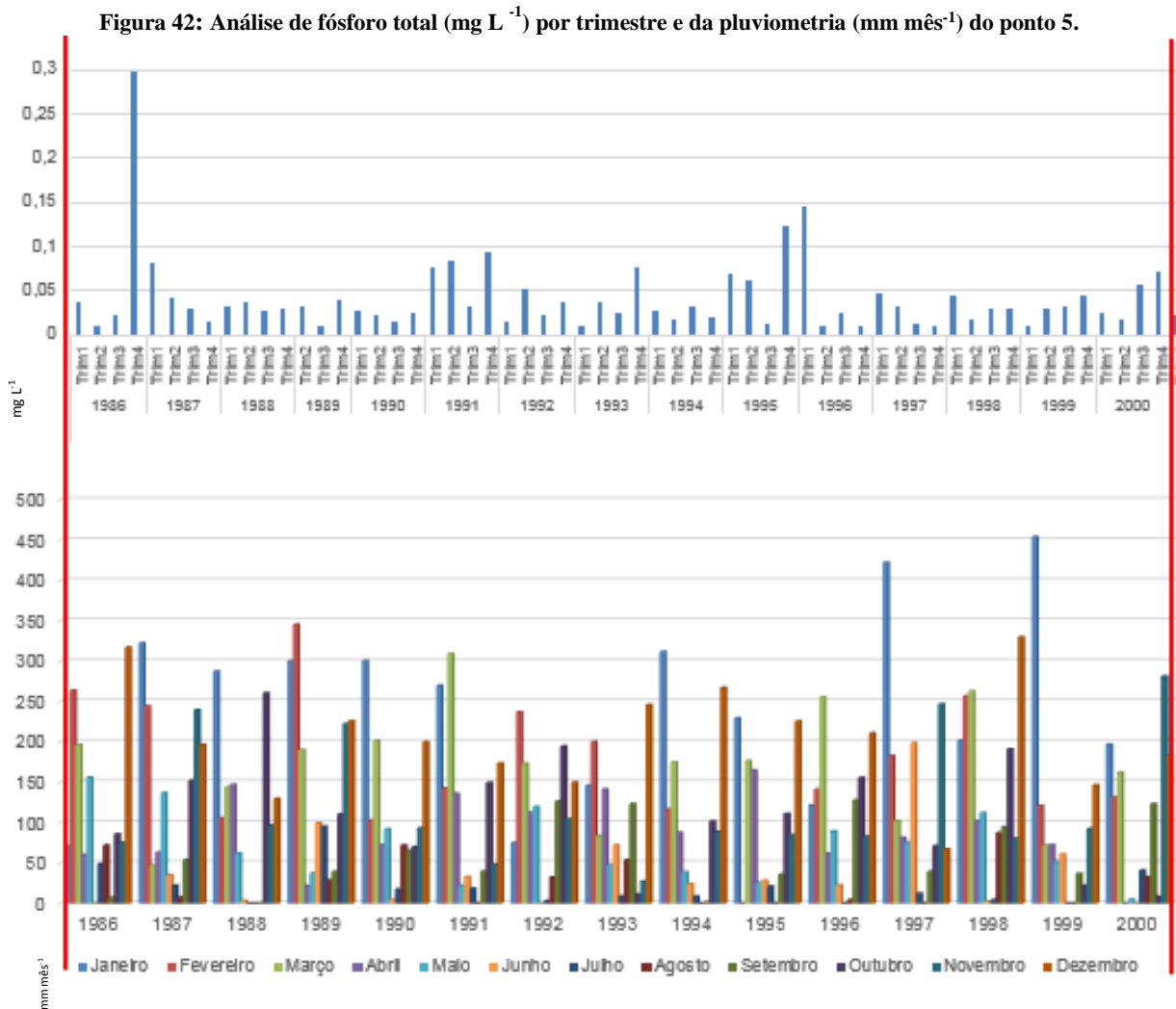
De acordo com a caracterização da região apresentada no item 4. 3.1, torna-se procedente a observação quanto às cargas provenientes de escoamento superficial das áreas agrícolas, de esgotos com tratamento incompleto ou inexistente e, ainda, demais resíduos que possam alcançar os cursos d'água.

Para aprimorar a análise, a Figura 41 exibiu os mesmos dados da figura anterior, mas com alteração da temporalidade de anual para trimestral, o que permitiu verificar as estações e os períodos de chuva. Pode se observar que sempre há, nos meses mais quentes (Trim. 1 e 4) e com altos níveis pluviométricos, picos na concentração de fósforo total, variando de 0 a  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Figura 41: Análise de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) por trimestre no ponto 5.**

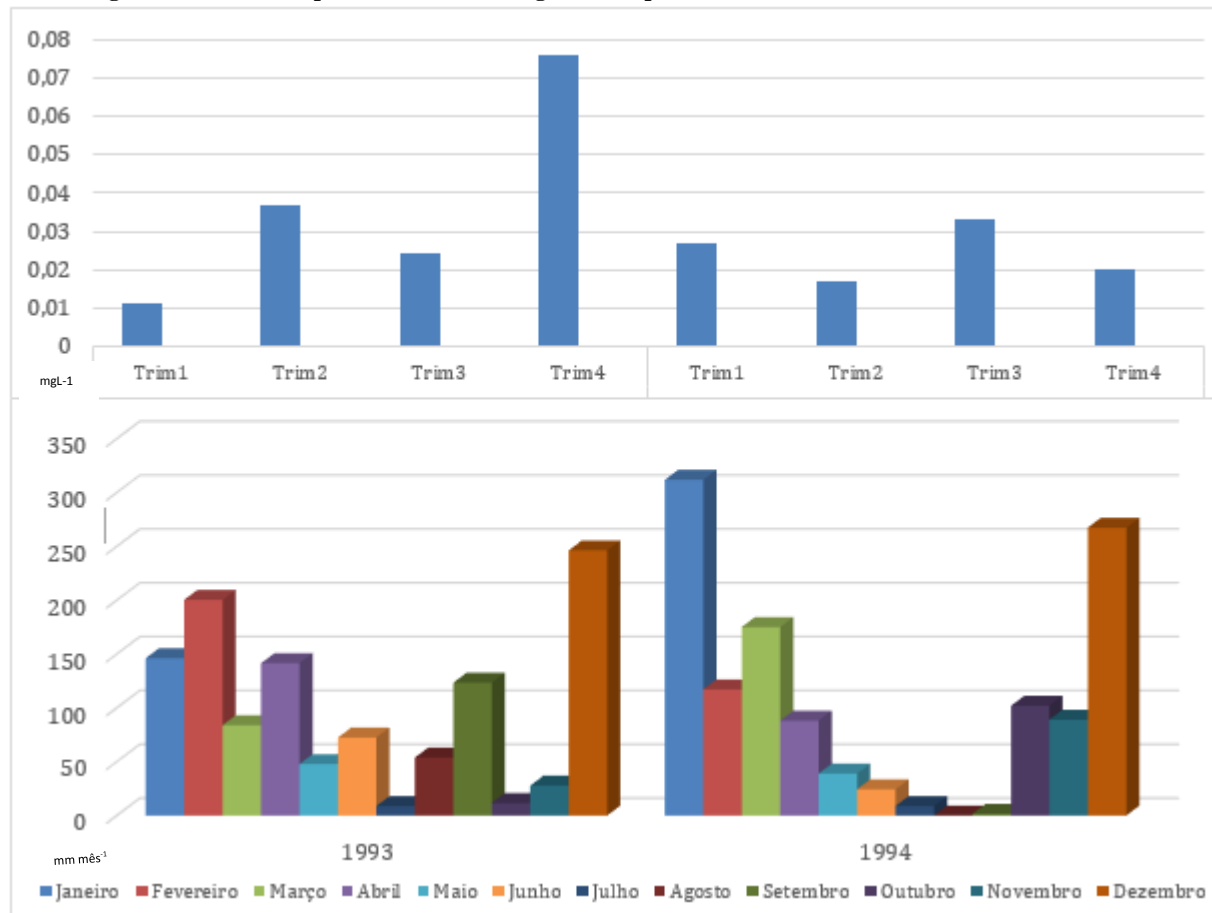


As análises trimestrais cruzando dados pluviométricos foram realizadas separadamente para cada parâmetro e ano, o que possibilitou constatar estatisticamente a sazonalidade pela relação da chuva com a concentração de fósforo. As tabelas com os dados podem ser consultadas no anexo. Neste tocante, as Figuras 42 e 43 mostram algumas considerações sobre os dados do Ponto 5.



Períodos como o ano de 1993 a 1994 pode-se verificar numericamente essa tendência, pois no quarto trimestre de 1993 obteve-se um média de  $0,076 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo e  $246,2 \text{ mm}$  no mês de dezembro, conforme Figura 43. Todos os demais meses essas conclusões foram obtidas.

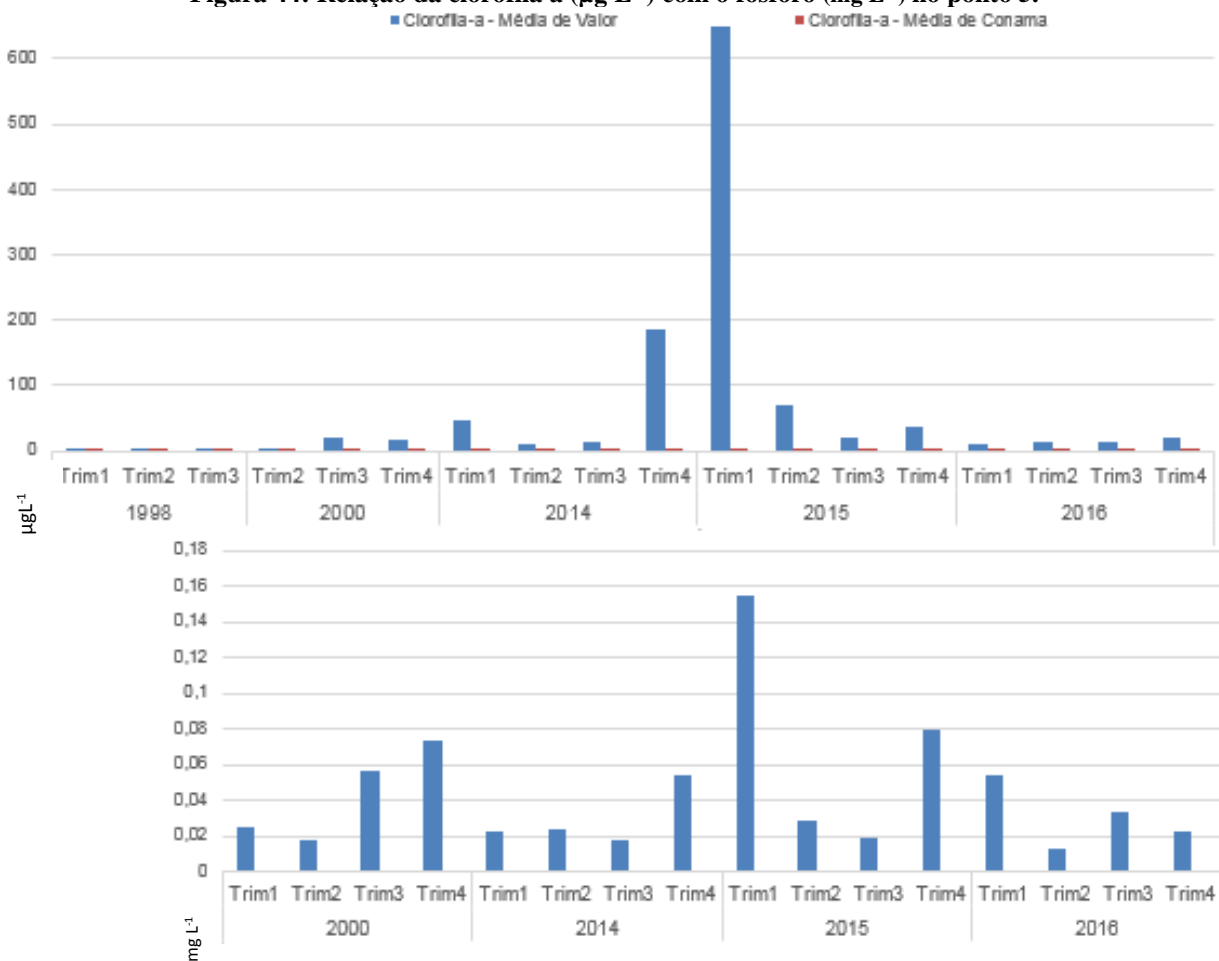
Figura 43: Análise do parâmetro fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pluviometria ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) nos anos de 1993 e 1994.



A constatação da presença do fósforo com a eutrofização também acompanha a pluviometria, conforme Figura 44. Quando ocorre períodos de seca (trimestre 2 e 3), a quantidade de clorofila a é baixa e a de fósforo também ( $0,018 \text{ mg L}^{-1}$ ) quando ocorre as chuvas, aumenta a oferta do nutriente ( $0,054 \text{ mg L}^{-1}$ ) sendo propício o crescimento, reprodução das microalgas, desencadeando processos de eutrofização já que ocorre o arraste do fósforo pelos processos de lixiviação dos solos agricultáveis e demais fontes difusas.

Outro contribuinte é o parâmetro temperatura, tornando o meio ambiente aquático perfeito. Na medida que elas vão encerrando o seu ciclo de vida, os valores vão reduzindo, mas é só iniciar o próximo período chuvoso que tudo recomeça. A diferença é que no inverno, com baixas temperaturas, elas não formam as natas na superfície, mas podem ser observadas na coluna d'água.

**Figura 44: Relação da clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) com o fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.**

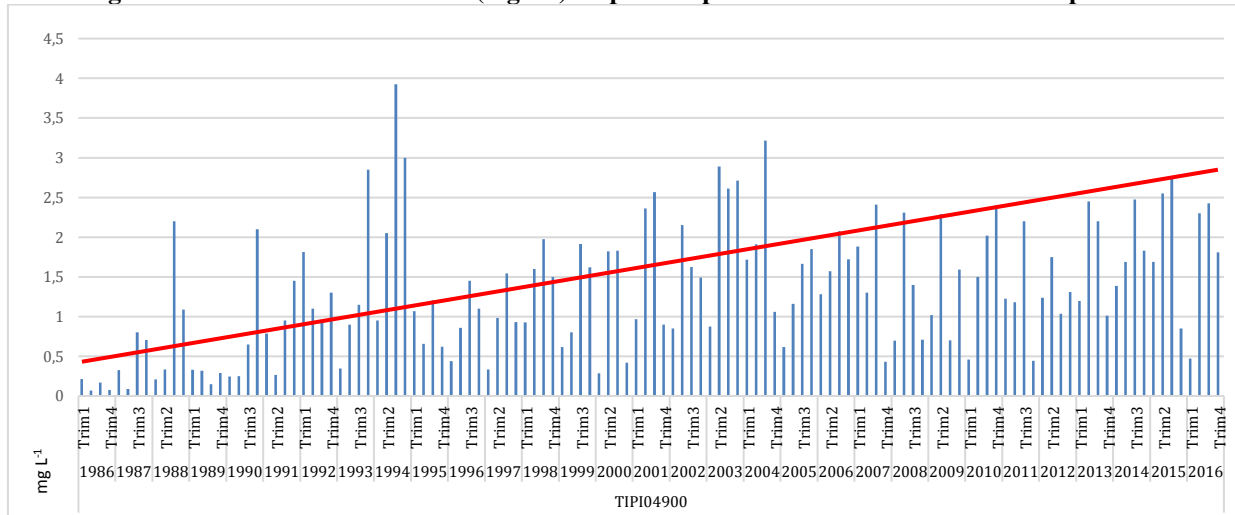


Analisando os dados e as imagens de satélites, pode-se conjecturar que a origem da poluição seja o processo de lixiviação das áreas agricultáveis que não fazem manejo adequado, pois se a fonte de P (fósforo) fosse estritamente dos esgotos, estes níveis permaneceriam constantes durante o ano todo. Ou seja, o uso e ocupação do solo da sub bacia Tietê Batalha influencia na disponibilidade do fósforo total. Se o comportamento do gráfico fosse crescente poderíamos supor que o crescimento populacional ocorrido no período (1986: 27.715.306 hab e 2016: 43.359.005 hab) estaria diretamente relacionado às cargas de esgoto, mas não é o que se observa no reservatório de Promissão (SEADE, 2018). No anexo estão os dados de crescimento populacional dos municípios da UGHRI 16 e do estado de São Paulo.

No caso do ponto 2, que está localizado depois de São Paulo, o comportamento apresentase distinto. Pode-se observar na Figura 45 a tendência da crescente concentração de fósforo, proveniente do lançamento de esgoto sem tratamento ou com tratamento incompleto (sem estágio terciário), que acompanha o aumento populacional e o desenvolvimento das cidades naquela região com o passar das décadas. O arraste provocado pelas chuvas também se faz presente, sugerindo que a carga do rio Pirapora não interfere no reservatório de Promissão, senão o

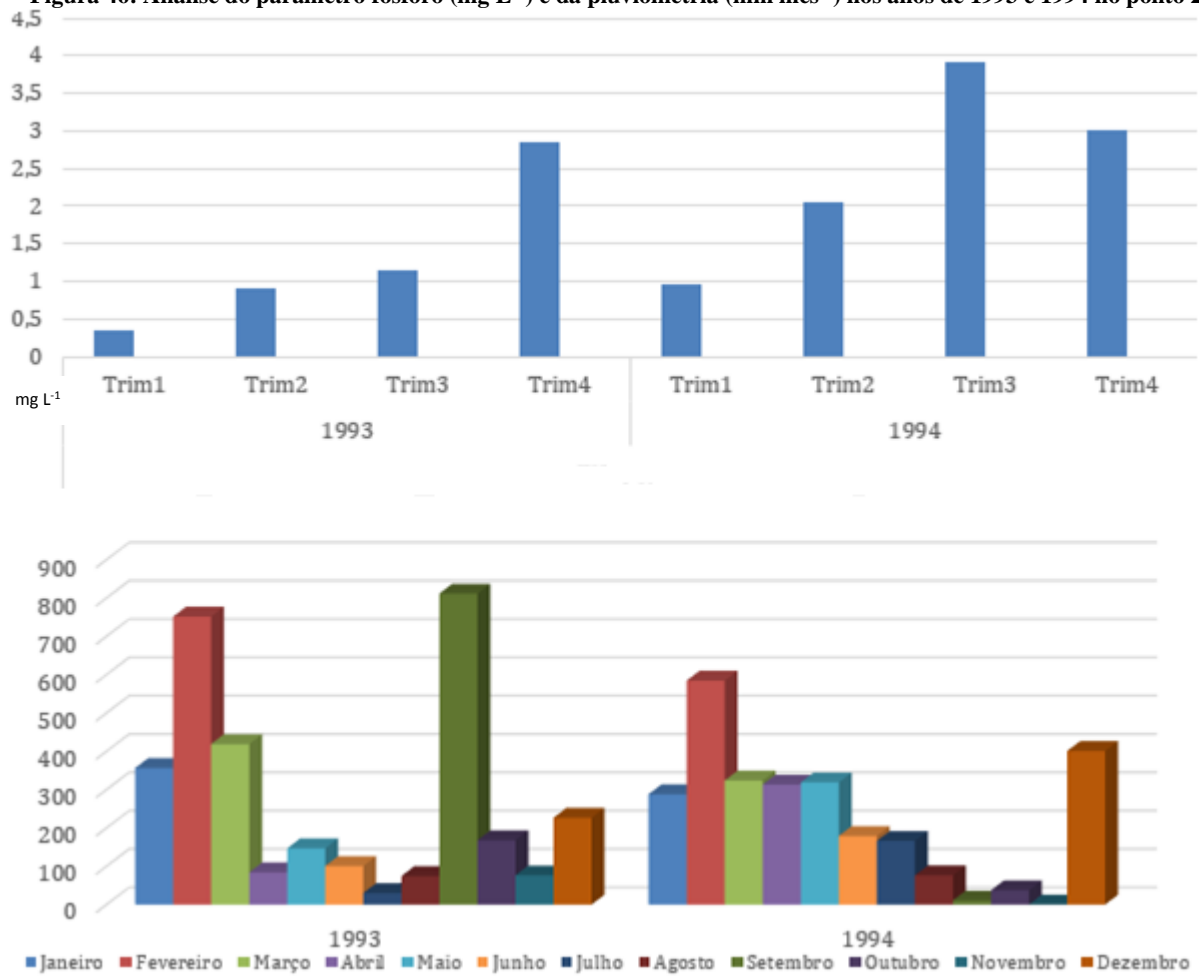
comportamento do mesmo também seria crescente. Outra observação é quanto à distância percorrida pelo rio, fazendo com que sua carga não interfira diretamente no rio Tietê, pois ocorre a autodepuração da matéria orgânica ao longo do curso do rio ou o aumento da capacidade de diluição devido às vazões, que diminuem o aporte de cargas.

**Figura 45: Média de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1 por trimestre de 1986 a 2016 no ponto 2.**



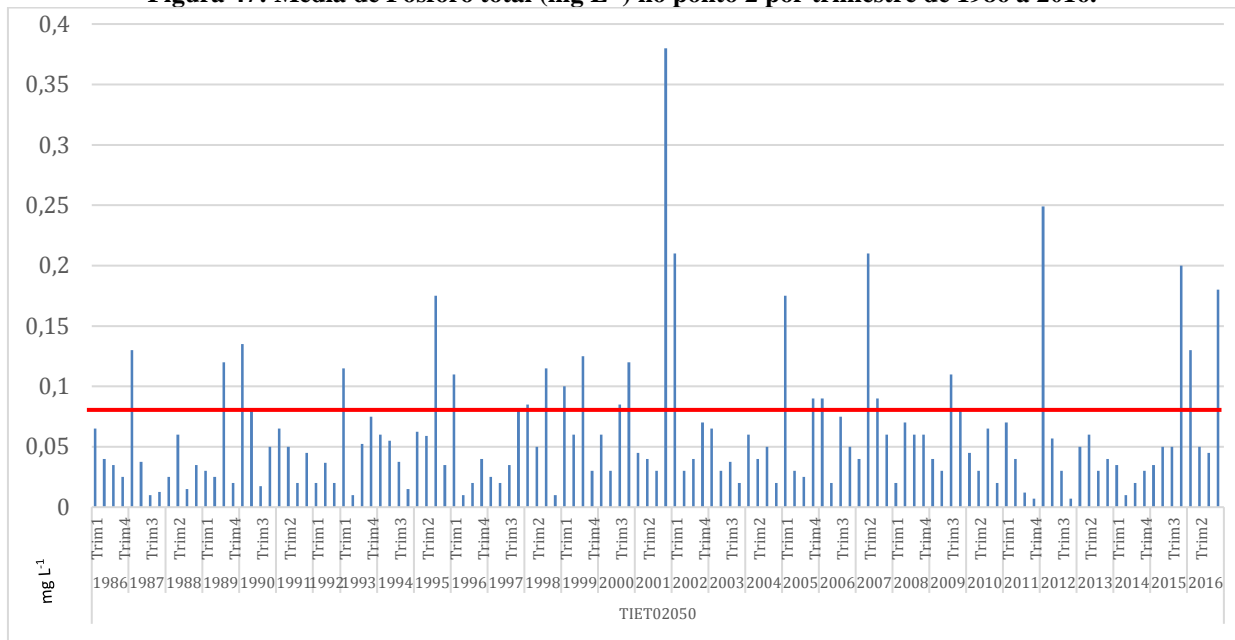
Considerando por trimestre em cada ano pode-se perceber que na época de chuva ocorre uma redução da concentração de P pois a água pluvial dilui as concentrações de esgotos, ao passo que na medida em que as chuvas reduzem, consequentemente aumentam as concentrações de fósforo nos rios (Figura 46). No 4º trimestre de 1993 têm-se uma média de  $2,85 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo e  $156,73 \text{ mm}$  de chuvas. Já no 1º trimestre de 1994 observa-se  $0,95 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo e pluviometria média de  $398,56 \text{ mm}$ .

Figura 46: Análise do parâmetro fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pluviometria ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) nos anos de 1993 e 1994 no ponto 2.



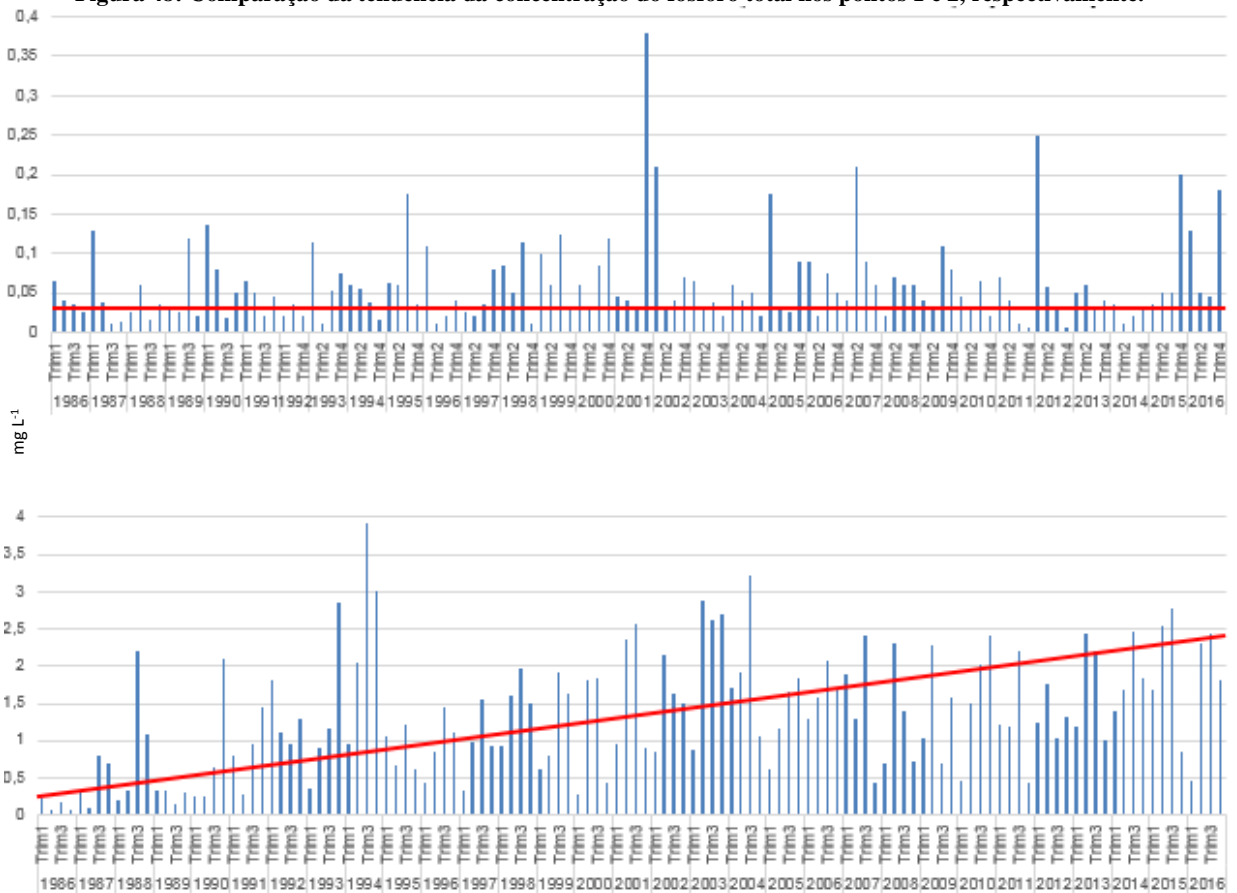
No ponto 1 situado antes da cidade de São Paulo percebe-se a variação ao longo das estações chuvosas com alguns picos como em 1995, 2001, 2007, 2012 e 2016; mas de maneira geral não apresentou tendência crescente ao longo das décadas e sim a interferência do uso e ocupação do solo da sub bacia que o cerca (Figura 47).

**Figura 47: Média de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 2 por trimestre de 1986 a 2016.**



Ao comparar o ponto 1 e 2, pode-se verificar tanto numericamente quanto a tendência via gráfico que o crescimento é progressivo após a cidade de São Paulo.

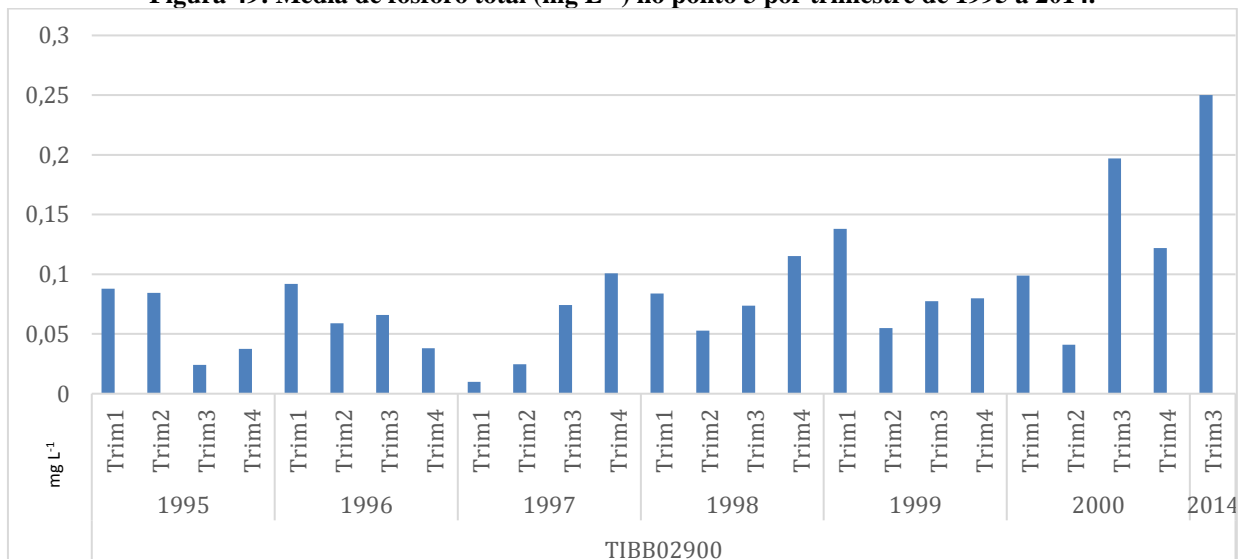
**Figura 48: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 1 e 2, respectivamente.**





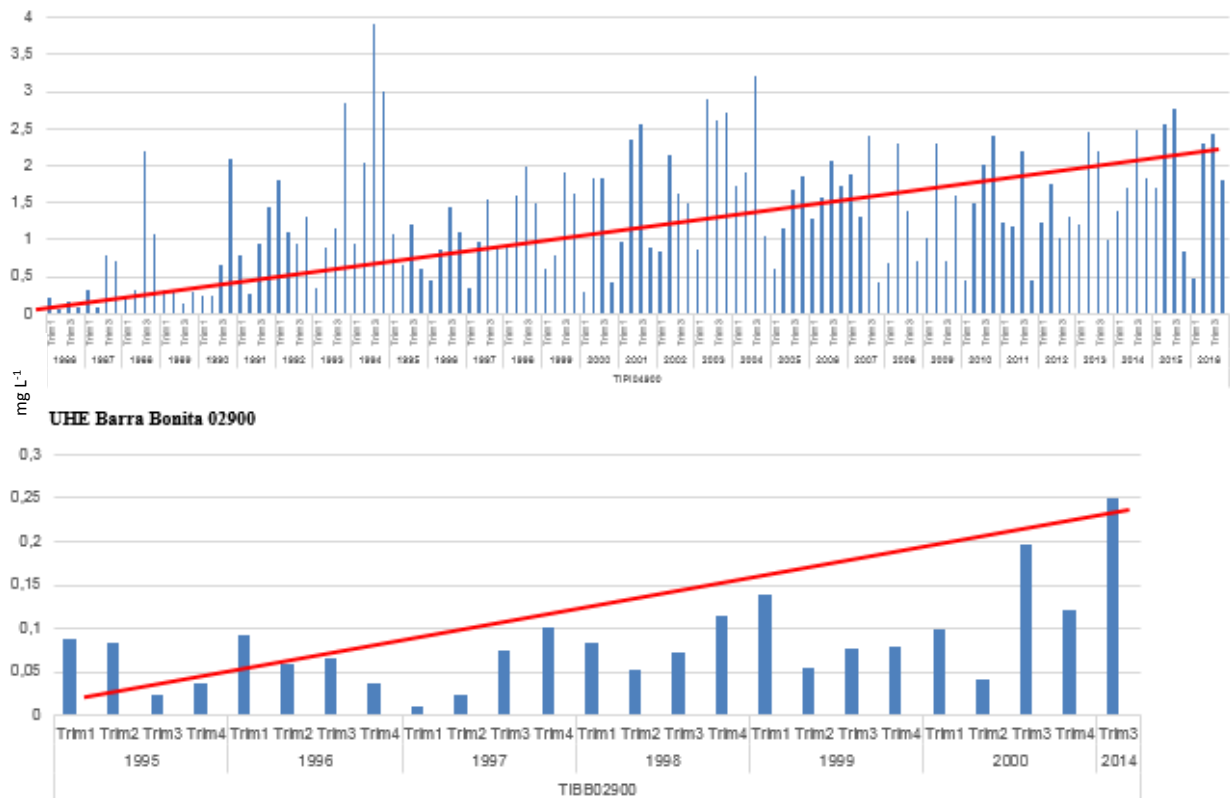
No reservatório de Barra Bonita (ponto 3) nota-se a evolução da concentração de fósforo e a oscilação proveniente dos picos de chuva que são próprios da estação; mostrando que o uso e ocupação do solo influenciam de forma considerável na qualidade hídrica do reservatório, da mesma forma que a crescente carga de esgoto que, neste ponto, recebe contribuição também do rio Piracicaba (Figura 49), situado em uma região altamente urbanizada. Diferente dos anteriores, a carga apesar de apresentar-se crescente, é menor devido ao efeito de autodepuração do rio Tietê.

**Figura 49: Média de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 3 por trimestre de 1995 a 2014.**



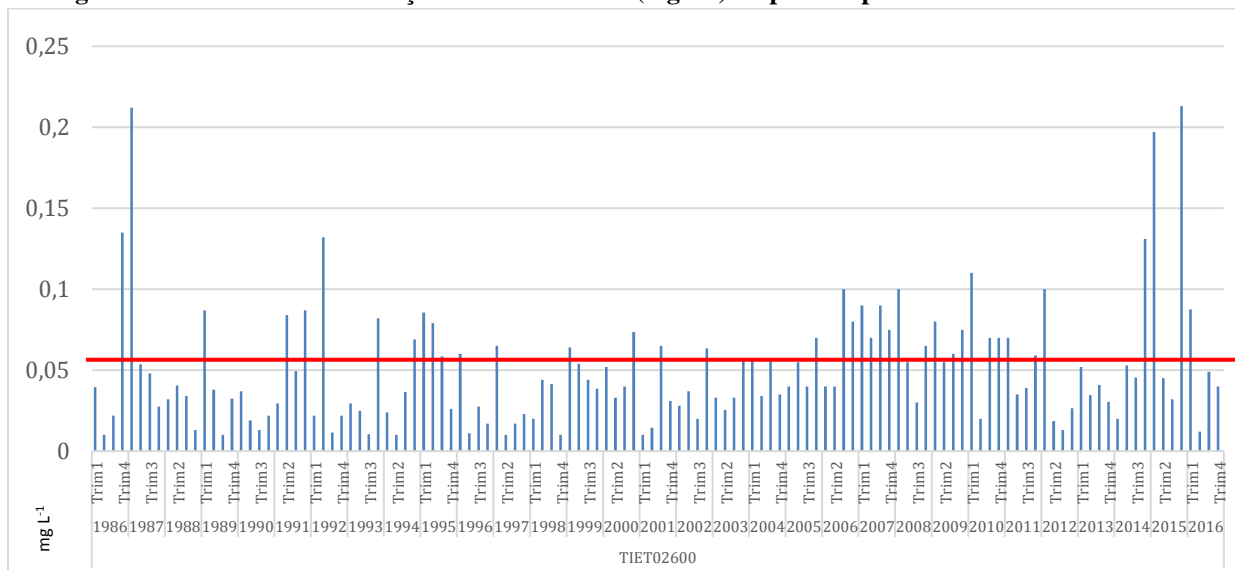
A diminuição da concentração pode ser observada na Figura 50, que também possibilita a visualização da continuação da tendência progressiva. Numericamente a diferença ocorre em todo o período estudado, passando de valores médios de 1,5 no ponto 1 para 0,7 no ponto 2.

**Figura 50: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 2 e 3, respectivamente.**



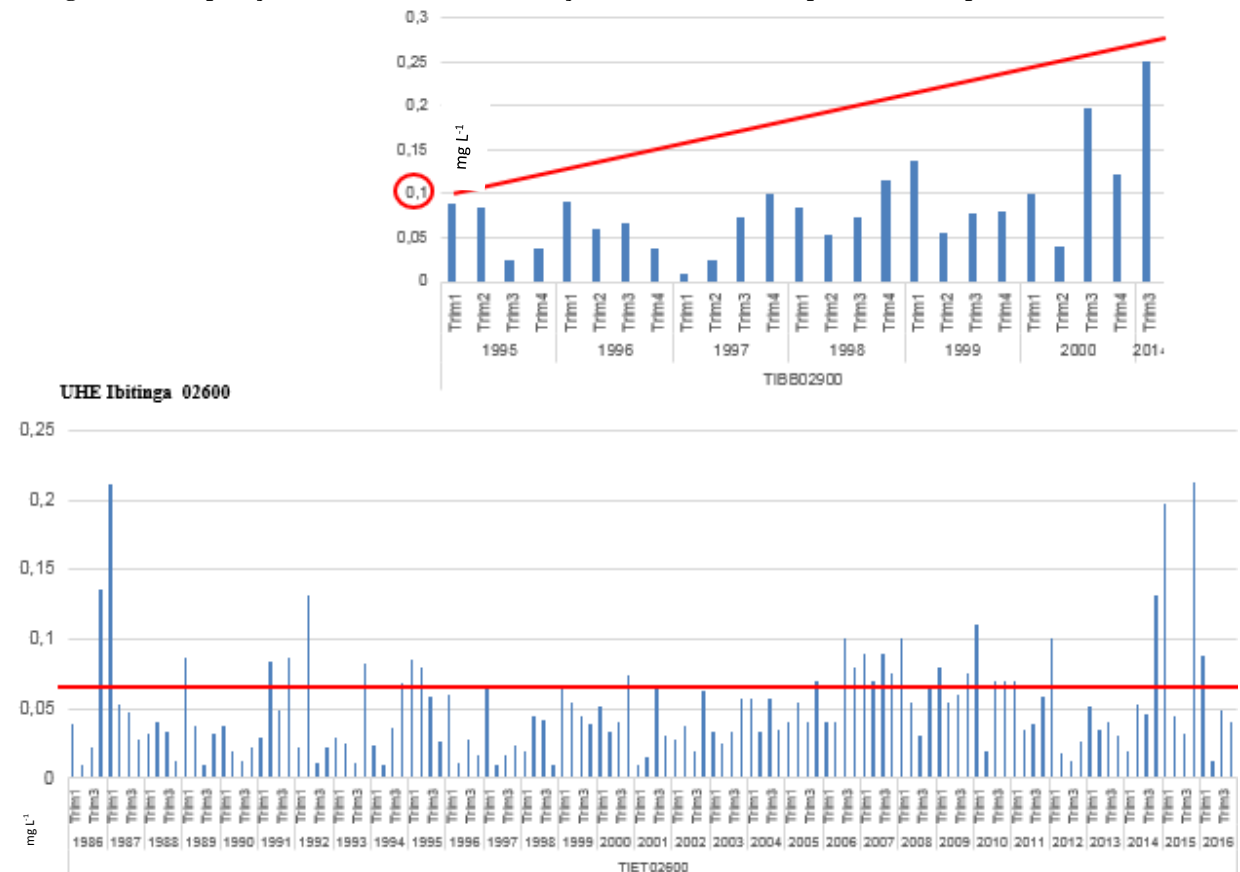
O reservatório de Ibitinga (ponto 4) difere do reservatório de Barra Bonita (ponto 3) pois não acompanha a mesma evolução vista na Figura 50, reforçando a hipótese da eficiência da autodepuração do rio Tietê ao longo do curso. Os picos de chuva neste ponto e suas influências no comportamento do gráfico podem ser observados na Figura 51, semelhante ao que ocorre em Promissão, muito provavelmente devido à forte produção canavieira ser característica de ambas as regiões.

**Figura 51: Média da concentração de Fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 4 por trimestre de 1986 a 2016.**



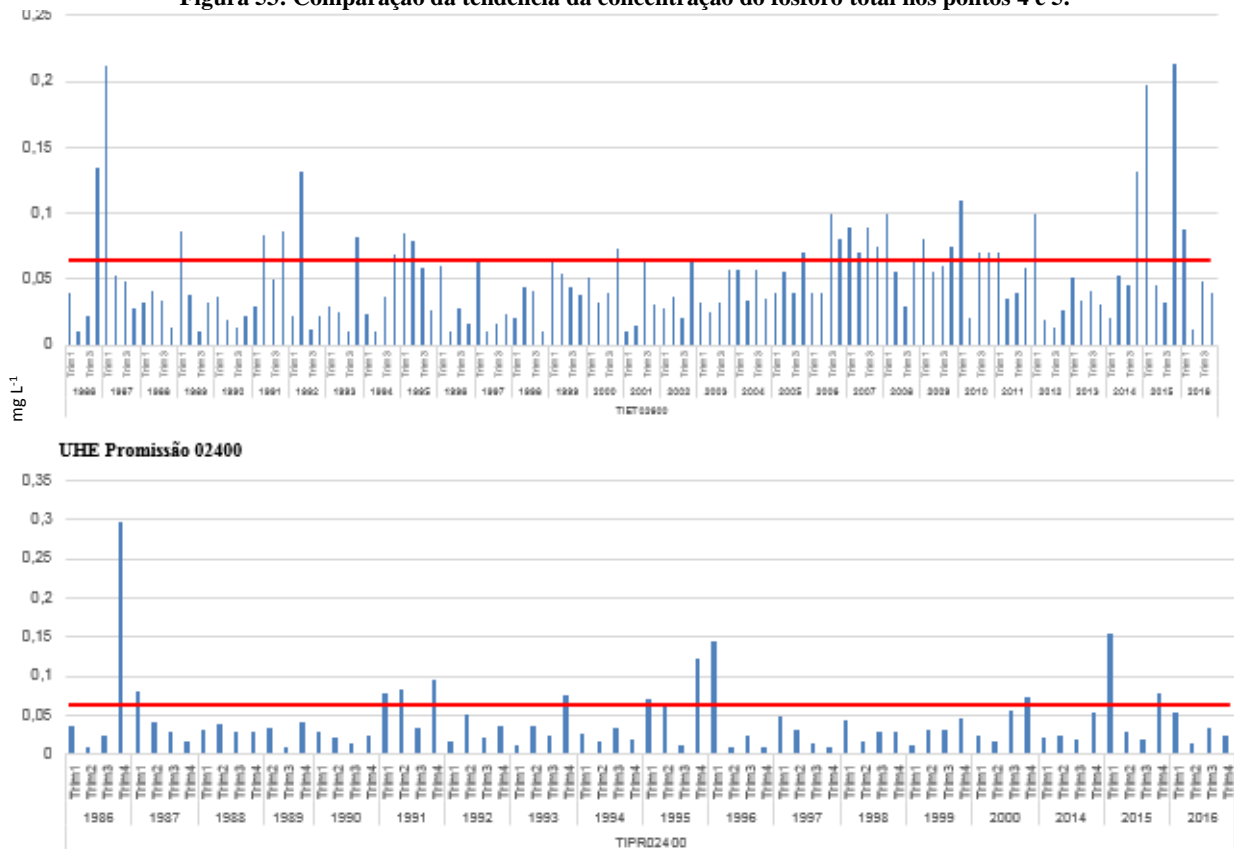
Ao destacar o período de 1996 a 2014 dos pontos 3 e 4 é possível verificar as tendências distintas. Avaliando numericamente, a concentração inicial em 1995 do ponto 3 é  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  e no ponto 4 é  $0,003 \text{ mg L}^{-1}$ , ao passo que em 2014, é  $0,25 \text{ mg L}^{-1}$  para  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente (Figura 52).

**Figura 52: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 3 e 4 no período de 1995 a 2014.**



No reservatório de Promissão (ponto 5) os picos de chuva são compatíveis com os de Ibitinga (Figura 53) e a variação do fósforo total ao longo dos anos é menor que nos pontos anteriores, ou seja, não foi crescente com o passar dos anos, mostrando que a grande carga proveniente de São Paulo se depurou ao longo do percurso e ainda que a influência da chuva na disponibilização de matéria orgânica têm efeito nas concentrações de fósforo.

Figura 53: Comparação da tendência da concentração do fósforo total nos pontos 4 e 5.

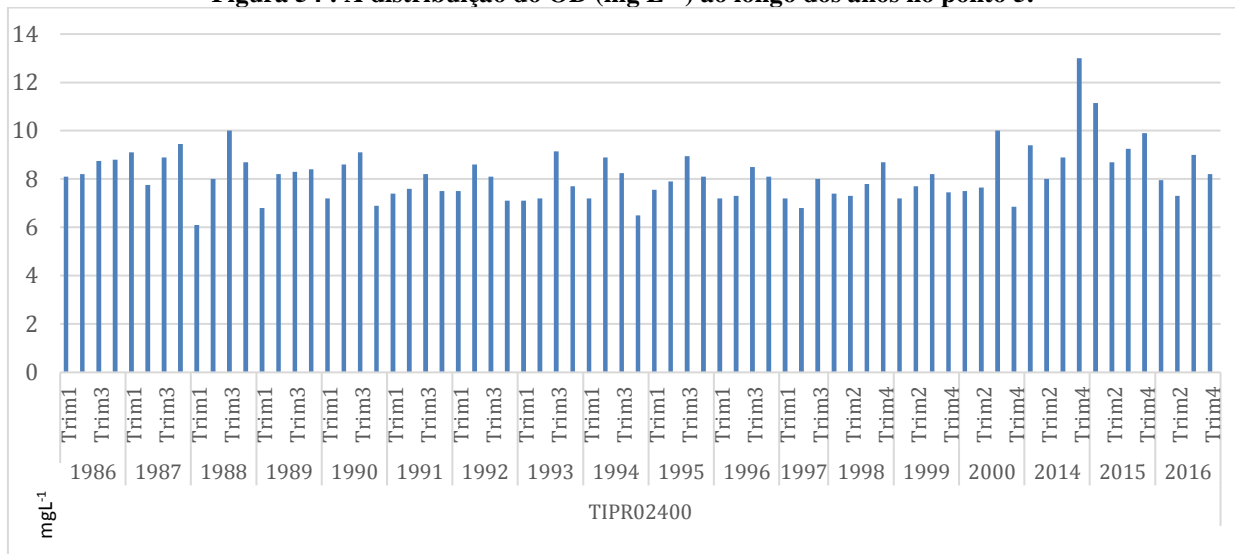


Ao observar o referido reservatório como um sistema, a carga de entrada vista em no reservatório de Ibitinga (ponto 4) em um período de pico, normalmente inferior a  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ , chega ao reservatório de Promissão com valores de  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ .

### 6.1.7 Oxigênio Dissolvido

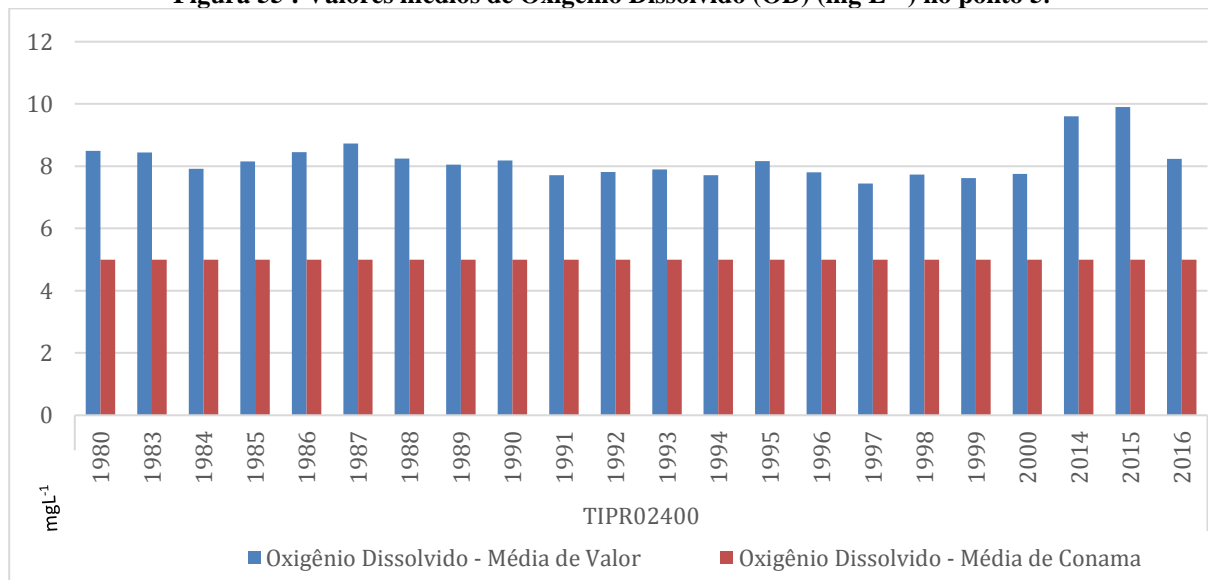
A distribuição do Oxigênio Dissolvido (OD) ao longo dos anos pode ser notada na Figura 54, apresentando uma tendência de variação sazonal no período de 1986 a 2016 devido a alteração da temperatura e da atividade biológica no reservatório. A variação da temperatura tem importante papel neste parâmetro. A concentração de OD em ambientes estratificados varia com a profundidade, ou seja, maior na superfície e menor no fundo.

**Figura 54 : A distribuição do OD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos no ponto 5.**

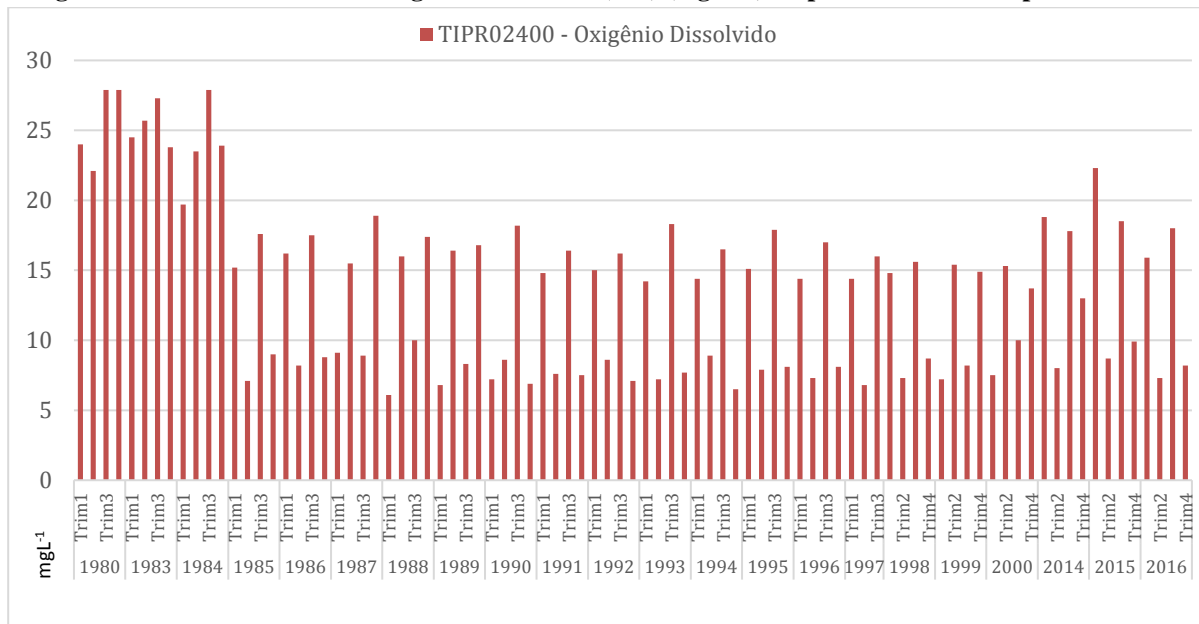


Os valores de OD aparecem acima do mínimo exigido pela legislação ( $\geq 5 \text{mg L}^{-1}$ ), mas ao analisar por trimestre, percebe-se o comportamento oscilante de acordo com a pluviometria (Apêndice I) e as mudanças de cotas do reservatório e nota-se que muitas vezes permanece bem próximo ao mínimo, conforme Figuras 55 e 56.

**Figura 55 : Valores médios de Oxigênio Dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 5.**

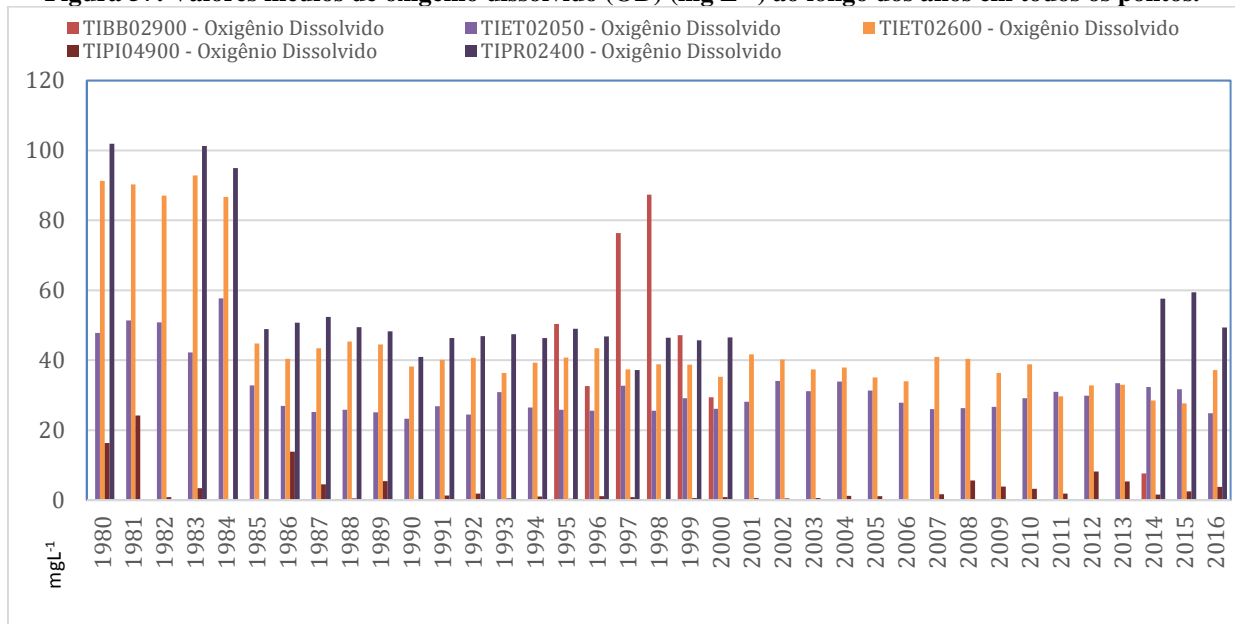


**Figura 56: Valores médios de Oxigênio Dissolvido (OD) (mg L<sup>-1</sup>) no ponto TIPR 02400 por trimestre.**



A Figura 57 apresenta o OD nos diferentes pontos, ou seja, considera também a espacialidade e a temporalidade para a análise. Em 1981 o ponto 4 situado em Ibitinga apresentou 91,3 mg L<sup>-1</sup> e após 1984 a concentração começou a reduzir, passando para 48,9 mg L<sup>-1</sup>. Já o ponto 2 iniciou seus registros com 47,8 mg L<sup>-1</sup> em 1980 e foi decrescendo com média de 30 mg L<sup>-1</sup>.

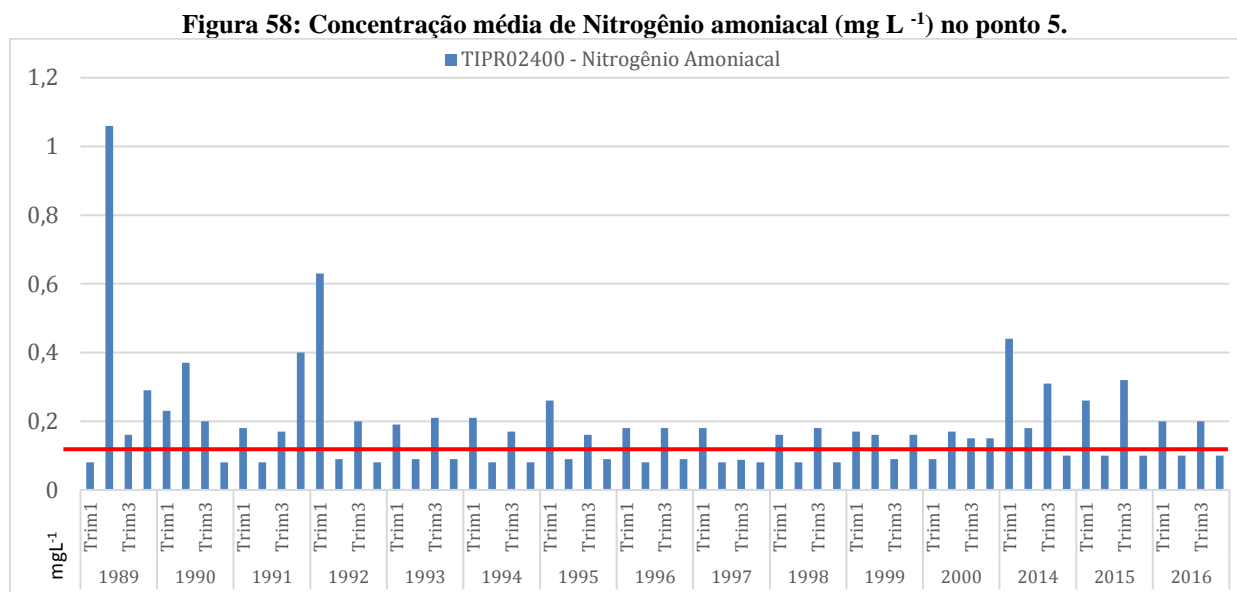
**Figura 57: Valores médios de oxigênio dissolvido (OD) (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



### 6.1.8 Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio é um elemento essencial na vida aquática e, muitas vezes, desenvolve o papel de fator limitante na produção primária dos lagos e reservatórios. Assim como a densidade, a distribuição do nitrogênio na coluna d'água é influenciado pelo comportamento térmico da água, como por exemplo a ocorrência do processo de amonificação em águas eutrofizadas.

Percebe-se, na Figura 58, que há variação na concentração de nitrogênio amoniacal devido ao processo de amonificação nos períodos de estratificação, ou seja, nos trimestres de altas temperaturas (verão) ocorre a redução do nitrato que se transforma em amônia, processo bem estudado na limnologia.



A variação na concentração das formas do nitrogênio e a relação com as camadas da coluna d'água pode ser observadas na Tabela 3.

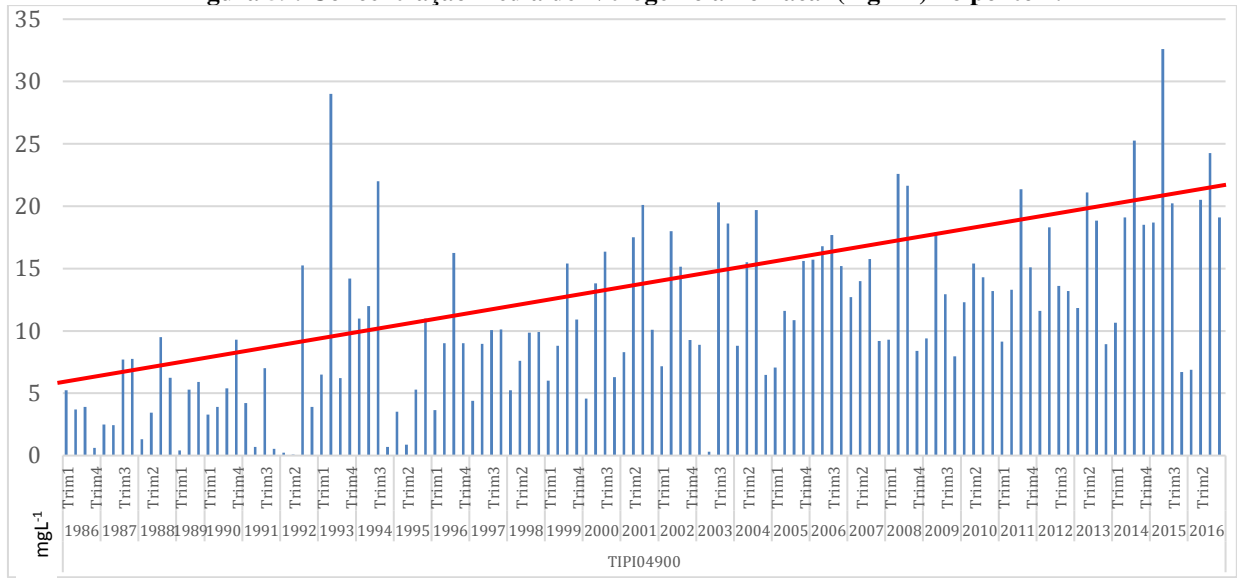
**Tabela 4: Estado trófico de lagos temperados ( $\text{mg L}^{-1}$ )**

Estado Trófico	N-amon.	Nitrato	Nitrito
Oligotrófico	0,0 - 0,3	0,0 - 1,0	0,0 - 0,5
Mesotrófico	0,3 - 2,0	1,0 - 5,0	0,5 - 5,0
Eutrófico	2,0 - 15,0	5,0 - 50,0	5,0 - 15,0

Fonte: ESTEVES (1998).

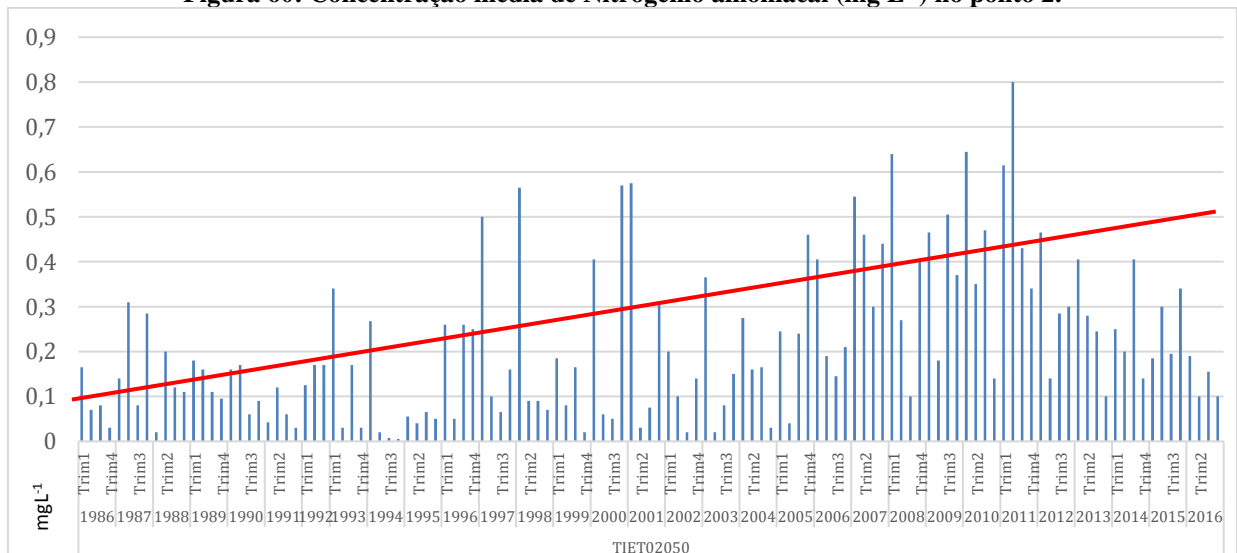
Trabalhou-se com os dados de nitrogênio amoniacal em todos os pontos analisados para verificar seu comportamento ao longo do tempo ao percorrer a distância da região metropolitana até o interior paulista. A Figura 59 mostra a variação do N amoniacal no primeiro ponto situado no Alto Tietê.

**Figura 59: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1.**



É notável a tendência de crescimento devido à presença de esgoto que intensifica os ciclos biogeoquímicos da matéria orgânica, elevando de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  em 1986 a  $18 \text{ mg L}^{-1}$  em 2016. Já o ponto 2 (Figura 60) encontra-se em 1986 com baixa concentração  $0,18 \text{ mg L}^{-1}$  mas ao analisar na temporalidade vê-se a média elevada ao longo dos anos.

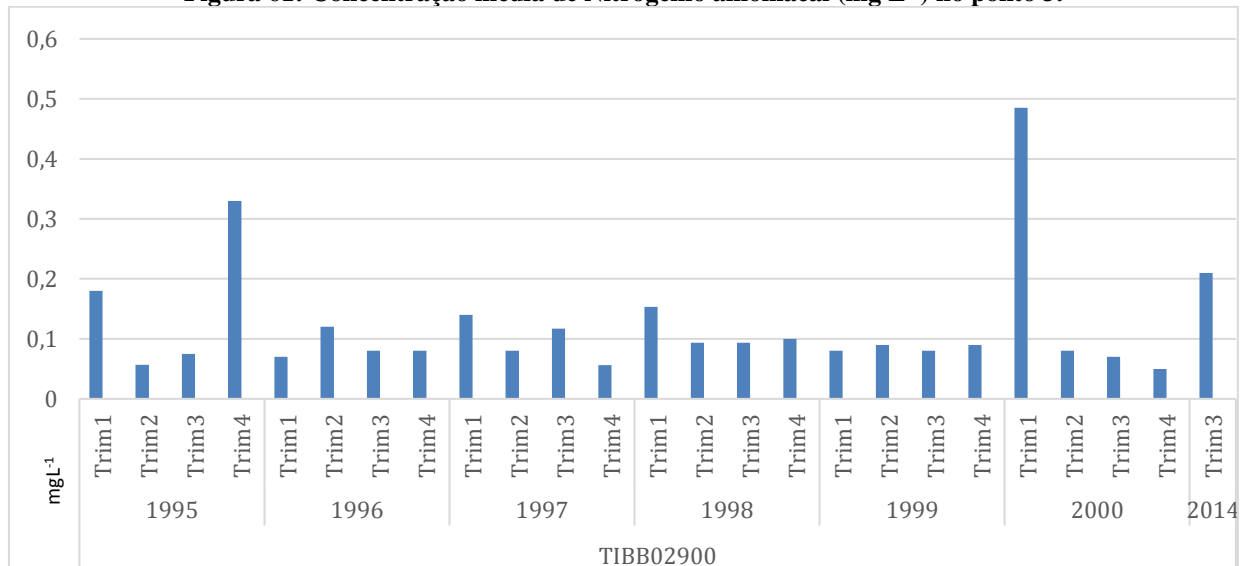
**Figura 60: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 2.**





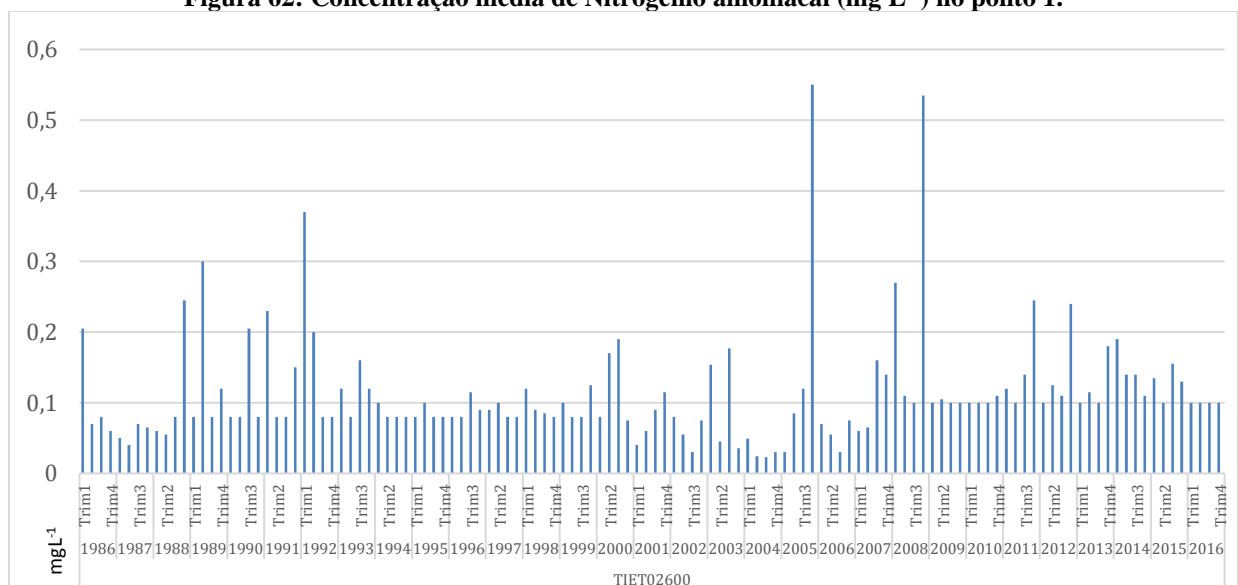
O ponto de Barra Bonita (ponto 3) não há registros completos, sendo o primeiro somente em 1995. Na década existente prevalece  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , com picos nas épocas de chuva. Em janeiro de 2000 lê-se  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , a maior concentração neste período (Figura 61).

**Figura 61: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 3.**



No ponto de Ibitinga (ponto 4) a média prevalece em  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  apresentando períodos de picos entre 1988 a 1992, com destaque nos anos meses de verão de 2005 e 2009 (Figura 62).

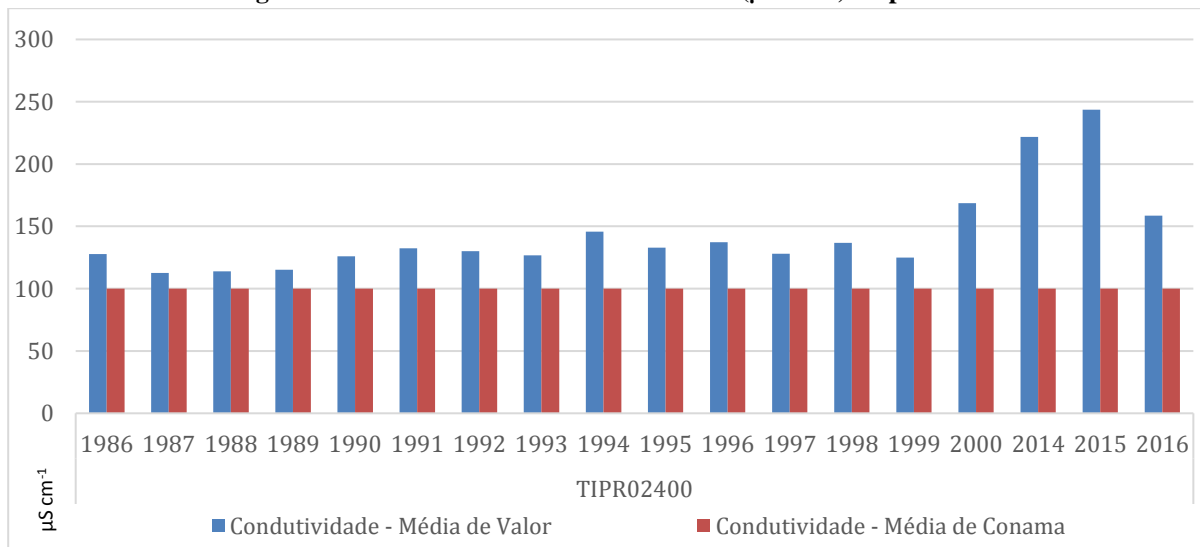
**Figura 62: Concentração média de Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no ponto 1.**



### 6.1.9 Condutividade

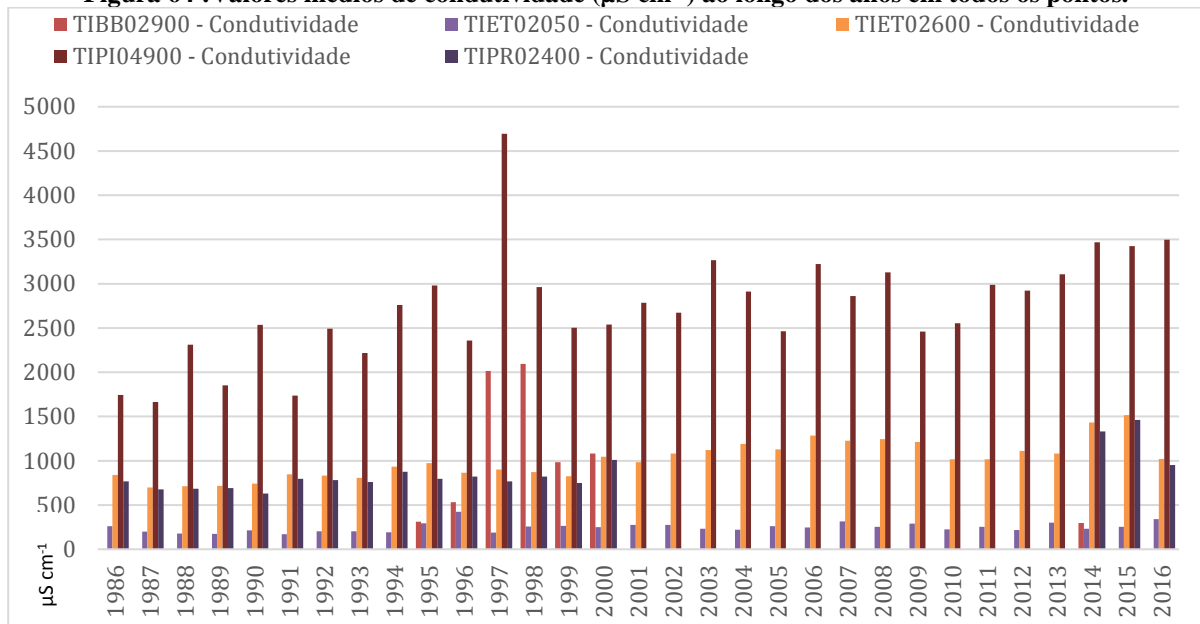
A ausência de mata ciliar intervém na condutividade, pois a falta de barreiras contra a lixiviação e processos de assoreamento do solo contribuem no aumento da concentração total de sais dissolvidos presentes na água. A CETESB (2017) considera níveis superiores a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  uma indicação de ambientes impactados. A Figura 63 exprime os dados de condutividade do reservatório de Promissão, nos quais todas as análises resultaram em valores acima do VMP, apresentando a necessidade de recomposição de matas ciliares nos reservatórios para evitar a lixiviação de diversos tipos de substâncias presentes nas lavouras e nas áreas urbanizadas. Há também relação com a pluviometria, sendo que anos com chuvas fartas estão afinados com o aumento dos valores de condutividade.

**Figura 63: Valores médios de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) no ponto 5.**



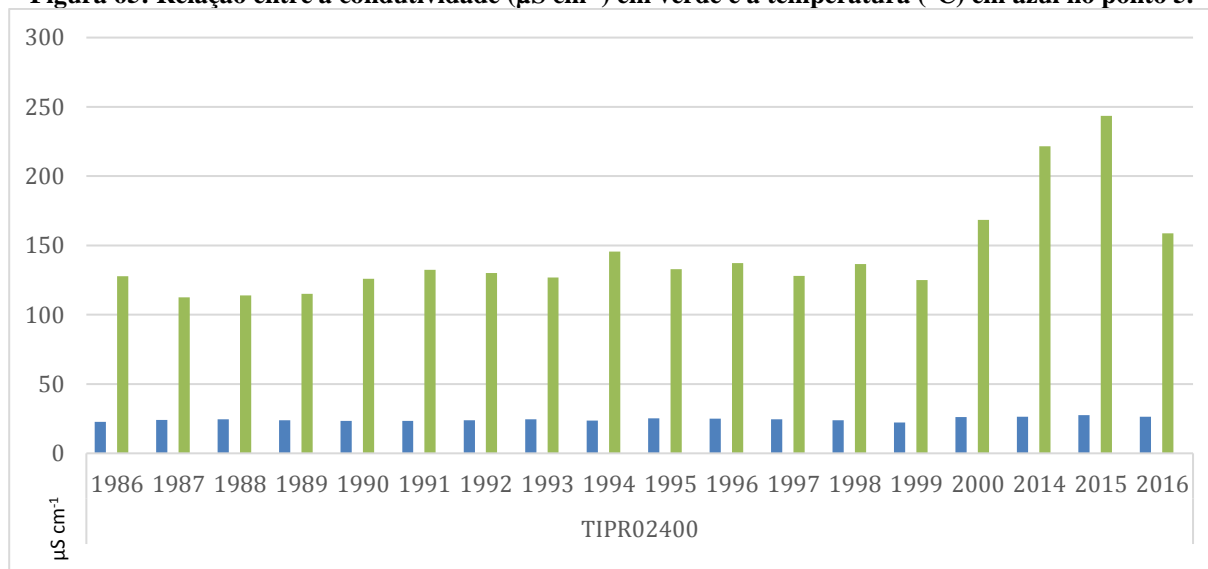
O ponto 1 apresenta valores exorbitantes de condutividade apontando que o rio se encontra poluído em toda a temporalidade analisada, com uma progressão na concentração de 1745 a 3498  $\mu\text{S cm}^{-1}$  devido ao aumento da ocupação urbana e da produção agrícola. Os picos observados em 1997 são devidos as chuvas que neste ano somaram-se 422,5 mm em janeiro, uma das maiores marcas da série (Figura 64).

**Figura 64 : Valores médios de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



Os parâmetros que interferem na condutividade são as concentrações iônicas e a temperatura, que representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Na Figura 65 pode-se observar o comportamento da condutividade e da temperatura ao longo dos anos, o qual aquele aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, muito deles proveniente do arraste da camada superficial do solo no entorno dos reservatórios. No banco de dados utilizado para este estudo não há registros de sólidos dissolvidos suficientes para serem computados, havendo somente dos anos de 1986 a 1988.

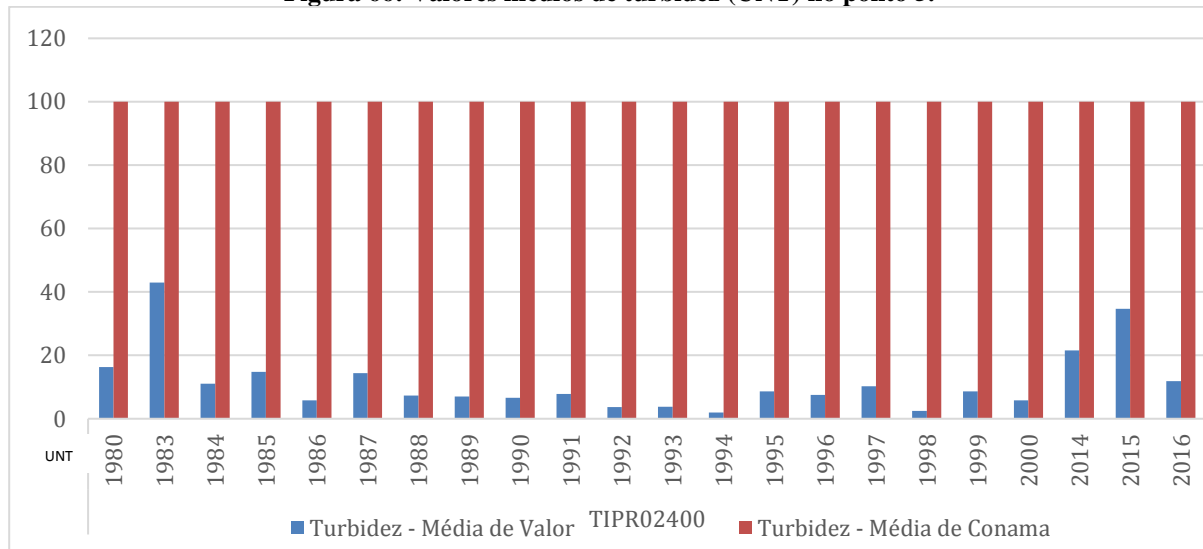
**Figura 65: Relação entre a condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) em verde e a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) em azul no ponto 5.**



### 6.1.10 Turbidez

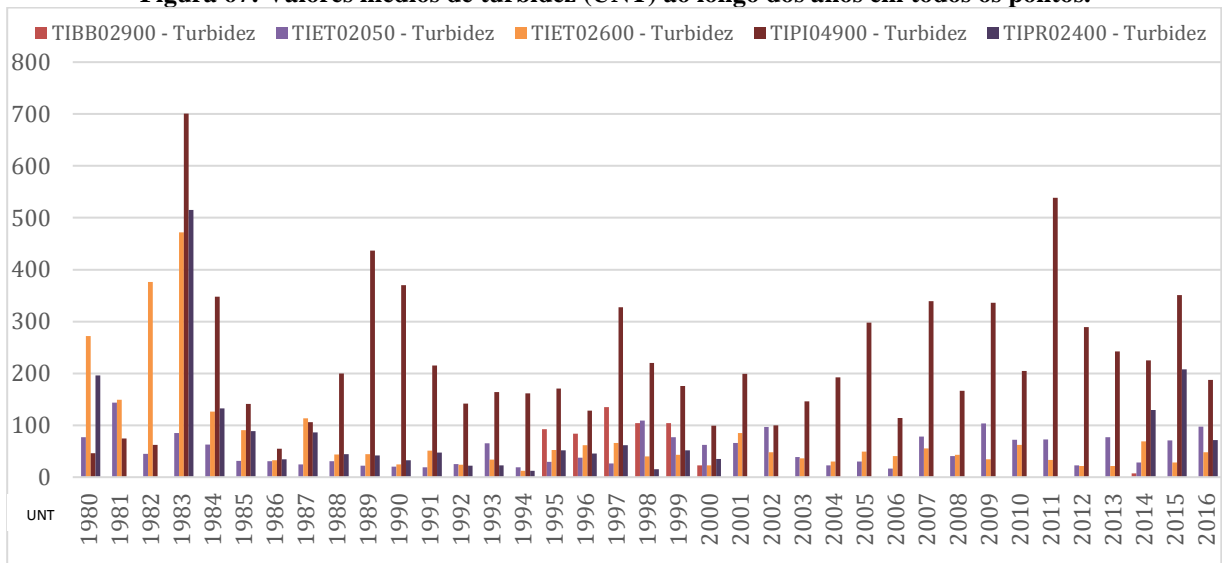
A temporalidade da turbidez no reservatório de Promissão se manteve na variação entre 10 a 20 UNT, conforme Figura 66. Nota-se dois picos nos anos de 1980 a 1983 e após o ano 2000.

**Figura 66: Valores médios de turbidez (UNT) no ponto 5.**



Já na Figura 67 pode-se acompanhar nos demais pontos. Percebe-se que o ponto que mais oscilou ao longo dos anos foi o ponto 1, variando de 701 UNT em 1983 com maior valor para 34,7 UNT em 1986, menor valor da série. Pode-se associar com a maior vulnerabilidade do reservatório por falta de cobertura vegetal nas bordas e pela maior susceptibilidade ao escoamento superficial desses ambientes, impedindo a sedimentação das partículas. A sazonalidade também interfere neste parâmetro devido a quantidade de chuvas no período avaliado.

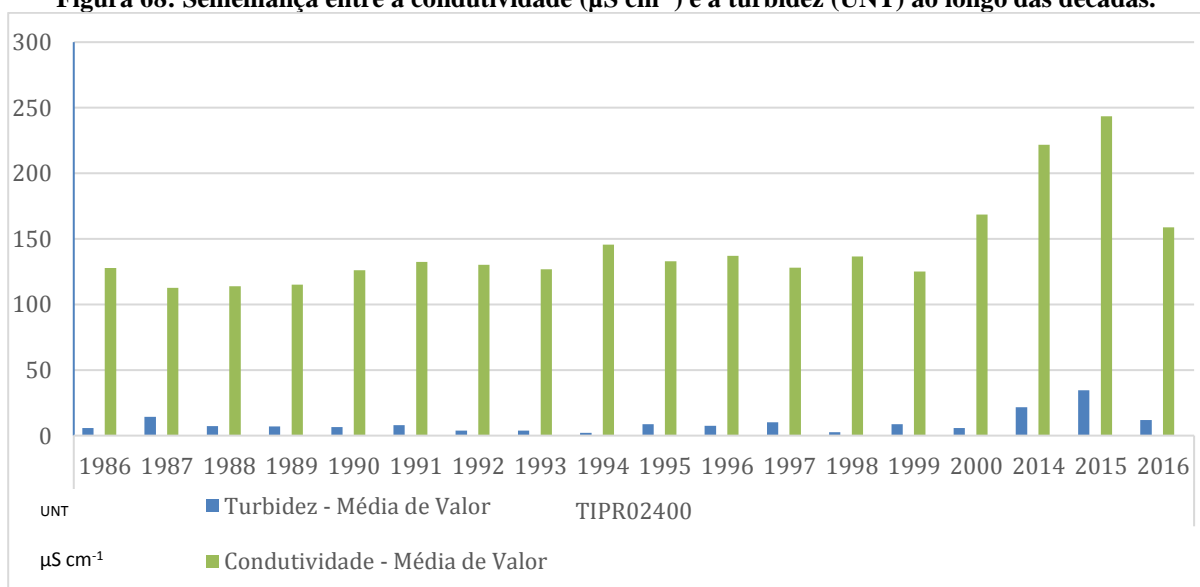
**Figura 67: Valores médios de turbidez (UNT) ao longo dos anos em todos os pontos.**



Alterações da turbidez no meio hídrico são provocadas por despejo de esgotos domésticos, efluentes industriais de diversos tipos, além do uso incorreto do solo. Essas ações têm como consequência impactos nos ecossistemas aquáticos e nos diversos usos da água para o homem, sendo esses problemas intensificados nas estações chuvosas. Por tratar de reservatórios, a permanência de sólidos suspensos no meio aquoso ocorre quando comparada a rios.

A semelhança entre a tendência da condutividade e da turbidez pode ser observada na Figura 68.

**Figura 68: Semelhança entre a condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) e a turbidez (UNT) ao longo das décadas.**

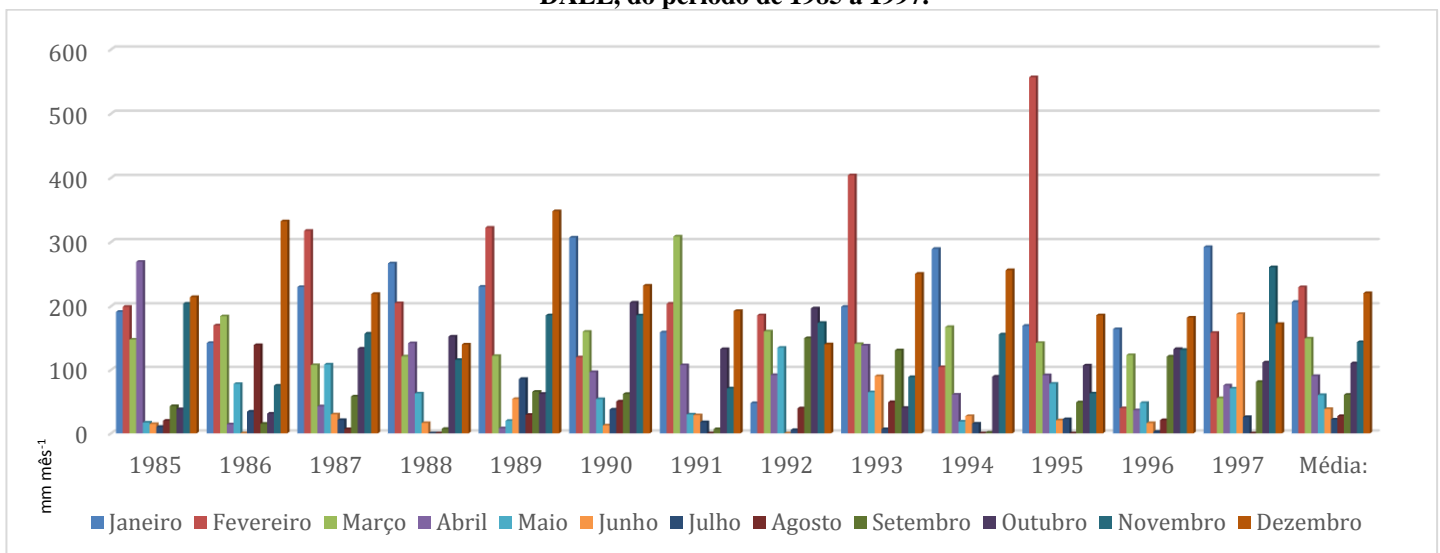


### 6.1.11 Dados pluviométricos

Com os dados de pluviometria disponibilizados pela DAEE foram elaborados os histogramas apresentados abaixo. Infelizmente a série não abrange a temporalidade completa proposta neste estudo pois na base não há registros de todos os anos em todos os pontos em que monitoram. Para análise foram utilizados os dados tabelados onde verificou-se valores e médias de cada ano e encontram-se disponíveis em arquivos anexos à tese. Para apresentá-los no texto foram inseridos em forma de gráficos devido a extensão das tabelas.

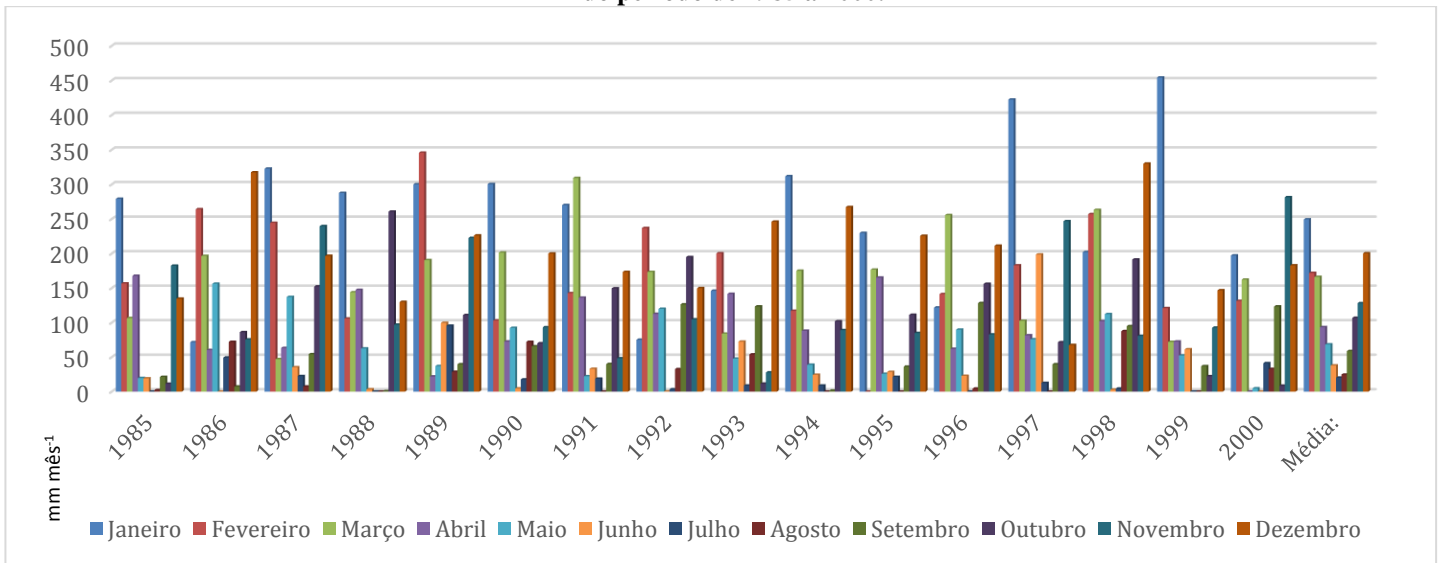
As Figuras 69 e 70 correspondem aos levantamentos na área da UGHRI 16, situados em dois pontos distintos (C%-110 em Ibitinga-SP e C6-085 em Sales-SP) distribuídos na entrada e na saída da sub bacia. Esta série possui dados de 1985 a 1997, somente.

**Figura 69: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto C5-110 (Ibitinga-SP) do DAEE, do período de 1985 a 1997.**



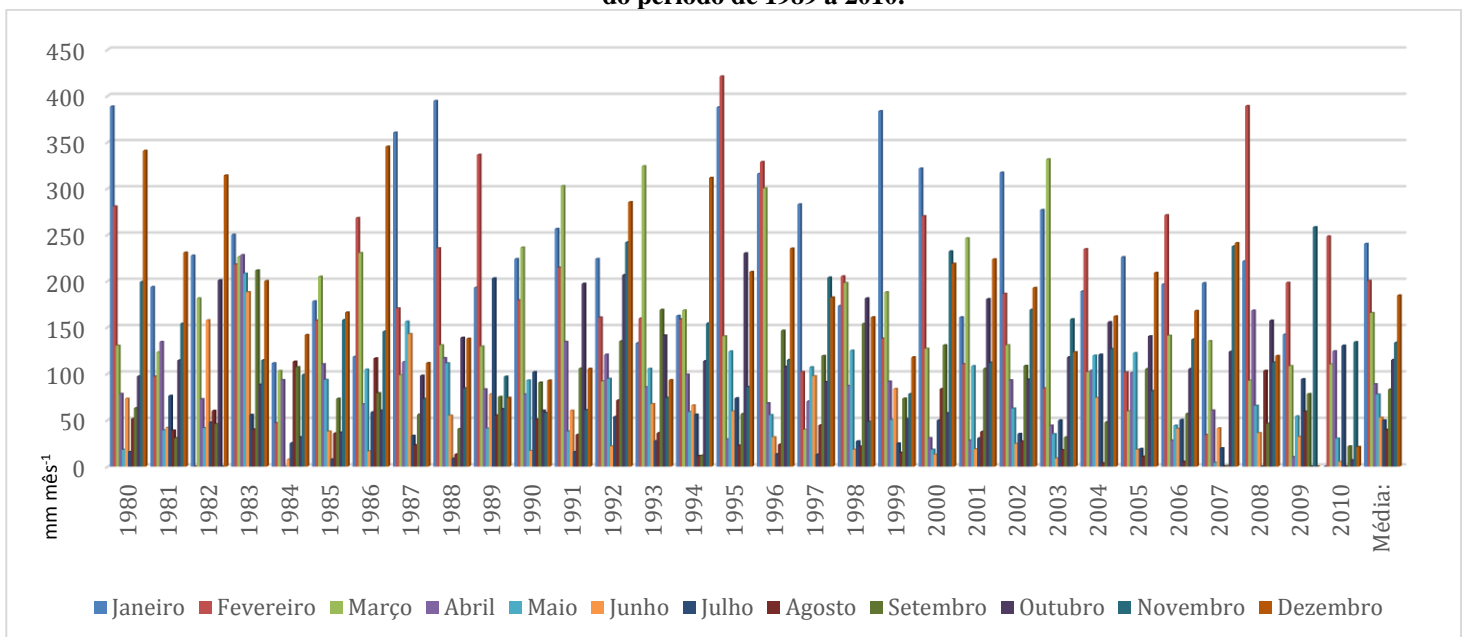
Fonte: SIBH - Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas, DAEE, 2018.

**Figura 70: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto C6-085 (Sales-SP) do DAEE, do período de 1985 a 2000.**



As Figuras 71 a 74 correspondem aos levantamentos da UGHRI 6 e 10, situados em dois pontos distintos do rio Tietê (E2-130) em Paraibuna. Cada ponto possui dados de períodos diferentes, dificultando a exatidão das análises na temporalidade proposta.

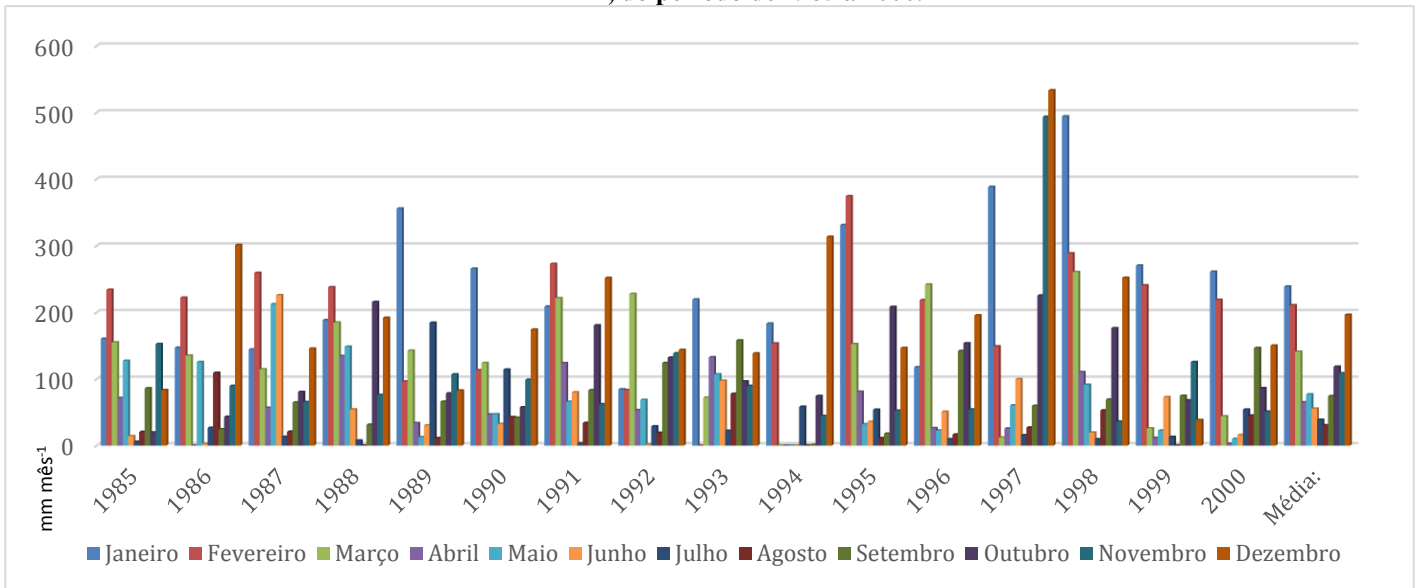
**Figura 71: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto E2-130 (Pirapora) do DAEE, do período de 1989 a 2010.**







**Figura 74: Dados pluviométricos (mm/mês) com as médias mensais do ponto E4-129 (Araçariguama) do DAEE, do período de 1985 a 2000.**



## 6.2 Análises das tendências temporais

Os dados históricos pluviométricos (mm/mês) das três bacias foram disponibilizados pelo DAEE, através do SIBH - Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas, no qual os pontos que estão dentro da área em estudo foram definidos pelo órgão e possuem nomenclaturas específicas. Os histogramas encontram-se no Apêndice I e não abrangem a temporalidade completa proposta neste estudo pois na base não há registros de todos os anos em todos os pontos em que monitoram.

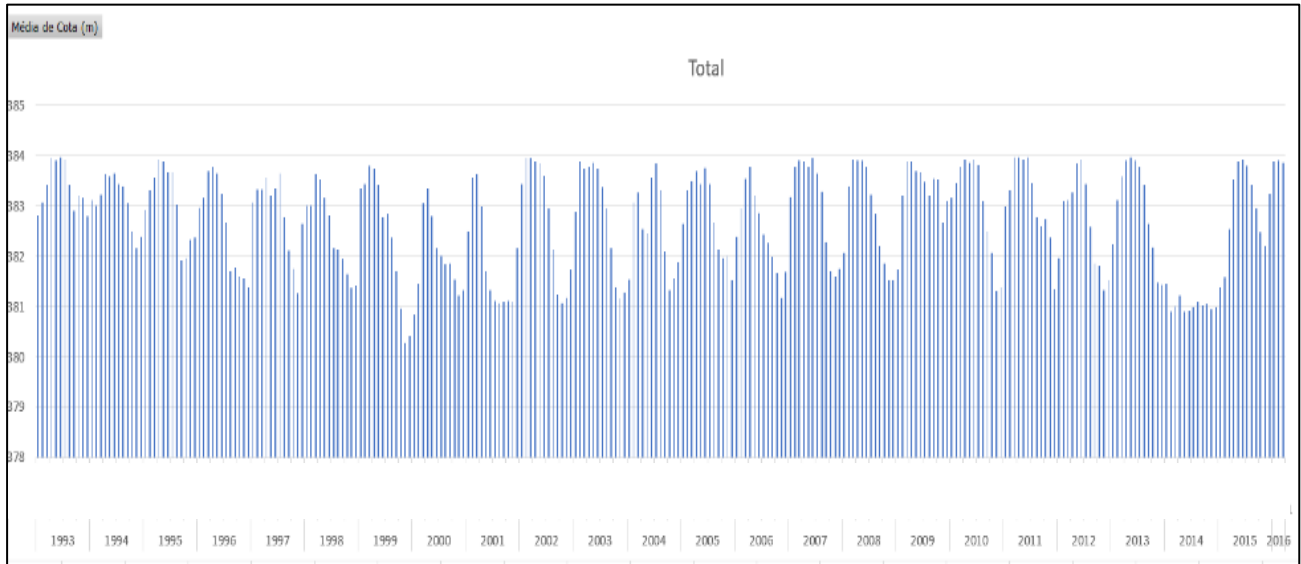
Collischonn et al. (2005) e Brandão (2016) apontaram a relação entre a qualidade ambiental de um rio e dos seus ecossistemas com o regime hidrológico, ou seja, as vazões mínimas e máximas, as estiagens, a frequência das cheias, entre outros.

Os resultados foram baseados na análise das plantas da topografia original do reservatório em 1975 e do levantamento topo batimétrico realizado por Maya e Villela (2006), que apontaram assoreamento ao longo dos anos, com variação do volume útil em 1975 para 2005 de 2146,62 hm<sup>3</sup> para 2056,82 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Nota-se que o volume total do reservatório e do volume útil foram reduzidos em trinta anos de operação. Porém, os dados do citado estudo não mostram ao certo em quais anos esse volume reduziu ou se foi um processo contínuo ao longo do período estudado.

Para complementar, buscou-se os dados coletados pelo DAEE em relação às cotas médias do reservatório de Promissão (Figura 75), que confirmam a regulação dos níveis ao longo do ano

e anualmente entre 1993 e 2016, que se dá devido aos meses de cheias e secas. Não foi possível analisar toda a temporalidade proposta neste estudo pois a fonte dos dados não possui registros equivalentes.

**Figura 75: Média das cotas (m) medidas de montante no período de 1993 a 2016 do reservatório de Promissão.**



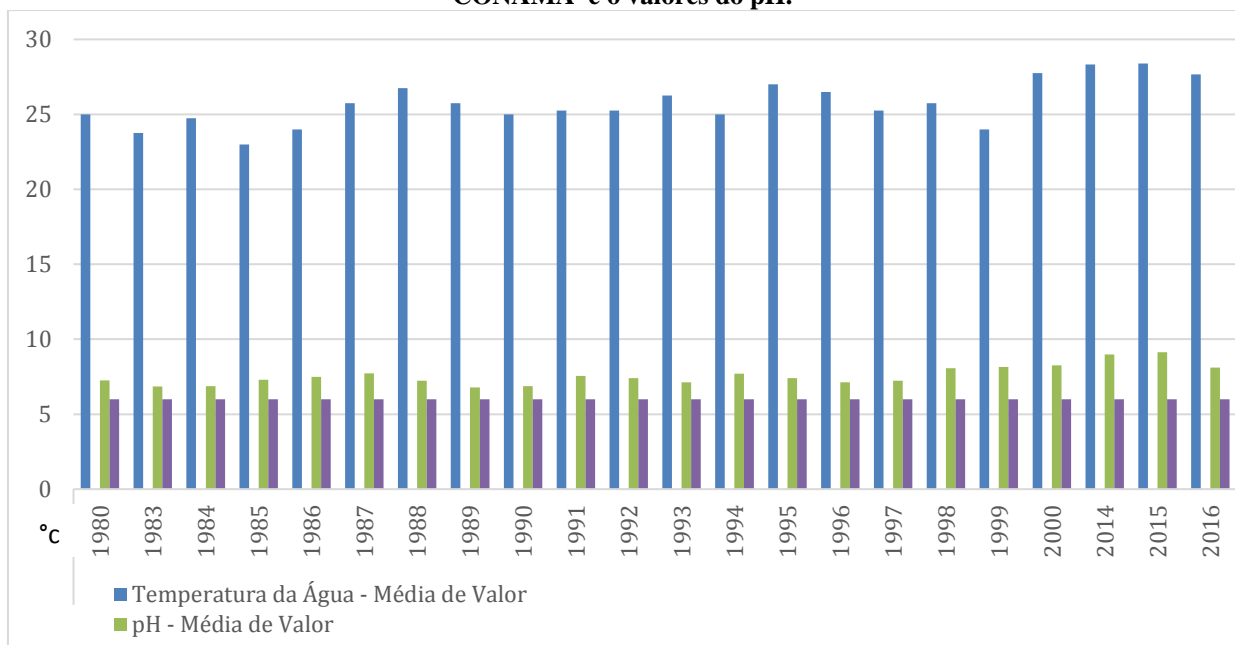
O fato é que essas mudanças do nível da água alteram os sistemas ambientais dos reservatórios, incluindo animais e microrganismos, além de alterar parâmetros importantíssimos como densidade e temperatura (SANTOS, 2014).

A temperatura influencia nas configurações dos ambientes aquáticos, tanto que está inserida como parâmetro de controle de poluição na Resolução Conama nº357/05. Com o aumento da temperatura, ocorre a aceleração da velocidade das reações de decomposição de compostos orgânicos. Importante salientar que, em contrapartida, a mesma situação faz com que a solubilidade dos gases fundamentais para os processos de decomposição como o oxigênio diminua, ou seja, ocorre a desaceleração dos processos de decomposição aeróbia, conseqüentemente inicia-se os processos de decomposição anaeróbia, que produz como produto o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), responsável pelo mal odor das águas poluídas. Um exemplo é a represa do Guapiranga, em São Paulo, cujo despejo de esgotos é frequente, conduzindo ao problema cíclico de eutrofização, que por sua vez gera fortes odores pela presença de compostos odoríferos de algumas algas cianofíceas produzem. Essa situação também se tornou frequente no reservatório foco de estudo, uma vez que há diversos registros na CETESB com problemas de mal cheiro devido às águas eutrofizadas e à decomposição anaeróbia nos braços do rio Tietê.

A presença do mal cheiro (odor de ovo podre, mercaptanas e amônia) perdura por meses durante o verão, fato que prejudica a região por ser considerada turística, onde existem municípios que são classificados como Municípios de Interesse Turístico (MIT) pela Secretaria de Estado do Turismo.

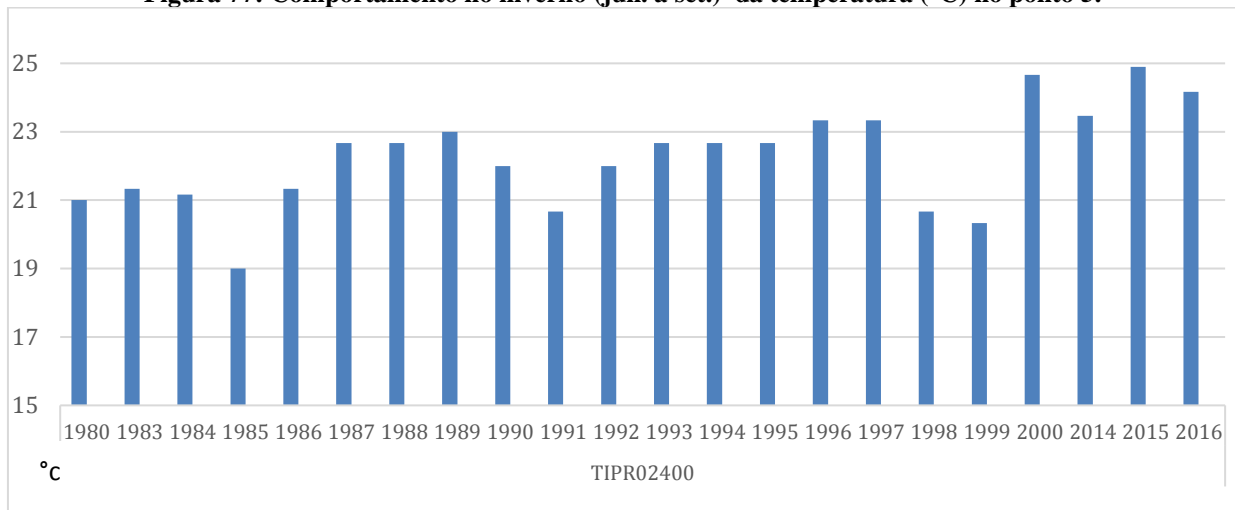
Ao analisar a temporalidade do parâmetro temperatura no ponto do reservatório Tietê Batalha (Figura 76), nota-se que a mesma se manteve acima dos 25°C desde 1987 a 1997, e elevou-se após o ano de 2000, com ápice em 2014.

**Figura 76: Comparativo entre os valores de temperatura (°C) no ponto 5, o limite estabelecido na CONAMA e o valores do pH.**

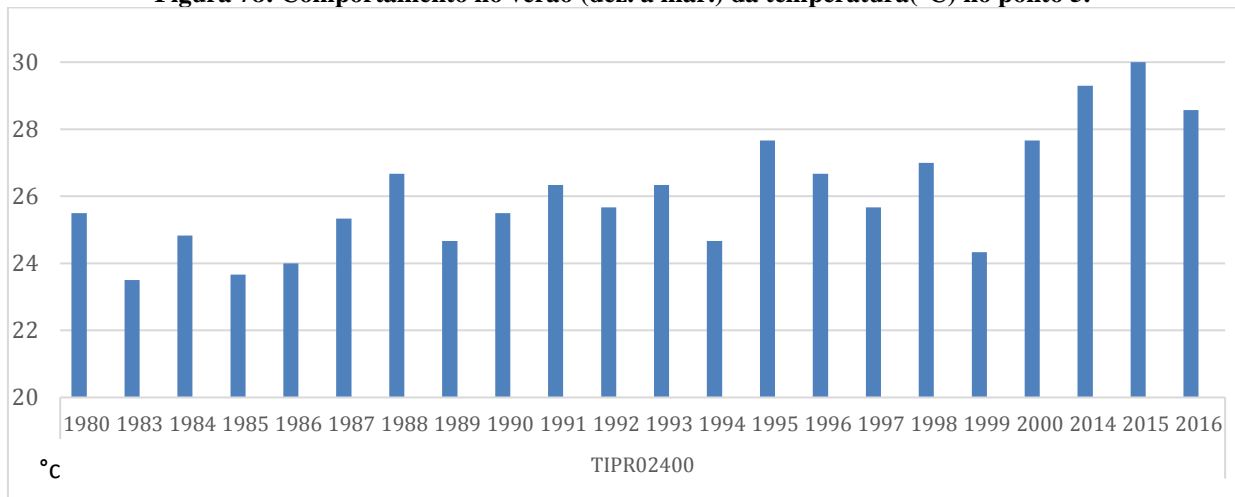


O comportamento sazonal da temperatura no ponto situado no reservatório de Promissão (TIPR02400) pode ser observado nas Figuras 77 e 78, com oscilações médias entre 18°C a 25°C nos meses frios e de 24°C a 30°C nos meses quentes, ou seja, acompanha as flutuações do clima durante o ano.

**Figura 77: Comportamento no inverno (jun. a set.) da temperatura (°C) no ponto 5.**

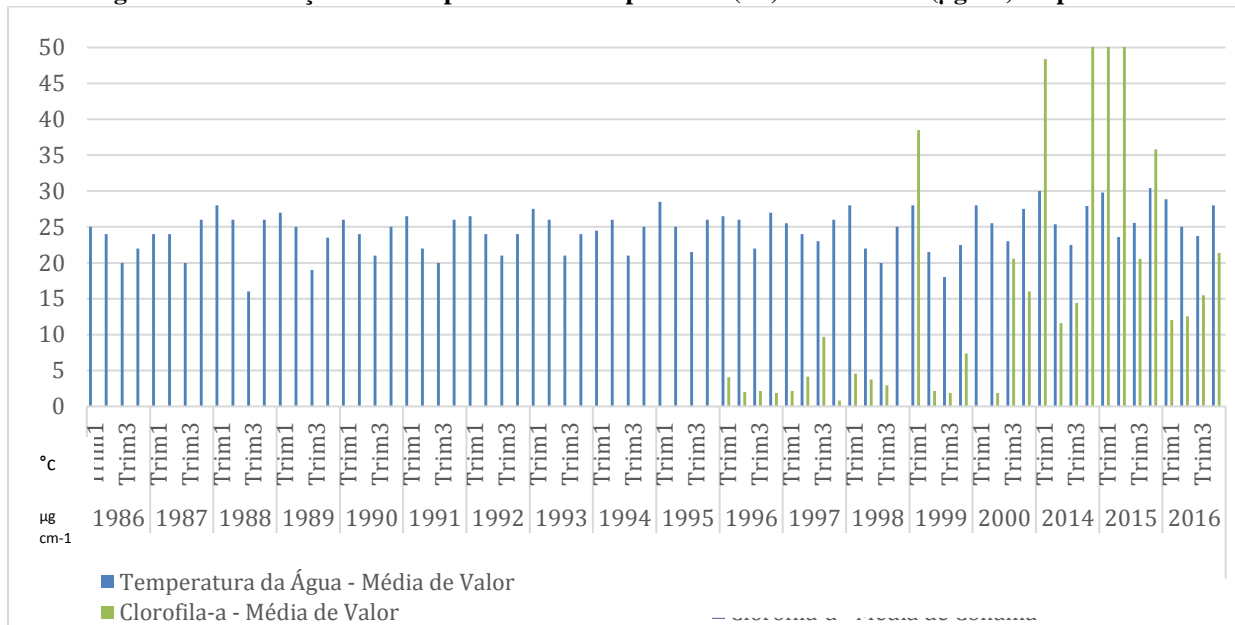


**Figura 78: Comportamento no verão (dez. a mar.) da temperatura(°C) no ponto 5.**



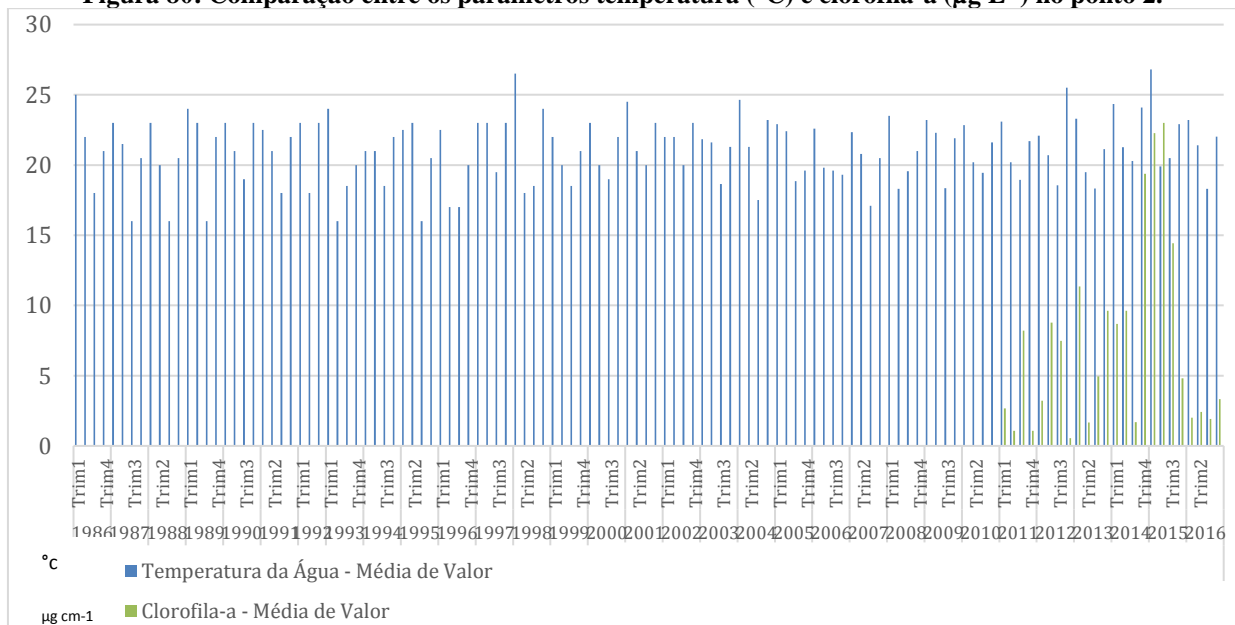
Correlacionando a temperatura à presença de algas verifica-se que o aumento da concentração de algas (clorofila-a) acompanha o aumento da temperatura, pois este parâmetro está relacionado com a densidade da água, ou seja, meses mais quentes (verão) a água superficial aquece e ocorre a estratificação térmica no rio. Como consequência ocorre a diferença de densidade na água, sendo o fundo com água fria e mais densa e a superfície com água mais quente e menos densa, fator que traz as algas concentradas na superfície, pois ficam mais leves que a água quente e; por empuxo, permanecem na camada superior. A Figura 79 mostra essa relação, mas não é completa devido ao banco de dados ser falho na periodicidade de registros de clorofila-a no ponto 5. No verão de 2014 para 2015 registrou-se um pico de  $700 \mu\text{g L}^{-1}$ .

**Figura 79: Correlação entre os parâmetros temperatura (°C) e clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 5 .**



A correlação da temperatura nos meses quentes com o aumento das algas que resultam na formação de “natas” verdes podem ser observadas em todos os pontos, conforme Figura 80 que exibe por trimestre essa evolução no ponto 2.

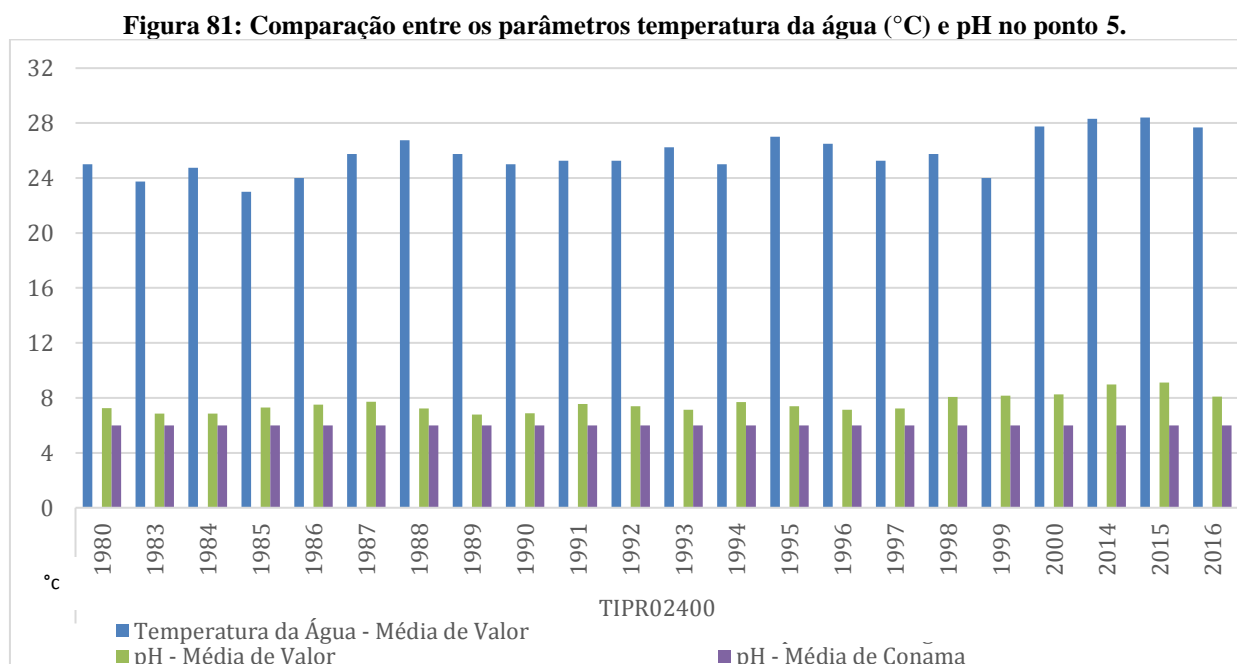
**Figura 80: Comparação entre os parâmetros temperatura (°C) e clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 2.**



É sabido que a temperatura influencia em demais propriedades físicas básicas da água não só na densidade, mas também na viscosidade e pH. Von Sperling (2014) salienta que em

reservatórios e lagoas o pH pode atingir naturalmente valores acima de 9,0 durante o período de máxima insolação devido à atividade fotossintética das algas, que removem o CO<sub>2</sub> alterando todo o sistema carbonato.

Nos pontos estudados pode-se observar o aumento do pH, sendo que nos anos de 1998 permaneceram acima de 8, fator que acarreta a intensificação do fenômeno de eutrofização, pois compostos adsorvidos como os fosfatos, por exemplo, estão depositados no sedimento de fundo e pela mudança do pH são liberados, enriquecendo as águas com nutrientes. O comparativo entre esses parâmetros pode ser observado nas Figuras 81.



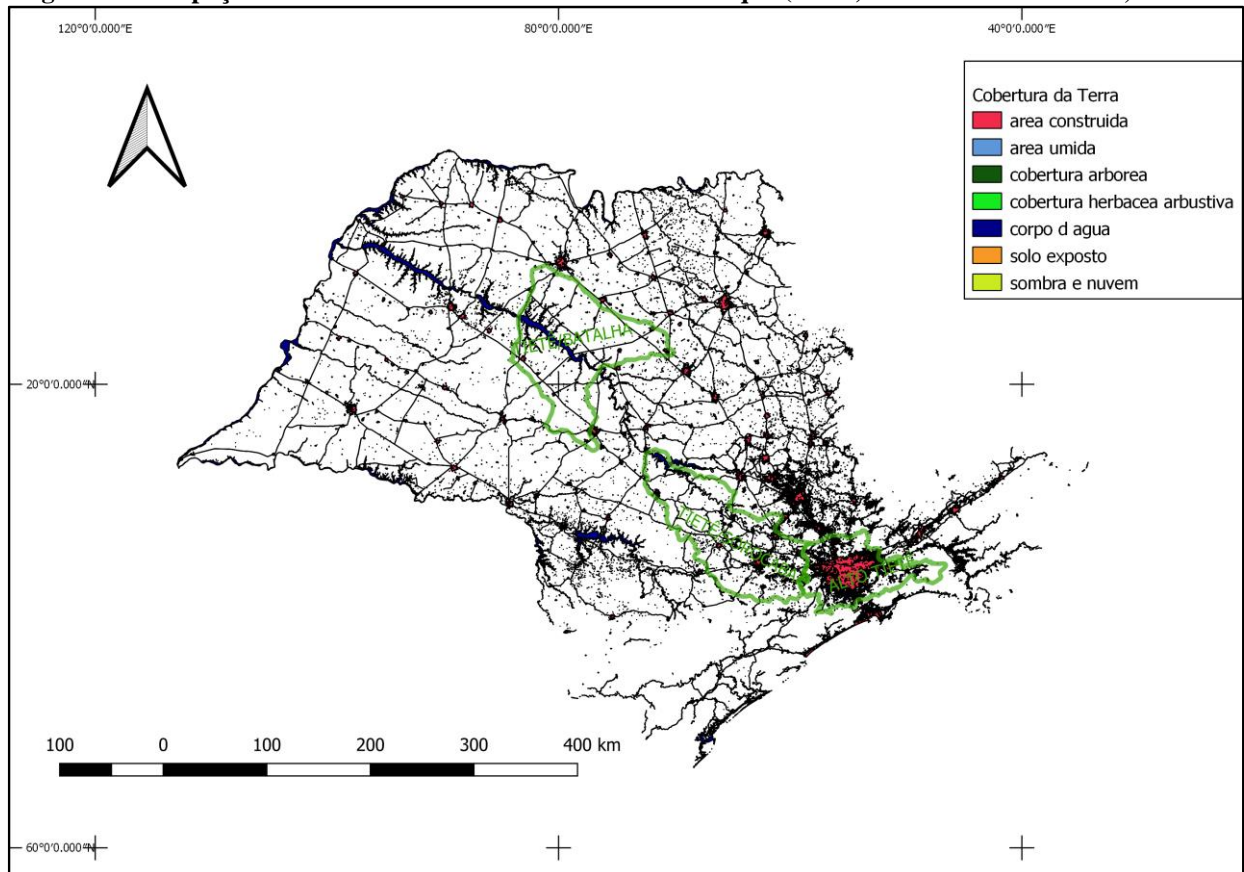
### 6.3 Análises das tendências espaciais

Nesta última etapa foi realizado o cruzamento de informações técnicas com as imagens de satélites processadas no QGIS e demais fontes de mapas temáticos. No tocante aos valores de todos os parâmetros, os resultados que apresentaram desconformidades estão situados nas UGRHIs com classificação industrial (UGHRI 6 e 10), seguida da classificação agropecuária (UGHRI 16), o que exalta a interferência que o uso do solo tem na qualidade hídrica das bacias. Pode-se verificar, através de dados do IBGE (2017) e imagens de satélite, o crescimento populacional em todas as bacias analisadas apresentando maior concentração nas UGRHIs 6 e

10 que se situam nas áreas industrializadas do estado de São Paulo, fato que proporciona oportunidades de empregos que, por sua vez, desloca a mão de obra de outras regiões do país.

A Figura 82 exibe o mosaico elaborado com as áreas com ocupação urbana (área construída) no estado de São Paulo, na qual observa-se a aglomeração urbana nas UGRHIs estudadas (verde).

**Figura 82: Ocupação urbana no estado de São Paulo. Em destaque (verde) as áreas das UGRHI 6, 10 e 16.**



Este dado está proporcionalmente correlacionado à geração de esgoto e à necessidade de infraestrutura para acolher essa população, como moradia e saneamento básico. Devido a concentração populacional, as obras não acompanham a demanda e os esgotos sanitários são lançados de forma incorreta, a céu aberto e sem tratamento na maioria dos municípios do país. Como forma de monitoramento a CETESB acompanha a evolução da cobertura do saneamento através do índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios (ICTEM) do estado de São Paulo, com ponderação de 0 a 10. A Tabela 5 apresenta os dados do levantamento realizado em 2017.

**Tabela 5 : Porcentagem da população atendida pela coleta e pelo tratamento de esgoto e Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios (ICTEM) nas áreas urbanas das 22 UGRHI. Em destaque as 3 UGHRI estudadas.**

UGRHI		População Urbana	Atendimento (%)		Carga Remanescente t DBO dia <sup>-1</sup>	ICTEM
Número	Descrição		Coleta	Tratamento		
1	Mantiqueira	60.410	54	52	1.691	5,61
2	Paraíba do Sul	2.047.230	93	78	36.665	7,23
3	Litoral Norte	316.662	52	43	11.156	4,79*
4	Pardo	1.165.440	98	83	15.541	7,92
5	Piracicaba/Capivari/Jundiaí	5.461.433	92	76	94.818	7,37
6	Alto Tietê	20.968.139	84	53	612.069	5,47
7	Baixada Santista	1.824.303	73	15	86.955	2,57*
8	Sapucaí/Grande	687.111	98	91	7.839	8,43
9	Mogi Guaçu	1.488.315	99	66	41.623	5,92
10	Sorocaba/Médio Tietê	1.833.260	88	76	33.636	7,19
11	Ribeira de Iguape/Litoral Sul	271.943	67	66	7.609	6,09
12	Baixo Pardo/Grande	339.200	99	74	6.361	7,31
13	Tietê/Jacaré	1.555.066	98	69	37.781	6,42
14	Alto Paranapanema	618.499	91	85	12.286	7,15
15	Turvo/Grande	1.249.176	99	93	12.128	9,8
16	Tietê/Batalha	505.778	99	92	6.140	8,24
17	Médio Paranapanema	651.956	96	96	7.757	8,39
18	São José dos Dourados	209.777	98	98	2.502	8,49
19	Baixo Tietê	749.935	98	98	9.630	8,21
20	Aguapeí	343.595	96	95	4.731	7,95
21	Peixe	435.984	89	47	14.664	4,95
22	Pontal de Paranapanema	461.680	96	91	5.166	8,47
Estado de São Paulo		43.244.892	88	64	1.068.749,20	6,27

Fonte: Relatório de qualidade das águas interiores, CETESB, 2017.

A UGRHI 6 apresenta porcentagens de pessoas atendidas pela coleta de esgoto de 84% e de tratamento em 53%, restando elevada carga remanescente, resultando no índice de 5,28. A UGRHI 10 possui 88% de coleta e 76% de tratamento, com ICTEM de 7,06. Já na UGRHI 16 a porcentagem com coleta de esgoto é maior (99%), tratamento com 92% e índice de 8,0.

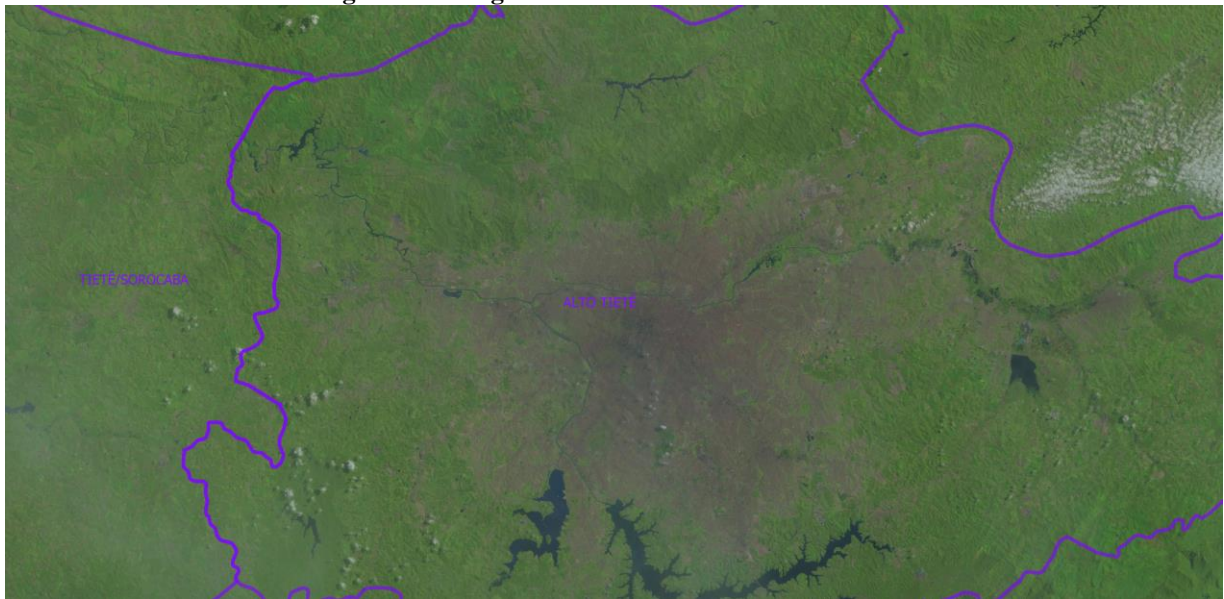
Este volume que não é tratado finda em poluição em mananciais superficiais como, por exemplo, o trecho do rio Tietê que cruza a cidade de São Paulo; e apresentam como consequência o elevado grau de trofia nos corpos hídricos das bacias 6 e 10, conseguinte, altos níveis de



nitrogênio e fósforo; baixa concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos afluentes do rio Tietê, que podem ser verificados em toda a série histórica do ponto 1 (Salto e Pirapora de bom Jesus).

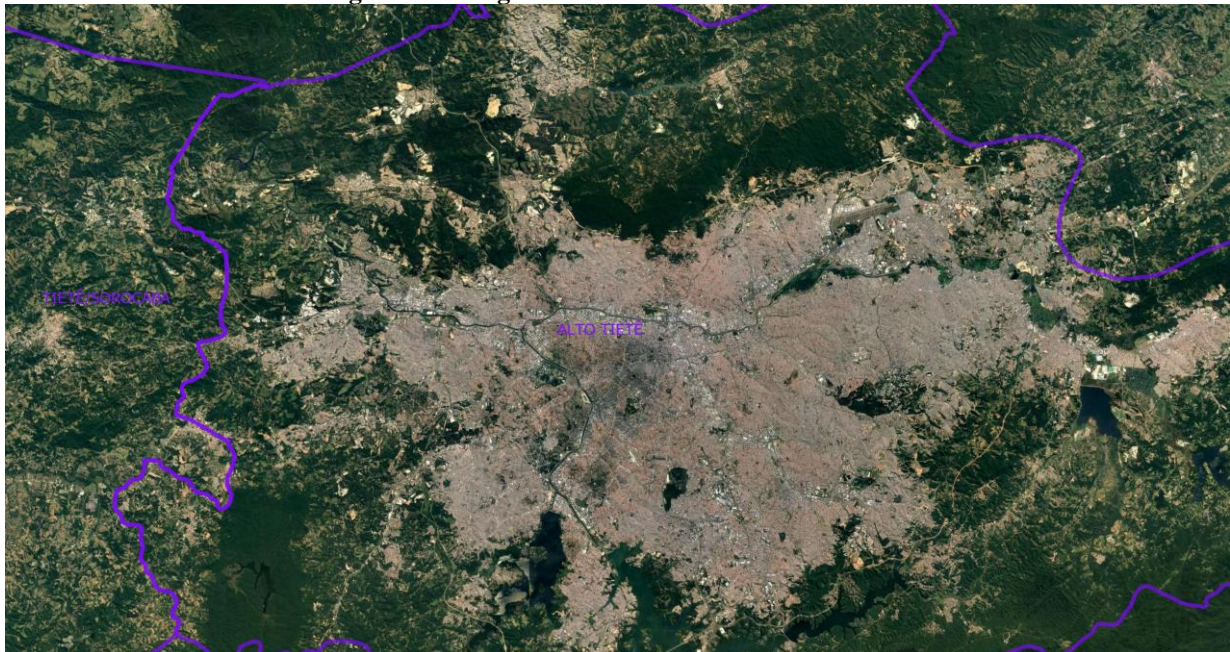
Ao realizar o levantamento espacial na bacia do Alto Tietê (Figura 83 e 84) identificou-se o aumento, no decorrer dos anos, das áreas construídas que embasam a problemática da densidade demográfica sem planejamento e o grande volume de esgoto doméstico gerado. Os limites da sub bacia Alto Tietê (roxo) auxiliam nesta observação.

**Figura 83: Imagem de satélite de 1989 da UGHRI 6.**



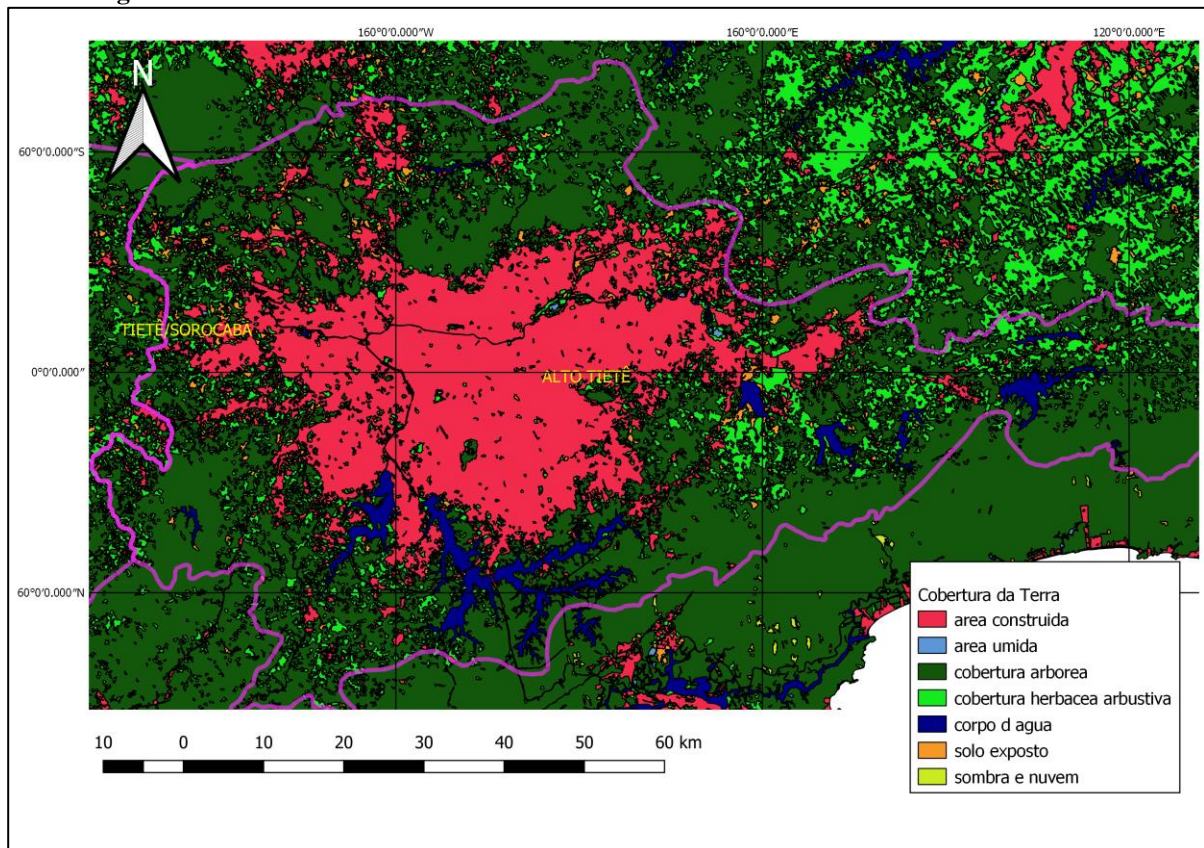
Nota-se que a urbanização acompanha a rede hidrográfica, trazendo todos os implicantes da ocupação humana que desaguarão até o leito principal, o rio Tietê. A partir daí surgem novas contribuições para a qualidade deste corpo hídrico nas demais bacias correntes, aumentando a susceptibilidade a problemas ambientais.

Figura 84: Imagem de satélite de 2014 da UGHRI 6.



A urbanização de uma região acarreta a geração crescente de efluentes e conseqüentemente, a necessidade de descartá-los. A Figura 85 aponta o tratamento desses dados com o levantamento do uso do solo da UGHRI 6, assinalando as áreas urbanizadas, corpos d'água e coberturas vegetais.

Figura 85: Levantamento da Cobertura da Terra na área da sub bacia Alto Tietê em 2016.

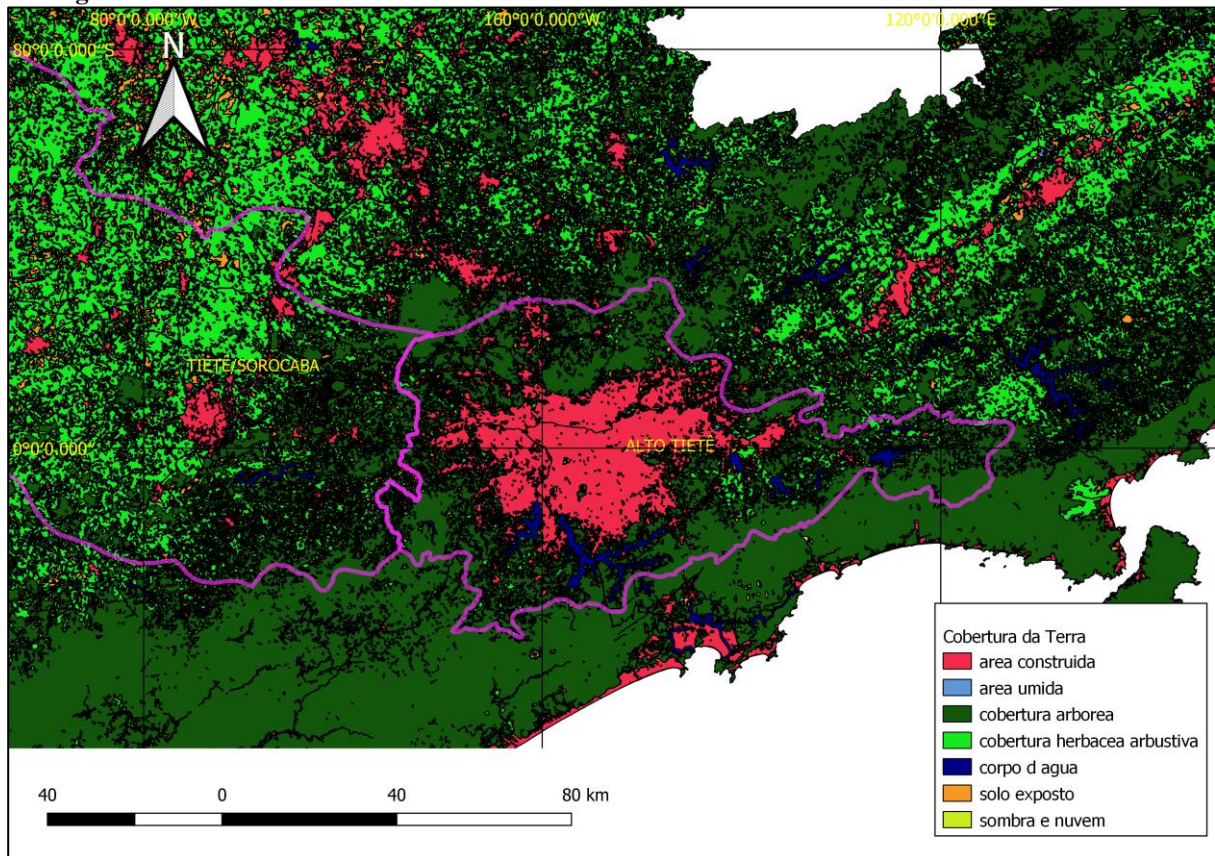


A ausência de coleta de esgoto é uma das causas frequentes de problemas de poluição hídrica na grande São Paulo sendo fonte de carga orgânica, que são levadas aos corpos hídricos com volume maior que a velocidade de depuração natural do rio Tietê nas proximidades da RMSP.

Uma sugestão para reduzir o comprometimento dos usos múltiplos dos corpos hídricos na UGRHI 6 é a eliminação de entradas de esgoto sem tratamento nos rios, possibilitando a reação natural dos mesmos junto às cargas orgânicas neles presentes. Oliveira (2015) sugere a definição de metas para a evolução do sistema de esgotamento sanitário da bacia do Alto Tietê que contemplem a implantação e manutenção das estruturas no âmbito social, ambiental e econômico. Deve-se lembrar que existem diversos trabalhos e ações no sentido de despoluir o rio Tietê, dentre eles o Projeto Tietê iniciado em 1992, financiado pelo BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) e BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social); que se encontra atualmente na quarta fase.

A cessão da entrada de volumes já representaria grande iniciativa para melhorar os níveis de oxigênio em todo o trecho do rio Tietê, permitindo um efeito positivo em cadeia nas demais bacias a jusante, uma vez que a diferença de áreas construídas é notável entre as duas bacias (Figura 86).

Figura 86: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Alto Tietê e seus arredores em 2016.



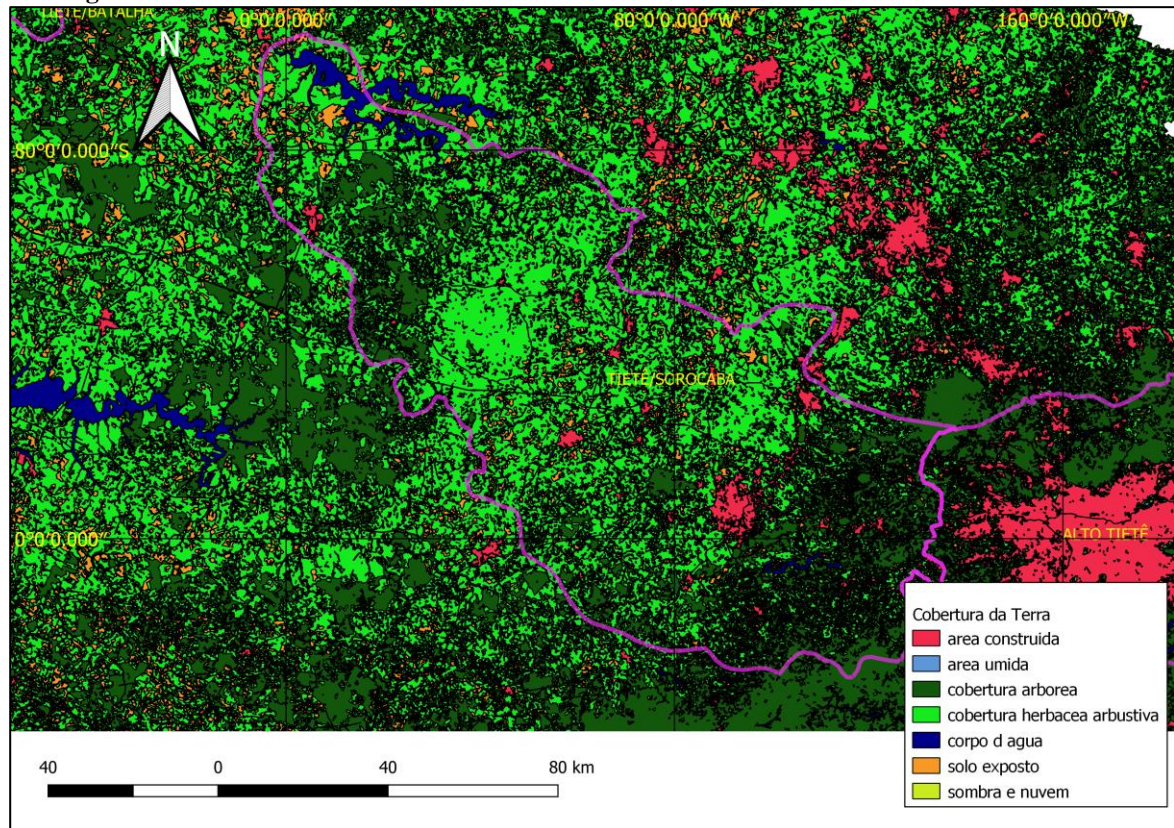
É fundamental que haja mais investimentos em infraestrutura de esgotamento sanitário, como implantações de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) com tratamento terciário, além de manutenções nos sistemas de coletas existentes e fiscalização nas ETEs industriais. Outro ponto a se considerar é a falta de fiscalização quanto ao enquadramento dos corpos d'água, que deveriam auxiliar na proteção e gestão da qualidade hídrica.

A UGRHI 10 apresenta um quadro timidamente promissor no qual 89% de esgoto são coletados e destes, 75,5% são tratados (CETESB, 2016). Ao analisar o estado de São Paulo no intervalo entre 2005 e 2009, nota-se uma evolução na porcentagem de tratamento de esgoto doméstico 39% para 49% (CETESB, 2009), ou seja, insuficientes quanto a evolução da qualidade hídrica.

Na análise especial elaborada na Figura 87 pode-se perceber que as cidades da UGRHI 10 já estão mais espalhadas territorialmente, o que ajuda na autodepuração do rio Tietê, conseguindo consumir grande parte da matéria orgânica lançada pela UGRHI anterior, além de possibilitar o planejamento sanitário de forma individual, construindo as Estações de Tratamento de Esgoto nos municípios que não as possui. Observa-se o aparecimento das áreas em verde claro

que apontam cobertura herbáceas, ou seja, de cultivos agrícolas ou pastagens, condizente ao início das áreas de vocação agrícola do estado.

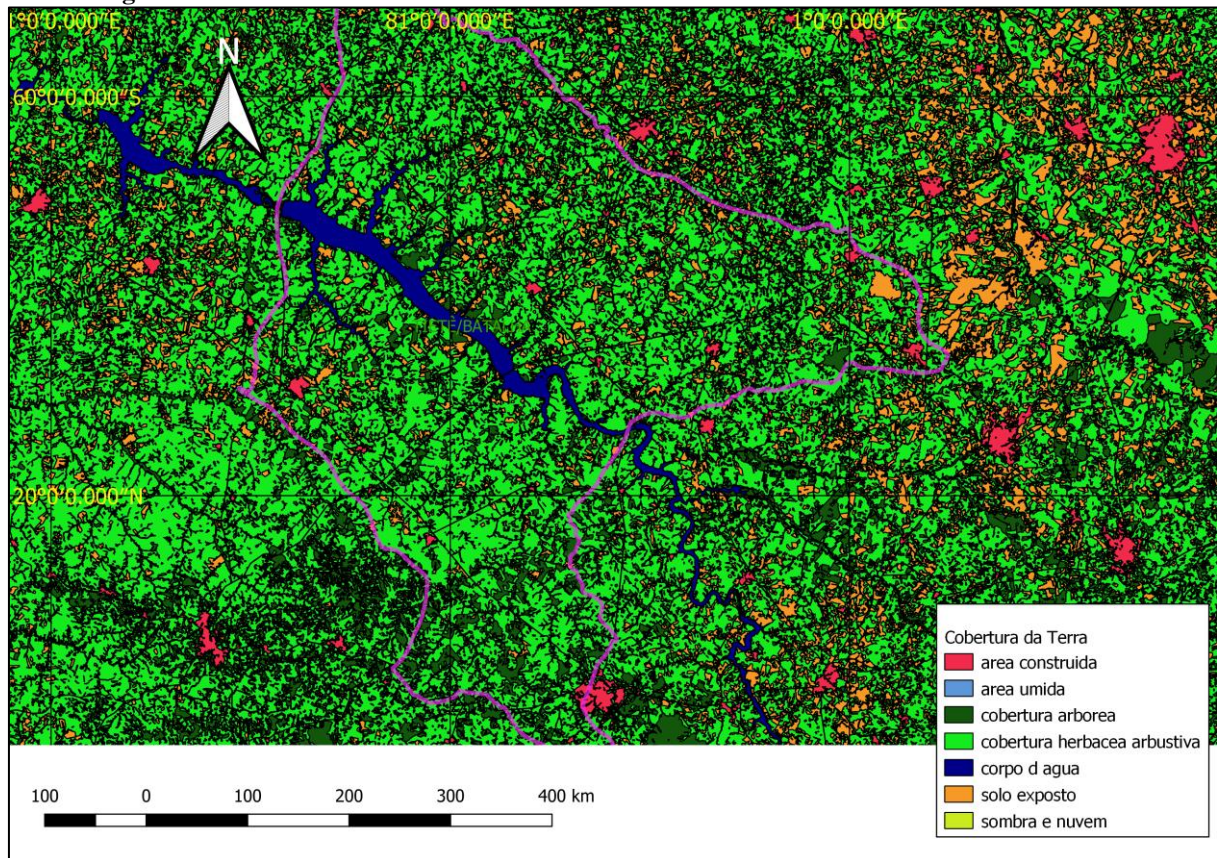
**Figura 87: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Tietê Sorocaba do ano de 2016.**



Na UGRHI 16 os índices melhoram em toda a série histórica e um fator que contribui é o volume do reservatório que notavelmente aumenta, possuindo 530 km<sup>2</sup> de área, que pode ser observado na Figura 88. Outro fator é a distância da capital, que medida à partir da barragem de Promissão apresenta 500 km.

Os municípios já possuem vocação agrícola, diferente das UHGRIS anteriores; e são menores em área e densidade demográfica. Percebe-se também a maior quantidade de solo exposto e muitas áreas com cobertura herbácea que podem ser interpretadas pelas atividades dos ciclos dos canaviais.

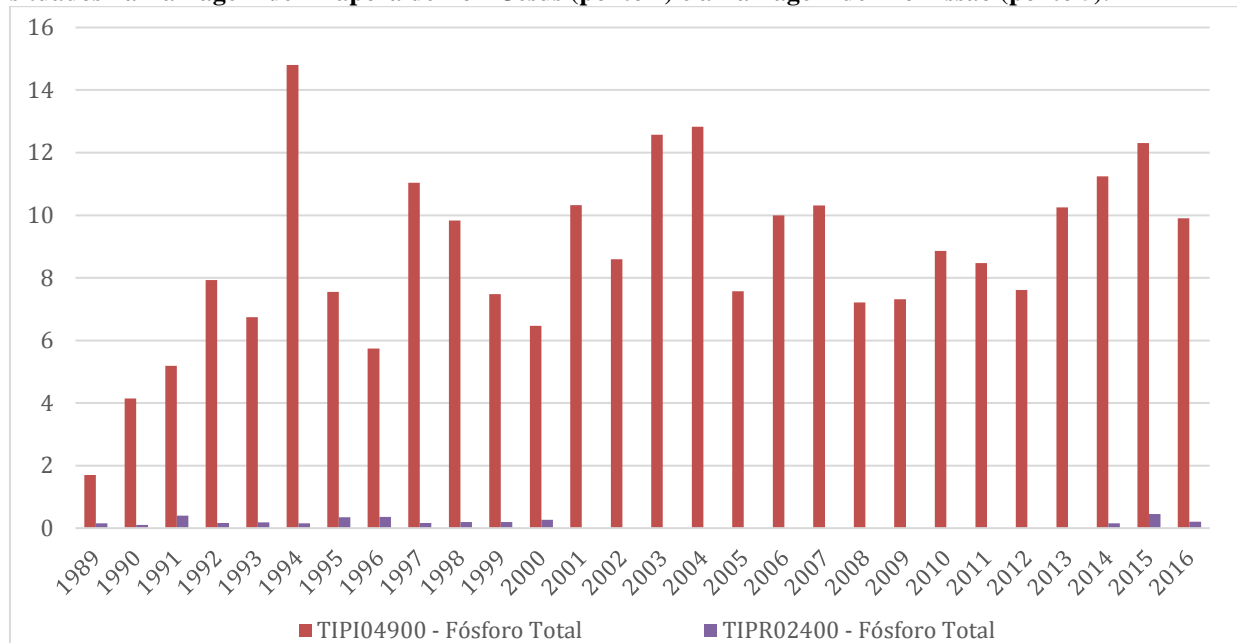
Figura 88: Levantamento da cobertura da Terra na sub bacia Tietê Batalha do ano de 2016.



Com vistas à carga residual proveniente da grande São Paulo em relação a UGHRI 16, a distância percorrida pelo rio ao longo do seu extenso curso acaba diluindo grande parte da carga poluidora, convergindo na melhoria das condições de balneabilidade no decorrer de sua trajetória.

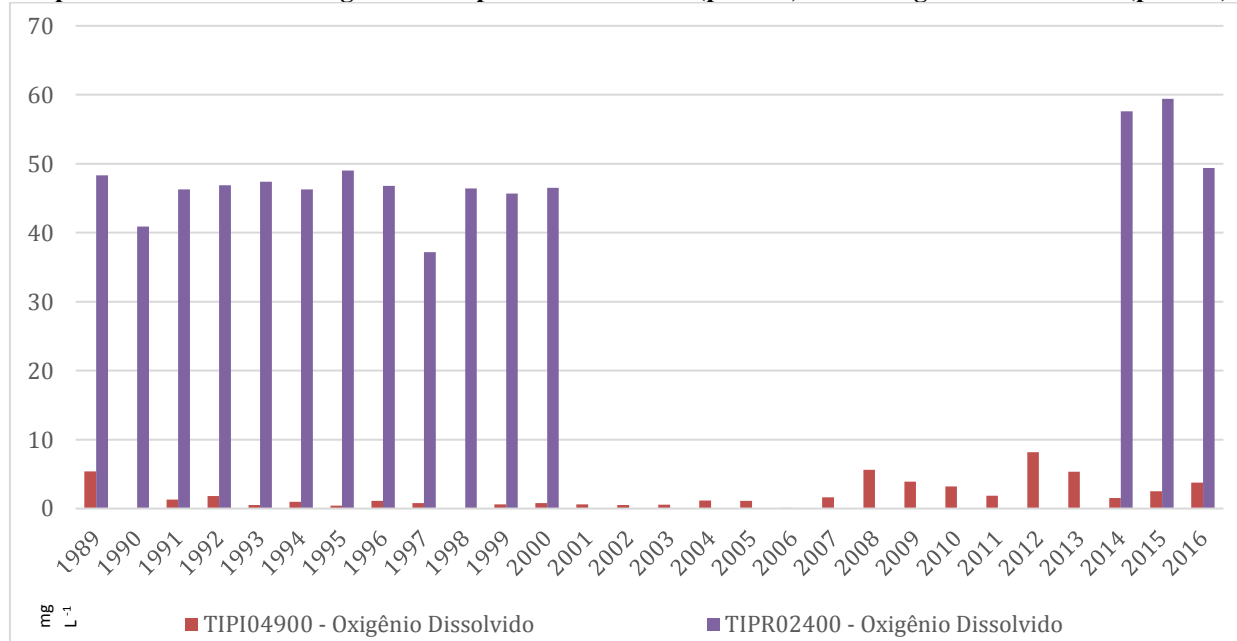
Observa-se que os registros iniciais no ponto 1 são  $1,70 \text{ mg L}^{-1}$  com picos em 1994 de  $14,80 \text{ mg L}^{-1}$  e 2004 de  $12,83 \text{ mg L}^{-1}$  e média de  $10,00 \text{ mg L}^{-1}$ . A última medida em 2016 apontou concentração média de  $9,9 \text{ mg L}^{-1}$ . Esses valores, quando comparados aos do ponto 5, são maiores em toda a temporalidade estudada, como a concentração em 1989 de  $0,16 \text{ mg L}^{-1}$  e a final de  $0,21 \text{ mg L}^{-1}$  em 2016. Em nenhuma das medições a média anual foi superior a  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , conforme Figura 89. A comparação não é realizada completamente pois a base de dados apresentou-se ruidosa em alguns anos.

**Figura 89: Comparação da concentração média de Fósforo Total em  $\text{mg L}^{-1}$  entre 1989 a 2016 nos pontos situados na Barragem de Pirapora de Bom Jesus (ponto 1) e a Barragem de Promissão (ponto 5).**



A mesma comparação foi realizada com o OD, que teve o comportamento oposto, conforme esperado. Quando maior a quantidade de OD, menor tende a ser a concentração de fósforo total. No ponto 5 a média se manteve em  $45 \text{ mg L}^{-1}$ , já no ponto 1 a maior concentração média encontrada foi em 2012 com  $8,17 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 90).

**Figura 90: Comparação da concentração média de Oxigênio Dissolvido (OD) em  $\text{mg L}^{-1}$  entre 1989 a 2016 nos pontos situados na Barragem de Pirapora de Bom Jesus (ponto 1) e a Barragem de Promissão (ponto 5).**



Ao analisar todos os dados temporais de fósforo (item 6.1.6) e OD, concluiu-se que a carga de região metropolitana não influencia diretamente na quantidade de fósforo total na sub bacia Tietê Batalha. Na análise espacial comparou-se as imagens de satélite do reservatório de Promissão com os demais para verificar essa hipótese e concluiu-se que todas as atividades na sub bacia contribuem para o fenômeno de eutrofização, uma vez que se pode apontar uma intensificação do afloramento de microalgas com o passar dos anos nas imagens, sendo que o mesmo não ocorre nos demais reservatórios.

Importante salientar que no estudo espacial as imagens que melhor possibilitaram as análises foram extraídas do satélite LandSat 8 que possui uma qualidade mediana, ou seja, resolução espacial média (entorno de 15 a 30 m por pixel). O ideal seriam imagens com resolução de 1m:1m (1 pixel = 1m) e com maior número de faixas de sensores infravermelho. Essas imagens existem, mas possuem custo elevado, impossibilitando uma análise temporal como a apresentada neste estudo.

Foram testadas as imagens do CERBS 4, um satélite sino-brasileiro, disponíveis a partir de 2014, mas essas requerem alta carga de processamento tendo em vista que possuem resoluções espaciais diferentes e erros de sobreposições em diversas áreas.

As análises das imagens tiveram que ser realizadas em categorias de satélite de origem (Landsat 3, Landsat 5 e Landsat 8), uma vez que há diferenças de resolução de banda e frequência da onda, impossibilitando a comparação entre elas. O período (1) abrange de 1980 a 1989 e são do Landsat 3, o período (2) de 1986 a 2007 são do Landsat 5 e do período (3) de 2008 a 2016 são do Landsat 8.

Em 1989 as imagens de satélites eram escuras e com pouca resolução, dificultando o diagnóstico ambiental nesta década (Figura 91). Em relação à água, percebe-se que há diversidade nas cores e que o uso e ocupação da área eram mais verdes, cobertas por pastagens e culturas diversas, ao encontro com as informações extraídas no item 4.3.1. Não é possível atribuir contribuições por parte das alterações das cotas do reservatório pois os registros históricos de cotas do reservatório iniciam em 1993.



**Figura 91: Imagem de 1989 do reservatório de Promissão.**



Com o passar dos anos a economia foi mudando e consequentemente a cobertura do solo também sofreu alterações. A imagem de 1993 exhibe mais áreas com solo exposto e pouca alteração na coloração da água, ou seja, a quantidade de clorofila não era muito alta. Não se pode afirmar pois não havia monitoramento de clorofila-a no banco de dados da CETESB no referido ano (Figura 92).

**Figura 92: Imagem de 1993 do reservatório de Promissão.**



Sabe-se que houve grande expansão canavieira no estado na década de 90, fator que pode ter contribuído na evolução da poluição do reservatório, pois no ano de 2000 (Figura 93) já se nota as manchas esverdeadas da água. Os filtros RGB nas imagens evidenciam a presença de clorofila-a e os dados apontam aumento entre 1996 a 1998, com maiores concentrações de  $3 \mu\text{g L}^{-1}$  em épocas de chuva (novembro a janeiro), chegando a valores de  $80 \mu\text{g/L}$  em 2014 e  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  em 2015 (dados da Figura 31). Importante enfatizar que o limite permitido pela Resolução CONAMA para a clorofila-a é de  $0,003 \mu\text{g L}^{-1}$ .

**Figura 93:Imagem de 2000 do reservatório de Promissão.**



O ano de 2007 foi crítico para a região do reservatório de Promissão, principalmente no córrego do Esgotão, com intensas florações de microalgas nas águas do rio Tietê e seus afluentes. Houveram interdições de praias e áreas de turismo pois a CETESB as classificou com balneabilidade imprópria, além dos prejuízos sociais e ambientais. A Figura 94 ilustra essa situação.

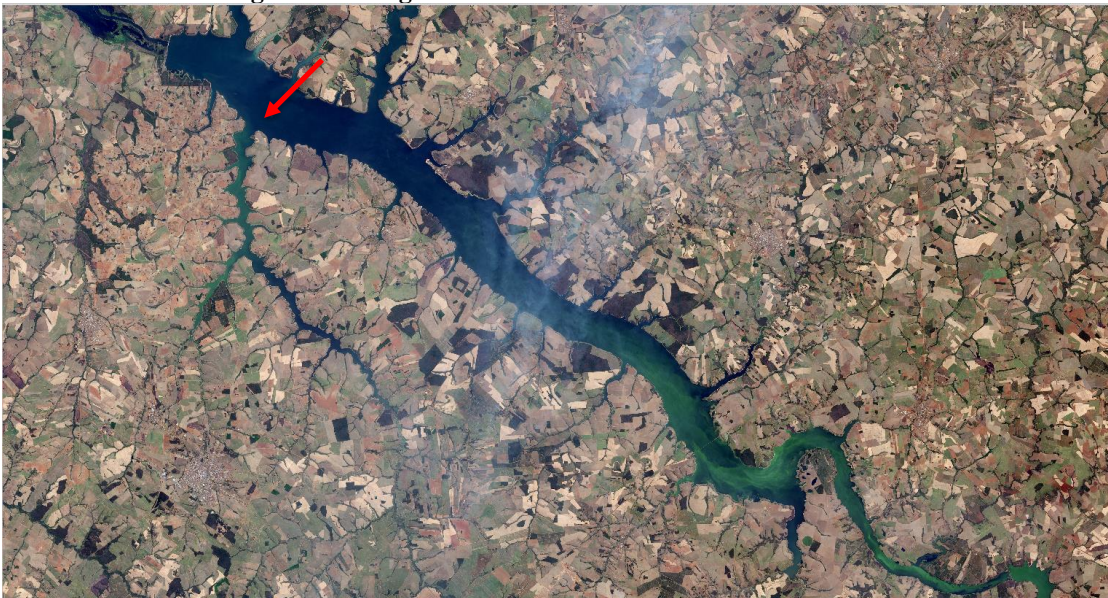
**Figura 94 : Imagem de 2007 do reservatório de Promissão. Em destaque o córrego Esgotão (Sabino/SP) e as setas indicam a presença de clorofila-a na água.**



Observa-se também que o efeito de eutrofização ocorre de forma mais intensa na zona de lago, conforme observado por Cunha e Calijuri (2012), ou seja, região do reservatório com menor fluxo de água, menor turbidez, matéria orgânica proveniente do sistema (autóctone) e maior profundidade.

Em 2014 ocorreu a troca de satélite, passando do LandSat 5 para o LandSat 8, com resolução mais moderna e as imagens mais claras, facilitando a identificação da clorofila-a. A seta evidencia o rio Dourado que apresenta coloração esverdeada em todo o seu trajeto e a Figura 95 exibe uma imagem mais aproximada do referido rio.

**Figura 95: Imagem de 2014 do reservatório de Promissão.**



Pode-se observar que existe um fluxo de eutrofização no início e meio do reservatório. Esta carga de nutrientes pode ser proveniente da região do entorno caracterizada pela alta exploração da indústria canavieira. Esta informação pode ser complementada com a análise da Figura 105 que evidencia essa expansão.

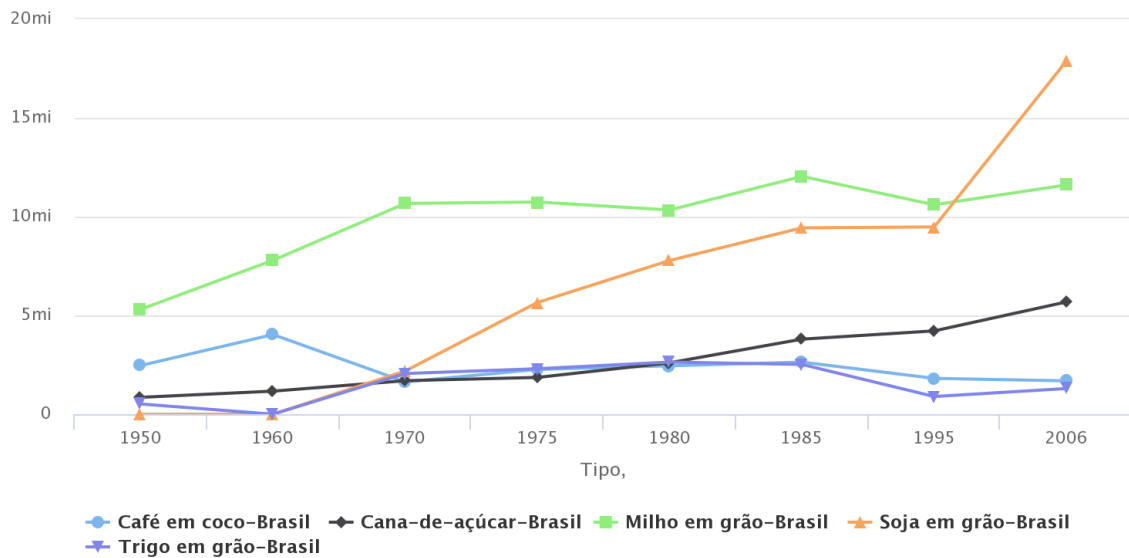
Uma das diversas fontes difusas associa-se a presença de cultivos diversos como laranjais que ocupam áreas de APP do reservatório (Figura 96).

**Figura 96: Trecho do rio Tietê e dos afluentes mais próximos da UHE Promissão. As setas apontam a contribuição de carga de clorofila a dos afluentes e os círculos áreas de plantio de laranja. Em destaque registro de áreas de cultivo de laranja no entorno da UHE em 2001.**



Fonte: Relatório Ambiental da UHE (2001).

Dados do Censo Agropecuários de 2017 apontam a presença não só de laranja, mas de várias culturas como trigo, milho, café e principalmente a soja (Figura 97).

**Figura 97: Dados da série histórica entre 1950 a 2006 do censo agropecuário.**

Fonte: "IBGE – Censo Agropecuário"

"1 - Os dados da série histórica disponibilizados nesta tabela são reflexo das publicações disponíveis à época. Especificamente para o ano de 1995, pequenas correções foram feitas após a publicação, o que pode ocasionar uma diferença mínima entre estes e aqueles disponíveis em outras tabelas cujos dados foram tabulados posteriormente à divulgação oficial.

2 - Nos censos de 1920 até 1996 foi levantada a produção de café em coco; no censo de 2006 foi levantada a produção de café em grão.

3 - A produção de laranja em 2006 está em mil frutos; para conversão utiliza-se o fator de 6,25 frutos por 1 Kg."

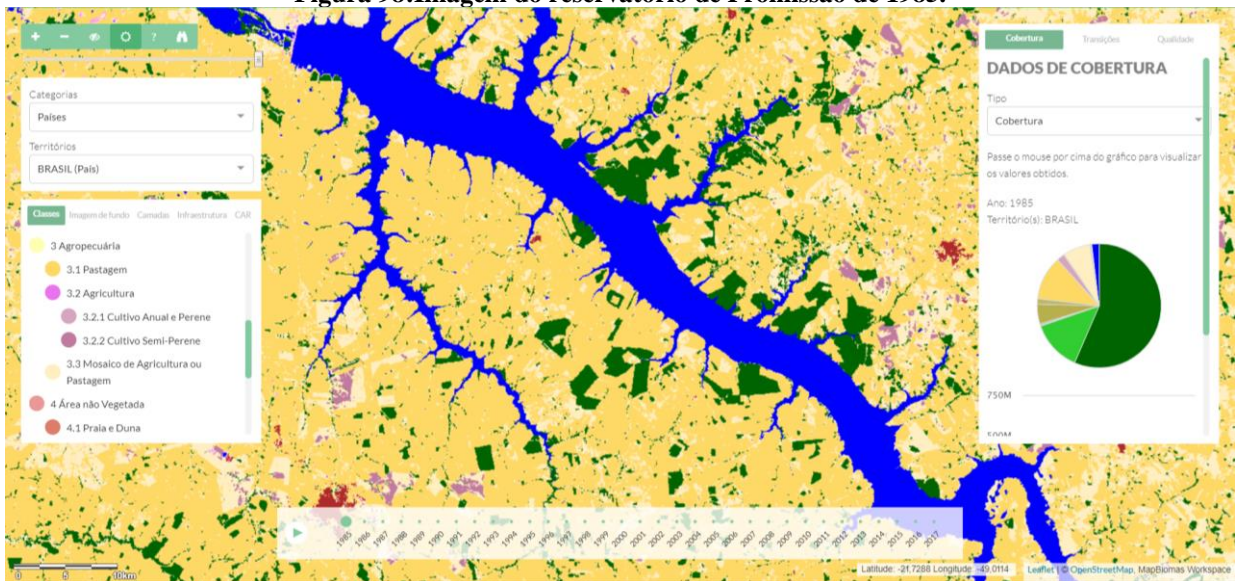
**Fonte: Censo Agropecuário, IBGE, 2017.**

A Pesquisa Agrícola Municipal – IBGE (2016) aponta que o estado de São Paulo possui 5,6 milhões de hectares plantados, nos quais foram produzidos 442,3 milhões de toneladas de cana de açúcar. Segundo a UNICA - União da Indústria de Cana de Açúcar (2016), o estado alcança alta produtividade por hectare devido a qualidade do solo e às condições climáticas favoráveis ao cultivo, totalizando 172 usinas instaladas no estado, correspondendo a 42% do total brasileiro.

A grande expansão da cana de açúcar deu-se pelo lançamento do PRÓÁLCOOL (Programa Nacional do Alcool) em 1975, o qual o Governo Federal incentivou, após a crise do petróleo em 1973, o plantio para a produção de etanol. Com isso, as áreas no estado com áreas com pastagens e florestas naturais cederam espaço aos canaviais.

Uma análise temporal do uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Promissão é apresentada a seguir (Figuras 98 a 105), sendo possível acompanhar a expansão da cana de açúcar e ilustrar os dados. As figuras foram organizadas por períodos de 5 anos, com início em 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e por último, 2017 que foram os mais recentes dados.

**Figura 98: Imagem do reservatório de Promissão de 1985.**

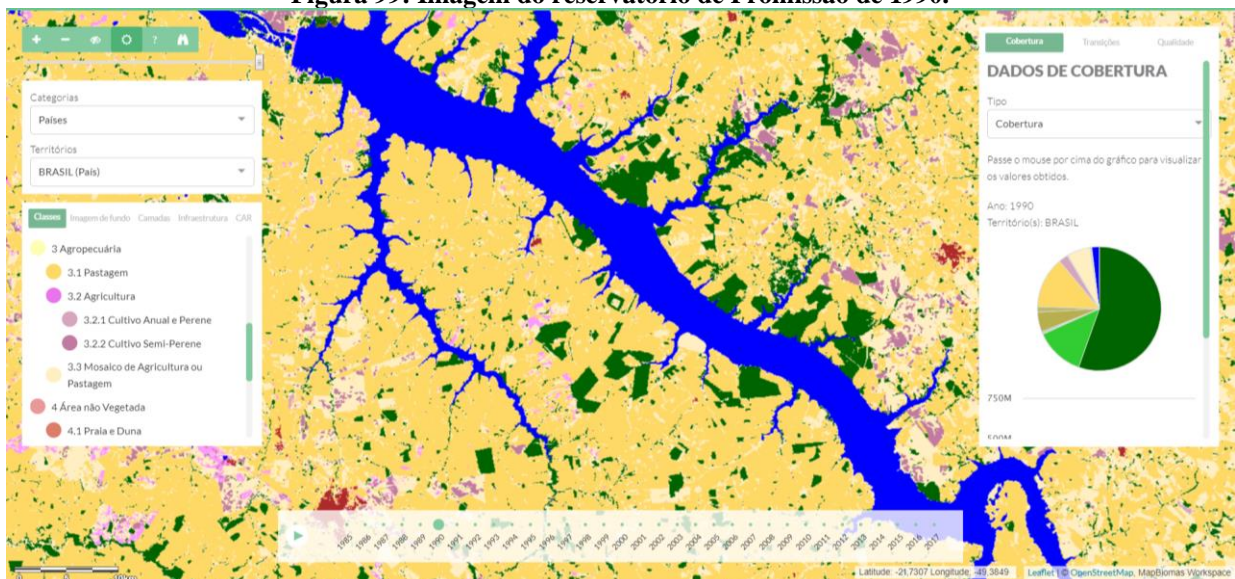


**Fonte: MAPSBIOMA, 2019.**

Essas imagens foram obtidas através do site MAPBIOMAS, uma parceria com o Google para processamento de imagens do LandSat 5 e 7, levando em conta o espectro de ocupação ambiental a cada 5 anos, no período de 1985 a 2017.

Nos anos de 1985 a 1990 não houveram grandes alterações na cobertura do solo, como pode ser observado no mapa temático e verificado no gráfico à direita.

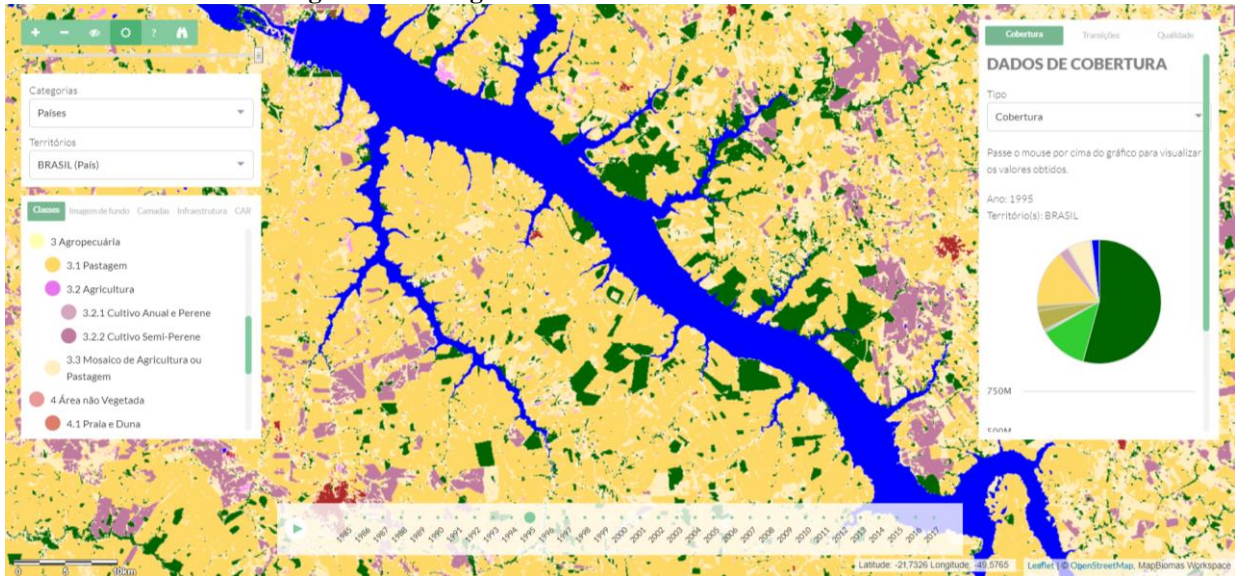
**Figura 99: Imagem do reservatório de Promissão de 1990.**



**Fonte: MAPSBIOMA, 2019.**

Após 1995 percebe-se que as áreas com cultivo anual e perene começam a apontar no mapa e se intensificar após o ano de 2000.

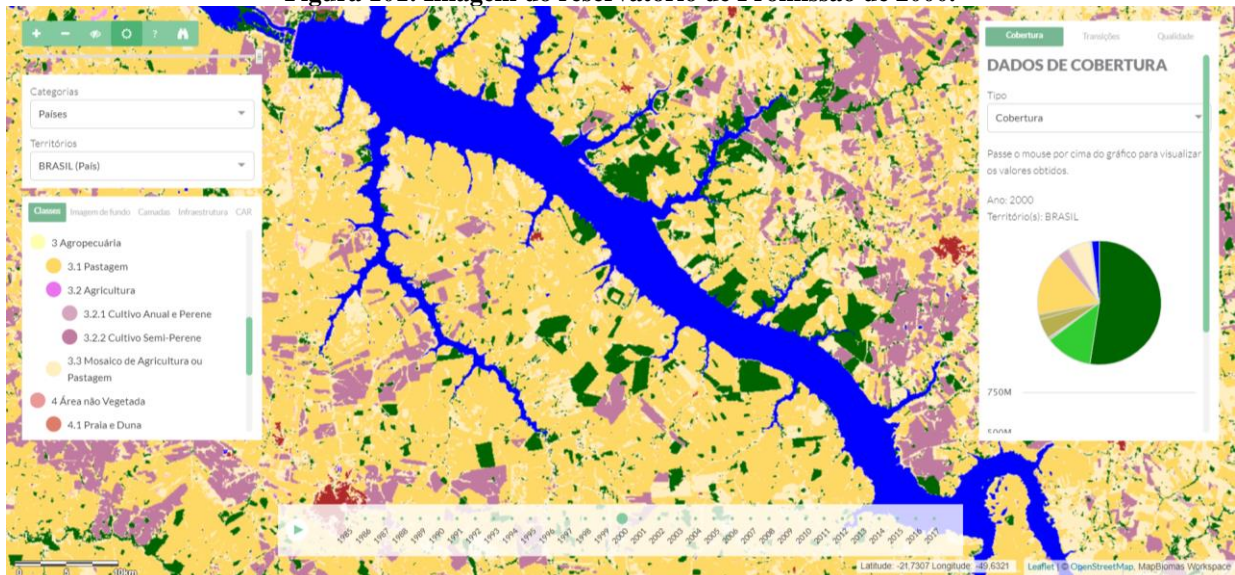
**Figura 100: Imagem do reservatório de Promissão de 1995.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

A chegada de novos e a ampliação dos empreendimentos já existentes no setor sucroenergético na região contribui para a ampliação das áreas de cultivo (roxo).

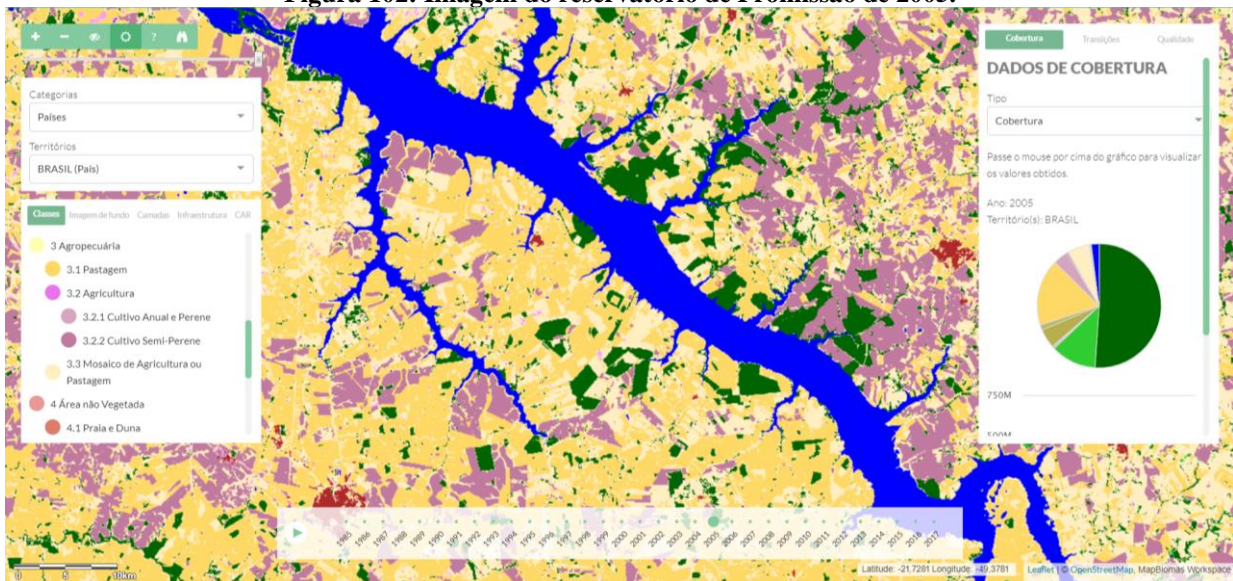
**Figura 101: Imagem do reservatório de Promissão de 2000.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

É possível comprovar pelas imagens que, a partir de 2005 (Figura 86), ocorreu um crescimento exponencial de áreas com cultivo semi perene, o qual variou de 3.344.166,20 ha em 2006 para 4.951.311,75 ha em 2009 (MAPBIOMAS, 2019).

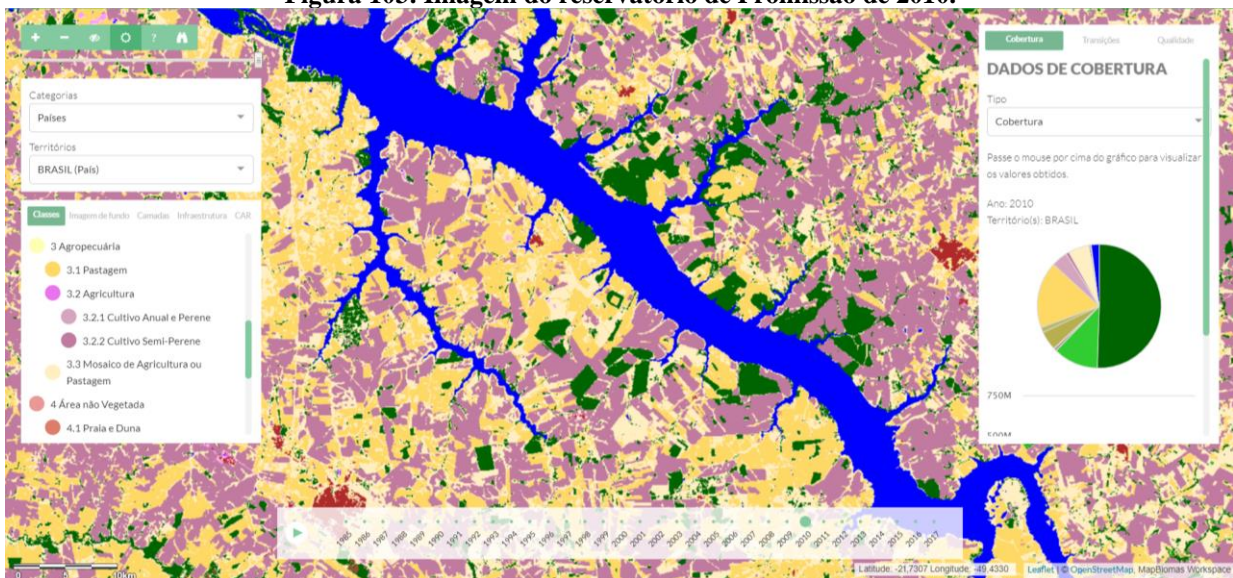
**Figura 102: Imagem do reservatório de Promissão de 2005.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Essa expansão pode ser observada nas áreas em roxo ao longo da bacia do reservatório de Promissão.

**Figura 103: Imagem do reservatório de Promissão de 2010.**

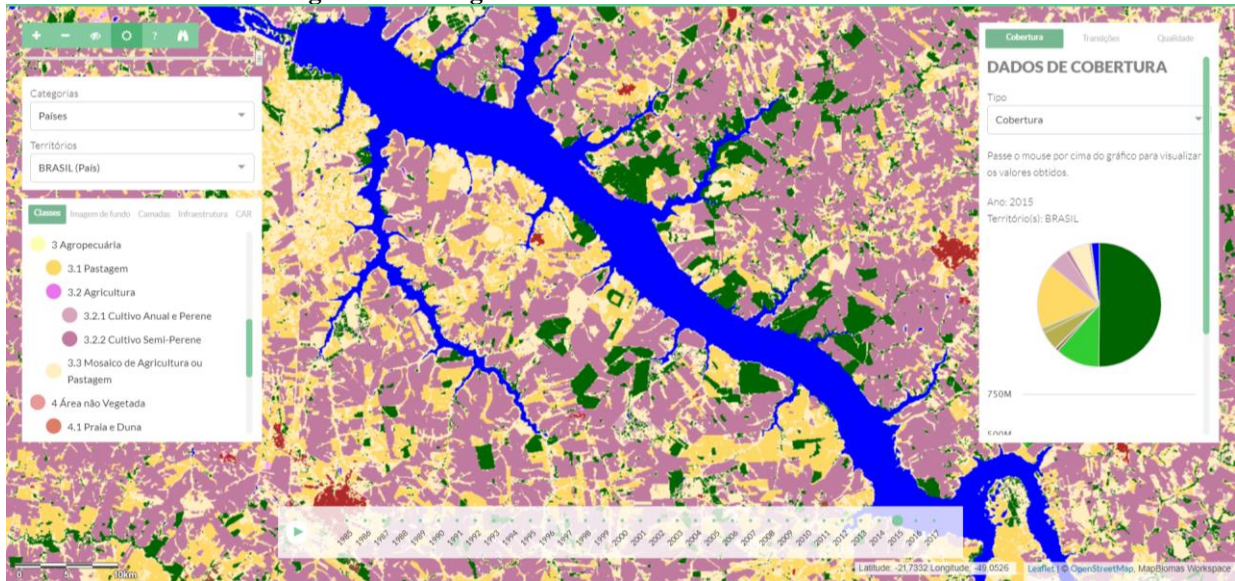


Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Ao longo dos mais de 30 anos de registro do Mapsbioma nota-se que o reservatório de Promissão apresenta outro perfil, com características ambientais diferentes.



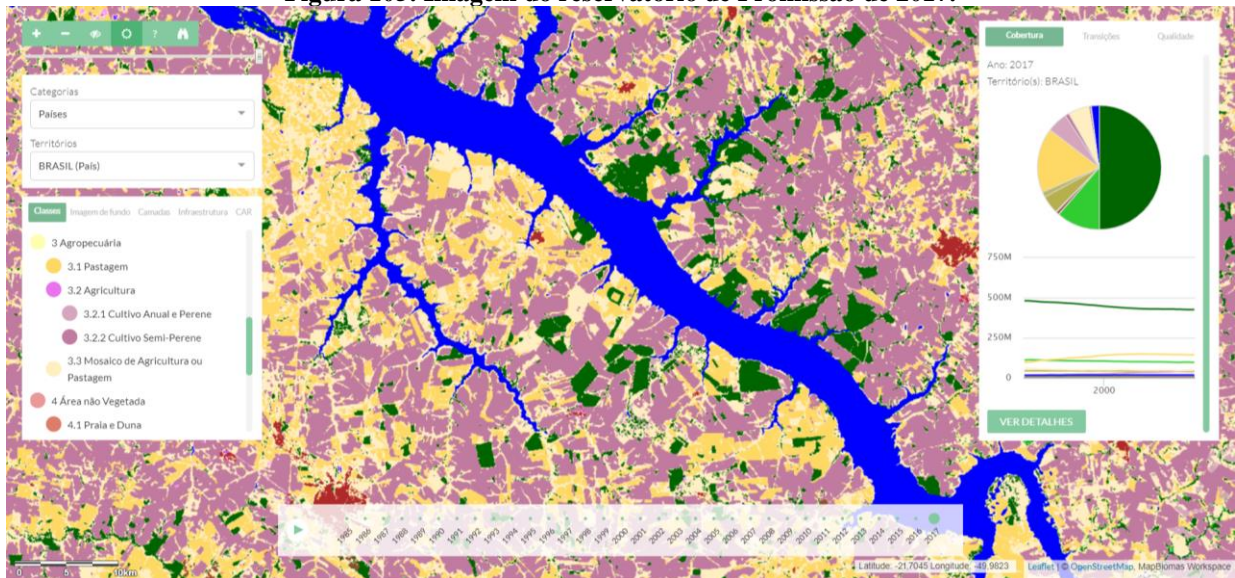
**Figura 104: Imagem do reservatório de Promissão de 2015.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Do ano de 2010 para 2017 já não houveram grandes alterações pois as áreas permanecem firmadas com o plantio de cana para abastecimento da atividade sucroenergética da região.

**Figura 105: Imagem do reservatório de Promissão de 2017.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Dados do Instituto de Economia Agrícola do estado de São Paulo (IEA) apontam que em 1975 haviam 600 milhões de hectares de cana, em 1979 já eram 3,4 bilhões e em 86 somavam-se 12,3 bilhões. A quantidade de usinas no estado também cresceu, passando de 42 usinas moendo 175000 ton em 1946 para 94 usinas, 1077.384 ton em 1958. No Censo Agropecuário

levantou-se que em 1940 não havia áreas de cultivo de cana, ao passo em 1960 já existiam 291.013 ha no estado de São Paulo, conforme a Figura 106.

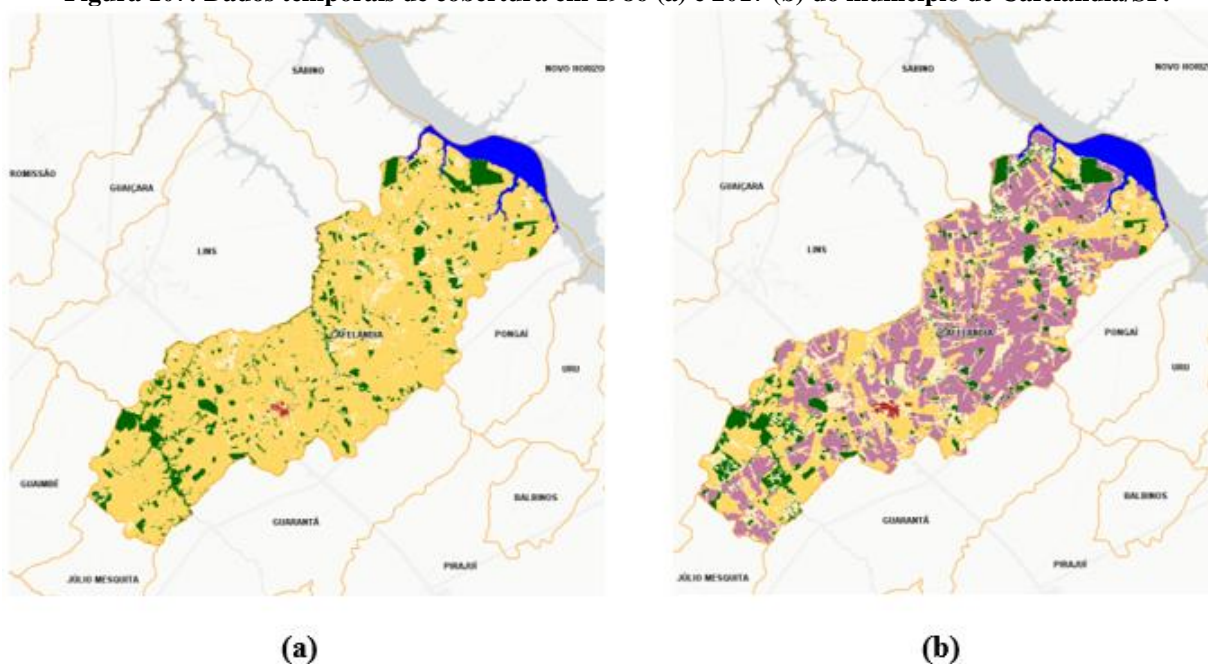
**Figura 106: Uso do solo nos estabelecimentos agropecuários do estado São Paulo nos anos de 1940 a 1960 em ha. No destaque a evolução na área de cultivo de cana de açúcar.**

Utilização	1940	1950	1960
1 - Lavouras permanentes	1.671.405	1.564.316	1.681.124
2 - Lavoura temporárias	2.648.399	2.693.317	3.087.109
3 - Área colhida de cana-de-açúcar	n. d.	(132.498)	(291.013)
4 - Pastagens naturais	6.328.595 <sup>1</sup>	4.952.565	5.094.407
5 - Pastagens plantadas/artificiais		3.695.370	4.777.205
6 - Matas (1940), naturais (1950 e 1960)	4.063.360	2.472.044	2.339.926
7 - Matas plantadas		298.502	441.571
8 - Não explorada (1940), incultas (1950-60)	2.841.892	2.353.272	1.136.190
9 - Irrigadas	n. d.	n. d.	56.072
10 - Improdutivas (por diferença)	1.026.176	978.196	689.894
<b>Total</b>	<b>18.579.827</b>	<b>19.007.582</b>	<b>19.303.498</b>

Fonte: IEA, 2001.

Ao analisar os dados da cobertura por município consegue-se acompanhar a modificação ocorrida nas últimas décadas. A Figura 107 mostra a área do município de Cafelândia/SP (margem esquerda) e Novo Horizonte/SP (margem direita), que estão às margens do rio Tietê, dentro do reservatório de Promissão.

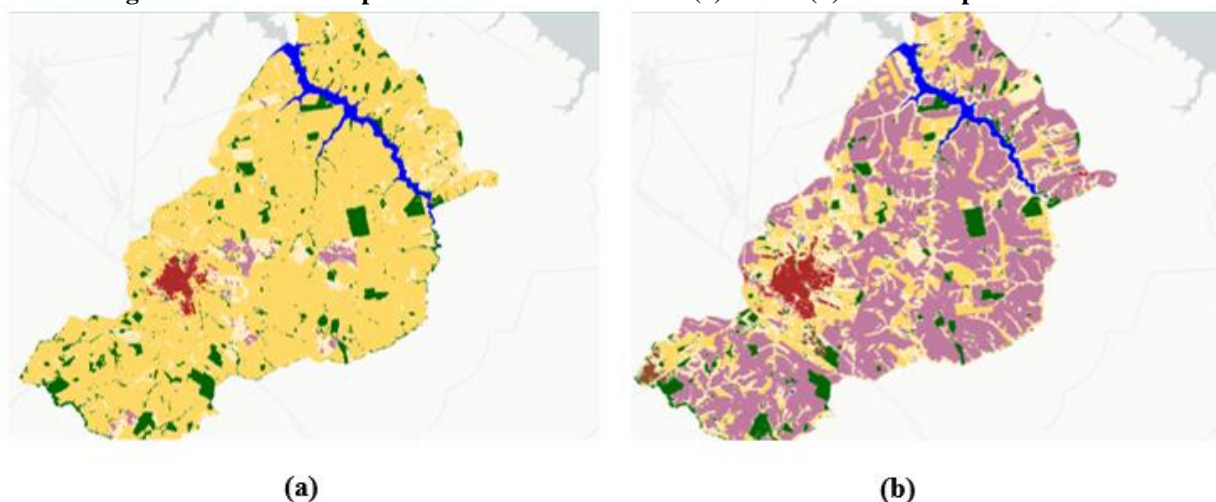
**Figura 107: Dados temporais de cobertura em 1986 (a) e 2017 (b) do município de Cafelândia/SP.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

As áreas em amarelo representam as pastagens e as em roxo são as com agricultura, divididas em culturas semi perenes e perenes. Em ambos os municípios ocorreram as mesmas mudanças da cobertura, contribuindo para as alterações na qualidade das águas e mostrando relação com a ocorrência das florações, que aumentaram após os anos de 2000, resultando na abertura de inquérito pelo Ministério Público em 2007 por problemas anuais de eutrofização na região (Figura 108).

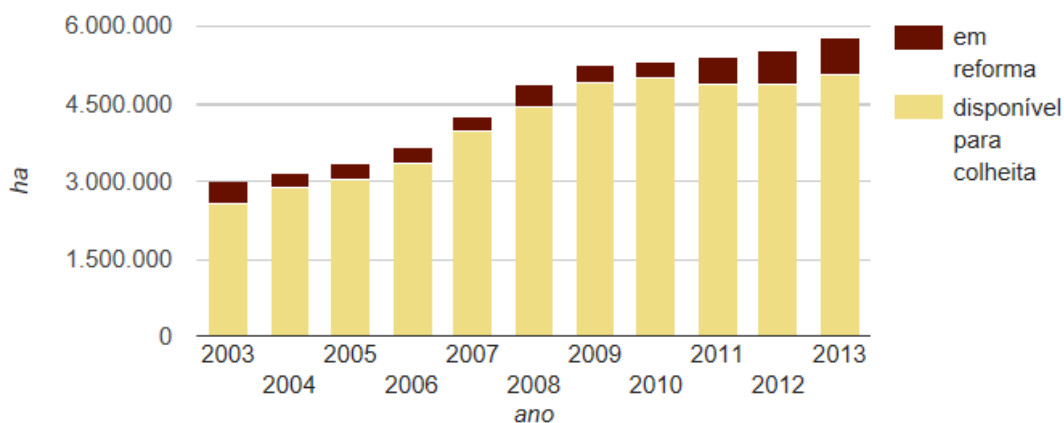
**Figura 108: Dados temporais de cobertura em 1986 (a) e 2017 (b) no município de Lins/SP.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Em levantamentos mais recentes realizados pela UNICA, registraram entre 2003 a 2014 a expansão da cana de açúcar e a diminuição das áreas ocupadas pela citricultura, ou seja, em 8 anos dobrou-se a área cultivada com cana de açúcar, conforme Figura 109.

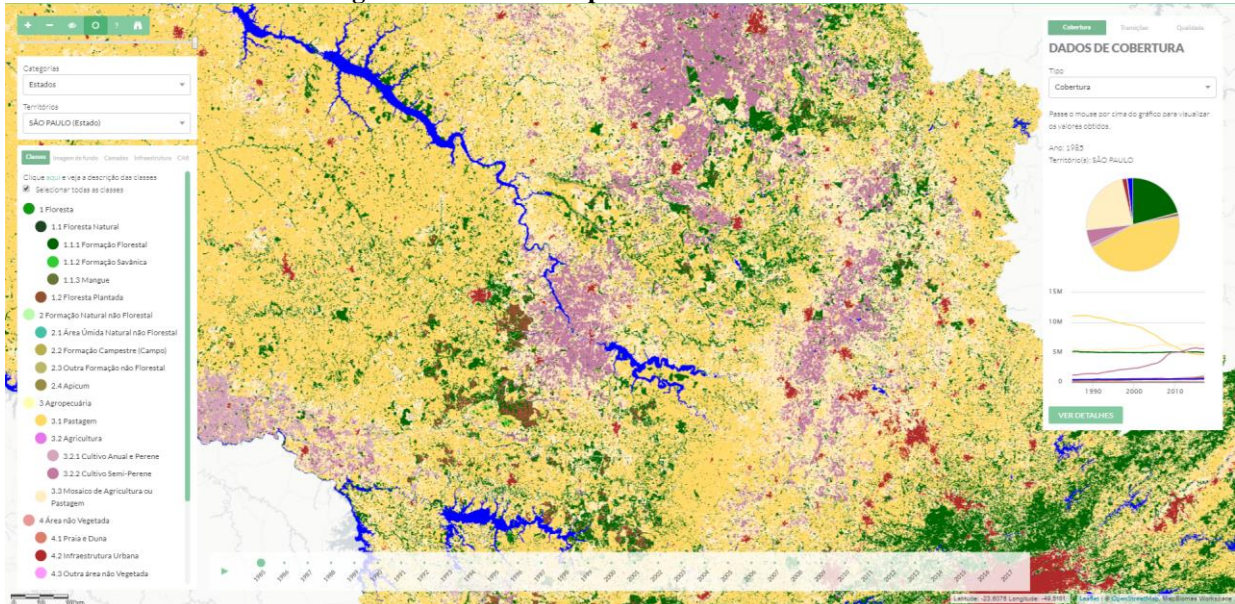
**Figura 109: Expansão da área para colheita de 2003 a 2012 no estado de São Paulo.**



Fonte: INPE/CanaSat, 2018.

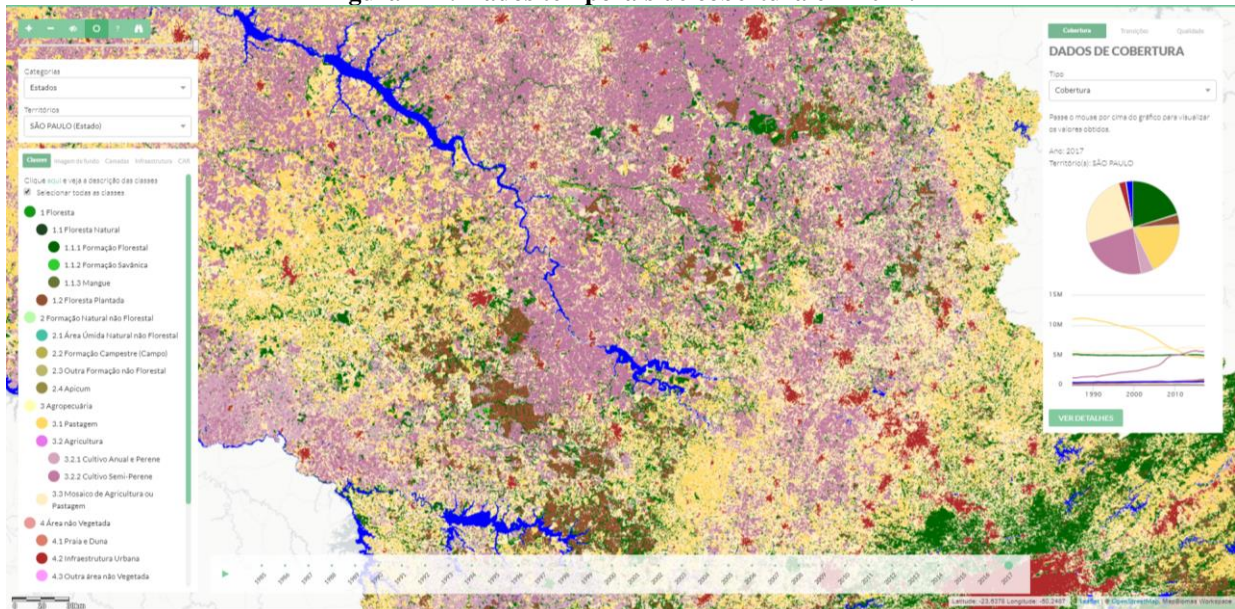
As imagens a seguir (Figuras 110 e 111) ilustram esses mesmos dados ao longo do rio Tietê, desde a UHE de Promissão até a RMSP.

**Figura 110: Dados temporais de cobertura em 1986.**



Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

**Figura 111: Dados temporais de cobertura em 2017.**

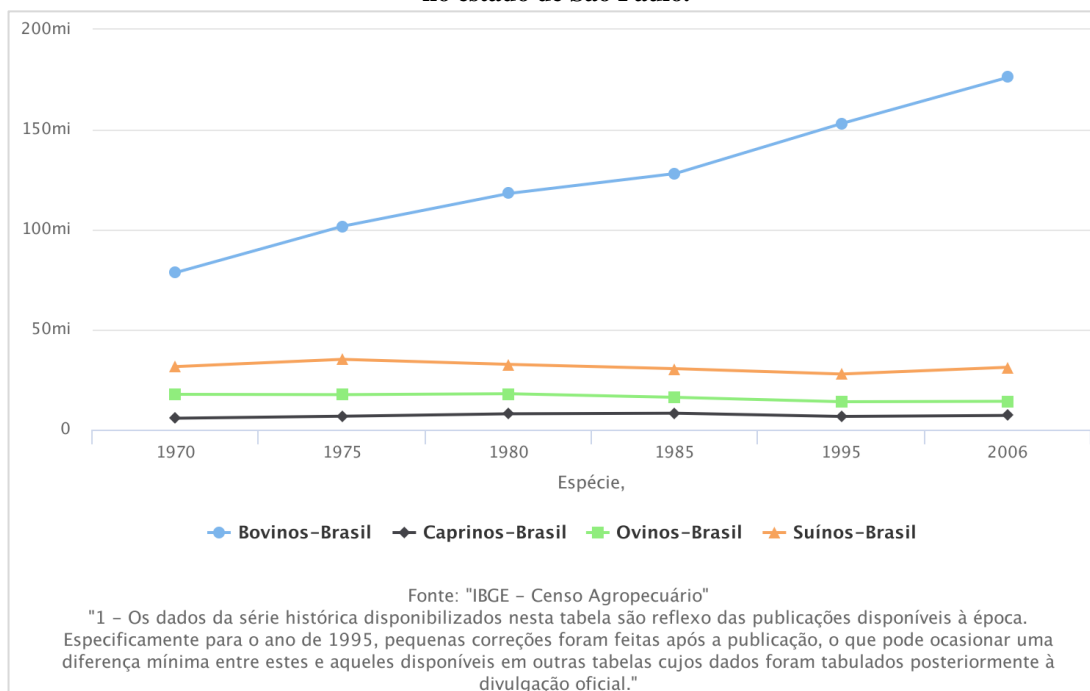


Fonte: MAPSBIOMA, 2019.

Devido a vocação agropecuária da UGRHI 16, foram analisados dados do Censo Agro sobre expansão pecuária no estado (IBGE, 2016), que apresentaram gradativo aumento no rebanho de bovinos devido a abertura do mercado mundial (Figura 112). Segundo dados da

ABIEC- Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, o Brasil é líder no ranking de exportação de carnes, sendo o Estado de São Paulo responsável por 10,7% dos abates do País, ocupando o segundo lugar no ranking nacional, ou seja, a cadeia produtiva da bovinocultura só não é superada pela cana de açúcar (IBGE – 2012).

**Figura 112: Efetivos de animais em estabelecimentos agropecuários por espécie no intervalo de 1970-2006 no estado de São Paulo.**



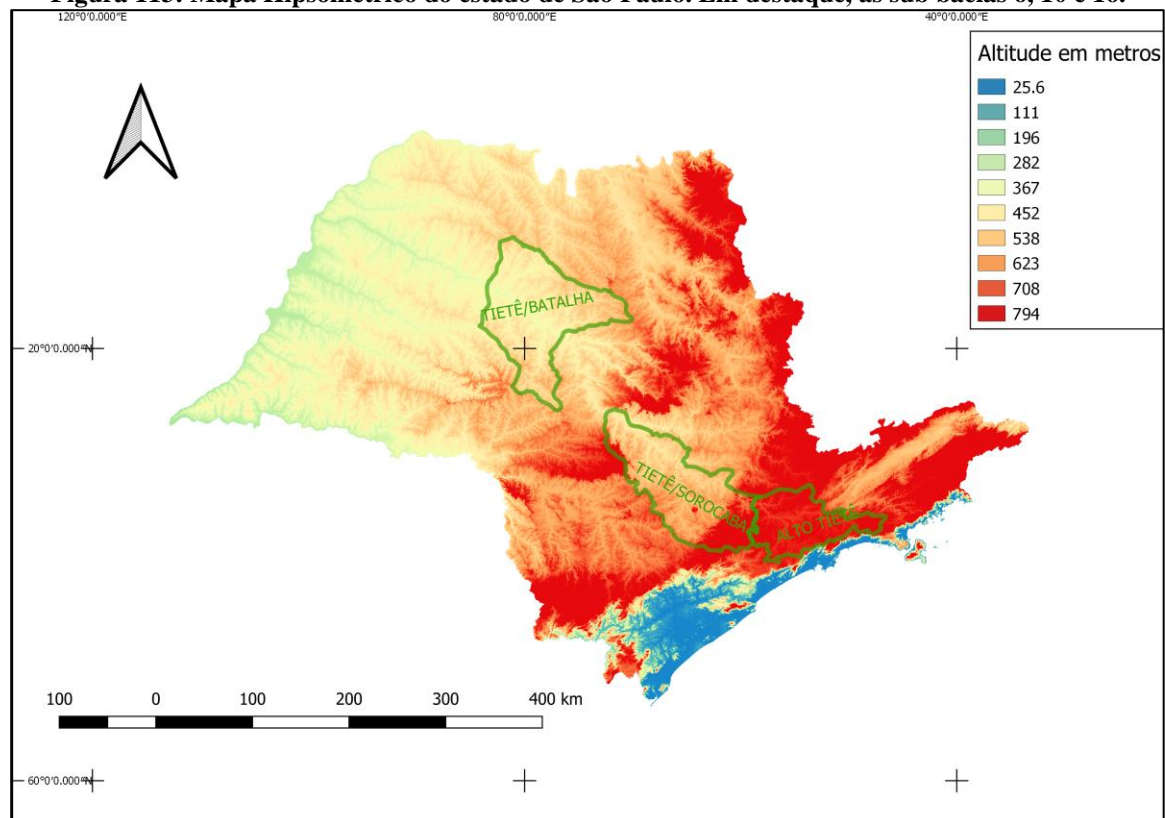
**Fonte: Censo Agro, IBGE, 2017.**

Ao analisar a contribuição das atividades deste seguimento, deve-se levar em conta as águas residuais com altas taxas orgânicas provenientes da criação confinada ou de pastagens, dos abatedouros, frigoríficos e até da lavagem dos caminhões de transporte de carga viva. Todas as citadas, se não receberem tratamento ou se o mesmo for ineficiente na remoção de DBO, contribuirão na poluição dos mananciais do estado. Outro fator associado é a necessidade de área para criação dos animais, que não estão restritas a confinamentos, modificando a cobertura natural do solo.

Na Figura 113 apresenta-se o mapa hipsométrico com a magnitude altimétrica das áreas de estudo. É possível verificar as maiores declividades representadas pelas áreas de cores quentes (vermelho e laranja), exibindo os locais de maior influência do escoamento superficial que são as próximas à sub bacia do Alto Tietê por se aproximar da serra do mar. Pode observar a direção

do rio Tietê de acordo com a declividade do território, ou seja, sentido oposto ao mar. As atividades realizadas nesses locais podem ser fontes difusas de contaminação. Áreas com cores frias (verde e amarelo) representam as baixas declividades do terreno, sendo as mais próximas à sub bacia Tietê Batalha, que recebe o escoamento de todas as demais sub bacias por se concentrar nas áreas mais planas, significando a recepção de cargas provenientes de rios formadores e afluentes do Tietê e de atividades agrícolas que ocorrem no perímetro.

**Figura 113: Mapa Hipsométrico do estado de São Paulo. Em destaque, as sub bacias 6, 10 e 16.**

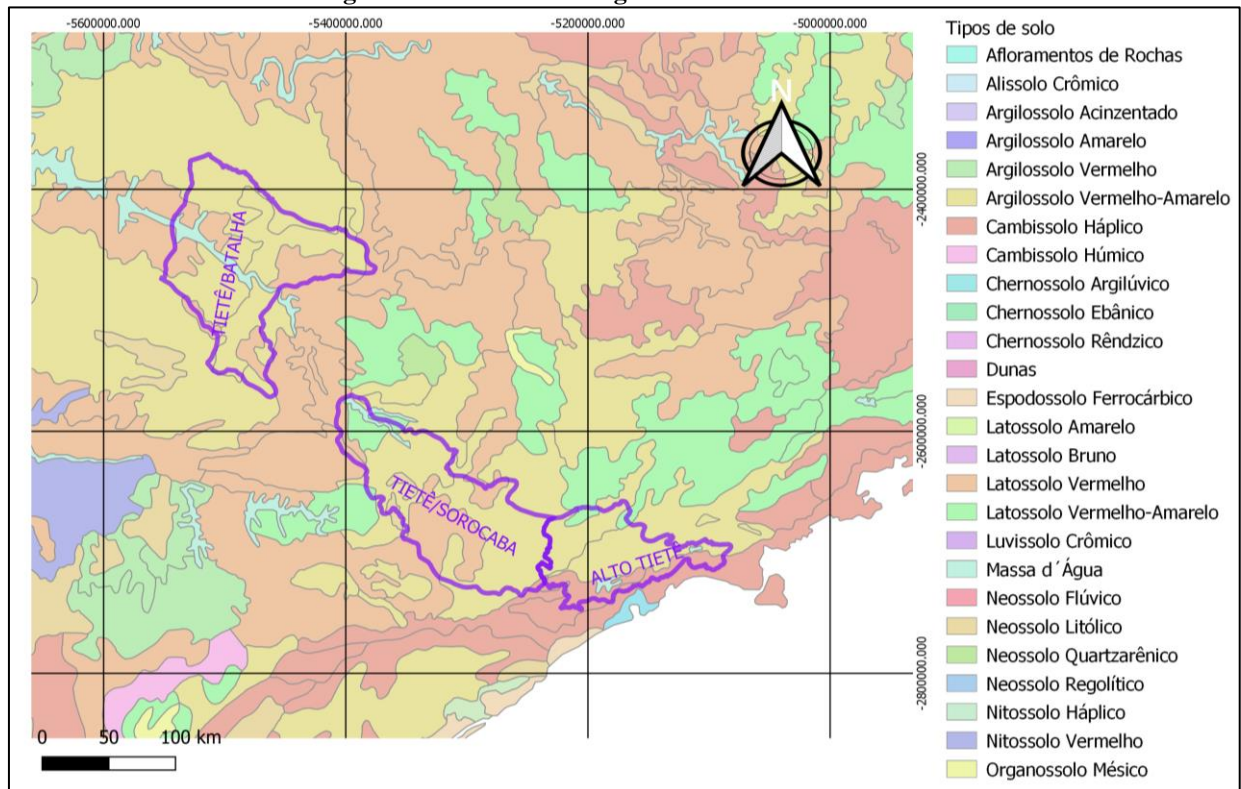


De acordo com Carvalho (1994), a declividade da bacia influencia diretamente no transporte de sedimentos, ou seja, as erosões aumentam à medida que a declividade da bacia acresce, da mesma forma que decrescem quanto a declividade e a quantidade de chuvas diminuem, concluindo que a degradação do solo ocorre com maior frequência nas partes altas da bacia hidrográfica. Nota-se que as áreas em vermelho são as mais elevadas, ou seja, as principais contribuintes de escoamento superficial, sendo importantes pontos de observação de uso e ocupação do solo, de taxas de escoamento superficial, sendo que quanto maior o índice de escoamento, menor é a taxa de infiltração no solo. A ausência de cobertura vegetal ou manejo inadequado do solo acarretou no arraste das camadas superficiais do solo, que incorporaram nos

sedimentos do respectivo corpo hídrico de cada ponto, conforme analisados na pesquisa de Cardoso (2014).

Outro fator relevante são os tipos de solos das áreas estudadas que se apresentam como Argissolos vermelho amarelo e Latossolos, conforme Figura 114. Os Argissolos são compostos de argila, que normalmente permanecem nas camadas inferiores do solo, fazendo com que a parte superior fique com cobertura arenosa, e os Latossolos são solos com textura argilosa, pH ácido e ricos em teores de alumínio, cujo elemento torna-se fator limitante de desenvolvimento de vegetação, impedindo o crescimento da biota.

**Figura 114: Dados Pedológicos das bacias em estudo.**



Com a presença de chuvas e altas temperaturas características dos trópicos, a composição pedológica facilita o carreamento de solo das áreas sem cobertura vegetal, lixiviando os compostos minerais, fertilizantes e herbicidas. Esses solos se tornam mais susceptíveis aos processos de erosivos.

Como a UGHRI 16 possui vocação canavieira, muitas áreas encontram-se expostas devido aos períodos de final de safra e entressafra, que ocorre a preparação da terra e a aplicação de fertilizantes justamente na estação das chuvas (verão), favorecendo a lixiviação dessas substâncias. O levantamento temporal de dados pluviométricos referentes ao período de 1944 a

2017 (item 6.1.11) mostraram que a média histórica permanece em 1270 mm/ano e que houveram nessas décadas períodos ímpares de secas como o ocorrido em 2014.

Para completar as análises levantou-se as imagens que englobam o mesmo satélite para verificar a influência das atividades no corpo hídrico. A Figura 115 mostra um trecho do curso do rio Tietê que liga a sub bacia Tietê Sorocaba à Tietê Batalha em 1989, na qual a água apresenta-se sem anormalidades visíveis.

**Figura 115: Imagem de 1989 de um trecho do rio Tietê para estudo comparativo.**



A Figura 116 apresenta o mesmo trecho no ano de 2007, onde já se observa a presença de clorofila na água, indicando a possível presença de microalgas em grandes quantidades.

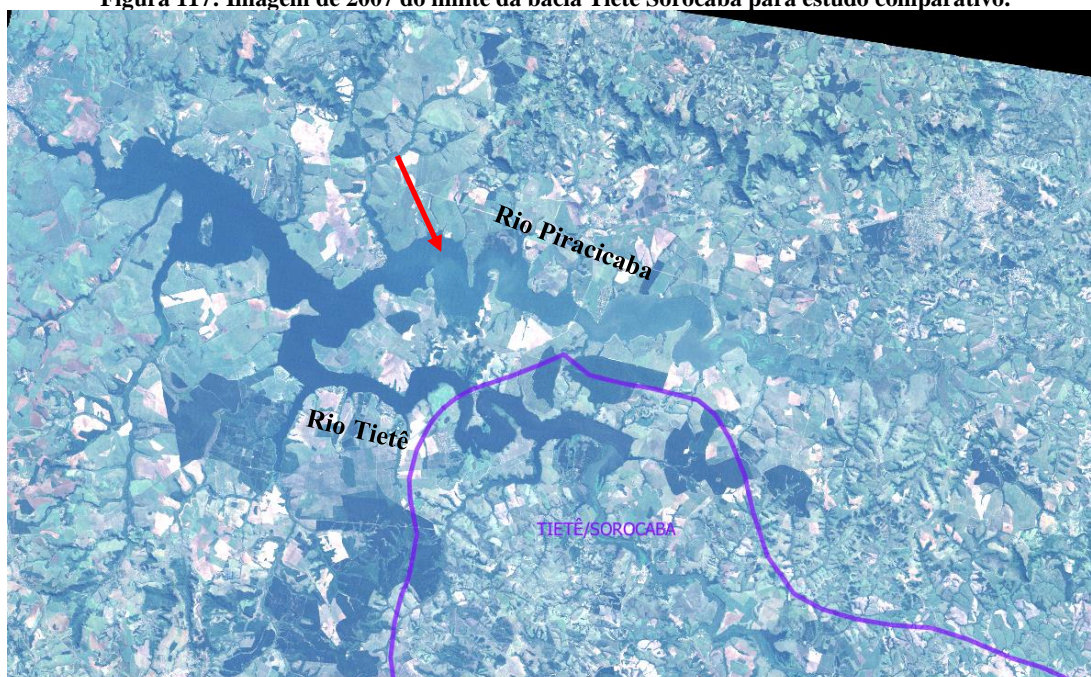


**Figura 116: Imagem de 2007 de um trecho do rio Tietê para estudo comparativo.**



Essa situação não é verificada nos reservatórios anteriores no mesmo período (2). Na Figura 117 verifica-se a contribuição de carga proveniente do rio Piracicaba no entroncamento com o Tietê, que juntamente com as cargas de demais rios como Jundiá e Capivari em demais pontos da bacia, fatores estes levantados nas análises gráficas das médias de fósforo total (item 6.1.6).

**Figura 117: Imagem de 2007 do limite da bacia Tietê Sorocaba para estudo comparativo.**



Mesmo a rio Piracicaba contribuindo, as grandes cargas são digeridas ao longo dos quilômetros e não interferem diretamente nos processos eutróficos que ocorrem na UGRHI 16, principalmente no reservatório de Promissão. Todas as análises visaram contribuir na compreensão da temática sistêmica do meio hídricos com a ocupação humana.

## 7. CONCLUSÕES

Este estudo objetivou avaliar a heterogeneidade, a variabilidade temporal e quantitativa de diferentes reservatórios de Usinas Hidrelétricas instaladas no curso do rio Tietê a fim de verificar a hipótese da contribuição da carga poluidora proveniente da região metropolitana de São Paulo ser a fonte principal de impactos da qualidade hídrica no reservatório de Promissão. Para tanto, realizou-se uma análise exploratória de dados físico-químicos, pluviométricos e espaciais de 30 anos em três reservatórios do rio Tietê.

A partir dos estudos, pode-se concluir que as concentrações de fósforo total no reservatório de Promissão não são influenciadas diretamente pelas cargas provenientes das UGHRIS 6 e 10. A carga da grande São Paulo existe e é trazida pelo rio Tietê para os reservatórios seguintes, mas uma grande parcela dela é autodepurada e/ou diluída ao longo dos quilômetros correntes e têm-se como fontes causadoras dos processos eutróficos os usos e ocupações do solo da UGHRI 16.

A seguir serão apresentados itens que fundamentam essa conclusão:

- No reservatório de Promissão (ponto 5) os picos de chuva são compatíveis com os de Ibitinga e a variação do fósforo total ao longo dos anos é menor que nos pontos anteriores, ou seja, não foi crescente com o passar dos anos, mostrando que a grande carga proveniente de São Paulo se depurou ao longo do percurso e que a influência da chuva na disponibilização de matéria orgânica tem efeito nas concentrações de fósforo;
- O reservatório de Ibitinga (ponto 4) difere do reservatório de Promissão, pois sofre com a carga remanescente de esgoto do rio Pirapora, tanto que não acompanha a mesma evolução, reforçando a hipótese da eficiência da autodepuração do rio Tietê ao longo do curso e da capacidade de diluição ser maior devido ao aumento da vazão e da diminuição do aporte de cargas;
- No caso do ponto 1 pode-se observar a crescente concentração de fósforo total, provavelmente proveniente do lançamento de esgoto sem tratamento ou com tratamento incompleto (sem estágio terciário), que acompanha o aumento populacional e o desenvolvimento das cidades naquela região com o passar das décadas. O arraste provocado pelas chuvas também se faz presente, sugerindo que a carga do rio Pirapora não interfere no reservatório de Promissão, caso contrário, o comportamento do mesmo também seria crescente. Outra observação é quanto à distância percorrida pelo Pirapora fazendo com que sua carga não

interfira diretamente no rio Tietê, pois ocorre a autodepuração de grande parte da matéria orgânica ao longo do curso do rio;

- Na UGHRI 6 constatou-se, no ano de 2016, que 88,8% dos esgotos gerados são coletados e somente 53,4% são tratados (CETESB, 2016), ou seja, este volume que não é tratado finda em poluição em mananciais superficiais como, por exemplo, o trecho do rio Tietê que cruza a cidade de São Paulo; com altos níveis de nitrogênio e fósforo; baixa concentração de oxigênio dissolvido (OD), que podem ser verificados em toda a série histórica do ponto 2 (Salto e Pirapora de Bom Jesus).

- Como a UGHRI 16 possui vocação canavieira, muitas áreas encontram-se expostas devido aos períodos de final de safra e entressafra, que ocorre a preparação da terra e a aplicação de fertilizantes justamente na estação das chuvas (verão), favorecendo a lixiviação dessas substâncias aos corpos hídricos. Essas áreas precisam ser incluídas em projetos de saneamento das sub bacias, com iniciativas de restauração de Áreas de Preservação Permanente nas bordas do reservatório;

- A correlação do parâmetro temperatura nos meses quentes com o aumento das algas tem extrema importância no processo de eutrofização pois estão relacionadas ao efeito de estratificação térmica característico de reservatório, resultando na formação de “natas” verdes devido a alteração na densidade da água, fazendo com que as algas fiquem mais leves que o meio aquoso e se concentrem na superfície;

- A grande vazão do rio Tietê impede a renovação das águas dos córregos que o abastecem devido a pressão exercida por ele, resultando em ambientes lênticos que favorecem o surgimento de áreas críticas com eutrofização, ou seja, sua hidrodinâmica influencia na problemática do processo;

- No tocante aos valores de todos os parâmetros, os resultados que apresentaram desconformidades estão situados nas UGRHIs com classificação industrial (UGHRI 6 e 10), seguida da classificação agropecuária (UGHRI 16), o que exalta a interferência que o uso do solo tem na qualidade hídrica das bacias. É preciso que os órgãos competentes como a CETESB fiscalizem e cobrem o tratamento dos efluentes dessas atividades e suas condições de lançamento nos córregos que formam as bacias a fim de minimizar seus efeitos nos corpos hídricos subsequentes. Sem esse instrumento de cobrança, todos os esforços voltados a melhora da qualidade da água do rio Tietê serão ineficazes;

- As concentrações de fósforo total no reservatório de Promissão possivelmente não são influenciadas diretamente pelas cargas provenientes das UGHRI 6 e 10;

- A qualidade da água é melhor nos períodos de seca devido aos menores índices pluviométricos e conseqüentemente ao menor processo de lixiviação. Neste sentido, a efetividade das curvas de nível nos locais agricultáveis é de grande importância para conter esse arraste. Esta medida trabalha em sintonia com a restauração das APPs e;

- As análises apresentadas se restringem às contribuições referentes às três sub bacias discutidas neste estudo, uma vez que existem 22 no estado de São Paulo. Para uma visão holística pode-se investigar as demais sub bacias.

- A existência de falhas no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/12) quanto a proteção de áreas permanentes, a ausência de fiscalização do cumprimento das leis por parte dos órgãos ambientais responsáveis e a falta de conscientização da população são fatores que prejudicam fortemente a qualidade hídrica do rio Tietê.

- A legislações estaduais sobre os níveis de tratamento de esgoto possuem restrições insuficientes que resultam em corpos hídricos eutrofizados e contaminados no estado de São Paulo.

- A construção de banco de dados ambientais mostrou-se uma tarefa difícil devido a descontinuidade nas coletas, *gaps* nas séries históricas e erros de processamento das informações.

E para finalizar, ressalta-se que o entendimento da relação entre a distribuição espacial das principais atividades econômicas das sub bacias, as inter-relações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico, principalmente dos recursos hídricos, podem contribuir com o melhoramento da qualidade ambiental da sub bacia Tietê Batalha e, conseqüentemente do rio Tietê, que sofre com problemas de eutrofização há mais de 10 anos.

## **8. TRABALHOS FUTUROS**

- I)** Estudos limnológicos na bacia do rio Tietê poderão contribuir na compreensão dos impactos ambientais dos corpos d'água.
  
- II)** Investigação das demais sub bacias afluentes do rio Tietê para verificação das fontes em toda a sua extensão de contribuição.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES Tietê. **Nossos reservatórios**. Disponível em: <[www.aestiete.com.br/nossos reservatórios](http://www.aestiete.com.br/nossos_reservatorios)>. Acesso em: 29 nov de 2012.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Dados hidrológicos**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul de 2017.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. Disponível em: <<http://sar.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 Set de 2018.

BAIOCCHI, V.; LELO, K.; POLETTINI, A.; POMI, R. **Land suitability for waste disposal in metropolitan areas**. 2014. Waste Management & Research, v.32, n.8, p. 707-716, 2014.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. **Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado**. 2015. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 21, n°4, p. 797-813. 2015.

BENINI, R de. M. et al. **Cenários ambientais visando a mitigação de enchentes decorrentes da implantação do campus II - USP, São Carlos - SP**. Anais: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003.

BERTALANFFY, L.V. **Teoria Geral dos Sistemas: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 2010. Introdução. In: Bertalanffy, L. v. 5. ed. Petrópolis: Vozes. Cap. 1, p. 21-53.2010, 2010.

BERTHOLD et al. **Mineração de Dados de Qualidade de Água para Agrupamento de Pontos de Amostragem Usados no Monitoramento de Recursos Hídricos**. Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Biblioteca Digital Brasileira de Computação. 2013. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wcama/2013/003.pdf>>. Acesso em: 19 Set. de 2017.

BIOMAPAS. **Plataforma de mapas e dados**. Disponível em: <http://www.biomaps.org>. Acesso em: 03 mai. de 2019.

BOND, B. **Floração de cianobactérias em Sabino/SP**. Novatv Jornal eletrônico de Lins/SP. Lins, 16 jan. 2019. Disponível em: <[www.facebook.com.br/novatvlins](http://www.facebook.com.br/novatvlins)>. Acesso em: 19 mar. 2019.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Printice Hall, 2002. ISBN: 85-87918-05-2. 2002.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997.** Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>>. Acesso em: 21 fev. de 2018.

BRASIL. **Resolução 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> . Acesso em: 20 fev. de 2018.

BRYHN, A.C.; GIREL, C.; PAOLINI, G.; JACQUET, S. **Predicting future effects from nutrient abatement and climate change on phosphorus concentrations in Lake Bourget, France.** 2010. Ecological Modelling. 221(10), 1440-1450, 2010.

CALIJURI, M. do C. **Estrutura fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita,SP).** Tese (livre docência). Universidade de São Paulo. USP. 1999. 197p.

CALIJURI, M. do C.; Dos SANTOS, A.C.A. **Temporal variations in phitophankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita,SP).** 2001. Hydrobiologia 445(1-3), 11-26. 2001.

CAMPANHA, M. B. et al. **Variabilidade espacial e temporal de parâmetros físico-químicos nos rios Turvo, Preto e Grande no estado de São Paulo, Brasil.** Química Nova. Sociedade Brasileira de Química, v. 33, n. 9, p. 1831-1836, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/22285>>. Acesso em: 04 mai de 2018.

CAPUTO, L; NASELLI-FLORES,L.; ORDONEZ,J.; ARMENGOL, J. **Phitoplankton distribution along trofic gradients whitin and among reservoirs in Catalonia (Spain).** 2008. Freschwater Biology 53(12) 2543-2556. 2008.

CARDOSO, A. M. T. **Verificação da qualidade da água e dos sedimentos no rio Tietê entre as barragens de Promissão e Ibitinga.** 2014. Dissertação (mestrado). FEB - Faculdade de Engenharia de Bauru. 77 f. 2014.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática.** CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

CBH TIETÊ BATALHA. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI-16.** Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha, 2018. Disponível em: <<http://www.comitetb.sp.gov.br/index.php?tab=1&acao=com12>> . Acesso em: 22 nov de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatórios de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo dos anos 1985 a 2016.** Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 19 jan de 2017.



CHANG, N.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. **Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region.** Journal of Environmental Management, v.87, n.1, p.139-153, 2008.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento.** 2017. Levantamento de safras. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 08 ago. de 2017.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** 2005. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 21 nov. de 2016.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** 2011. Resolução n° 430, de 31 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> . Acesso em: 21 nov. de 2016.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras.** 2006. Tese (doutorado) em Agronomia/Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 101 f. 2006.

CREMONEZ, F.E. et al. **Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil.** 2014. Revista Monografias Ambientais - REMOA. UFSM, Santa Maria e-ISSN 2236 1308 - DOI:10.5902/2236130814689. v.13, n.5, dez. 2014, p.3821-3830.

CRITTO, A, TORRESANA, S.; SEMENZINA, E. GIOVEC, S. MIRANDA A.J.; MARCOMINI, A. **Development of a site-specific ecological risk assessment for contaminated sites: Part I. A multi-criteria based system for the selection of ecotoxicological tests and ecological observations.** 2012. Science of the total environmental. Vol. 379, Issue 1, jun, 2017. Pag 16-33.

CUNHA, D. G. F. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do rio Sorocaba (SP).** Tese (doutorado) em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. do Carmo; LAMPARELLI, M. C.; MENEGON Jr, N. **Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009)** 2014. Artigo técnico. Eng. Sanit. Ambient. vol.18 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522013000200008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000200008)>. Acesso em: 21 Ago. de 2017.

CUNHA, D.G.F., CALIJURI, M.do Carmo. MOCCELIN, J. Fundamentos ecológicos e ciclos naturais. 2012. In: Calijuri, M.C.; Cunha, D.G.F. **Engenharia Ambiental: conceitos, Tecnologia e Gestão.** 2012. Elsevier: Rio de Janeiro, p-131-159.

DAEE, Departamento de água e Energia Elétrica. **Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas. Banco de dados hidrológicos do Estado de São Paulo**. 2017. Disponível em: <[http://sibh.dae.sp.gov.br/chuva\\_vazao](http://sibh.dae.sp.gov.br/chuva_vazao)>. Acesso em: 21 Ago. de 2017.

DATAGEO, 2017. Sistema Ambiental Paulista. **Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>> . Acesso em: 17 de Mar. de 2017.

DAVIS, M. L., MASTEN, S. J. Princípios da Engenharia Ambiental. 2016. Editora: AMGH. 2016. 3ª edição. 854 p.

DE CAMARGO FIORINI, P. ; JABBOUR, C. J. C. **Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going**. 2017. *International Journal of Information Management*, 37(4), 241–249. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2016.12.004>>. Acesso em: 24 fev de 2019.

DEPARTAMENTO HIDROVIÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Hidrovia Tietê-Paraná**. 2013. Disponível em: <<http://www.dh.sp.gov.br/>> . Acesso em: 22 de mar. de 2018.

DONADIO, N.M.M.; GALBIATTI, J. A.; DE PAULA, R.C. **Qualidade da água de nascente com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil**. 2005. *Engenharia agrícola*, v. 13, n.6, p. 772-780. 2005.

DOS SANTOS, A.C.A. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de reservatórios com diferentes graus de trofia no estado de São Paulo**. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo (USP). 225p. 2003.

ELY, D. F.; DUBREUIL, V. **Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná –Brasil**. 2017. *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 2237-8642. Ano 13–Vol. 21–JUL/DEZ2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/48643/34243>> . Acesso em: 18 mar. De 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência. 602p, ed. 2, Rio de Janeiro 1998. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice\\_iva\\_iet.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva_iet.asp)>. Acesso em: 19 nov. de 2018.

FABHAT. **Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê**. Histórico da qualidade da água monitorados pelo Comitê da bacia do Alto Tietê. 2017. Disponível em: <<http://fabhat.org.br/site/index.php>>. Acesso em: ago. 2017.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização**. 2007. *Eng. Sanit. Ambient.* , v. 12, n. 4 , 2007.

FRANCO, M. A. R. O que é planejamento ambiental. **Planejamento Ambiental para a cidade sustentável**. 2001. 2.ed. São Paulo: Annablume/FAPESP, 2001. p. 17-54..

FREITAS, E. P. et al. **Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.4, p.443–449, 2013. Campina Grande, P.B. UAEA/UFCEG. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 17 abr. de 2017.

FUJACO, M. A. G et al. **Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de Geoprocessamento**. 2010. Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), 2010. Disponível em:<[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)> . Acesso em: 12 fev. de 2017.

G1. Portal de notícias. **Piscicultor fala em prejuízo de R\$ 1 milhão após encontrar 40 toneladas de peixes mortos**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2019/04/11/piscicultor-fala-em-prejuizo-de-r-1-milhao-apos-encontrar-40-toneladas-de-peixes-mortos.ghtml>>. Acesso em: 29 abr de 2019.

GROPPO, J.D. et al. **Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas**. 2005. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

GROSSI, C. H. **Diagnóstico e monitoramento ambiental da microbacia hidrográfica do rio Queima-Pé, MT**. 2006. xi, 122 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101768>>. Acesso em: 22 maio de 2018.

HENRY, R.; NUNES, M.A.; MITSUKA, P.A; LIMA, N.; CASANOVA, S.M.C. **Variação espacial e temporal da produtividade primária de fitoplâncton na represa de Jurumirim (rio Paranapanema, SP)**. 1998. Revista Brasileira de Biologia. 58 (4). 571-590.

HUANG, L. et al. **Estimation and spatio-temporal analysis of ship exhaust emission in a port area**. 2016. Ocean Engineering. Vol. 140, 1 August 2016, Pages 401-411. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801817303098#ab0010>> Acesso em: 19 Ago. de 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Brasília. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 09 fev. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal de acesso à informação**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/acessoainformacao>>. Acesso em: 06 Mai de 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens (DGI), CANASAT**. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html> >. Acesso em: 03 set de 2017.

LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo. USP. 238p. 2004.

MANZIONE, R. **Mapeamento das características dinâmicas do nível freático do Sistema Aquífero Bauru como instrumento de gestão de recursos hídricos**. 2018. Geologia USP. Série Científica, 18(1), 227-240. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-137819>> Acesso em: 29 mar de 2018.

MARCOMINI, A. CRITTO, A., TORRESAN, S., (...), PIZZOL, L., PESCE, M., **Assessing uncertainty of hydrological and ecological parameters originating from the application of an ensemble of ten global-regional climate model projections in a coastal ecosystem of the lagoon of Venice, Italy**. 2015. Ecological Engineering. 2019.

MARCON, G. **Avaliação da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo. USP. 218 p. 2005.

MATSUOKA, J. V.; FERNANDES, N. R. P. **Implementação de um sistema de informações geográficas (SIG) para o monitoramento do aterro sanitário da cidade Monte Carmelo – MG**. 2018. Revista Gestão Tecnológica e Ciências. GETEC, v.7, n.15, p. 132 – 150. 2018. Disponível em: < <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/getec/article/view/1366> > . Acesso em: 27 jan. de 2018.

MICHEL, N. **Zoneamento ambiental da região do lago de Itaipu utilizando a lógica fuzzy**. 2012. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Tese (doutorado). 129 p. 2012.

MIDUGNO, R.; ROISENBERG, A. **Hidrogeoquímica de cursos de água: influência da ocupação humana sobre parâmetros físico-químicos no Município de Porto Alegre, RS**. 2013. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Pesquisas em Geociências, 40. ISSN 1518-2398. Porto Alegre, 2013.

NASCIMENTO, W. M.; VILLAÇA, M. G. **Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros- Seção Três Lagoas, v. 01, n. 07, p. 102-120, 2008. Lagoas. 2008. v. 01, n. 07, p. 102-120, 2008.

NASCIMENTO, V. F.; SILVA, A. M. **Identifying problems for choosing suitable areas for installation of a new landfill through GIS technology: A case study**. 2014. Journal of the Air & Waste Management Association, v.64, n.1, p. 80-88, 2014.

OLIVEIRA, E. M. **Desafios e perspectivas para recuperação da qualidade das águas do rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo**. 2015. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo. 299 p. 2015.

PEREIRA, A. O. **Caracterização do uso e ocupação do solo na área de influência do reservatório de Ilha Solteira**. 2006. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 88 f. 2006.

POLIDORO, M.; BARROS, M.V. F.; LOLLO, J. A. de; MARCHETTI, M. C. **Análise multitemporal da evolução da mancha urbana no entorno da br-369 dos municípios paranaenses**. In: Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos. 2010. Porto Alegre. Disponível em: <[http://www.uel.br/projetos/atlasrml/publicacoes/anais/eng\(1666\).pdf](http://www.uel.br/projetos/atlasrml/publicacoes/anais/eng(1666).pdf)> Acesso em: 21 mai de 2019.

PORCHER, L. C. F. et al. **Perceptions of local people on environmental impacts and changes on fisheries in a coastal lagoon at the Brazilian South**. 2018. Boletim do Instituto de Pesca, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 61 - 72, nov. 2018. ISSN 1678-2305. Disponível em: <<https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/903>>. Acesso em: 15 jan 2019.

ROHDE, G. M. Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto. Ditora: Oficina de textos. 4ª edição. 2013, 159 p.

SANTOS, C. R. **Evolução das condições sanitário-ambientais do rio Tietê até o reservatório de Barra Bonita: efeitos da Região Metropolitana de São Paulo**. 2005. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, USP. Faculdade de Saúde Pública. São Paulo. 2005. 186 p.

SANTOS, A. F. dos. **Estudo agroambiental de uma microbacia hidrográfica, visando sua sustentabilidade**. Tese de doutorado. Unesp. Botucatu. 2009. 167 p.

SANTOS, M. R. **Evolução Temporal da Eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá / Mariana Rodrigues dos Santos**. 2014. Dissertação (mestrado). UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro. 2014. XIII, 126p.

SANTOS, R. V. dos. **Spatial and temporal variability of limnological characteristics in the santa cruz and umari reservoirs, semi-arid region of rio grande do norte, Brazil**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Sanidade e Produção Animal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

SCHUSSEL, Z. ; NASCIMENTO P. N. **Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal**. 2015. Ambiente & Sociedade. São Paulo v. XVIII, n. 3 n p. 137-152 n jul.-set. 2015.

SIRGH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. 2016. **Informações das UGRHI 5, 6 e 16**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/>. Acesso em: 30 de mai. de 2017.

TERCINI, J.R.B. **Modelagem da qualidade da água integrando rio e reservatório**. 2014. Dissertação. Escola Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo. 2014.

THORNRON, K.W., KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. **Reservoir Limnology: ecological perspectives**. 1990. John Wiley & Sons Inc. 246 p.

TJSP. Tribunal de Justiça de São Paulo. **Ação civil pública**. JUSBRASIL. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/processos/205124387/processo-n-2206154-8920188260000-do-tjsp> . Acesso em: 29 mai de 2019.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. 1997. Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, IBGE, 91p.

TRINDADE, A.L.C.et al. **Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais**. 2016. Eng Sanit Ambient

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1997. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. 2006. Ministério do Meio Ambiente / SQA. Brasília: MMA, 2006. 302 p.

TUNDISI, J. G. MATSUMARA – TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2008.

VILLELA, S. M. ; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, M.V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.

WANG, X. et al. **Assessment of eco environmental quality on land use and land Cover changes using remote sensing and GIS: case study of Miyun county**. 2018. Nature Environmental and Pollution Technology, 17 (3). Pp. 739-746.

WINSTON, W. L. **Operational Research: Applications and Algorithms**. 3. ed. Philadelphia: PWS-Kent, 2016. 1262 p.

ZANOTTA, D. C. et al. **Gradual land cover change detection based on multitemporal fraction images**. Pattern Recognition, Volume 45, Issue 8,. 2012. Pages 2927-2937. 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320312000659>>. Acesso em: 11 Jul de 2017.

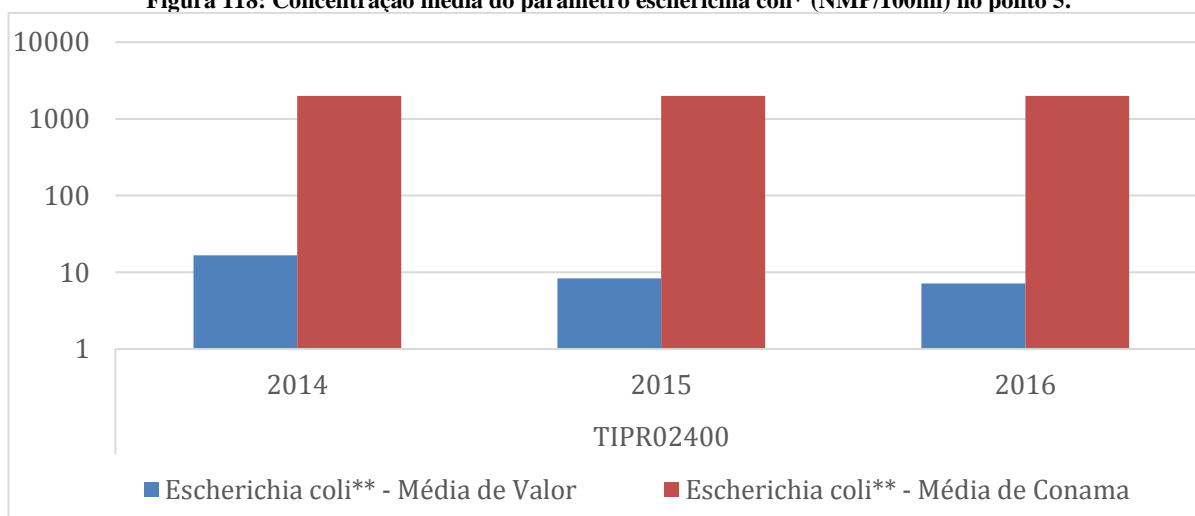
## 10. APÊNDICE

Estão anexados informações e dados que foram úteis no desenvolvimento do trabalho, mas que foram triados ao se aplicar a metodologia proposta. Disponibiliza-se os links de acesso junto ao arquivo da tese para a melhor compreensão de alguns passos e também para torná-los públicos, podendo ser utilizados em pesquisas futuras.

### APÊNCIDE I

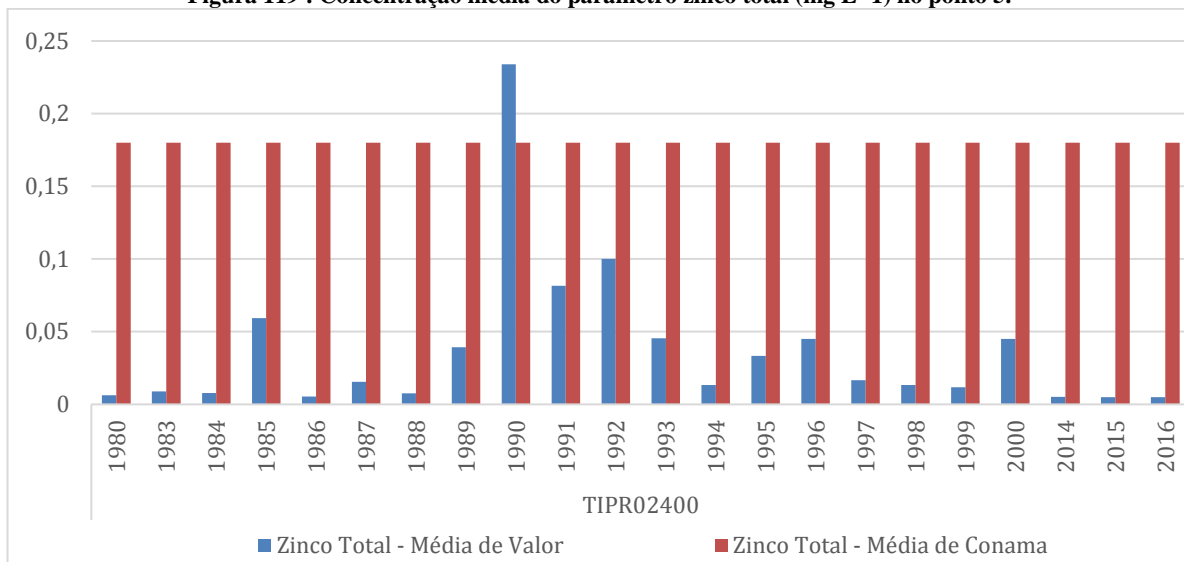
As figuras 118 a 136 ilustram os gráficos com as tendências das concentrações de todos os parâmetros que foram computados tanto do ponto 5 quanto posteriormente dos demais pontos juntos, complementando os apresentados no item 7.1.

**Figura 118: Concentração média do parâmetro escherichia coli\* (NMP/100ml) no ponto 5.**

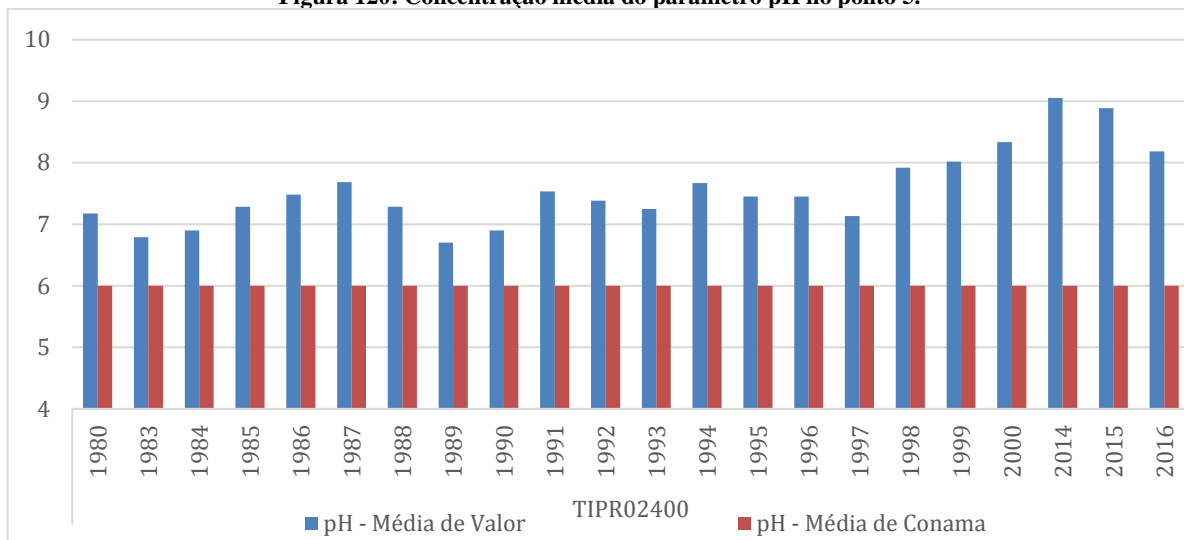




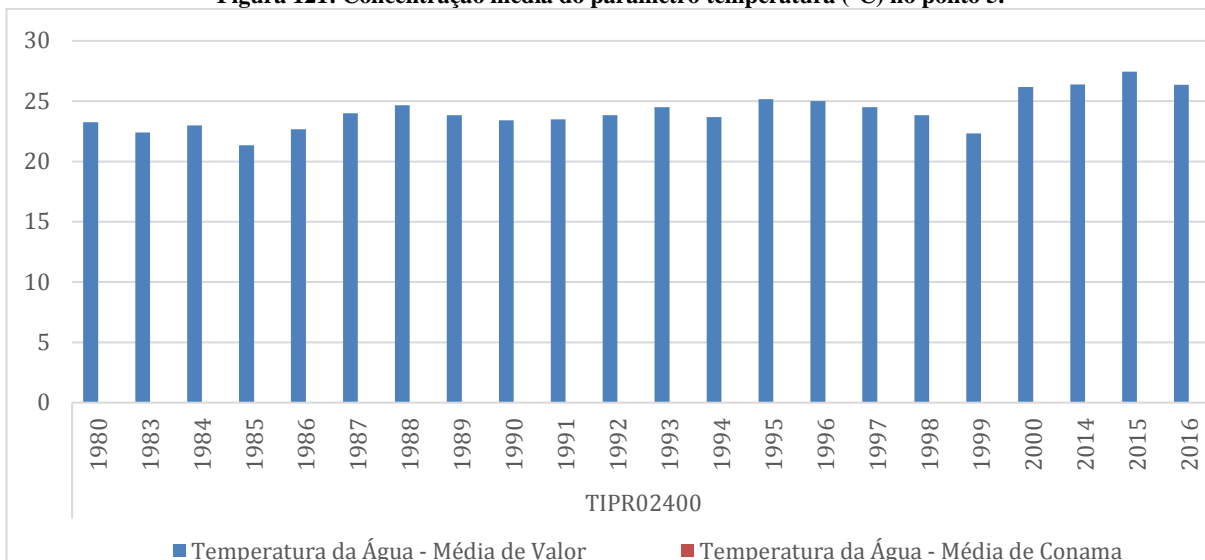
**Figura 119 : Concentração média do parâmetro zinco total (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



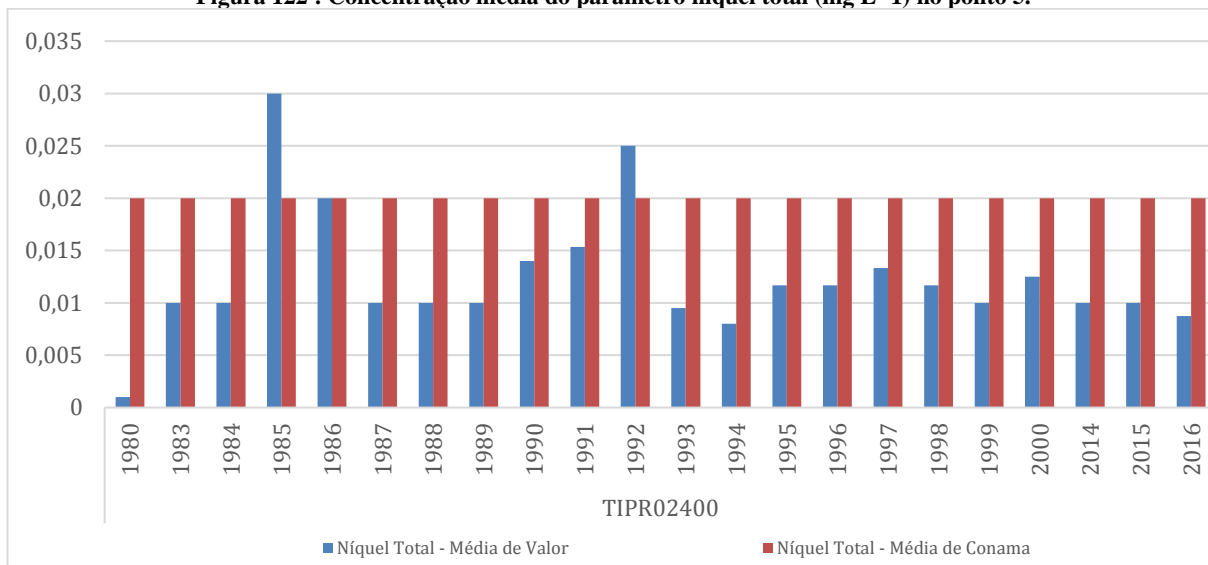
**Figura 120: Concentração média do parâmetro pH no ponto 5.**



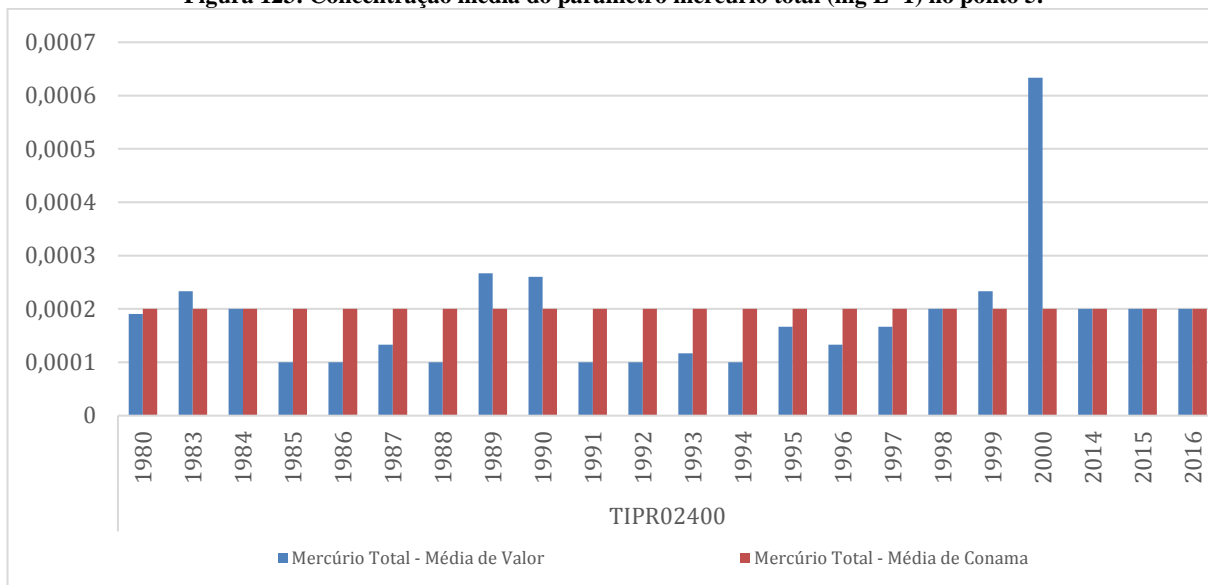
**Figura 121: Concentração média do parâmetro temperatura (°C) no ponto 5.**



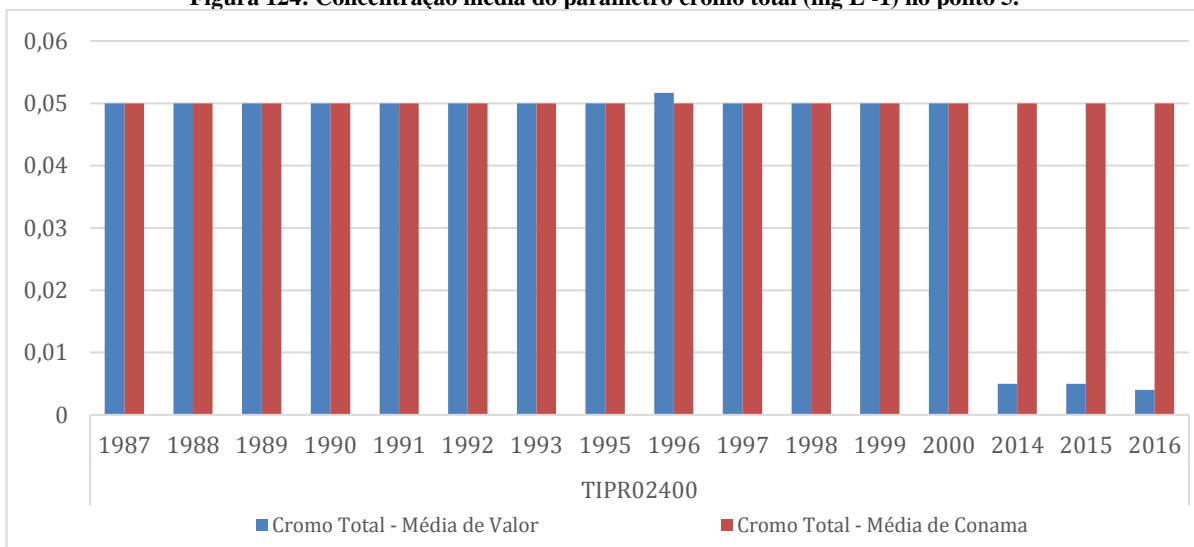
**Figura 122 : Concentração média do parâmetro níquel total (mg L -1) no ponto 5.**



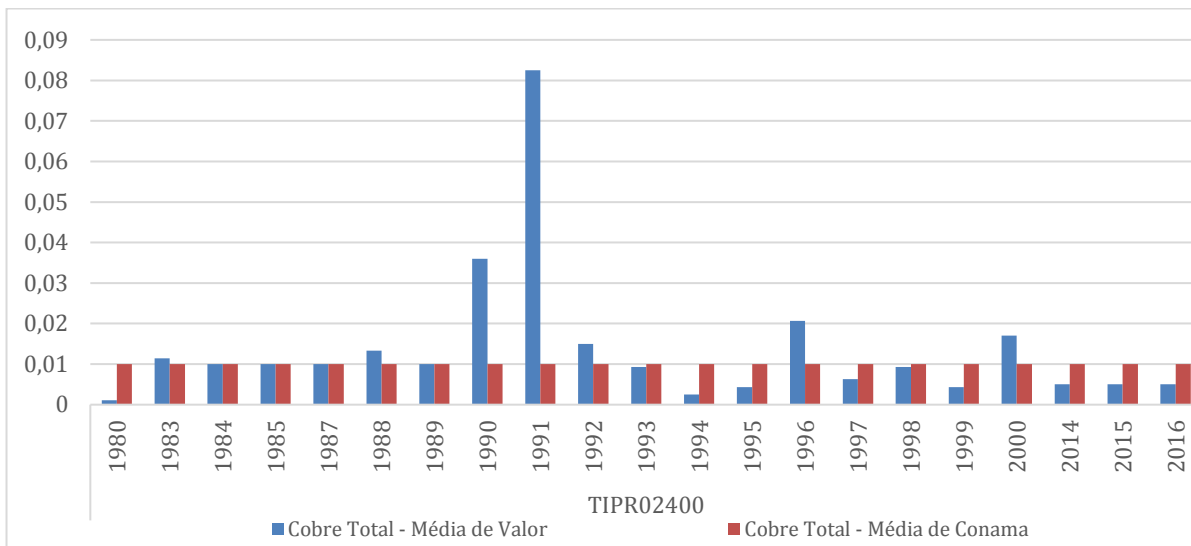
**Figura 123: Concentração média do parâmetro mercúrio total (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



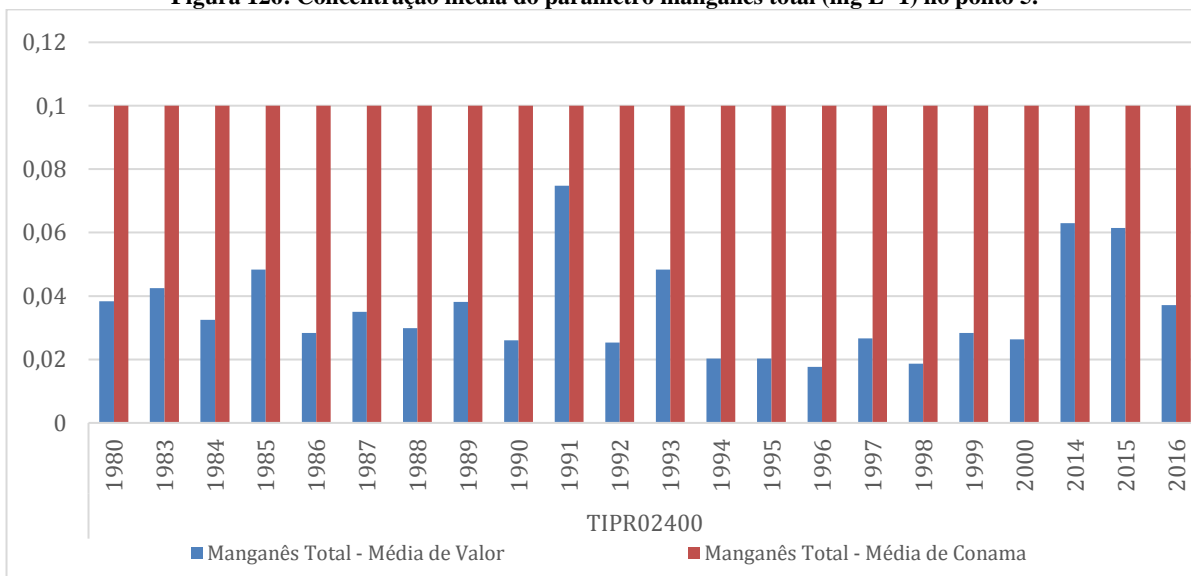
**Figura 124: Concentração média do parâmetro cromo total (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



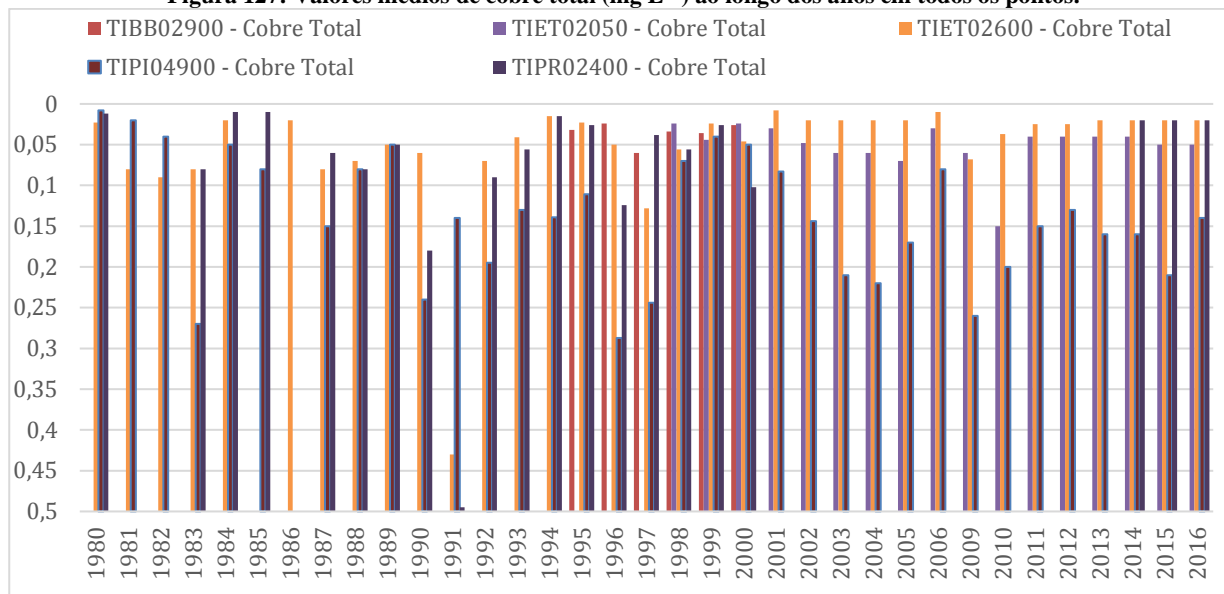
**Figura 125: Concentração média do parâmetro cobre total (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



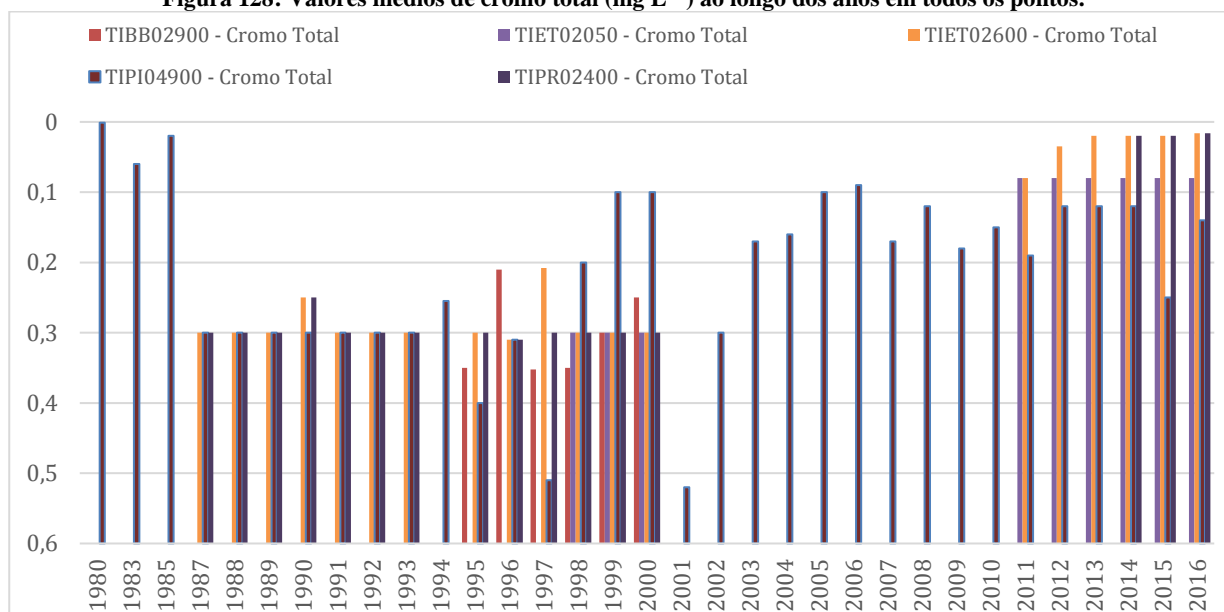
**Figura 126: Concentração média do parâmetro manganês total (mg L<sup>-1</sup>) no ponto 5.**



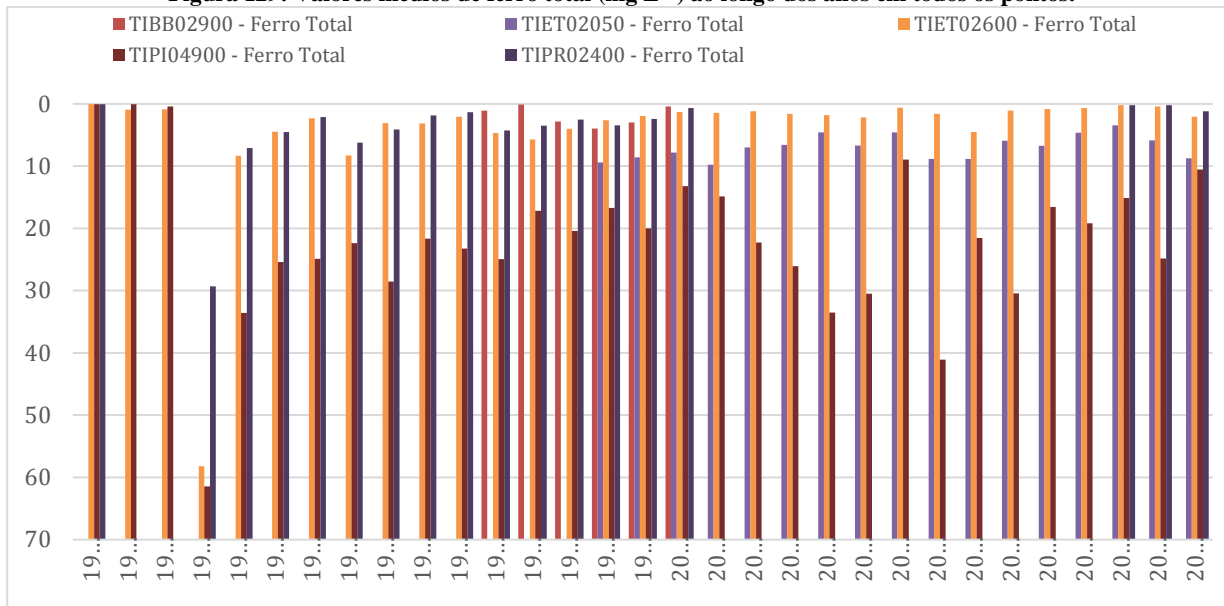
**Figura 127: Valores médios de cobre total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



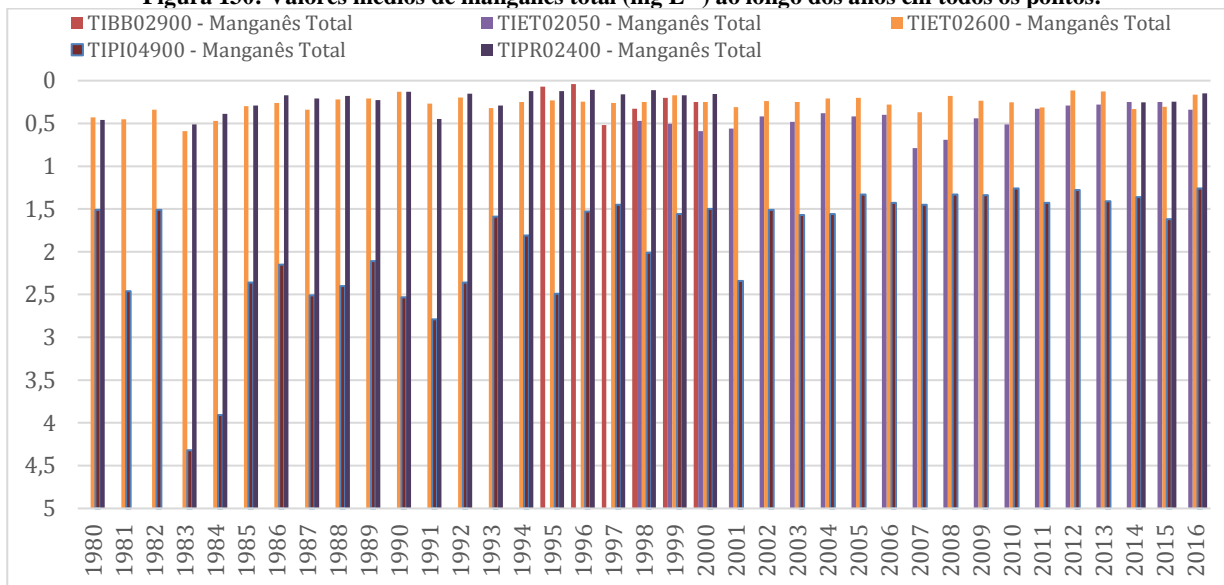
**Figura 128: Valores médios de cromo total ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ao longo dos anos em todos os pontos.**



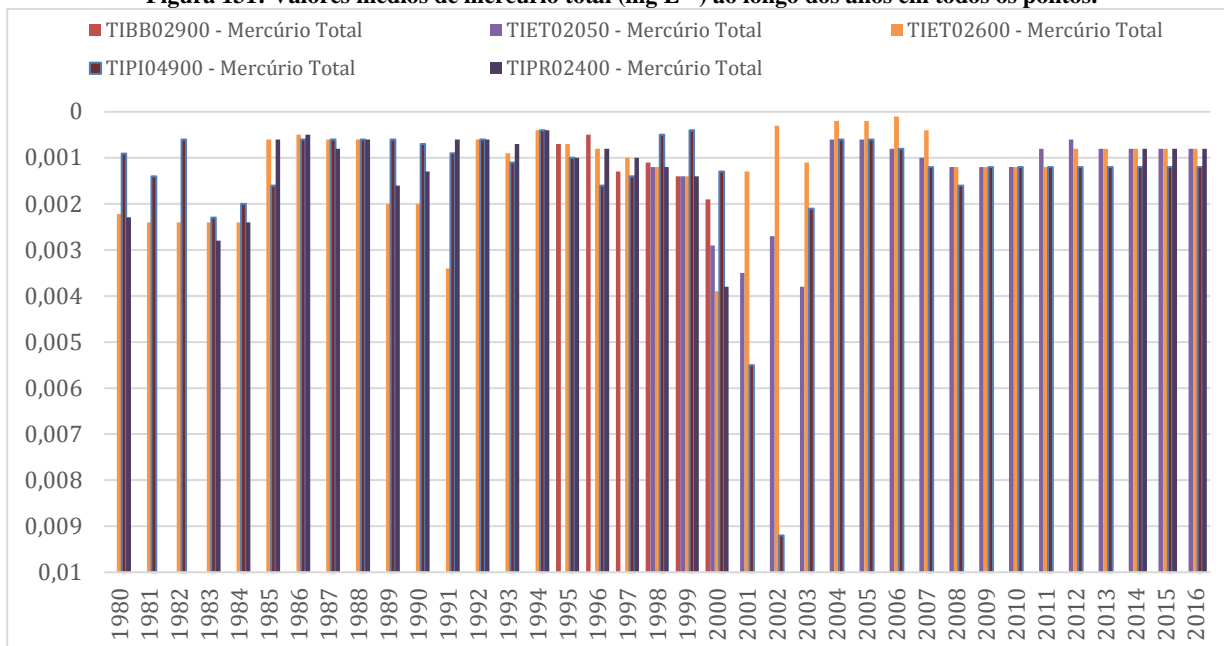
**Figura 129: Valores médios de ferro total (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



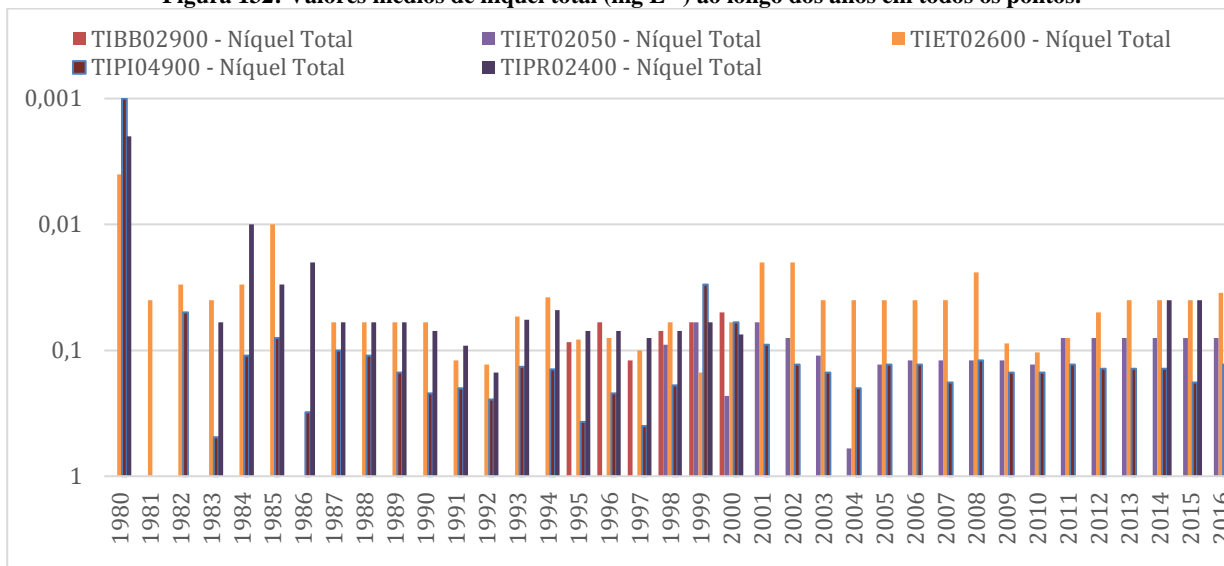
**Figura 130: Valores médios de manganês total (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



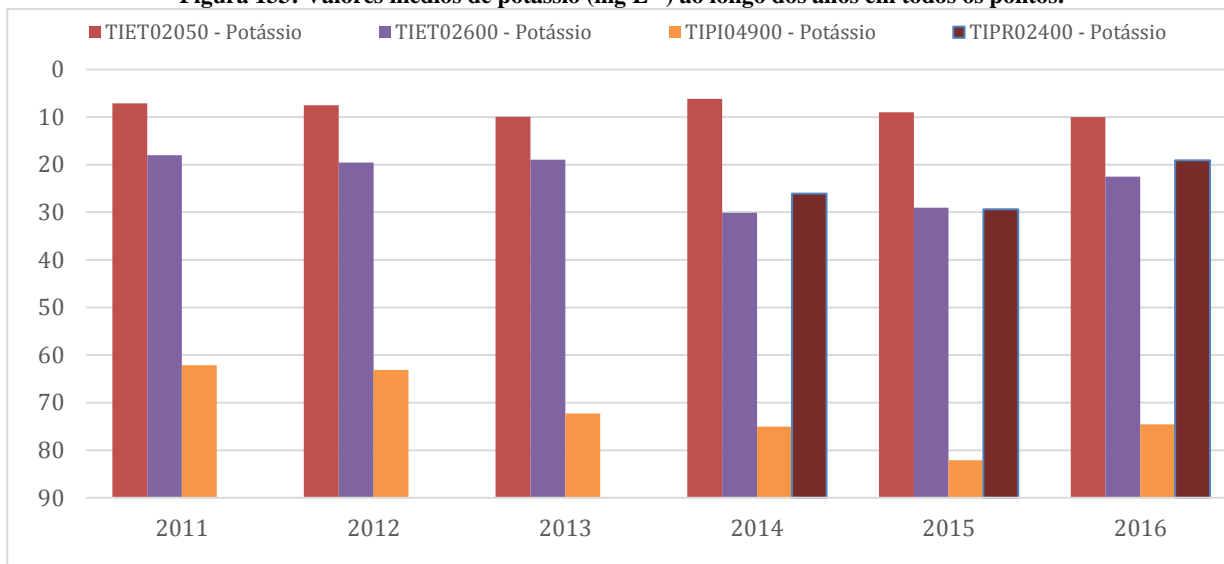
**Figura 131: Valores médios de mercúrio total (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



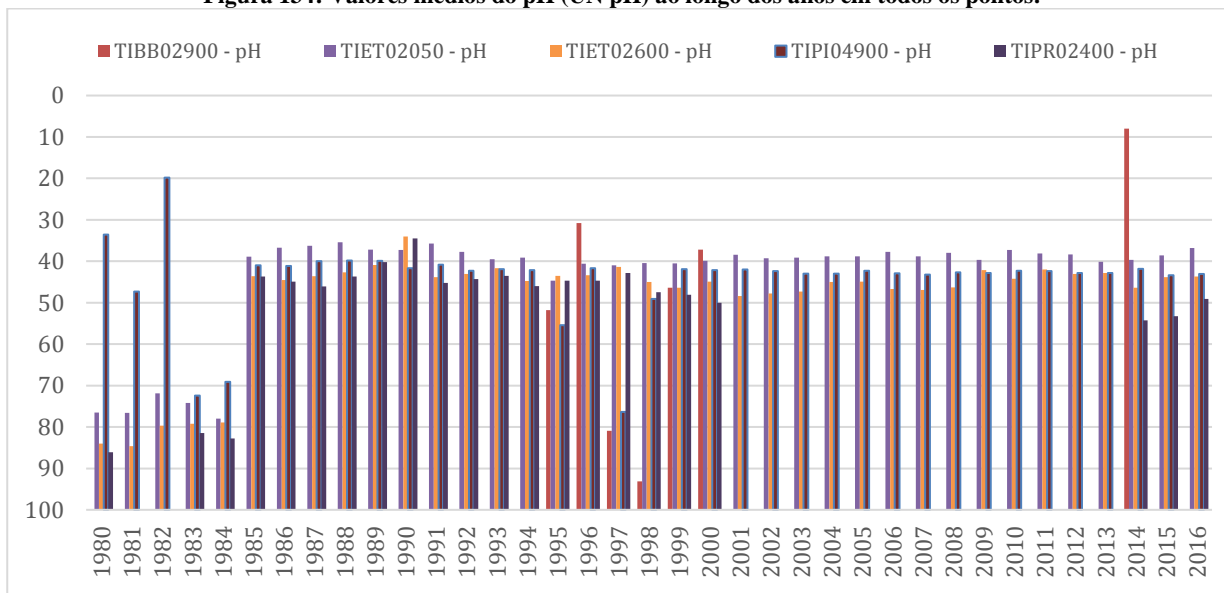
**Figura 132: Valores médios de níquel total (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



**Figura 133: Valores médios de potássio (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**

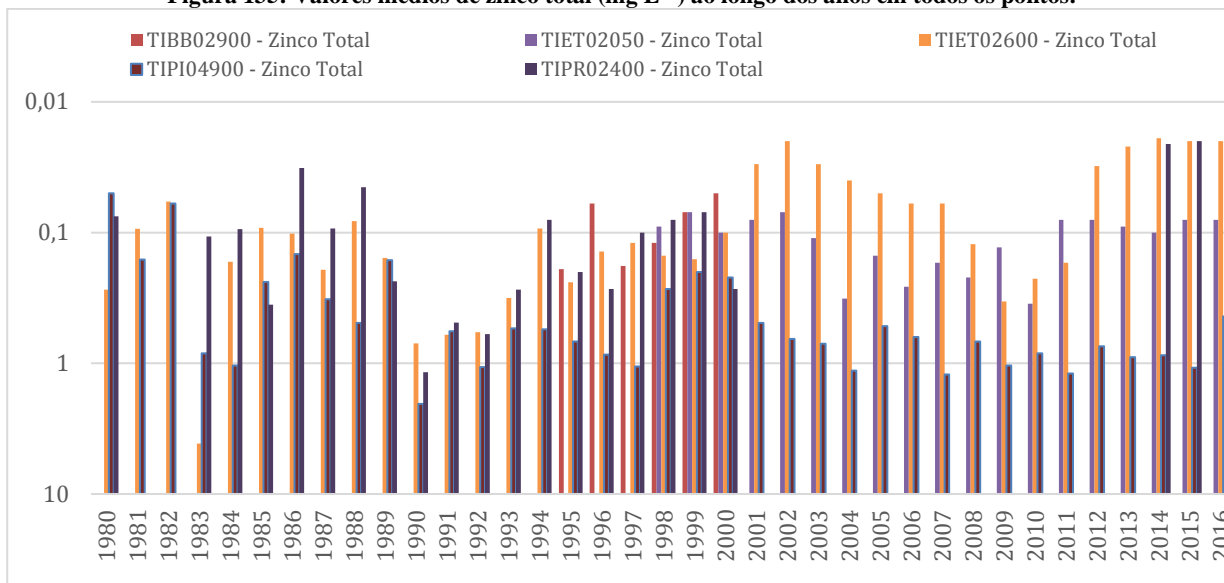


**Figura 134: Valores médios do pH (UN pH) ao longo dos anos em todos os pontos.**

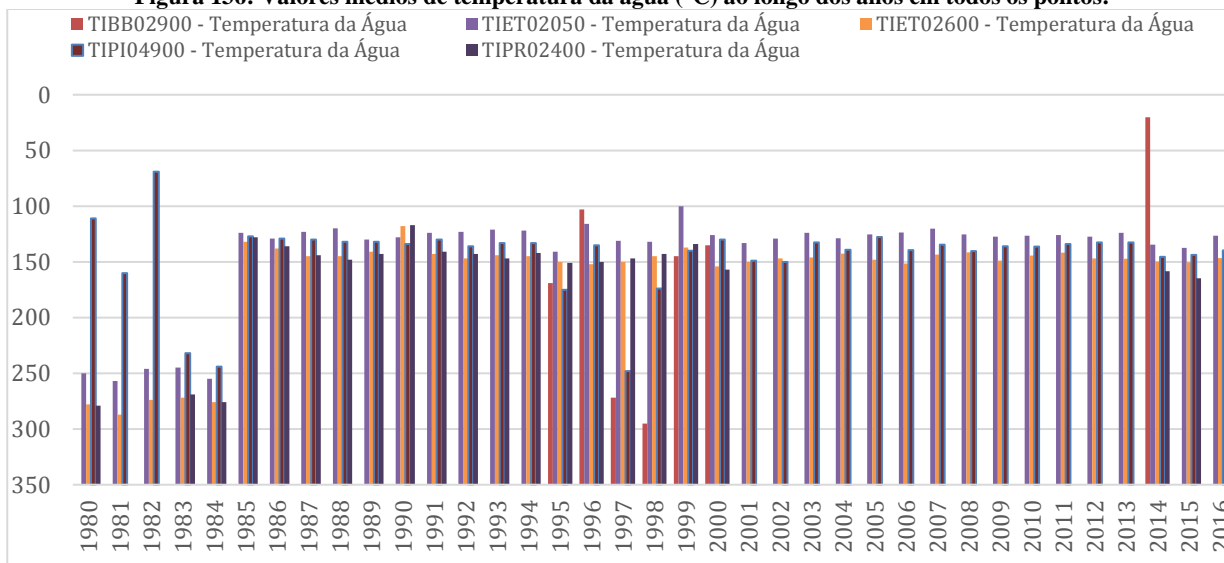




**Figura 135: Valores médios de zinco total (mg L<sup>-1</sup>) ao longo dos anos em todos os pontos.**



**Figura 136: Valores médios de temperatura da água (°C) ao longo dos anos em todos os pontos.**



## 11. ANEXO

Apresenta-se dados referentes aos setores censitários do IBGE (2017) dos municípios inseridos na microrregião estudada estão apresentados nas Figuras 137 a 141.

**Figura 137: Evolução populacional de Lins entre 1991 a 2010.**

Evolução Populacional			
Ano	Lins	São Paulo	Brasil
1991	58.606	31.588.925	146.825.475
1996	60.169	33.844.339	156.032.944
2000	65.952	37.032.403	169.799.170
2007	69.279	39.827.570	183.987.291
2010	71.432	41.262.199	190.755.799

Fonte: IBGE, 2017.

**Figura 138: Evolução populacional de Guaíçara entre 1991 a 2010.**

Evolução Populacional			
Ano	Guaíçara	São Paulo	Brasil
1991	6.366	31.588.925	146.825.475
1996	8.422	33.844.339	156.032.944
2000	9.211	37.032.403	169.799.170
2007	10.357	39.827.570	183.987.291
2010	10.670	41.262.199	190.755.799

Fonte: IBGE, 2017.

**Figura 139: Evolução populacional de Sabino entre 1991 a 2010.**

Evolução Populacional			
Ano	Sabino	São Paulo	Brasil
1991	4.571	31.588.925	146.825.475
1996	4.714	33.844.339	156.032.944
2000	4.951	37.032.403	169.799.170
2007	5.150	39.827.570	183.987.291
2010	5.217	41.262.199	190.755.799

Fonte: IBGE, 2017.

**Figura 140: Evolução populacional de Cafelândia entre 1991 a 2010.**

Evolução Populacional			
Ano	Cafelândia	São Paulo	Brasil
1991	15.257	31.588.925	146.825.475
1996	15.224	33.844.339	156.032.944
2000	15.793	37.032.403	169.799.170
2007	16.073	39.827.570	183.987.291
2010	16.607	41.262.199	190.755.799

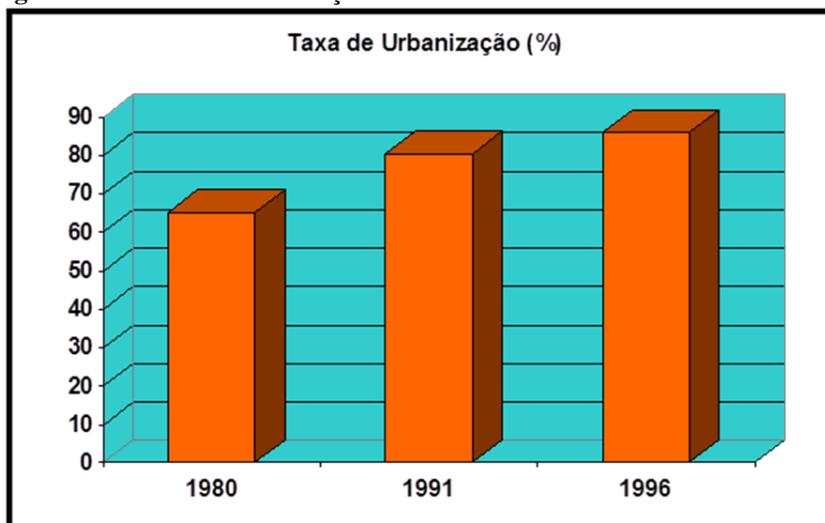
Fonte: IBGE, 2017.

**Figura 141: Evolução populacional de Pirajuí entre 1991 a 2010.**

Evolução Populacional			
Ano	Pirajuí	São Paulo	Brasil
1991	18.829	31.588.925	146.825.475
1996	17.108	33.844.339	156.032.944
2000	20.095	37.032.403	169.799.170
2007	21.035	39.827.570	183.987.291
2010	22.704	41.262.199	190.755.799

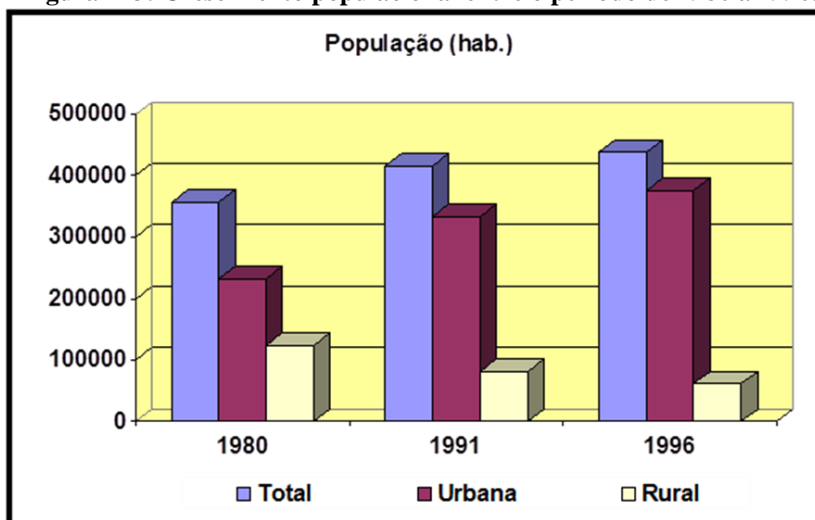
Fonte: IBGE, 2017.

B) Dados de crescimento populacional e taxa de urbanização do período de 1980 a 1996 na UGHI 16.

**Figura 142: Taxa de urbanização da UGRHI 16 no intervalo de 1980 a 1996.**

Fonte: CBH Tietê Batalha, 2018.

**Figura 143: Crescimento populacional entre o período de 1980 a 1996.**



C) Dados de crescimento populacional do estado de São Paulo no período de 1980 a 2018 apresentados na Figuras 144.

**Figura 144: Estimativa da população do estado de São Paulo.**

**População de São Paulo (1980-2018)**

Ano	Habitantes
1980	24.953.238
1985	27.715.306
1990	30.783.108
1995	33.848.251
2000	36.974.378
2005	39.201.179
2010	41.223.683
2014	42.673.386
2016	43.359.005
2018	43.993.159

**Fonte: Fundação SEADE, 2018.**