



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Programa de Engenharia Ambiental

Ana Beatriz Steele Pellegrini

**Estudo sobre a Degradação do Complexo  
Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos**

Rio de Janeiro  
2016



UFRJ

Ana Beatriz Steel Pellegrini

## **Estudo sobre a Degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Magali Christe Cammarota

Rio de Janeiro  
2016

Pellegrini, Ana Beatriz Steele

Estudo sobre a Degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos / Ana Beatriz Steele Pellegrini - 2016.

f.:141 il. 30 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2016.

Orientador: Magali Christie Cammarota

1-Monitoramento 2-Qualidade de água 3-Crescimento Populacional 4-Barra da Tijuca 5-Complexo Lagunar de Jacarepaguá. I. Cammarota, Magali Christie. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química . III. Título



UFRJ

## **Estudo sobre a Degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos**

Ana Beatriz Stteel Pellegrini

Orientador: Magali Christe Cammarota

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

---

Presidente, Prof<sup>a</sup>. Magali Christe Cammarota, D.Sc., UFRJ

---

Prof<sup>a</sup>. Cristina Aparecida Gomes Nassar, D.Sc., UFRJ

---

Prof<sup>a</sup>. Daniele Maia Bila, D.Sc., UERJ

---

Prof<sup>a</sup>. Melissa Limoeiro Estrada Gutarra, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro  
2016

## DEDICATÓRIA

*À minha filha Juliana e a todos que com seu amor, paciência e generosidade tornaram a minha vida mais feliz e esse trabalho possível...*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, *in memoriam*, que me incentivou a estudar continuamente, nunca desistir dos sonhos e buscar realizá-los.

À minha orientadora, Professora Magali Christe Cammarota, pela paciência, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos que tornaram esta Dissertação possível.

Ao INEA / Gerência de Águas, em especial à Leonardo Daemon, André Leone, Maurício Soares e Carolina Coimbra, que gentilmente cederam os dados de coleta de água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e por todo o suporte realizado durante a elaboração deste trabalho.

A todos os Mestres e Doutores com quem tive a oportunidade de conviver e aprendi lições preciosas.

A John Dinckinson pelas horas dispendidas neste trabalho e pelo suporte em matemática e estatística que foram essenciais para garantir a confiabilidade dos dados analisados.

Aos meus amigos que acreditaram em mim, me apoiaram nos momentos difíceis e suportaram a minha ausência.

À Luiz Lima Saraiva pelo apoio e confiança que sempre me dedicou e pelo incentivo para seguir em frente neste projeto de vida.

## RESUMO

Pellegrini, Ana Beatriz Steel. Estudo sobre a Degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Neste estudo analisou-se a qualidade das águas das lagoas de Jacarepaguá, Marapendi, Camorim e Tijuca, que integram o Complexo Lagunar de Jacarepaguá, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, utilizando-se dados de monitoramento realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (INEA) de 1983 a 2013. Concomitantemente, foi realizado um levantamento de informações dos censos demográficos de 1980 a 2010, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Pereira Passos (IPP), pertencente a Prefeitura do Estado do Rio de Janeiro. Os dados obtidos foram empregados para caracterizar o crescimento populacional e as condições de saneamento, além de aspectos sociais e de renda da região em estudo. O método de suporte a decisão para objetivos múltiplos (*Multiple Objective Decision Support [MODS]*) foi utilizado para correlacionar a pressão antropogênica com a degradação da qualidade da água do complexo lagunar. O Teste-t de Student foi empregado como ferramenta estatística. Analisaram-se 19 parâmetros físicos e químicos, coletados em 8 estações de amostragem distribuídas nas quatro lagoas, conforme o nível de atividade humana. Os resultados obtidos para nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, DBO e sólidos suspensos totais (SST) em todas as lagoas mostraram que o crescimento populacional influenciou a qualidade das águas do complexo lagunar. Ao se analisar as médias de concentração nas lagoas em dois períodos de tempo, no início do período estudado e em anos mais recentes, verificaram-se valores 30 a 279%, 42% e até 522% maiores nos últimos anos para fósforo, SST e nitrogênio amoniacal, respectivamente. Todas as lagoas encontram-se poluídas, segundo os padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

Palavras-chave: Monitoramento, qualidade de água, crescimento populacional, Barra da Tijuca, Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

## **ABSTRACT**

Pellegrini, Ana Beatriz Steel. Study about Jacarepaguá Lagoon Complex degradation at the last 30 years. Rio de Janeiro, 2016. Dissertation (Master Degree) – Environmental Engineering Program, Polytechnic School and Chemistry School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

In this study, the water quality of the lagoons of Jacarepagua, Marapendi, Camorim and Tijuca, which are part of the Lagoon Complex of Jacarepagua, in Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, was analyzed using monitoring data of the State Institute for the Environment (INEA) in the 1983-2013 period. Concomitantly, a survey of information from population censuses from 1980 to 2010, provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and Pereira Passos Institute (IPP), belonging to the State Hall of Rio de Janeiro, was held. The data were used to characterize the population growth and sanitation, as well as social aspects and income in the region under study. The Multiple Objective Decision Support [MODS]) method was used to correlate the anthropogenic pressure to the degradation of the lagoon complex water quality. The Student's' t Test was used as a statistical tool. When analyzing the average concentration in the lagoons in two time periods, at the beginning of the study period and in recent years, there were values from 30 to 279%, 42% and even 522% higher in recent years to phosphorus, total suspended solids and ammonia nitrogen, respectively. All lakes are polluted with the water quality standards set by CONAMA Resolution 357/2005.

Key words: Monitoring, water quality, population growth, Barra da Tijuca, Jacarepaguá Lagoon Complex.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	16
1.1. Introdução.....	16
1.2. Objetivos.....	17
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	18
2.1. Crescimento populacional da Barra da Tijuca nos últimos 30 anos.....	18
2.2. Saneamento ambiental na Barra da Tijuca nos últimos 30 anos.....	27
2.3. Legislação relativa à poluição hídrica no Brasil e no mundo.....	29
2.4. Monitoramento da qualidade da água.....	33
2.5. Qualidade da água em lagos.....	35
2.6. O Complexo Lagunar de Jacarepaguá.....	45
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	47
3.1. Levantamento bibliográfico.....	47
3.2. Suporte a Decisão para Objetivos Múltiplos (Multiple Objective Decision Support [MODS]).....	47
3.3. Estudo de caso.....	49
3.3.1. Área de estudo.....	49
3.3.2. Pontos de amostragem.....	52
3.3.3. Metodologia de coleta e análise das amostras.....	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
4.1. Análise dos parâmetros monitorados nas lagoas no período de 1983-2013.....	58
pH e Alcalinidade .....	58
Matéria orgânica (DBO) e oxigênio dissolvido (OD).....	68
Metais .....	78
Coliformes Termotolerantes.....	85
Nutrientes (N e P).....	94
Sólidos Suspensos Totais e Turbidez.....	107
Temperatura.....	109
Teste-t Student.....	111
4.2. Os impactos ambientais e correlação com crescimento populacional.....	114
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	121
5.1. Conclusões.....	121
5.2. Recomendações.....	122
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	123
<b>ANEXO I</b> .....	133
<b>APÊNDICE A</b> .....	136

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Área de Planejamento
CAPES	Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CECA	Comissão Estadual de Controle Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente
FM	Fraco para microbiologia
FP	Frasco plástico
FV	Frasco de vidro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-R	Índice de Renda
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPP	Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos da Prefeitura do Rio de Janeiro
IPPUR/UFRJ	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano da Universidade Federal do Rio de Janeiro
MODS	Multiple Objective Decision Support
MRJ	Município do Rio de Janeiro
N	Nitrogênio
NDLTD	Networked Digital Library of Theses and Dissertations
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PUC-RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RA	Região Administrativa
SEA	Secretaria Estadual do Ambiente
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
SM	Standard Methods
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
USEPA	US Environmental Protection Agency

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Divisão administrativa geral do Município do Rio de Janeiro – 2013.....	20
Tabela 2.2	Estimativa da variação da população moradora em favela e não-favela, por Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro – 2000 e 2010.....	25
Tabela 2.3	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH), por ordem de IDH, da Barra da Tijuca – 1991 – 2000.....	27
Tabela 2.4	Domicílios particulares permanentes, por tipo de infraestrutura (esgoto), segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca - 1991/ 2000/2010.....	28
Tabela 2.5	Domicílios particulares permanentes, por tipo de infraestrutura (abastecimento de água), segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca - 1991/ 2000/2010.....	29
Tabela 3.1	Pesos e escalas usadas para determinar a pressão antropogênia esperada no Complexo Lagunar de Jacarepaguá.....	48
Tabela 3.2	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no complexo lagunar deste estudo.....	56
Tabela 4.1	Médias e desvios-padrão das formas nitrogenadas nas lagoas nos períodos iniciais (mar/83 a set/92) e finais (jul/01 a jul/13) do monitoramento.....	96
Tabela 4.2	Médias e desvios-padrão das concentrações de N amoniacal nas lagoas nos períodos de seca e chuva do monitoramento.....	101
Tabela 4.3	Médias e desvios-padrão de fósforo total nas lagoas nos períodos iniciais e finais do monitoramento.....	106
Tabela 4.4	Médias e desvios-padrão de Temperatura (°C) nas lagoas nos períodos iniciais e finais do monitoramento e nos períodos de chuva e seca.....	110
Tabela 4.5	Resultado da análise estatística aplicada a cada parâmetro	113
Tabela 4.6	Pressão antropogênica calculada para o Complexo Lagunar de Jacarepaguá.....	115
Tabela 4.7	População residente, segundo as Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas – 1991/2010.....	116
Tabela 4.8	Parâmetros da qualidade da água medidos nas estações de seca e chuva para as quatro lagoas em estudo.....	120
Tabela A.1	Teste-t de duas amostras em par para médias de nitrogênio amoniacal na Lagoa de Camorim.....	135

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Mapa do Município do Rio de Janeiro em 1980.....	19
Figura 2.2	Mapa do Município do Rio de Janeiro em 2009.....	19
Figura 2.3	RA XXIV – Barra da Tijuca.....	21
Figura 2.4	Gráfico de população residente em Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Cidade de Deus de 1991 a 2010.....	21
Figura 2.5	População residente x população estimada na Barra da Tijuca 2000 e 2020.....	22
Figura 2.6	Distribuição da população por Regiões Administrativas – 2000 e 2010 – MRJ.....	23
Figura 2.7	Variação percentual da população, segundo as Regiões Administrativas - 2010/2000 – MRJ.....	23
Figura 2.8	Variação percentual da população jovem, segundo as Regiões Administrativas 2010/2000 – MRJ.....	24
Figura 2.9	Variação percentual da população idosa, segundo as Regiões Administrativas – 2010/2000 – MRJ.....	25
Figura 2.10	Proporção do total da população favelada em cada ano, segundo as AP's – Rio de Janeiro.....	26
Figura 2.11	Monitoramento da qualidade da água.....	34
Figura 2.12	Perfil vertical de temperatura de um lago estratificado.....	37
Figura 2.13	Relação entre os níveis, no verão, de clorofila <i>a</i> e a concentração de fósforo total para 143 lagos.....	44
Figura 3.1	Complexo Lagunar de Jacarepaguá.....	50
Figura 3.2	Pontos de Coleta na Lagoa de Jacarepaguá do Rio de Janeiro.....	53
Figura 3.3	Pontos de Coleta na Lagoa de Marapendi do Rio de Janeiro.....	53
Figura 3.4	Pontos de Coleta na Lagoa de Camorim do Rio de Janeiro.....	54
Figura 3.5	Pontos de Coleta na Lagoa de Tijuca do Rio de Janeiro.....	54
Figura 4.1	Valores de pH da Lagoa de Jacarepaguá no período de mar/83 a mar/13.....	58
Figura 4.2	Valores de pH na Lagoa de Jacarepaguá na Estação Seca (ago/83 a ago/13 – A) e na Estação de Chuvas (mar/83 a mar/13 – B).....	59
Figura 4.3	Valores de Alcalinidade da Lagoa de Jacarepaguá no período de dez/84 a jan/13.....	60
Figura 4.4	Valores de pH da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.....	60
Figura 4.5	Valores de pH da Lagoa de Marapendi na Estação de Seca (ago/83 a ago/13 – A) e na Estação de Chuvas(mar/83 a mar/13 – B).....	61
Figura 4.6	Valores de Alcalinidade da Lagoa de Marapendi no período de dez/84 a dez/13.....	62
Figura 4.7	Valores de pH da Lagoa da Tijuca no período de jul/86 a jul/13.....	62

Figura 4.8	Valores de pH da Lagoa da Tijuca na Estação de Chuvas (fev/84 a jun/13 – A) e na Estação de Seca (jul/86 a jul/12 – B).....	63
Figura 4.9	Valores de pH da Lagoa Camorim no período de mar/83 a mar/13.....	64
Figura 4.10	Valores de pH da Lagoa Camorim no período de chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de seca (ago/83 a ago/12 – B).....	65
Figura 4.11	Valores de Alcalinidade das Lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá no período de dez/84 a jan/13..	66
Figura 4.12	Correlação entre valores de Alcalinidade e pH das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá no período de dez/84 a dez/13.....	66
Figura 4.13	Valores de DBO e OD na Lagoa de Jacarepaguá no período de ago/83 a ago/13.....	68
Figura 4.14	Valores de DBO e OD na Lagoa de Jacarepaguá no período de chuva (dez/84 a dez/13 – A) e no período de seca (ago/83 a ago/13 – B).....	70
Figura 4.15	Valores de DBO e OD na Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.....	71
Figura 4.16	Valores de DBO e OD da Lagoa de Marapendi no período de Chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de Seca (ago/83 a ago/13 – B).....	72
Figura 4.17	Valores de DBO e OD na Lagoa da Tijuca no período entre jul/83 e jul/13.....	73
Figura 4.18	Valores de DBO e OD da Lagoa da Tijuca no período de chuvas (jan/07 a jan/13 – A) e no período de Seca (jul/86 a jul/13 – B).....	74
Figura 4.19	Valores de DBO e OD da Lagoa Camorim no período entre mar/83 e mar/13.....	75
Figura 4.20	Valores de DBO e OD da Lagoa Camorim no período de chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de Seca (ago/83 a ago/13 – B).....	76
Figura 4.21	Correlação entre valores de OD e DBO das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá nos períodos de 1983-1991 (A) e 2007-2013 (B).....	77
Figura 4.22	Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) em sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá no período de jun/83 a jun/05.....	79
Figura 4.23	Valores de metais totais (em mg/g) sem contar a presença de ferro (A) e metais totais (B) em sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá no período de jun/83 a jun/05..	80
Figura 4.24	Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) nos sedimentos da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.....	81
Figura 4.25	Valores de metais totais (em mg/g) sem a presença de ferro (A) e metais totais (B) nos sedimentos da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.....	82

Figura 4.26	Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) nos sedimentos da Lagoa de Camorim no período de mar/83 a mar/13.....	83
Figura 4.27	Valores de metais totais (em mg/g) sem a presença de ferro (A) e metais totais (B) nos sedimentos da Lagoa de Camorim no período de mar/83 a mar/13.....	84
Figura 4.28	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Jacarepaguá no período de jul/83 a jul/13.....	86
Figura 4.29	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Jacarepaguá no período de Chuvas (dez/84 a jan/13 – A) e no período de Seca (jul/83 a abr/13 – B).....	87
Figura 4.30	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Marapendi no período de jul/83 a jul/13.....	88
Figura 4.31	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Marapendi no período de chuvas entre dez/84 a jan/13 (A) e seca entre jul/83 a a jul/13 (B).....	89
Figura 4.32	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Tijuca no período de mar/86 a set/13.....	90
Figura 4.33	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Camorim no período de jul/83 a jul/13.....	91
Figura 4.34	Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Camorim no período de chuvas entre dez/84 a mar/13 (A) e no período de seca entre jul/83 a jul/13 (B).....	92
Figura 4.35	Correlação entre concentração de Coliformes Termotolerantes e OD amostrados nas lagoas no período de 1983 a 1992 (A) e no período de 2007 a 2013 (B).....	93
Figura 4.36	Concentração de diferentes formas de nitrogênio nas Lagoas estudadas no período de mar/83 a jul/13.....	95
Figura 4.37	Diferentes formas de nitrogênio no período de mar/83 a set/92.....	98
Figura 4.38	Diferentes formas de nitrogênio no período de jul/01 a jul/13.....	99
Figura 4.39	Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de Jacarepaguá e Camorim nos períodos de seca e chuva.....	100
Figura 4.40	Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de Marapendi e Tijuca nos períodos de seca e chuva.....	101
Figura 4.41	Concentração de Fósforo Total no período de mar/83 a jul/13.....	103
Figura 4.42	Concentração de Fósforo Total (mg/L) nas Lagoas de Jacarepaguá e Camorim nos períodos de chuva e de seca..	104

Figura 4.43	Concentração de Fósforo Total (mg/L) nas Lagoas de Marapendi e Tijuca nos períodos de chuva e de seca.....	105
Figura 4.44	Sólidos Suspensos Totais nas lagoas no período de mar/83 a jul/13.....	108
Figura 4.45	Turbidez nas lagoas no período de mar/84 a jul/13.....	108
Figura 4.46	Chegada do Canal das Taxas na Lagoa de Marapendi.....	116
Figura 4.47	Lagoa de Camorim com a presença de Gigóias.....	117
Figura 4.48	Lagoa da Tijuca.....	117
Figura 4.49	Lagoa de Jacarepaguá.....	118

# 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

## 1.1. INTRODUÇÃO

Da totalidade da água existente no planeta, 97% é salgada, o que exigiria enormes investimentos para viabilizar o seu consumo e mesmo sua utilização como insumo para o processo produtivo. Os 3% restantes são água doce, mas, deste total, 2,5% se encontra sob a forma de geleiras. Desse modo, somente 0,5% da oferta hídrica do planeta encontra-se disponível para o consumo, mas parte dela está poluída (COPPETEC, 2013).

O Brasil apresenta uma grande dificuldade em gerir, monitorar e manter a qualidade de seus recursos hídricos dados a sua dimensão geográfica e a falta de recursos financeiros, aliados a uma falta de fiscalização pelos Órgãos competentes. Portanto, a avaliação da qualidade das águas torna-se um fator relevante para o país. Tendo em vista este contexto, foi criado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, que tem por objetivo, segundo o Ministério do Meio Ambiente, "estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social".

A Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. O monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água torna-se um instrumento eficaz para assegurar que os recursos hídricos estão dentro dos padrões aceitáveis estabelecidos pelo Governo Federal e que os impactos ambientais quando detectados poderão ser corrigidos, de forma a restabelecer o equilíbrio natural dos corpos hídricos.

A região da Barra da Tijuca sofreu uma enorme ocupação urbana desde a década de 70 e continua até hoje. Esse crescimento desenfreado não foi acompanhado, entretanto, de um planejamento em infraestrutura e desenvolvimento econômico sustentável. Há três décadas, tem-se vivenciado que os esgotos domésticos estão sendo lançados *in natura* diretamente nos corpos hídricos, além de desmatamentos, retiradas de manguezais e faixas marginais de proteção das lagoas, para dar lugar a grandes empreendimentos imobiliários, Shopping Centers, Centros Empresariais, entre outros. Como consequência disso, observa-se a poluição do sistema lagunar, diminuição do espelho d'água, assoreamento e eutrofização das lagoas.

Tendo em vista a necessidade de se avaliar a qualidade das águas e a importância desta para o desenvolvimento sustentável, este trabalho torna-se relevante para dar subsídios aos órgãos competentes de forma a ter uma gestão eficaz e eficiente para melhoria dos padrões de qualidade da água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e estabelecer ações para mitigar os danos causados ao meio ambiente.

## **1.2. OBJETIVOS**

O estudo sobre a degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos (1983 a 2013) tem por objetivo principal avaliar os danos causados ao meio ambiente nos últimos 30 anos como, por exemplo, a degradação da qualidade das águas da região em estudo.

Para tal, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- Analisar os dados de monitoramento da qualidade das águas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá no período em estudo;
- Avaliar o crescimento populacional da região de entorno do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos;
- Verificar se houve a degradação da qualidade da água deste Complexo Lagunar ao longo dos anos avaliados.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. CRESCIMENTO POPULACIONAL DA BARRA DA TIJUCA NOS ÚLTIMOS 30 ANOS**

A ocupação da Barra da Tijuca foi impulsionada pela abertura de estradas e vias de acesso aos transportes rodoviários, o que não ocorreu em outras regiões mais antigas da cidade. Muito antes da população começar a se mover nesta direção, já existiam as estradas dos Bandeirantes, do Joá, da Gávea, das Canoas, de Furnas, para citar apenas algumas, de forma a abrir espaço para regiões mais distantes e cujo acesso não era fácil (IPP, 2016).

No início do século XX, o movimento em direção à Barra da Tijuca era muito insipiente, apresentando algumas poucas casas para uso nos finais de semana no Recreio dos Bandeirantes e próximas a algumas vias, como a Avenida Niemeyer (1920) e a Estrada de Furnas. A ponte sobre a Lagoa da Tijuca foi construída em 1939, pela iniciativa privada, de forma a dar acesso aos lotes do Jardim Oceânico e Tijucamar e também a dois grandes loteamentos no Recreio dos Bandeirantes, de posse do inglês Joseph W. Finch (IPP, 2013a).

A partir de 1969, com o Plano Piloto de Urbanização e do Zoneamento da Baixada de Jacarepaguá, proposto pelo urbanista Lúcio Costa, teve início a expansão imobiliária da Barra da Tijuca, com a ocupação ocorrendo definitivamente. O Plano Piloto foi um marco na região, pois realizava um planejamento para a ocupação da baixada entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá e mudava os padrões de ocupação, trazendo uma visão modernista de urbanização, que até então não existia na cidade do Rio de Janeiro (IPP, 2013a).

Em 1980, a construção da Auto-Estrada Lagoa Barra intensificou a urbanização desta área da cidade, conforme visualizado nas Figuras 2.1. e 2.2. Hoje, o urbanismo modernista, mesmo diferente do Plano original, faz da Barra da Tijuca um espaço único no Rio de Janeiro, onde podem ser encontrados um grande número de condomínios fechados, shopping centers, hipermercados e uma

enorme atividade imobiliária. O acesso ao bairro ainda permanece como uma das principais questões da região, apesar dos altos investimentos em obras viárias, tais como a construção da Linha Amarela na década de 1990 (IPP, 2013a).

Figura 2.1 – Mapa do Município do Rio de Janeiro em 1980. Fonte: IPP, 2013a.



Figura 2.2 – Mapa do Município do Rio de Janeiro em 2009. Fonte: IPP, 2013a.



O Município do Rio de Janeiro possui toda a sua área dividida em bairros. Estes, por sua vez, são agrupados em Regiões Administrativas, RA's, que integram 5 (cinco) Áreas de Planejamento, AP's (IPP, 2013b). A Área de Planejamento –

AP4 – Barra da Tijuca<sup>1</sup> é constituída por 25 Km de praia oceânica, e se estende na metade ocidental do município do Rio de Janeiro.

A Baixada de Jacarepaguá, entre os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, constitui-se uma restinga onde estão localizadas as Lagoas de Marapendi, Jacarepaguá e Tijuca, conforme apresentado na Tabela 2.1 e Figura 2.3 (IPP, 2013b).

Tabela 2.1 - Divisão administrativa geral do município do Rio de Janeiro – 2013

Áreas de Planejamento, Regiões de Planejamento e Regiões Administrativas	Bairros	
	Nome	Código
Região de Planejamento 4.2 - Barra da Tijuca		
<b>XXIV Barra da Tijuca</b>	Joá	126
	Itanhangá	127
	Barra da Tijuca	128
	Camorim	129
	Vargem Pequena	130
	Vargem Grande	131
	Recreio dos Bandeirantes	132
	Grumari	133

Fonte: Instituto Pereira Passos, Secretaria Municipal de Urbanismo - SMU.

<sup>1</sup>A denominação; delimitação e codificação do Bairro foi estabelecida pelo Decreto N° 3158, de 23 de julho de 1981 com alterações no Decreto N° 5280, de 23 de agosto de 1985.

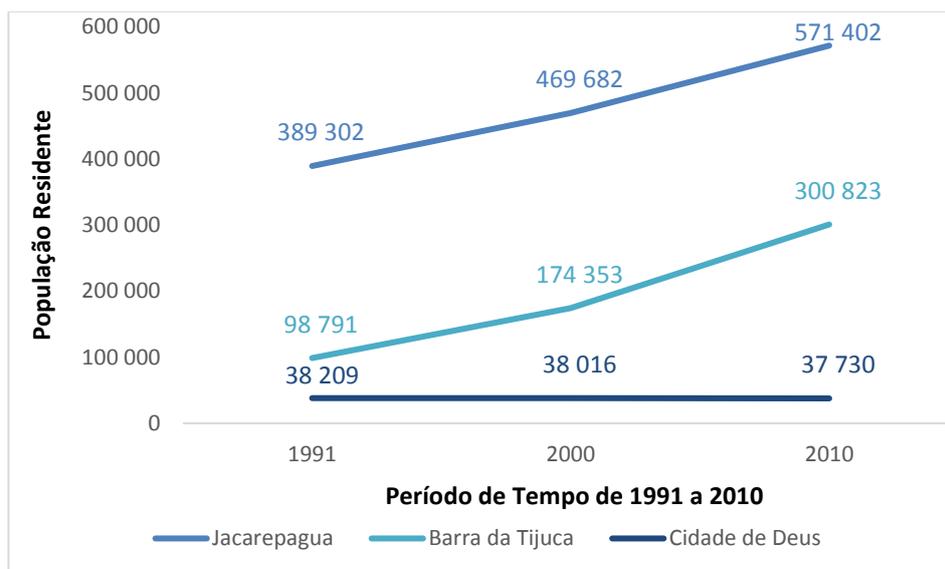
Figura 2.3 – RA XXIV – Barra da Tijuca



Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro/Armazém de Dados/Bairros Cariocas, 2013.

O rápido crescimento populacional da Barra da Tijuca ocorreu a partir de 1991, tanto nas áreas regulares como nas irregulares, como por exemplo as favelas. Entre 1991 e 2010, as áreas regulares cresceram 47% em Jacarepaguá e 305% na Barra da Tijuca, enquanto a Cidade de Deus manteve-se praticamente constante, conforme apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Gráfico de população residente em Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Cidade de Deus de 1991 a 2010.

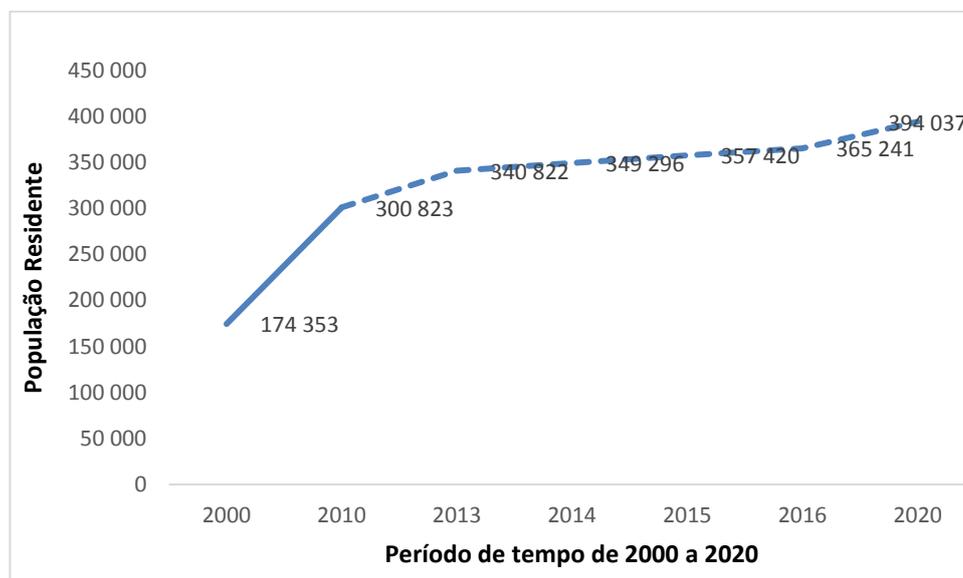


Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Demográfico 1991 e Base de informações por setor censitário do Censo Demográfico 2000 e 2010. Tabulação: IPP/DIG.

Nota: (1) Dados do Censo 1991 são apresentados segundo a estrutura administrativa vigente em 2000 e foram obtidos através da compatibilização entre os setores censitários.

A população residente estimada na Barra da Tijuca até 2020 é de 394.037 pessoas, ou seja, há uma projeção de crescimento de 31% na região, conforme mostra a Figura 2.5.

Figura 2.5 – População residente versus população estimada na Barra da Tijuca entre 2000 e 2020.



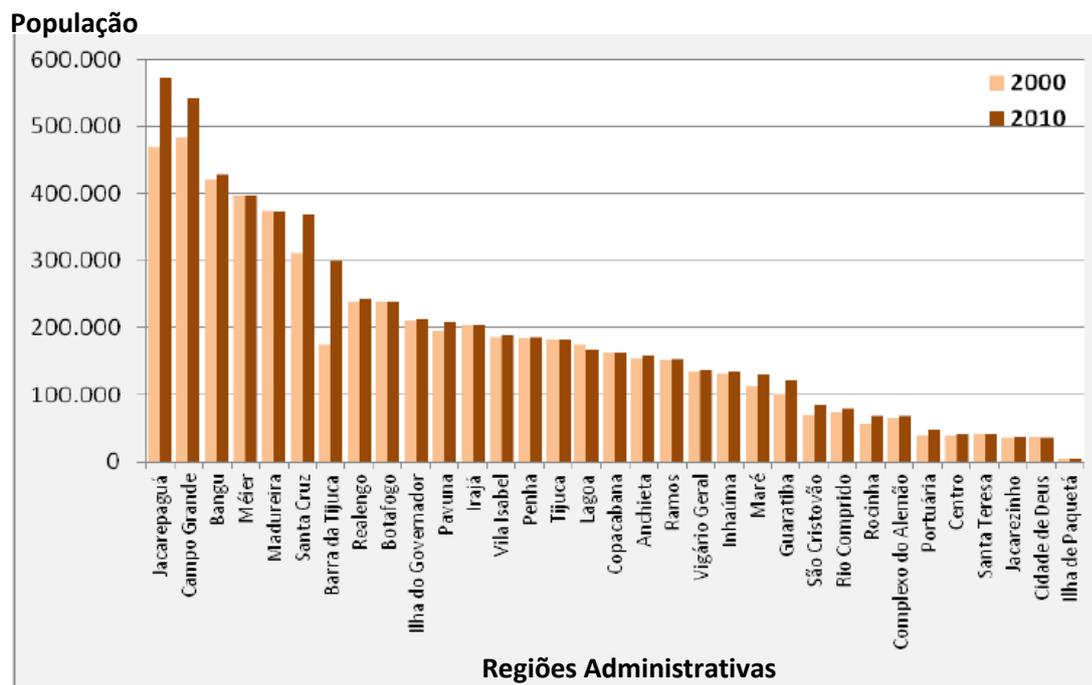
Fonte dos dados brutos: IBGE, Censo Demográfico de 2000 e 2010.

Elaboração: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos da Prefeitura do Rio de Janeiro (IPP).

A Figura 2.6 mostra a distribuição da população por Regiões Administrativas, que passou a ter, em 2010, duas RA's com mais de 500 mil moradores (Jacarepaguá e Campo Grande); Bangu ficou na faixa dos 400 mil habitantes. Logo em seguida, quatro RA's estão na faixa dos 300 mil residentes, entre elas a Barra da Tijuca (IPP, 2013b).

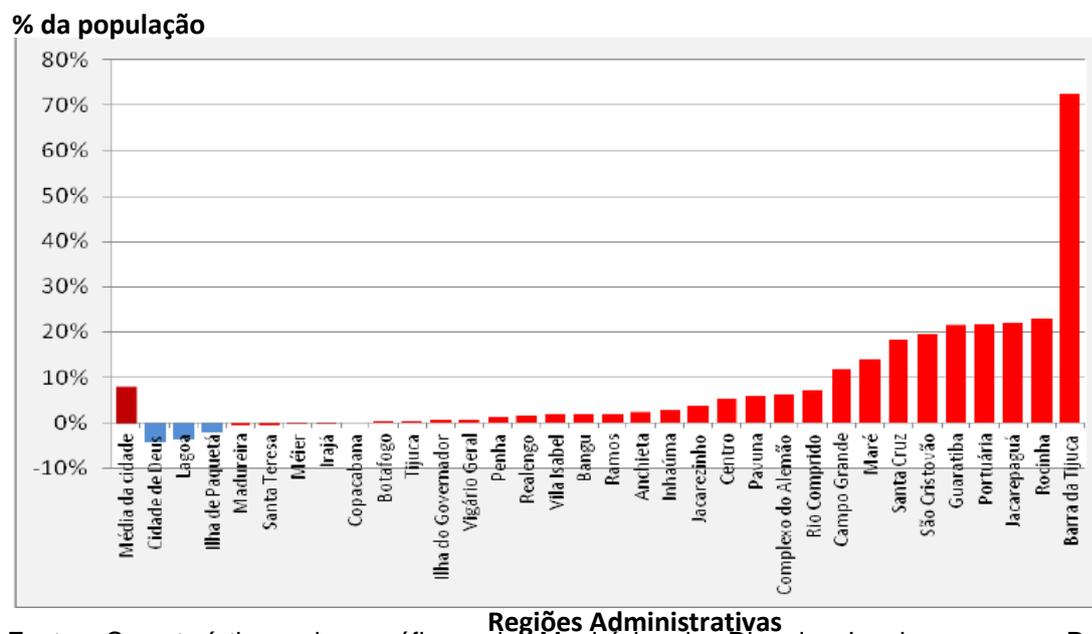
Entre 2000 e 2010 a maior taxa de crescimento demográfico se deu na Barra da Tijuca (73%). As RA's com crescimento superior a 10% estão situadas nas AP-4 (Barra da Tijuca e Jacarepaguá) e AP-5 (Guaratiba, Santa Cruz e Campo Grande), conforme apresentado na Figura 2.7 (IPP, 2013b). No mesmo período, a população jovem da cidade caiu em 7,3%. A Figura 2.8 mostra a variação percentual da população jovem, segundo as RA's, na qual nota-se que 7, de um total de 33 conseguiram crescer no período. Essas 7 RA's apresentaram um crescimento total superior a 10%, sendo a Barra da Tijuca uma exceção, com uma expansão de 47% no contingente de jovens (IPP, 2013b).

Figura 2.6 – Distribuição da população por Regiões Administrativas – 2000 e 2010 – MRJ.



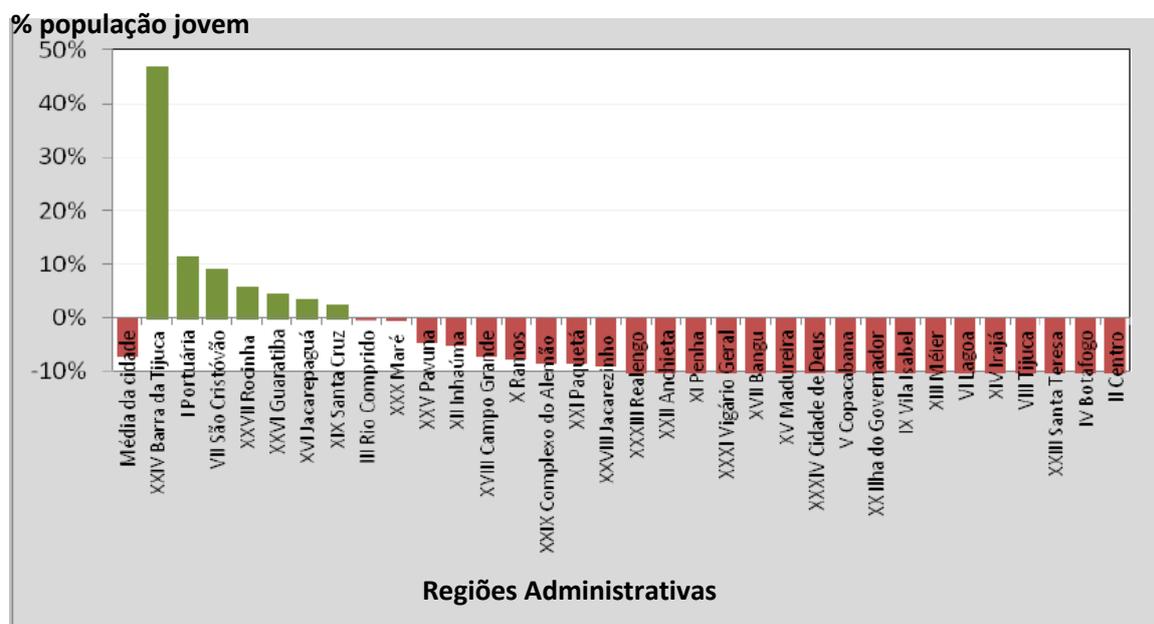
Fonte: Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010 (IPP, 2013b).

Figura 2.7 – Variação percentual da população, segundo as Regiões Administrativas - 2010/2000 – MRJ.



Fonte: Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010 (IPP, 2013b).

Figura 2.8 – Variação percentual da população jovem, segundo as Regiões Administrativas – 2010/2000 – MRJ.



Fonte: Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010 (IPP, 2013b).

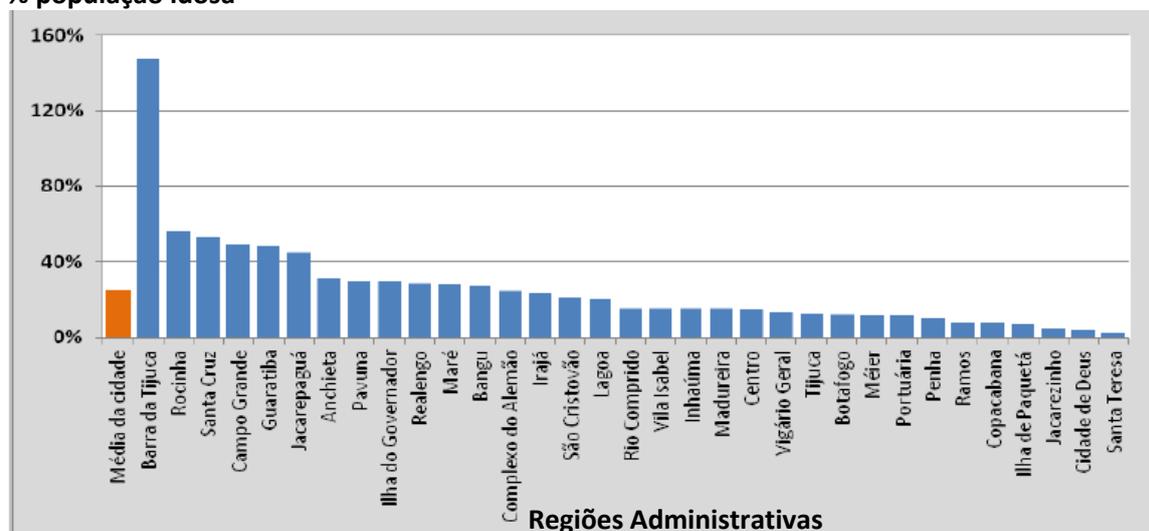
Analisando a variação percentual da população idosa entre 2000 e 2010 pode-se verificar que os índices de expansão foram acima de 40% justamente nas regiões que apresentam menor infraestrutura e uma grande concentração da população mais jovem, como a AP-4 (Barra da Tijuca e Jacarepaguá), a AP-5 (Santa Cruz, Campo Grande e Guaratiba) e RA da Rocinha. A Barra da Tijuca apresenta um pico no gráfico, superando os 150%, conforme apresentado na Figura 2.9 (IPP, 2013b).

Entre 2000 e 2010, a população do Rio de Janeiro cresceu em torno de 8%, passando de 5.857.994 para 6.320.446 habitantes. Conforme a Tabela 2.2, o crescimento das favelas foi de 19%, enquanto as “não –favelas” cresceram somente 5%. Os dados do censo 1991 não estão disponíveis (IPP, 2013b).

A região da Barra da Tijuca/Jacarepaguá (AP 4) apresentou um crescimento da população das favelas de 53% em dez anos, contra um aumento da população não-favelada também histórico na cidade, de 28%. Este aumento se deve ao fato de ser uma área em franca expansão demográfica e que dispõe da criação de empregos para essas pessoas (IPP, 2013b).

Figura 2.9 - Variação percentual da população idosa, segundo as Regiões Administrativas – 2010/2000 – MRJ.

% população idosa



Fonte: Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010 (IPP, 2013 b)

Tabela 2.2 – Estimativa da variação da população moradora em favela e não-favela, por Áreas de Planejamento – Município do Rio de Janeiro – 2000 e 2010.

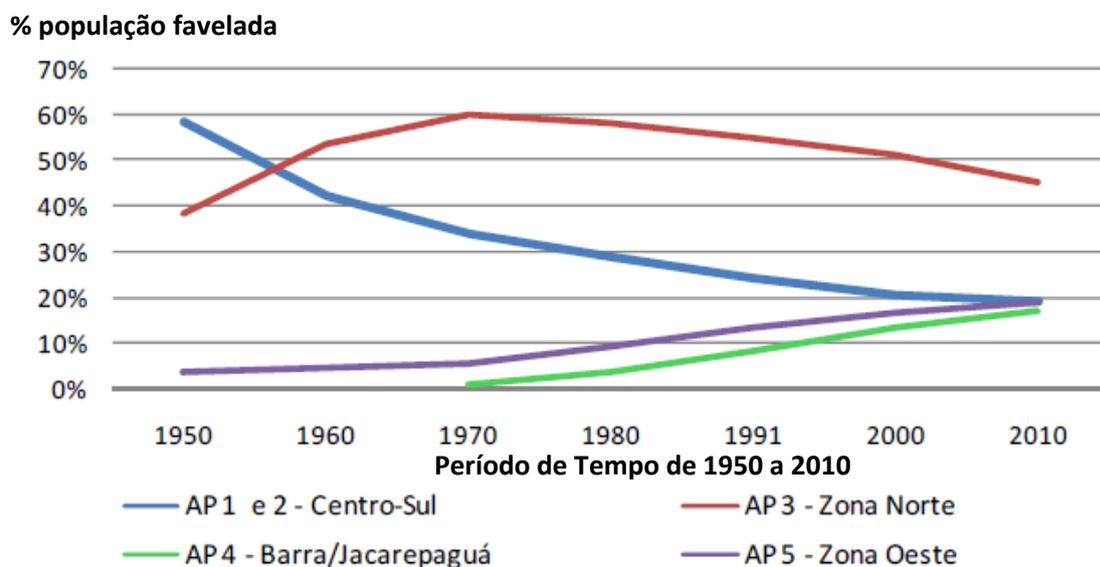
Áreas de Planejamento	Variação % da população - 2000 - 2010	
	Favela	Não Favela
Total	19%	5%
AP1 - Central	28%	4%
AP2 - Zona Sul	15%	-1%
AP3 - Zona Norte	11%	-1%
AP4 - Barra/Jacarepaguá	53%	28%
AP5 - Zona Oeste	15%	8%

Fonte: Cidade – IBGE. Censo 2010; Favela: Estimativa IPP sobre IBGE Censo 2010. (IPP, 2013b)

Nos últimos 50 anos, observa-se uma migração da localização das favelas, deixando as áreas mais centrais e passando a ocupar as periféricas da cidade. Na Figura 2.10, ficam evidenciadas as curvas ascendentes das AP 5 e AP 4, que são áreas fora do centro e que dispõem de terrenos a um custo aparentemente mais baixo e, no caso da Barra da Tijuca, com mais disponibilidade de emprego

para uma mão de obra de baixa renda (construção civil, comércio e serviços gerais) (IPP, 2013b).

Figura 2.10 – Proporção do total da população favelada em cada ano, segundo as AP's – Rio de Janeiro.



Fonte: IBGE, Censos Demográficos.

Nota: Para atenuar imprecisões, os dados da AP 1, de pequena expressão, foram agregados aos da AP 2.

Na Figura 2.10, verifica-se que em 2010 as curvas das regiões Centro-Sul, Zona Oeste e Barra/Jacarepaguá convergem em torno de 20%, enquanto a curva das favelas da Zona Norte (a mais populosa da cidade), mesmo descendente, corresponde a 45% do total da população em favelas no Rio de Janeiro (IPP, 2013b).

A Baixada de Jacarepaguá (AP4), em 2010, aproxima-se dos 500.000 mil habitantes, sendo que 26% destes encontram-se em favelas, quase o mesmo percentual encontrado na zona suburbana, mais antiga e consolidada. Na AP4, há uma grande oscilação na população favelada, 31% encontram-se na RA de Jacarepaguá, 18% na Barra da Tijuca e 13% na Cidade de Deus (IPP, 2013b).

Em 2000, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da Barra da Tijuca é bastante alto e igual a 0,918, com Índice de Renda (IDH-R) igual a 1,00 e Índice

de Educação (IDH-E) de 0,961, ocupando a quinta posição em comparação aos outros bairros do Município do Rio de Janeiro, conforme Tabela 2.3 (IPP, 2004).

Tabela 2.3 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH), por ordem de IDH, da Barra da Tijuca – 1991 – 2000.

Ordem segundo o IDH	Região Administrativa	Índice de longevidade (IDH-L)		Índice de educação (IDH-E)		Índice de renda (IDH-R)		Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH)	
		1991	2000	1991	2000	1991	2000	1991	2000
1	Copacabana	0,780	0,879	0,953	0,990	0,964	1,000	0,899	0,956
2	Lagoa	0,784	0,864	0,947	0,989	1,000	1,000	0,910	0,951
3	Botafogo	0,788	0,859	0,970	0,990	0,948	0,993	0,902	0,947
4	Tijuca	0,751	0,829	0,962	0,987	0,894	0,954	0,869	0,923
5	Barra da Tijuca	0,741	0,795	0,891	0,961	0,978	1,000	0,870	0,918

Fonte: Desenvolvimento Humano e Condições de Vida na Cidade do Rio de Janeiro (jan. 2004) (Estudo Nº 1347) – IPP – Armazém de Dados.

Nota: O Índice IDH varia de zero até 1, sendo considerado: baixo: entre 0 e 0,499; médio: 0,500 a 0,799 e elevado: quando  $\geq 0,800$ .

## 2.2. SANEAMENTO AMBIENTAL NA BARRA DA TIJUCA NOS ÚLTIMOS 30 ANOS

O Rio de Janeiro possui um sistema de esgotamento sanitário em quase todos os domicílios considerado “adequado”. Segundo a definição do IBGE no CENSO 2010, “o esgotamento é considerado adequado quando ligado a uma rede geral de esgoto (oficial ou não), a uma rede pluvial ou a uma fossa séptica. E é inadequado quando o esgoto do banheiro ou do sanitário é lançado em fossa rudimentar, vala, rio, lago ou mar.” No Rio de Janeiro, 90,9% dos dejetos são lançados por rede geral de esgotos ou pluvial e 4% por fossa séptica, totalizando 94,9%. Na Barra da Tijuca, entretanto, apenas 88,9% dos domicílios apresentam esgotamento sanitário considerado adequado, conforme Tabela 2.4 (IPP, 2016).

Considerando-se o esgotamento inadequado (fossa rudimentar, vala, rio, lago ou mar) na Barra da Tijuca, entre 2000 e 2010, houve um aumento de 73%, conforme Tabela 2.4, o que contribuiu para a degradação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

O acesso ao saneamento adequado no país é muito baixo para o nível de renda. No caso do Rio de Janeiro, “ter fossa séptica em uma área urbana não é algo que se esperaria. Internacionalmente, a fossa não seria considerada um esgotamento adequado em uma cidade desse porte, onde todos os domicílios devem estar conectados à rede geral de esgoto.”, segundo o professor Rodrigo Soares, do Departamento de Economia da PUC-Rio (IPP, 2016).

Tabela 2.4 - Domicílios particulares permanentes, por tipo de infraestrutura (esgoto), segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca - 1991/2000/2010.

Ano	Domicílios particulares permanentes								
	Total	Tinham banheiro ou sanitário							Não tinham banheiro nem sanitário
		Tipo de esgotamento sanitário							
		Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Fossa rudimentar	Vala	Rio, lago ou mar	Outro escoadouro		
1991	29 960	13 270	11 542	949	-	3 843	356		
2000	54 280	29 837	16 793	1 375	2 767	2 655	853	214	
2010	106 113	80 154	13 929	2 705	4 336	4 087	843	59	

Fonte: Modificado - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Arquivos de Microdados do Censo Demográfico 1991; Censo Demográfico 2000: Resultados do Universo e Censo 2010 – IPP, Armazém dos Dados – Bairros Cariocas, 2016.

Utilizou-se a seguinte agregação para Esgoto: Fossa Séptica = Fossa com Efluente, Fossa sem Efluente e Fossa Rudimentar; Outros = Outros, Não Sabe e Branco.

Andrea Pulici, pesquisadora do Observatório Imobiliário e de Políticas do Solo Ippur/UFRJ, argumenta que a questão, atualmente, está mais relacionada à qualidade do esgotamento sanitário e do fornecimento de água que se tem. “O maior problema é que, muitas vezes, esse esgoto não é tratado, é jogado in natura, causando o assoreamento nos afluentes. Esses rios recebem o esgoto e é justamente deles que se tira água para o abastecimento.” (IPPd, 2016).

Segundo o CENSO 2010 do IBGE, cerca de 93% dos domicílios particulares permanentes na RA Barra da Tijuca possuem água ligada à rede geral de abastecimento, porém verifica-se que ainda existem 7.142 domicílios servidos por água de poço ou nascente, transportadas por carro-pipa, armazenadas em cisternas ou caixas de cimento, galões, tanques de plástico, etc., conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Domicílios particulares permanentes, por tipo de infraestrutura (abastecimento de água), segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca - 1991/2000/2010.

ANO	Domicílio Particular Permanente (1)			
	Rede Geral Canalizada (2)	Rede Geral sem Canalização	Poço (3)	Outros (4)
<b>1991</b>	24 771	372	2 094	2 723
<b>2000</b>	49 199	464	4 781	514
<b>2010</b>	98 971	-	4 092	3 050

Fonte: Modificado IBGE - Censo Demográfico 2010 – IPP/ Armazém de Dados.

(1) - Domicílio construído exclusivamente para habitação e, na data de referência, tinha a finalidade de servir de moradia a uma ou mais pessoas.

(2) - Domicílio, ou o terreno ou a propriedade em que estava localizado, ligado à rede geral de abastecimento de água.

(3) - Domicílio servido por água de poço ou nascente localizado no terreno ou na propriedade em que estava construído.

(4) - Domicílio servido por água: de poço ou nascente localizado fora do terreno ou da propriedade em que estava construído; de poço ou nascente localizado na aldeia ou fora da aldeia, em terras indígenas; transportada por carro-pipa; de chuva, armazenada em cisterna, caixa de cimento, galões, tanques de material plástico, etc.; de rio, açude, lago, igarapé; ou outra forma diferente das descritas anteriormente.

### **2.3. LEGISLAÇÃO RELATIVA À POLUIÇÃO HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO**

O Brasil tem demonstrado um esforço, desde o início do século passado, para estabelecer uma legislação e políticas públicas que visam valorizar a importância de seus recursos hídricos.

O Decreto 24.643, de 10 de Julho de 1934, que aprovou o Código de Águas Brasileiro, teve como base a crise energética do final do século XIX e início do século XX, quando o modelo econômico deixou de ser predominantemente agrário e tornou-se industrial, aumentando a demanda por energia elétrica no país (CETESB, 2016).

O Código das Águas de 1934 iniciou um processo de mudanças econômicas e sociais quanto ao uso e à propriedade da água, dotando o país de uma legislação menos obsoleta e em desacordo com a necessidade e o interesse da coletividade nacional e que permitiu ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas, proporcionando o estabelecimento de uma Política Nacional de Gestão de Águas.

O Código de Águas Brasileiro foi criado para definir os limites jurídicos das águas no Brasil e estabelece as normas de classificação, utilização e

competências. Segundo o Código aprovado em 1934, as águas brasileiras são definidas como águas públicas, que podem ser de uso comum ou dominicais (CETESB, 2016).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi criado através da Lei nº 9.433/97 e serve para orientar a gestão das águas no Brasil. O objetivo geral do Plano, segundo o Ministério do Meio Ambiente, é "estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social". Os objetivos específicos são assegurar: "1) a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, em qualidade e quantidade; 2) a redução dos conflitos reais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos críticos; e 3) a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante".

Em julho de 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), com o objetivo de implementar o Sistema Nacional de Recursos Hídricos no Brasil. A ANA apoia tecnicamente os Comitês de Bacias Hidrográficas para a implantação desta política.

O Governo do Estado do Rio de Janeiro, através do Decreto Estadual nº: 38.260, de 16 de setembro de 2005, criou o Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. Foram criadas seis regiões hidrográficas distintas, organizadas em subcomitês, sob o comando do Comitê da Baía de Guanabara (Subcomitê Jacarepaguá, 2016).

No Brasil, A Resolução CONAMA nº: 357/05 dividiu as águas do território nacional em águas doces, salobras e salinas, e dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Resolução CONAMA nº: 430/2011, complementa e altera a Resolução CONAMA nº: 357/05 e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água receptores.

Ainda no âmbito da Legislação Federal, a Portaria do Ministério da Saúde nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Lei nº: 5.101, de 04 de outubro de 2007, criou o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e estabelece outras providências para uma maior eficiência nas políticas estaduais de meio ambiente, dos recursos hídricos e florestais. O INEA foi instalado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, em 12 de Janeiro de 2009, através do Decreto nº: 41.628, a partir da fusão de três órgãos: FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente), SERLA (Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) e IEF (Instituto Estadual de Florestas) (INEA,2016).

No âmbito da legislação Estadual, a DZ-215-R-4 – Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária, aprovada pela Deliberação CECA nº: 4.886, de 25 de setembro de 2007, estabelece as exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP, assim como a Norma Técnica NT-202-R-10 – Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº: 1007, de 4 de dezembro de 1986.

A DZ-205.R-6 - Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial, aprovada pela Deliberação CECA nº: 4.887, de 25 de setembro de 2007, estabelece, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP, exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de:

- Matéria orgânica biodegradável de origem industrial;
- Matéria orgânica não biodegradável de origem industrial; e
- Compostos orgânicos de origem industrial que interfiram nos mecanismos ecológicos dos corpos d'água e na operação de sistemas biológicos de tratamento implantados pelas indústrias e pelas operadoras de serviços de esgoto.

Conforme Miller (2012), nos Estados Unidos, o controle da poluição das águas superficiais do país é feito através da Lei Federal de Controle da Poluição da Água (*Federal Water Pollution Control Act*) de 1972 (renomeada de Lei da Água Limpa) (*CleanWater Act*) e alterada em 1977, e a lei de Qualidade da Água (*Water Quality Act*) de 1987. A Lei de Água Limpa define os padrões dos principais poluentes da água e exige que os poluidores obtenham autorizações para o lançamento de poluentes nos sistemas aquáticos.

No Reino Unido, as descargas de esgotos diretamente na água e as descargas industriais indiretas para o esgoto são controladas via sistemas de permissão. Estas permissões e as normas aplicáveis são fortemente influenciadas pelas iniciativas internacionais e de acordos da Comunidade Européia (The Royal Society of Chemistry, 2001). As legislações que estabelecem esses sistemas são:

A Proteção Ambiental (*The Environmental Protection Act 1990*) – para descargas dos processos industriais mais poluentes;

Os Recursos Hídricos (*The Water Resources Act 1991*) – para todas as descargas diretas para águas controladas, exceto aquelas cobertas pela IPC (*Integrated Pollution Control*);

A Água Industrial (*The Water Industry Act 1991*) – para descargas para o esgoto.

## **2.4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Uma das causas da degradação da qualidade das águas dos corpos hídricos tem sido o crescimento populacional e o adensamento dos grandes centros urbanos. Aliado a isto, a demanda por água de melhor qualidade cresce proporcionalmente à população, fazendo com que haja um movimento em busca de água em direção a outras regiões, até mesmo em outras bacias.

Segundo Miller (2012), nos países em desenvolvimento, o problema da poluição das águas superficiais se deve ao lançamento de esgotos não tratados e de resíduos industriais.

Conforme a Comissão Mundial sobre a Água no Século XXI (2003), metade dos rios do mundo estão poluídos e a maioria encontra-se em países em desenvolvimento. Isso se deve, muitas vezes, por falta de condições financeiras para a construção de Estações de Tratamento de Esgotos e de fiscalização adequada.

Tendo em vista que é necessário encontrar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e o crescimento urbano sustentável, bem como a manutenção dos recursos hídricos disponíveis em quantidade e qualidade aceitáveis, torna-se imprescindível estabelecer uma gestão da qualidade da água de forma a se ter uma visão clara sobre os mananciais e os mecanismos para tomada de decisão quanto a ações para garantir os padrões de aceitabilidade desses recursos.

Segundo Valle (1995), o monitoramento ambiental é definido como sendo:

Um sistema contínuo de observações, medições e avaliações com objetivos de: documentar os impactos resultantes de uma ação proposta; alertar para impactos adversos não previstos, ou mudanças nas tendências previamente observadas; oferecer informações imediatas, quando um indicador de impactos se aproximar de valores críticos; oferecer informações que permitam avaliar medidas corretivas para modificar ou ajustar as técnicas utilizadas. O período de monitoramento deve cobrir desde a fase de concepção do empreendimento, passando pelas fases de construção, montagem e operação e deve terminar após a vida útil do empreendimento (p.38).

O monitoramento de qualidade das águas é um importante instrumento de gestão ambiental. Ele permite que seja feito um acompanhamento contínuo da qualidade das águas, através de dados coletados e analisados e dando subsídios para as autoridades responsáveis tomar decisões importantes.

No Estado do Rio de Janeiro, o INEA realiza o monitoramento da qualidade das praias e águas interiores desde os anos de 1970. Atualmente, 360 corpos hídricos são monitorados através de 607 estações de amostragem, como visualizado na Figura 2.11 (INEA, 2016).

Figura 2.11 – Monitoramento da qualidade da água.



Fonte: Foto Viviane dos Santos Brandão / Banco de Imagens da ANA

O monitoramento da qualidade das águas segue algumas etapas, como o planejamento para definir objetivos e estabelecer os principais indicadores. Em seguida, define-se os locais de amostragem, a metodologia de coleta e análise dos dados, baseados em normas e padrões vigentes. Os dados coletados devem ser interpretados de forma a gerar relatórios e boletins que sejam de fácil acesso ao público em geral (INEA, 2016).

A análise microbiológica da água, principalmente daquela destinada ao consumo humano, é de fundamental importância e tem por finalidade verificar a presença ou ausência de microrganismos que podem ser prejudiciais à saúde das pessoas. Por esse motivo, tal análise pode ser solicitada por particulares, empresas de tratamento de água, indústrias, condomínios, e clubes.

A água analisada deverá estar em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental e da saúde. No caso da água para consumo humano, deverá estar em conformidade com o padrão de consumo de água estabelecido pela Portaria nº: 2914, do Ministério da Saúde. Em relação às águas utilizadas para outros fins, tais como água mineral, rios, praias, lagos e piscinas entre outras, existe legislação específica (Resoluções do Conama, da Anvisa, Lei estadual e Resolução da Secretaria de Saúde Municipal).

A ANA (2016) sugere algumas configurações para o monitoramento, em termos de localização dos pontos de monitoramento, de periodicidade e de tipo de parâmetros monitorados, sempre em função dos objetivos visados:

- Monitoramento – para o acompanhamento da evolução da qualidade das águas, identificação de tendências e apoio à elaboração de diagnósticos em pontos estratégicos. Pode ter uma frequência mínima trimestral até uma frequência mensal.
- Inventários – visa estabelecer um diagnóstico da qualidade das águas de um trecho específico de curso d'água. No inventário a frequência de amostragem é alta, variando de diária até mensal, por um período de tempo determinado.
- Vigilância – é realizada uma avaliação contínua da qualidade da água e tem como finalidade detectar alterações quase em tempo real e tomar providências.
- De Conformidade – são observações pontuais feitas para o atendimento a algum requisito legal, como atendimento ao licenciamento ambiental ou outorga. A periodicidade é definida pelo órgãos ambientais.

## **2.5. QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOS**

Conforme observado por Miller (2012) e Davis e Cornwell (1991), o gerenciamento da qualidade das águas nos lagos é mais crítica do que em rios, devido aos lagos possuírem pouco fluxo, camadas estratificadas na direção vertical e baixa possibilidade de renovação da água, o que torna a diluição dos poluentes um fator limitante.

Desta forma, os lagos podem ser contaminados mais facilmente por escoamento ou descargas de fontes poluidoras contendo petróleo, fertilizantes, nutrientes vegetais e metais. Substâncias químicas tóxicas também podem ser introduzidas nos lagos por meio da atmosfera. Esses contaminantes afetam o ecossistema aquático, levando à mortalidade de peixes e outras formas de vida existentes.

Conforme nos explica, Davis e Cornwell (1991), o fósforo é o poluente que mais afeta a qualidade das águas nos lagos e prevalece tanto em relação aos demais poluentes que deve ser monitorado para limitar a sua entrada nestes corpos hídricos.

### **Temperatura em lagos: características e efeitos**

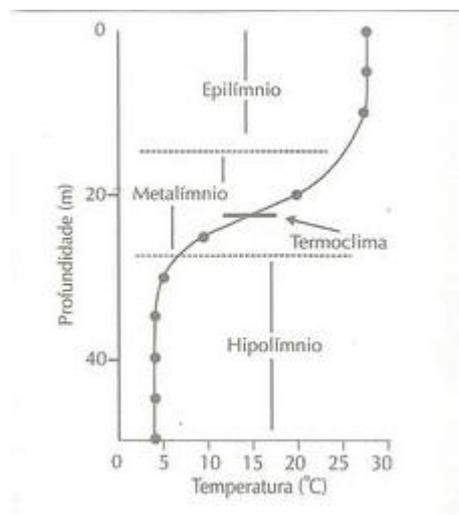
Segundo BRAGA et al. (2005), a radiação solar quando em contato com a água é absorvida quase totalmente pelas camadas superficiais, não atingindo o fundo dos lagos e reservatórios, o que causa uma diferença significativa de temperatura entre a superfície e o fundo.

Conforme BRAGA et al. (2005) e VON SPERLING (1996), a curva de temperatura em lagos apresenta a forma mostrada na Figura 2.12, dividindo-se em três camadas distintas de diferentes temperaturas. A camada superior, o *epilímnio*, é mais quente, mais densa, apresenta mais circulação e possui temperatura uniforme. O *hipolímnio* é a camada inferior, mais fria, mais densa e mais estagnada. O *metalímnio*, é a camada de transição entre as outras duas. Denomina-se *termoclima* o ponto de máximo gradiente no perfil vertical de temperatura

A diferença de densidade pode causar uma separação das três camadas, estratificando os corpos d'água sem que haja uma mistura entre elas. A qualidade da água é influenciada pela estratificação, pois dependendo do grau de trofia, pode não haver oxigênio dissolvido no hipolímnio. Conseqüentemente, nesta camada, poderão ocorrer diversas reações químicas devido a mudança de uma condição oxidante para redutora (VON SPERLING, 2005).

No hipolímnio, sem a presença do oxigênio, encontra-se um potencial de redução baixo, proporcionando o aparecimento de ferro e manganês provenientes do sedimento de fundo e o aumento de outras substâncias químicas como fosfato, amônia, silicatos, carbonatos, íons de cálcio e gás sulfídrico. No epilímnio, o processo de fotossíntese retira o CO<sub>2</sub> da água proveniente da solução de bicarbonato de cálcio, precipitando o carbonato de cálcio, o que contribui para uma menor alcalinidade. No hipolímnio, ocorre o processo inverso da fotossíntese, a respiração, tornando o ambiente rico em CO<sub>2</sub> e com a presença de grandes quantidades de bicarbonato de cálcio e ácido carbônico em solução (BRAGA et al., 2005).

Figura 2.12 – Perfil vertical de temperatura de um lago estratificado.



Fonte: BRAGA et al. (2005).

A variação de temperatura ao longo do ano influencia diretamente a qualidade da água nos lagos. No outono, quando a temperatura cai, a camada superficial resfria e há uma uniformidade em todas as camadas ajudada pela força dos ventos. A camada superior mais fria tende a ir para o fundo, impulsionando a camada inferior para cima e causando uma movimentação intensa no lago. Este fenômeno é conhecido como inversão térmica. Os compostos reduzidos presentes no hipolímnio se espalham por todo o lago, deteriorando a qualidade da água. Este processo, somado à diminuição do oxigênio dissolvido, pode ocasionar a mortandade de peixes (VON SPERLING, 2005).

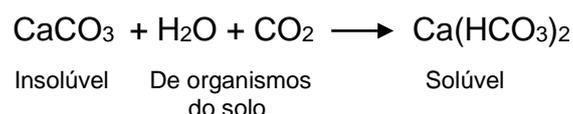
Segundo CARNEIRO (2002), o aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases, em especial o oxigênio, e afeta também as atividades metabólicas de todos os organismos aquáticos devido a alterações em enzimas e hormônios nas reações bioquímicas.

### **Alcalinidade, acidez e pH**

Segundo TEBUTT (1998), o pH mede o nível de acidez ou alcalinidade de uma amostra pela presença de íons hidrogênio, sendo um importante fator de regulação do comportamento de muitas reações químicas, assim como de atividades biológicas que estão restritas a uma faixa de pH entre 5 e 8. Águas muito ácidas ou alcalinas são prejudiciais, pois podem dificultar o tratamento da água captada e apresentar problemas de corrosão em tubulações e equipamentos da Estação de Tratamento de Água.

Conforme VON SPERLING (1996), “a utilização mais frequente deste parâmetro está na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas, águas residuárias brutas e no controle de operação de estações de tratamento de água (coagulação e grau de incrustabilidade / corrosividade)”.

A alcalinidade em lagos está associada à presença de algas que retiram o CO<sub>2</sub> da água para realizar o processo de fotossíntese, o que aumenta o valor de pH e oxigênio dissolvido. Uma maior ou menor alcalinidade está relacionada à presença de carbonatos ou bicarbonatos (PEREIRA E MERCANTE, 2005). O bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) é responsável pela maior parte da alcalinidade na água proveniente de lençóis subterrâneos, calcário ou greda (barro ou calcário muito macio e friável, de um amarelo esverdeado, que geralmente contém sílica e argila), segundo a reação a seguir (TEBBUTT, 1998):



A legislação brasileira não estabelece valores padrões para alcalinidade e acidez. Na faixa de pH neutro, a alcalinidade está relacionada a presença de bicarbonatos. Desta forma: Alcalinidade (mg/L) = (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) / 1,2 (concentração em

mg/L). A acidez está associada ao teor de CO<sub>2</sub> livre, portanto em pH > 8,2 existe a ausência de CO<sub>2</sub> livre, em pH entre 4,5 e 8,2, a acidez é carbônica e abaixo de 4,5, a acidez é proveniente de ácidos minerais fortes (comumente devido aos despejos industriais) (VON SPERLING, 1996).

### **Matéria orgânica e oxigênio dissolvido**

O parâmetro mais importante no controle de qualidade da água é o oxigênio dissolvido (LIBÂNIO, 2005). O oxigênio presente na atmosfera se dissolve nas águas através da diferença de pressão atmosférica. Outra fonte fundamental de oxigênio é proveniente do processo de fotossíntese das algas. A turbidez e cores escuras das águas dificultam a penetração dos raios solares e apenas espécies mais resistentes conseguem sobreviver em condições extremas de poluição. O oxigênio decorrente da fotossíntese será expressivo após a degradação da matéria orgânica por bactérias e protozoários, que ajudam no clareamento das águas e permitem a penetração da radiação do sol (CETESB, 2009).

Sua presença é essencial para os organismos aquáticos e o despejo de esgotos em um lago é largamente determinado pelo balanço de oxigênio do sistema. O oxigênio é pouco solúvel em água, apresentando concentração de 9,1 mg/L para água sem cloro, a 20°C e pressão barométrica padrão de 1 atm (760 mmHg ou 1,1013 bar). Sua solubilidade aumenta ou diminui inversamente com a temperatura da água (TEBBUT, 1998).

O oxigênio dissolvido (OD) é fundamental para os seres aeróbios (que utilizam o oxigênio para sobreviver), e sua concentração pode ser reduzida drasticamente na degradação da matéria orgânica pelas bactérias. Dependendo da quantidade presente no meio, muitas espécies de peixes podem morrer, como por exemplo, o *Game fish* que requer no mínimo 5 mg/L de OD, enquanto o *Coarse fish* não existe abaixo de 2 mg/L de OD. Na total ausência de oxigênio, condição anaeróbia, tem-se a presença de maus odores (VON SPERLING, 1996).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos oxidem a matéria orgânica e a transformem em uma forma inorgânica estável (CETESB, 2009). A DBO é expressa como sendo a quantidade de oxigênio consumida em um determinado período de tempo (5 dias) a uma temperatura específica (20°C) (SANTOS, 2014). Sendo assim, este parâmetro expressa o grau de poluição de um corpo d'água, pois retrata, de forma indireta, a quantidade de matéria orgânica nos esgotos e na água, indicando o consumo de oxigênio dissolvido no meio (VON SPERLING, 1996).

A DBO dos esgotos domésticos, principal fonte de contaminação de lagos, está em torno de 300 mg/L e a DQO em torno de 600 mg/L (VON SPERLING, 1996).

A Resolução CONAMA n°: 357 de 17/03/2005 estabelece, para águas salobras Classe II (classificação das lagoas estudadas), como padrão de carbono orgânico total: 5 mg/L, e OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L.

### **Coliformes Termotolerantes**

São bactérias do grupo coliforme, que contém espécies dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* e, a mais conhecida, *Escherichia coli*. A bactéria *E. coli* é a única espécie que está presente, em quantidades elevadas, nas fezes humanas e de animais sendo, portanto, um bom indicador de contaminação fecal na água. As demais espécies podem estar presentes em águas com alta presença de matéria orgânica, como efluentes industriais, ou em solo sob processo de decomposição (CETESB, 2009).

Os coliformes termotolerantes podem ser encontrados em esgotos, efluentes tratados, água naturais contaminadas recentemente por seres humanos, animais e pássaros e onde houve atividade agropecuária e, portanto, podem ser utilizados para avaliar a qualidade da água (VON SPERLING, 1996).

A Resolução CONAMA n°: 357, de 17/03/2005, estabelece como padrão para águas salobras Classe II que coliformes termotolerantes não devem exceder um limite de 2.500 por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras

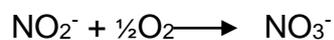
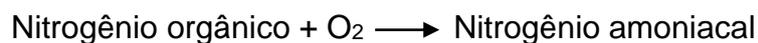
coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes, de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

## Nutrientes

Segundo Tebbutt (1998), o nitrogênio é um importante elemento nos sistemas naturais, já que as reações biológicas podem ocorrer somente na presença de nitrogênio suficiente. O nitrogênio existe em quatro formas principais no ciclo da água:

- Nitrogênio orgânico – nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e uréia;
- Nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$  ou  $\text{NH}_4^+$ ) – nitrogênio como amônia livre ou sais de amônia -  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ;
- Nitrogênio Kjeldhal – é a soma do nitrogênio orgânico e amoniacal;
- Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) – um estágio intermediário de oxidação, normalmente está presente em grandes quantidades;
- Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) – produto final da oxidação do nitrogênio.

As etapas de oxidação do nitrogênio, chamada de nitrificação, ocorrem da seguinte forma:



A redução do nitrogênio, chamada de desnitrificação, pode reduzir o nitrato a gás nitrogênio, removendo em definitivo o nitrogênio da água:



A concentração relativa das diferentes formas de nitrogênio fornece uma indicação útil sobre o estágio da poluição por lançamento de esgotos em cursos d'água. Uma água contendo alto nível de nitrogênio orgânico e amoniacal,

significa que a poluição é recente. De outro modo, uma amostra com nitrogênio basicamente na forma de nitrato, indica que a nitrificação já teria ocorrido e, portanto, a poluição pode não ser recente (VON SPERLING, 2005).

Em lagos, o nitrogênio em geral encontra-se na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e é proveniente de córregos afluentes ou águas subterrâneas. Quando removido pelo crescimento de algas, o nitrogênio é reduzido a amina ( $\text{NH}_2^-$ ) e incorporado aos compostos orgânicos. Com a decomposição das algas mortas, o nitrogênio orgânico é liberado para a água como amônia ( $\text{NH}_3$ ). A amônia é então reoxidada a nitrato por bactérias no processo de nitrificação (DAVIS e CORNWELL, 1995).

Os ciclos do nitrogênio, do nitrato ao nitrogênio orgânico, para amônia e de volta ao nitrato permanece enquanto houver oxigênio dissolvido. Entretanto, nos sedimentos anaeróbios e no hipolímnio de lagos eutróficos, quando a decomposição das algas esgota o suprimento de oxigênio, o nitrato é reduzido por bactérias anaeróbias a gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) que é removido do ciclo em um processo chamado desnitrificação. A desnitrificação reduz o tempo médio de permanência do nitrogênio no sistema do lago. A reação de desnitrificação é a seguinte:



Em lagos, as bactérias fotossintéticas, cianobactérias ou algas azul-verdes, como são conhecidas, fixam o gás nitrogênio da atmosfera convertendo-o a nitrogênio orgânico. Em baixas concentrações de nitrato e amônia e na presença de outros nutrientes em abundância, a cianobactéria possui uma vantagem competitiva sobre a alga verde devido a sua habilidade de fixar nitrogênio. Esses microrganismos são indesejáveis por agregarem materiais flutuantes de aparência ruim e por conferirem à água odor e sabor. As cianobactérias podem também produzir toxinas que matam os peixes (DAVIS e CORNWELL, 1995).

Concentrações elevadas de íon amônio influenciam na quantidade de oxigênio dissolvido na água, pois para oxidar 1,0 mg de íon amônio são necessários 4,3 mg de oxigênio, o que também influi na vida aquática, já que em pH básico o íon amônio se transforma em amônia livre, que é altamente tóxica para os peixes e

muitas espécies não suportam concentrações acima de 5mg/L (PEREIRA E MERCANTE, 2005).

Por estes motivos, o nitrogênio amoniacal é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade das águas. Na legislação federal é, portanto, um padrão de classificação das águas e de lançamento de esgotos (CETESB, 2009).

A metahemoglobinemia infantil é uma doença letal para crianças causada pelos nitratos que são tóxicos (na corrente sanguínea, o nitrato reduz-se a nitrito, disputando o oxigênio livre e tornando o sangue azul). Pela Portaria nº: 518/04 do Ministério da Saúde, o padrão de potabilidade da água para o nitrato é de no máximo 10 mg/L (CETESB, 2009).

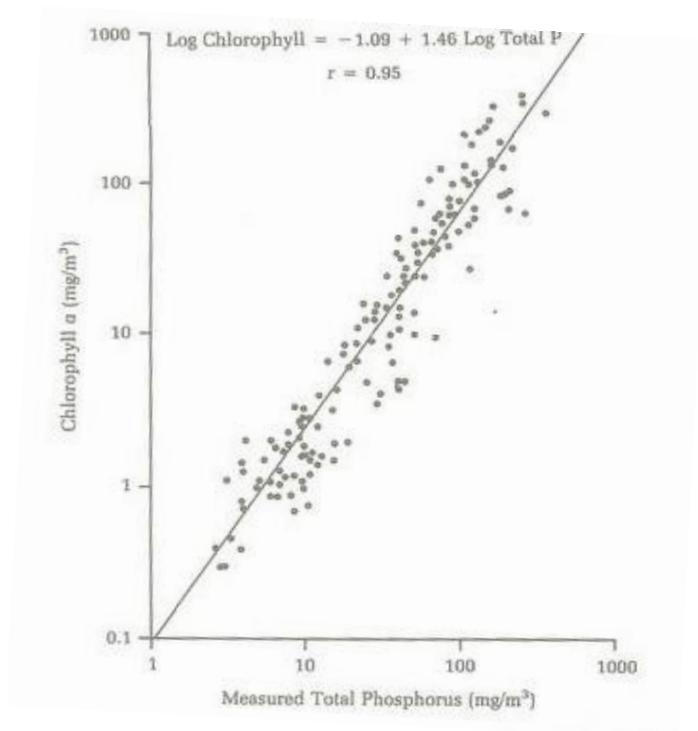
O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de orto-fosfato, polifosfato e fósforo orgânico (VON SPERLING, 2005). O orto-fosfato é forma mais comum de assimilação pelas algas e plantas aquáticas (KLAPPER, 1991).

O fósforo aparece nas águas naturais principalmente pelo despejo de esgotos sanitários. A matéria orgânica proveniente das fezes e os detergentes de uso nas residências são as fontes mais comuns. Os efluentes industriais também constituem uma poderosa fonte de fósforo, pois apresentam quantidades elevadas deste, tais como: indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas, alimentícias, abatedouros, laticínios, entre outras (CETESB, 2009).

O fósforo, assim como o nitrogênio, é um nutriente importante nos processos biológicos, conhecido como macronutriente. Sendo assim, sua concentração elevada em esgotos domésticos e efluentes industriais pode conduzir ao processo de eutrofização de lagos e represas (TELLES, 2013).

Entre os nutrientes, apenas o fósforo não está prontamente disponível na atmosfera ou no fornecimento natural de água. Desta forma, o fósforo é considerado o nutriente limitante em lagos. O fósforo controla o crescimento de algas e, conseqüentemente, a produtividade dos lagos. Isso pode ser visto na Figura 2.13, pela relação entre a quantidade de clorofila a e a concentração de fósforo total.

Figura 2.13 – Relação entre os níveis, no verão, de clorofila *a* e a concentração de fósforo total para 143 lagos.



Fonte: DAVIS e CORNWELL, 1995.

A Clorofila *a*, um dos pigmentos verdes responsáveis pela fotossíntese, é encontrada em todas as algas planctônicas, portanto é utilizada para diferenciar as algas na água de outros organismos, como por exemplo, as bactérias. Segundo Davis e Cornwell (1995), a relação empírica entre fósforo total e clorofila *a* é dada por:

$$\text{Log (Clorofila } a) = -1.09 + 1.46 \log P_T$$

Onde:

Clorofila *a* = concentração de clorofila *a*, mg/m<sup>3</sup>

$P_T$  = concentração de fósforo total, mg/m<sup>3</sup>

Sendo o fósforo um nutriente limitante, o controle da eutrofização deve ser feito pela redução da entrada de fósforo no lago. Outras estratégias para reverter ou diminuir o processo de eutrofização são: precipitação do fósforo presente no

esgoto com alumínio antes de seu descarte ou a remoção por dragagem de sedimentos (DAVIS e CORNWELL, 1995).

Existem maneiras de limpar lagos eutrofizados, tais como: remover o excesso de plantas aquáticas de forma mecânica, limitar o crescimento de plantas com herbicidas e algicidas e aerar lagos e reservatórios para aumentar a quantidade de oxigênio (um método caro e que consome bastante energia). O método mais barato e eficaz a longo prazo é ainda a prevenção da poluição (MILLER, 2012).

## **2.6. O COMPLEXO LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ**

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá é composto pelas lagoas da Tijuca, Camorim, Jacarepaguá e Marapendi e está situado na Baixada de Jacarepaguá, na zona oeste da Cidade do Rio de Janeiro. A sua bacia hidrográfica tem cerca de 280 km<sup>2</sup> e está limitada pelo Maciço da Pedra Branca, a oeste, pelo Maciço da Tijuca, a leste, pelas Lagoas de Marapendi, Lagoinhas (ou Taxas), Jacarepaguá, Camorim e Tijuca, ao sul, e pela Serra do Valqueire, ao norte. Possui diversos rios que descem as montanhas e deságuam nas lagoas, que se ligam ao mar pelo Canal da Joatinga, permitindo a troca de água com o mar (Subcomitê Jacarepaguá, 2014).

A qualidade da água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá é monitorada mensalmente através de oito estações de amostragem, sendo dois pontos de coleta na Lagoa de Jacarepaguá, três na Lagoa de Marapendi, um na Lagoa de Camorim e dois na Lagoa da Tijuca. São analisados os principais indicadores físicos e químicos de qualidade da água (INEA, 2013).

Para fins de avaliação da qualidade de água dessas lagoas e das bacias contribuintes, utilizam-se os padrões recomendados pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que estabelece a classificação e os limites e/ou condições para águas doces, salinas e salobras em todo o Território Nacional. Assim, as lagoas e os rios contribuintes são enquadrados como:

- Classe 2 (das águas salobras) – para os pontos de amostragem localizados nas lagoas;

- Classe 2 (das águas doces) – para os pontos de amostragem localizados nos rios contribuintes da bacia hidrográfica.

Os parâmetros de qualidade da água analisados possibilitam conhecer as condições do ecossistema aquático e seu grau de eutrofização. Estas informações são muito importantes para a tomada de decisão, aumentando a possibilidade de previsão de eventos adversos à ictiofauna (INEA, 2013).

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá, bem como os rios e canais de sua bacia hidrográfica, encontram-se sob intensa influência de águas residuárias, ricas em matéria orgânica, oriundas de fontes urbanas. Além disso, destaca-se a redução do espelho d'água, devido aos aterros clandestinos, à ocupação inadequada da faixa marginal de proteção e à formação de ilhas por assoreamento. A retirada da mata ciliar e a erosão dos vales contribuem para o transporte de sedimentos, através da bacia hidrográfica. Além disso, a piora das condições do complexo lagunar se deve a uma forte ação antrópica local, que contribui para a entrada de resíduos sólidos e líquidos no meio (INEA, 2013).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

O estudo se baseia em dados referentes às análises da qualidade de água do Complexo Lagunar da Barra da Tijuca, realizadas no período de 1983 a 2013 e disponibilizadas pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Concomitantemente, foi realizado um levantamento de informações dos censos de 1980 a 2010 realizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e dos dados disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos (IPP), pertencente a Prefeitura do Estado do Rio de Janeiro. Os dados obtidos foram empregados para caracterizar o crescimento urbano (especialmente), o crescimento da população e as condições de saneamento, além de aspectos sociais e de renda.

Foi realizada uma análise dos dados coletados de forma a estabelecer correlações estatísticas entre as variáveis sócio-econômicas mapeadas ao longo do tempo e a variação da situação da qualidade da água nas lagoas, neste mesmo período.

#### **3.2. SUPORTE A DECISÃO PARA OBJETIVOS MÚLTIPLOS (*MULTIPLE OBJECTIVE DECISION SUPPORT [MODS]*)**

O Suporte a decisão para objetivos múltiplos (*Multiple Objective Decision Support [MODS]*) é um método estruturado desenvolvido por Hajkowicz, McDonald & Smith (2000) para tomada de decisão em situações que envolvem múltiplos e conflitantes critérios. Na forma mais básica, um modelo MODS consiste de um conjunto de critérios, uma série de pesos indicando a importância destes, um conjunto de alternativas e uma série de indicadores de desempenho que demonstram o resultado de cada alternativa em relação a cada critério.

O objetivo do método MODS é associar um conjunto de valores cardinais ou ordinais a uma série de objetivos/critérios para indicar a sua importância relativa. Esses valores são então usados pelo modelo MODS na avaliação subsequente

das alternativas. No presente estudo, este método foi empregado com base no trabalho de Reopanichkul et al. (2009), com algumas modificações.

O estudo de Reopanichkul et al. (2009) refere-se a amostras de água coletadas em três pontos distintos na costa da Tailândia (Phuket, Phi Phi e Surin), em estações seca e chuvosa. Esses pontos de amostragem foram selecionados por apresentarem forte ação antropogênica local (devido à intensificação do turismo na região) e diferentes níveis de poluição, baseados na presença de emissários de esgoto e canais ou córregos que coletam esgotos não tratados, águas residuais e fluxos de água superficiais durante as chuvas.

A técnica primeiramente requer a atribuição de valores de peso (no caso de 1 a 10) para os critérios considerados relevantes para determinar a pressão antropogênica esperada. Em seguida, uma escala ordinal é criada (com valores de 1 a 5) para cada critério de forma a refletir a importância relativa para o nível de poluição. Uma pontuação mais alta para ambos, critério e peso, indica uma importância maior na determinação da pressão antropogênica esperada.

Com base nos critérios e escalas propostos por Reopanichkul et al. (2009), no presente trabalho foram adotados os valores apresentados na Tabela 3.1. A profundidade da lagoa não foi considerada como critério por não haver dados disponíveis.

Tabela 3.1 – Pesos e escalas usados para determinar a pressão antropogênica esperada no Complexo Lagunar de Jacarepaguá

Critério	Peso do Critério	Escala de pressão antropogênica esperada
Lançamento de esgotos na Lagoa	10	1= nenhum esgoto lançado na lagoa, 5= muito esgoto lançado na lagoa
Nível de atividade humana	5	1= baixa atividade humana, 5= alta atividade humana
Nível de turbidez	4	1=baixa turbidez, 5=alta turbidez

Em seguida, um nível relativo de pressão antropogênica esperado é calculado pela equação 3.1:

$$P = \sum (C^{1-n} \cdot W^{1-n}) / \sum W^{1-n} \quad (3.1)$$

Onde:

P = pressão antropogênica esperada,

C = escala para o critério 1 a n,

W = peso atribuído ao critério 1 a n.

No caso do estudo realizado por Reopanichkul et al. (2009), das suas escalas, a quantidade e a qualidade da descarga de esgotos ou a provável entrada de poluentes foram alocados com os pesos mais altos e considerados como sendo o fator mais importante na determinação da pressão antropogênica. Estes foram seguidos pelo nível de atividade humana, turbidez e finalmente a profundidade das baías estudadas. Após calcular a pressão antropogênica esperada, os locais com pressão antropogênica maior que 3,00 foram classificados como poluídos.

No presente estudo, os efeitos sobre a comunidade de corais não foram considerados em se tratando de lagoas. Os fatores mais importantes também foram considerados como sendo, em ordem de importância: o lançamento de esgotos nas lagoas, seguidos pelo nível de atividade humana e turbidez. Após calcular a pressão antropogênica, as lagoas com uma pressão antropogênica maior que 3,00 foram classificadas como poluídas.

### **3.3. ESTUDO DE CASO**

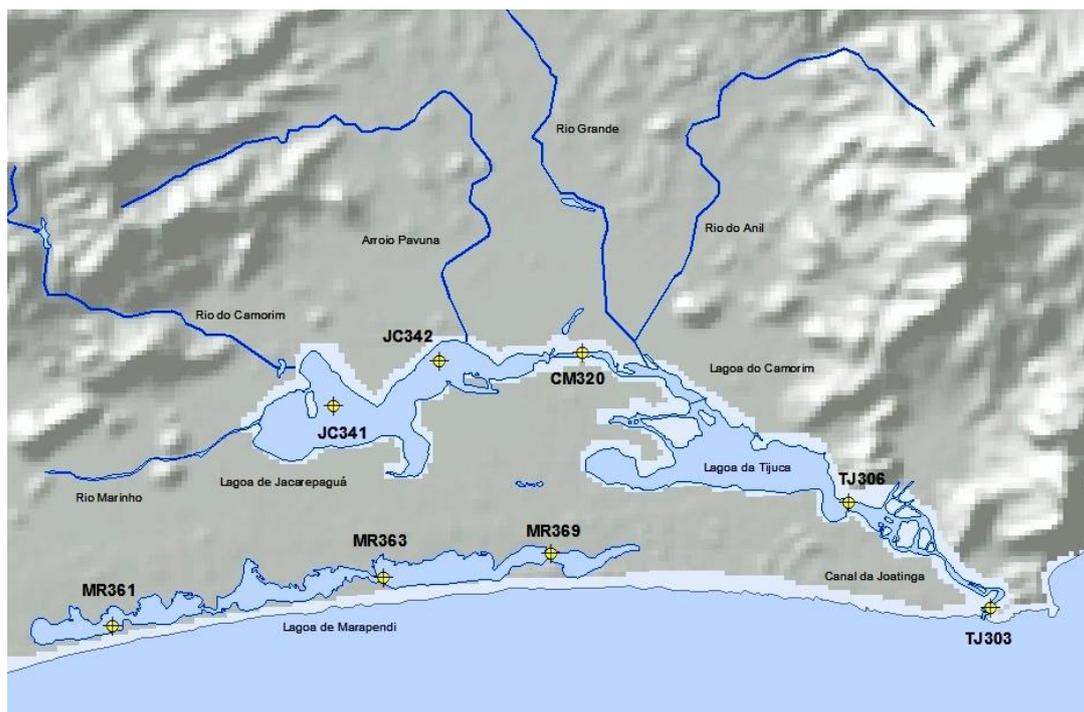
#### **3.3.1. ÁREA DE ESTUDO**

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá situa-se no município do Rio de Janeiro e é formado por três lagoas principais: Tijuca, Jacarepaguá e Marapendi, e a de Camorim, situada entre as Lagoas da Tijuca e de Jacarepaguá.

O divisor de águas da bacia de drenagem do sistema é estabelecido pelas linhas da crista dos Maciços da Pedra Branca e da Tijuca. Com cerca de 280 Km<sup>2</sup> de

área, a bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá é composta por diversos rios que descem as vertentes dessas montanhas e deságuam nas lagoas, que por sua vez se ligam ao mar pelo canal da Barra da Tijuca (ou canal da Joatinga), permitindo a troca de água com o mar, conforme apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Complexo Lagunar de Jacarepaguá



Fonte: Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2013

A Lagoa de Jacarepaguá possui 3,7 Km<sup>2</sup> de área, compreendendo um perímetro de 17,8 Km e 102,8 Km<sup>2</sup> de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Rio Guerenguê, Rio Monjolo, Arroio Pavuna, Rio Areal, Córrego Engenho Novo, Rio Pavuninha, Rio Passarinhos, Rio Caçambé, Rio Camorim, Rio do Marinho, Rio Ubaeté, Rio Firmino, Rio Calembá, Rio Cancela, Rio Vargem Pequena, Canal do Portelo, Rio Canudo e Canal do Cortado (INEA, 2015).

A Lagoa de Camorim possui 0,8 Km<sup>2</sup> de área, e com 91,7 Km<sup>2</sup> de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Arroio fundo, Rio Banca da Velha, Rio Tindiba, Rio Pechincha, Riacho Palmital, Rio da Covanca, Rio Grande, Rio Pequeno, Rio Anil, Rio Sangrador, Rio Panela, Rio São Francisco, Rio Quitite e Rio Papagaio (INEA, 2015).

A Lagoa de Tijuca possui 4,8 Km<sup>2</sup> de área, compreendendo um perímetro de 32,4 Km e com 26 Km<sup>2</sup> de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Rio das Pedras, Rio Retiro, Rio Carioca, Rio Muzema, Rio Itanhangá, Rio Leandro, Rio da Cachoeira, Rio Tijuca, Rio da Barra, Rio Gávea Pequena, Rio Jacaré e Córrego Santo Antônio (INEA, 2015).

A Lagoa de Marapendi possui 3,5 Km<sup>2</sup> de área, compreendendo um perímetro de 33,4 Km e recebe afluência do Rio das Piabas e do Canal das Taxas (INEA, 2015).

Os corpos d'água são classificados pelo INEA de acordo com os usos preponderantes. O complexo Lagunar de Jacarepaguá é enquadrado como: **recreação de contato secundário**, preservação da flora e fauna, uso estético, e espécies destinadas à alimentação humana (Diretriz da extinta Feema nº 110 R1). Por contato secundário, entende-se as atividades em que o contato com a água é esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água é pequena, como na pesca e na navegação (como iatismo) (Resolução CONAMA nº: 357, 17/03/2005).

Os rios e canais da bacia contribuinte são classificados para preservação de flora e fauna e uso estético (Diretriz da extinta Feema nº 109).

Para fins de avaliação da qualidade de água dessas lagoas e das bacias contribuintes, utilizam-se os padrões recomendados pelo CONAMA, privilegiando-se, contudo, o critério de proteção das comunidades aquáticas (Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que estabelece a classificação e os limites e/ou condições para águas doces, salinas e salobras em todo o Território Nacional). Assim, as lagoas e os rios contribuintes são enquadrados como:

- Classe 2 (das águas salobras) – para os pontos de amostragem localizados nas lagoas;
- Classe 2 (das águas doces) – para os pontos de amostragem localizados nos rios contribuintes da bacia hidrográfica.

### 3.3.2. PONTOS DE AMOSTRAGEM

O monitoramento sistemático de qualidade de água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá é realizado mensalmente, pelo INEA, em oito estações de amostragem, conforme apresentado na Figura 3.1, sendo dois pontos de coleta na Lagoa de Jacarepaguá (JC341 e JC342 - Latitudes: 22°58'47,48", 22°58'34,59"; Longitudes: 43°24'05,97", 43°22'52,85", respectivamente), três na Lagoa de Marapendi (MR361, MR363 e MR369 - Latitudes: 23°01'06,00", 23°00'36,48", 23°00'23,78"; Longitudes: 43°26'08,00", 43°23'32,65", 43°21'57,00", respectivamente), um na Lagoa de Camorim (CM320 - Latitude: 22°58'33,86" e Longitude: 43°21'54,60") e dois na Lagoa da Tijuca (TJ303 e TJ306 - Latitudes: 23°00'26,92", 22°59'55,02", Longitudes: 43°18'11,06", 43°19'06,78", respectivamente), conforme demonstrado nas Figuras 3.2 a 3.5.

São analisados os principais indicadores físicos e químicos de qualidade da água, bem como a comunidade fitoplanctônica quanto à sua composição quantitativa e qualitativa. De acordo com esses resultados, são também realizados testes semi-quantitativos para detecção de toxinas de cianobactérias (*Microcystis aeruginosa*) na água, e feitas análises em sedimentos (INEA,2013).

Os dados obtidos a partir da amostragem da água nestes pontos, no período de 1983 a 2013, foram utilizados neste estudo.

Na bacia contribuinte do complexo lagunar são amostrados ainda 11 rios, com frequência trimestral para análise de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água e de sedimentos. Esses pontos de amostragem não estão sendo considerados neste estudo (INEA,2013).

Os parâmetros analisados permitem conhecer as condições do ecossistema aquático, seu grau de trofia, bem como a sucessão das populações de microalgas. Estas informações contribuem para o processo de tomada de decisão, aumentando a possibilidade de previsão de eventos adversos à ictiofauna, e fornecendo elementos para a formulação de recomendações e ações relacionadas aos usos desses corpos d'água, em função dos eventos de florações tóxicas (INEA, 2013).

Figura 3.2 – Pontos de Coleta na Lagoa de Jacarepaguá – Rio de Janeiro



Fonte: Google Earth, 2014

Figura 3.3 – Pontos de Coleta na Lagoa de Marapendi – Rio de Janeiro



Fonte: Google Earth, 2014

Figura 3.4 – Pontos de Coleta na Lagoa de Camorim – Rio de Janeiro



Fonte: Google Earth, 2014

Figura 3.5– Pontos de Coleta na Lagoa de Tijuca – Rio de Janeiro



Fonte: Google Earth, 2014

### 3.3.3. METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A coleta de amostras da água das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá para a verificação de parâmetros de qualidade, tais como: alcalinidade e pH, coliformes termotolerantes, matéria orgânica (DBO e OD), fósforo total, nitrato,

nitrito, nitrogênio amoniacal solúvel, nitrogênio Kjeldahl, sólidos suspensos totais, turbidez e fitoplâncton é realizada por técnicos qualificados do INEA, mensalmente, em diversos horários, sempre na superfície da água e segue a orientação do Guia Nacional de Coleta da Agência Nacional de Águas e o padrão da CETESB de 2012.

A amostra de água para a verificação quanto a presença de metais nos sedimentos, tais como: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, manganês, mercúrio, prata e zinco, é coletada mensalmente, no fundo das lagoas, por meio de draga do tipo Van Veen. Não existe uma Legislação Nacional norteadora de padrões de sedimentos no ambiente aquático. Como referência, o INEA adota os valores da Resolução CONAMA n°: 454/12 que descreve os procedimentos de dragagem e descarte de sedimentos, ou seja, não é uma Resolução específica sobre sedimentos no ambiente, apenas orientativa sobre o descarte de material dragado.

### **Parâmetros Físico-Químicos**

São os ensaios que quantificam os compostos físicos ou químicos do ar, água, efluentes líquidos, solo, sedimentos e dos resíduos visando atender à legislação ambiental (Resoluções do Conama, do Ministério da Saúde e normas estaduais). Os parâmetros analisados no complexo lagunar deste estudo são:

- Alcalinidade, Fósforo total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Kjeldahl Total, Oxigênio Dissolvido, pH, Coliformes Termotolerantes, Sólidos Suspensos Totais, Turbidez, Temperatura e Umidade;
- Agregados orgânicos: Demanda bioquímica de oxigênio – DBO;
- Metais e semi-metais.

### **Ensaio Microbiológicos**

Os parâmetros microbiológicos analisados são bactérias heterotróficas, coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, Enterococcus,

Estreptococos fecais e *Pseudomonas aeruginosa*. No presente estudo foi analisado somente o número de coliformes termotolerantes.

Os pedidos de análises microbiológicas têm seus resultados liberados em até 15 dias úteis, conforme o parâmetro a ser analisado e as amostras deverão ser preservadas resfriadas até 8°C. A Tabela 3.2 apresenta os parâmetros físico-químicos e microbiológicos e respectivos métodos de análise monitorados no Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

Tabela 3.2 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados no complexo lagunar deste estudo.

PARÂMETRO	MÉTODO	TIPO DE FRASCO	PRESERVAÇÃO DA AMOSTRA
Alcalinidade total	SM 2310A/B	FP	Resfriado a 4°C
DBO	SM 5210 A/B	FP	
Fósforo total	SM 4500-P A/B/E	FP	
Nitrato	SM 4500 NO <sub>3</sub> - A/E	FP	
Nitrito	SM 4500 NO <sub>2</sub> -	FP	
Nitrogênio amoniacal dissolvido	SM 4500-NH <sub>3</sub> A/F	FP	
Nitrogênio kjeldahl	SM 4500 N	FP	
Oxigênio dissolvido (OD)	SM 4500-O A/C	FV	Sulfato Manganoso e Azida
pH	SM 4500-H+	FP	Resfriado a 4°C
Sólidos suspensos totais	SM 2540 A/D	FP	
Turbidez	SM 2130 A/B	FP	
Umidade	SM 2540 A/G	FP	
<b>METAIS E SEMI-METAIS</b>			
Alumínio	SM 3111D	FP	Resfriado a 4°C
Cádmio	SM 3111B	FP	
Chumbo	SM 3111B	FP	
Cobre	SM 3111B	FP	
Cromo	SM 3111B	FP	
Cromo hexavalente	SM 3500B	FP	
Cromo trivalente	SM 3111B	FP	Ácido Nítrico com pH < 2
Estanho	SM 3111D	FP	Resfriado a 4°C
Ferro	SM 3111B	FP	
Manganês	SM 3111B	FP	
Mercúrio	SM 3112B	FP	Ácido Nítrico com pH < 2
Níquel	SM 3111B	FP	Resfriado a 4°C
Prata	SM 3111B	FP	
Vanádio	SM 3111D	FP	
Zinco	SM 3111B	FP	
<b>PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>			
Coliformes Termotolerantes	SM 9221E2	FM	Resfriado a 8°C

Legenda: FP - Frasco Plástico / FV - Frasco Vidro / FM - Frasco para Microbiologia / SM = Standard Methods. Fonte: INEA, 2015

Como os dados dos parâmetros de qualidade da água analisados possuem uma oscilação muito grande, com valores extremos e muitas vezes faltantes, estes foram analisados pelo Teste-t de Student, com nível de significância de 5% (conforme exemplificado no Anexo I).

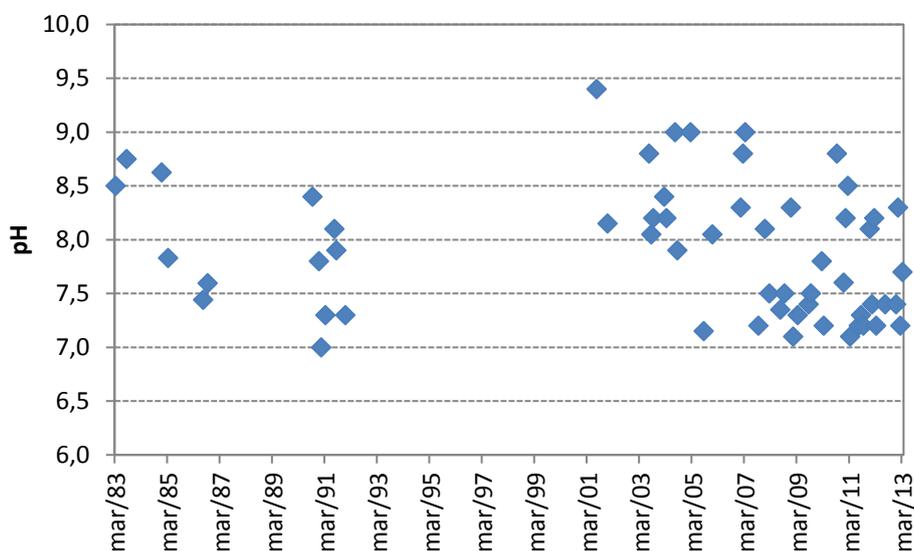
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise dos parâmetros monitorados nas lagoas no período de 1983-2013

#### - pH e Alcalinidade

O pH da Lagoa de Jacarepaguá se manteve dentro do padrão para águas salobras da classe 2 (6,5 –8,5) durante todo o período estudado (1983-2013), apresentando valores de neutro a alcalino, entre 7,0 e 9,0 (Figura 4.1). Em uma única amostragem, em julho/2001, o pH extrapolou o limite máximo permitido e apresentou valor de 9,4. Não há uma variação significativa entre as médias calculadas com dados dos primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) do período de amostragem, pois os valores são de  $8,0\pm 0,6$  e  $7,8\pm 0,6$ , respectivamente.

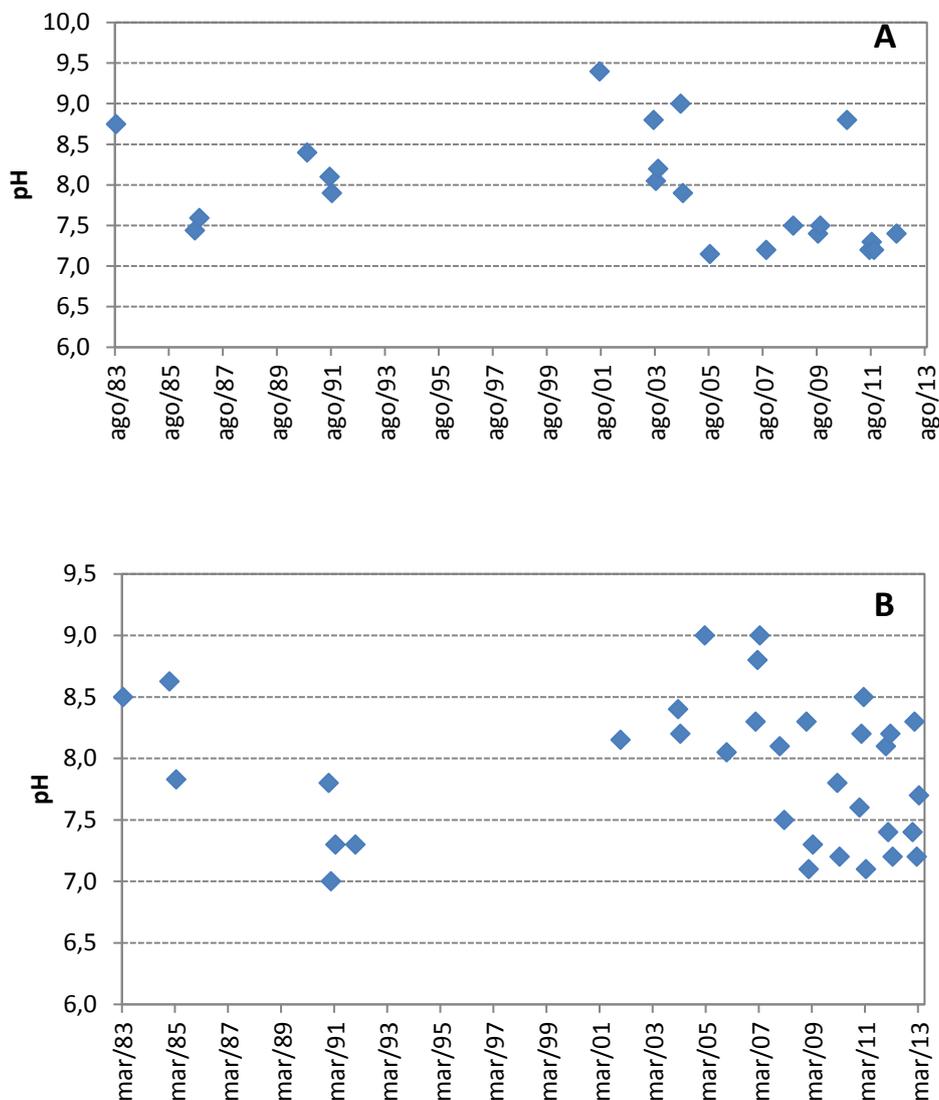
Figura 4.1 – Valores de pH na Lagoa de Jacarepaguá no período de mar/83 a mar/13.



Também não há diferença significativa entre os valores medidos quando se analisam separadamente os dados coletados em período de chuva (de dezembro a março) e em período de seca (de julho a setembro) (Figura 4.2). As médias para os primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) dos períodos de chuva, são de  $7,8\pm 0,6$  e  $7,9\pm 0,6$ , respectivamente.

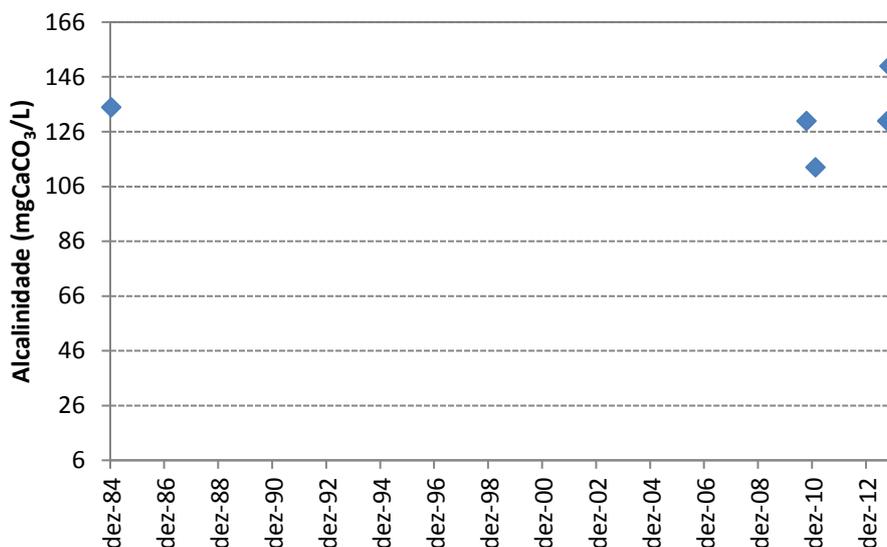
Enquanto que para o período de seca, os valores são de  $8,0\pm 0,5$  e  $7,5\pm 0,5$ , respectivamente.

Figura 4.2 – Valores de pH na Lagoa de Jacarepaguá na Estação Seca (ago/83 a ago/13 – A) e na Estação de Chuvas (mar/83 a mar/13 – B).



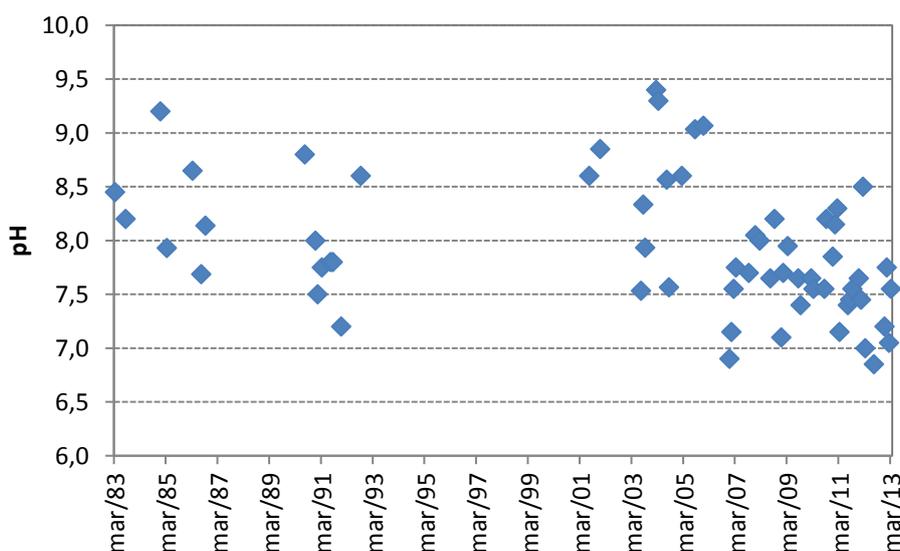
Os dados de alcalinidade da Lagoa de Jacarepaguá são escassos para uma análise mais profunda, mas verifica-se que estes variaram entre 113 e 150 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  (Figura 4.3). A Resolução CONAMA n°: 357, de 17 de março de 2005, não estabelece padrões para a Alcalinidade de águas salobras de Classe 2.

Figura 4.3 – Valores de Alcalinidade da Lagoa de Jacarepaguá no período de dez/84 a jan/13.



O pH da Lagoa de Marapendi extrapolou o limite máximo do padrão para águas salobras (8,5) em várias coletas do período estudado (1983-2013), variando entre 6,9 e 9,4 (Figura 4.4). As médias calculadas com dados dos primeiros (mar/83 a dez/91) e últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) do período de amostragem são de  $8,1 \pm 0,5$  e  $7,7 \pm 0,5$ , respectivamente. Nos últimos anos, embora ainda dentro dos padrões, o pH se apresenta menor.

Figura 4.4 – Valores de pH da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.



A mesma tendência de pH menor para os últimos 8 anos é observada para as médias dos dados coletados em período de chuva (meses de dezembro a março) e em período de seca (meses de julho a setembro) (Figura 4.5). As médias para os primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) dos períodos de chuva, são de  $8,1\pm 0,7$  e  $7,7\pm 0,5$ , respectivamente. Enquanto que para o período de seca, os valores são de  $8,1\pm 0,4$  e  $7,7\pm 0,5$ , respectivamente.

Figura 4.5 – Valores de pH da Lagoa de Marapendi na Estação de Seca (ago/83 a ago/13 – A) e na Estação de Chuvas(mar/83 a mar/13 – B).

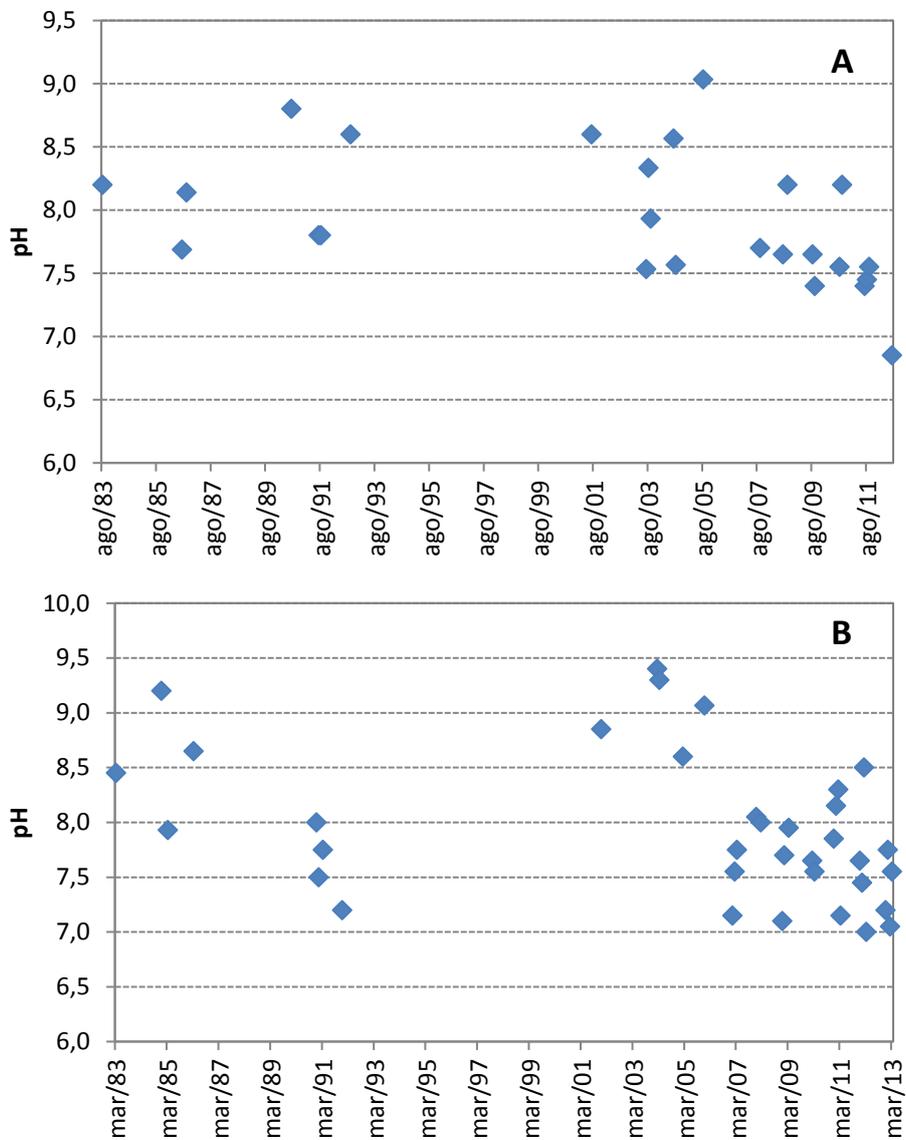
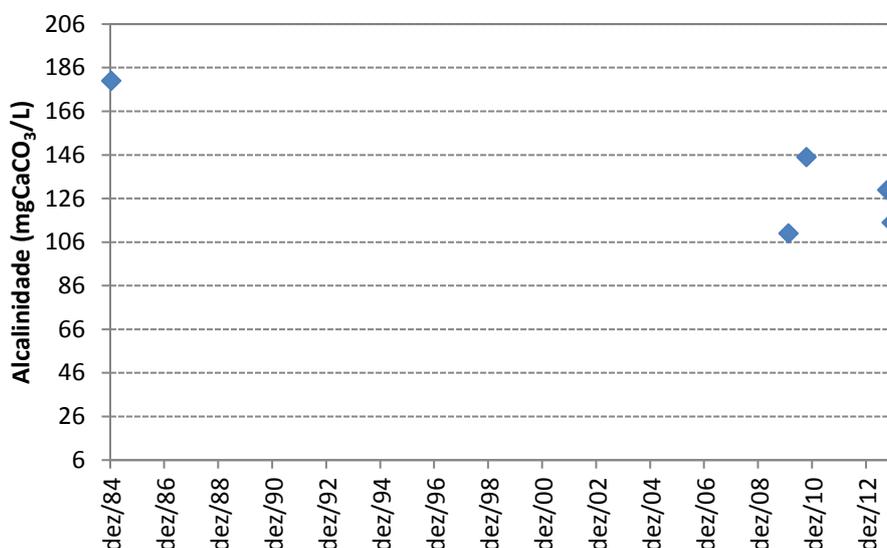
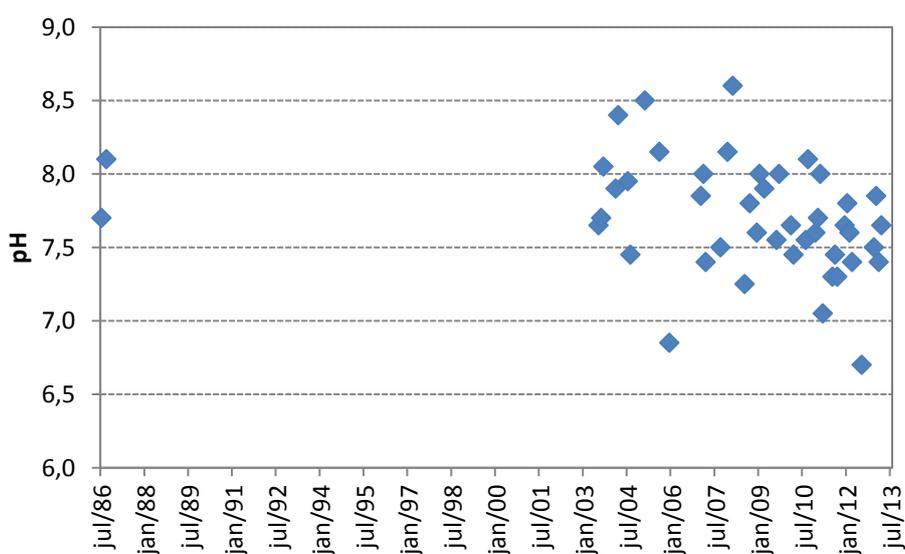


Figura 4.6 – Valores de Alcalinidade da Lagoa de Marapendi no período de dez/84 a dez/13.



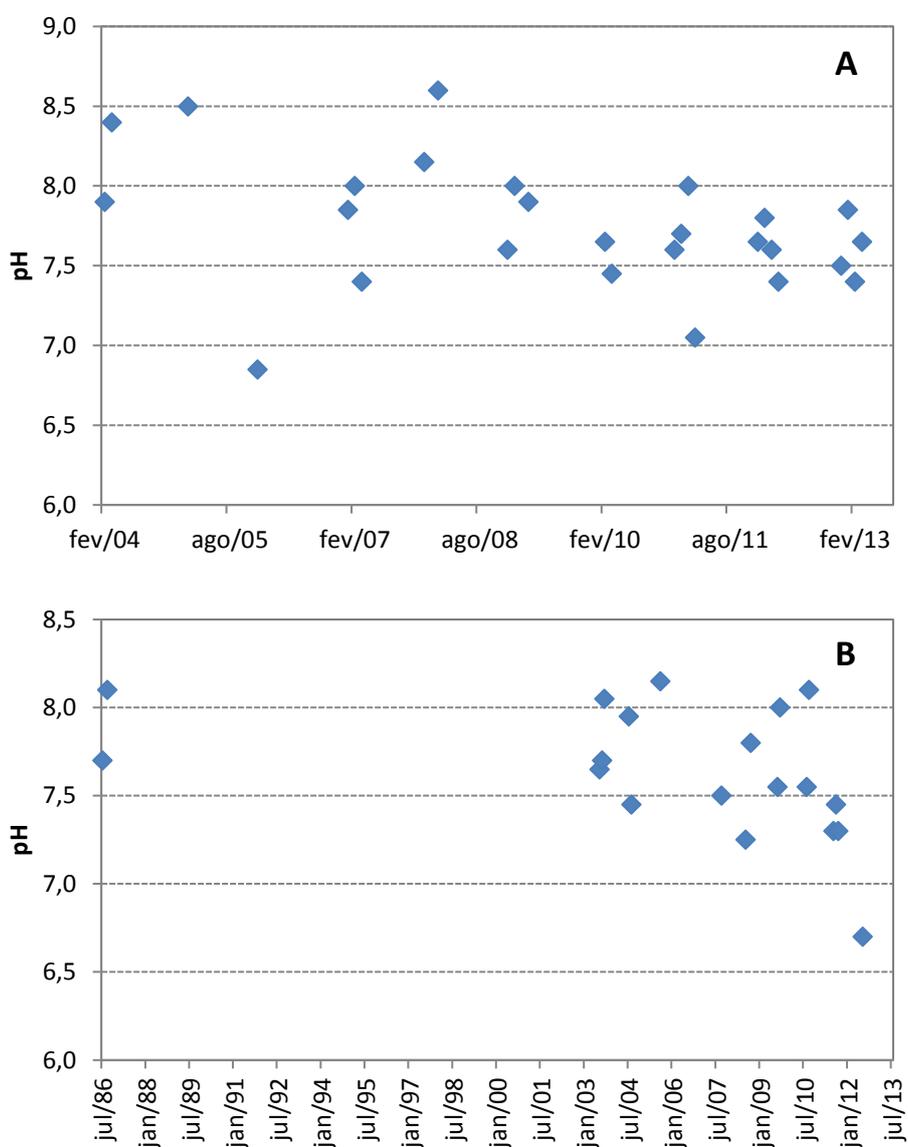
Os dados de pH da Lagoa da Tijuca se concentram nos últimos dez anos, com somente duas coletas em 1986 (Figura 4.7) e valores dentro de uma faixa mais estreita, variando de 6,7 a 8,6. As médias calculadas com dados de jul/86 e set/86 e dos últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) do período de amostragem são de  $7,9 \pm 0,3$  e  $7,7 \pm 0,4$ , respectivamente. A diferença entre as médias não é significativa.

Figura 4.7 – Valores de pH da Lagoa da Tijuca no período de jul/86 a jul/13.



Para esta lagoa só é possível analisar as médias dos dados coletados em época de chuva (meses de dezembro a março) para os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13), enquanto na época de seca (meses de julho a setembro) as médias são de  $7,9 \pm 0,3$  e  $7,6 \pm 0,4$ , para os primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13), respectivamente (Figura 4.8). Como na Lagoa de Jacarepaguá, não há uma variação significativa entre as médias calculadas.

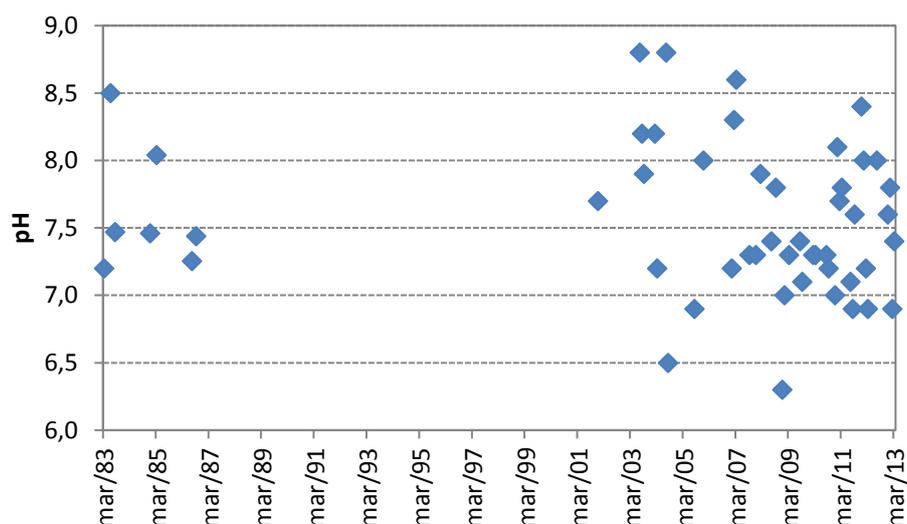
Figura 4.8 – Valores de pH da Lagoa da Tijuca na Estação de Chuvas (fev/84 a jun/13 – A) e na Estação de Seca (jul/86 a jul/12 – B).



Os dados de alcalinidade da Lagoa da Tijuca são poucos e concentram-se apenas nos últimos três anos do estudo de set/10 a nov/13, não permitindo um padrão de comparação entre o início e o final do período amostrado. Verifica-se uma tendência de queda de 145 mg (set/10) para 125 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  (nov/13), comportamento semelhante ao das outras lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

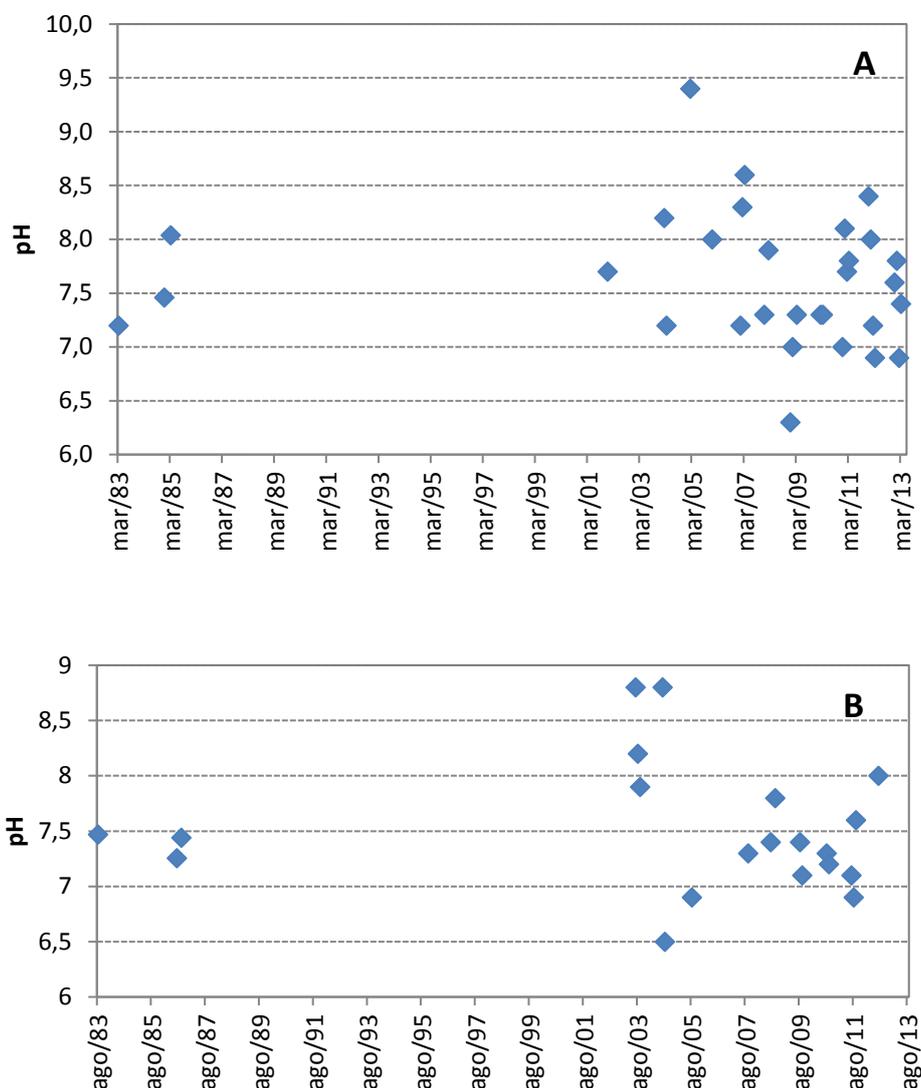
Os dados de pH para a Lagoa Camorim apresentam uma variação entre 6,9 e 8,5 tendo apenas três pontos que extrapolaram o limite máximo de 8,5 nos meses de jul/03 e jul/04 (8,8) e fev/05 (9,4) (Figura 4.9). As médias para os primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) do período de amostragem são de  $7,6 \pm 0,5$  e  $7,5 \pm 1,2$ , respectivamente.

Figura 4.9 – Valores de pH da Lagoa Camorim no período de mar/83 a mar/13.



Os valores de pH para a Lagoa de Camorim nos períodos de chuva (dezembro a março) e de seca (julho a setembro) não apresentaram variação, ficando em torno de 7,5 (Figura 4.10). As médias para os primeiros (mar/83 a dez/91) e os últimos 8 anos (fev/05 a mar/13) do período de chuva, são de  $7,6 \pm 0,4$  e  $7,5 \pm 0,6$ . Enquanto que para o período de seca, os valores são de  $7,4 \pm 0,1$  e  $7,3 \pm 0,3$ , respectivamente.

Figura 4.10 – Valores de pH da Lagoa Camorim no período de chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de seca (ago/83 a ago/12 – B).



Apesar de poucos pontos amostrados para Alcalinidade na Lagoa Camorim, os valores são semelhantes aos das outras lagoas, variando entre 120 e 150 mg CaCO<sub>3</sub> /L. Na Figura 4.11 são apresentados os valores de Alcalinidade das quatro lagoas para o período estudado, verificando-se que os valores se sobrepõem e se concentram dentro da faixa mencionada.

O gráfico de correlação entre valores de pH e alcalinidade das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá, apesar de poucos pontos, mostra uma correlação positiva entre estes dois parâmetros, com maiores valores de pH coincidindo com maiores valores de alcalinidade, conforme esperado (Figura 4.12).

Figura 4.11 – Valores de Alcalinidade das Lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá no período de dez/84 a jan/13.

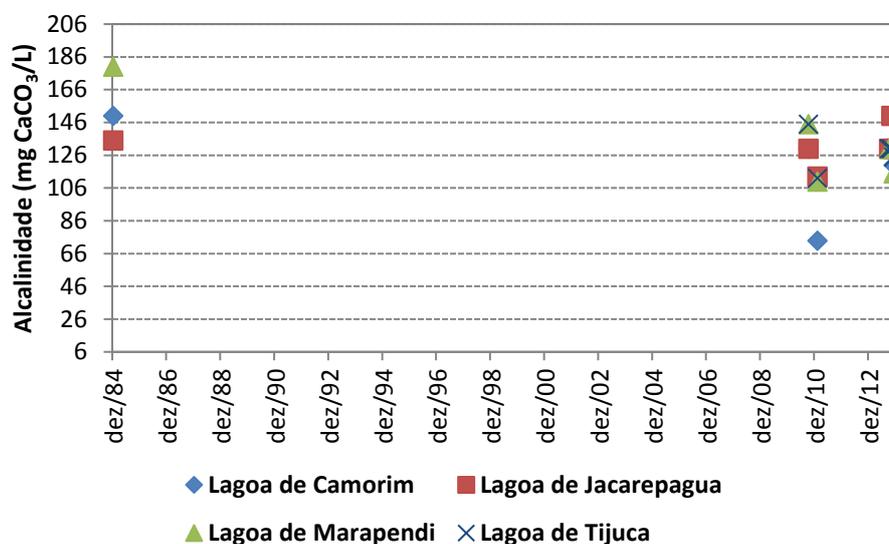
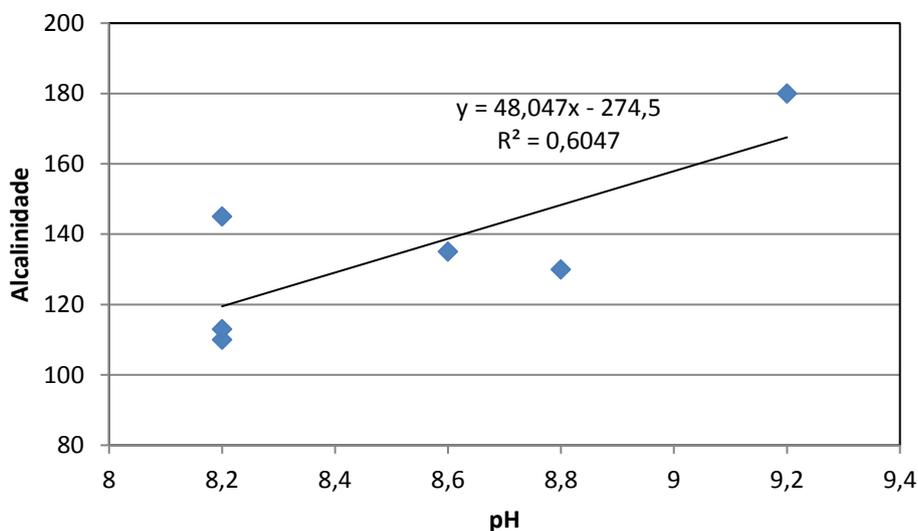


Figura 4.12 – Correlação entre valores de Alcalinidade e pH das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá no período de dez/84 a dez/13.

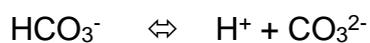


A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) é função do pH. Para valores acima de 9,4 predominam hidróxidos e carbonatos; em pH entre 8,3 e 9,4, carbonatos e bicarbonatos; e para pH entre 4,4 e 8,3, apenas bicarbonatos. Assim, na maioria dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de

decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (FUNASA, 2014; Von SPERLING, 2007).

A acidez decorre da presença de gás carbônico livre na água. A origem da acidez tanto pode ser natural (CO<sub>2</sub> da atmosfera ou CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S da decomposição de matéria orgânica) como antropogênica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas). A distribuição das formas de acidez também é função do pH da água. Em pH > 8,2 – CO<sub>2</sub> livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 – acidez carbônica; pH < 4,5 – acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais (FUNASA, 2014).

Portanto, os valores de pH e alcalinidade observados nas lagoas nos últimos anos podem ser relacionados à presença de carbonatos e bicarbonatos formados a partir do CO<sub>2</sub> gerado na degradação de matéria orgânica. O CO<sub>2</sub> em contato com a água forma ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), que se decompõe em bicarbonato e carbonato, liberando H<sup>+</sup> no meio e reduzindo o pH (<http://jan.ucc.nau.edu>):

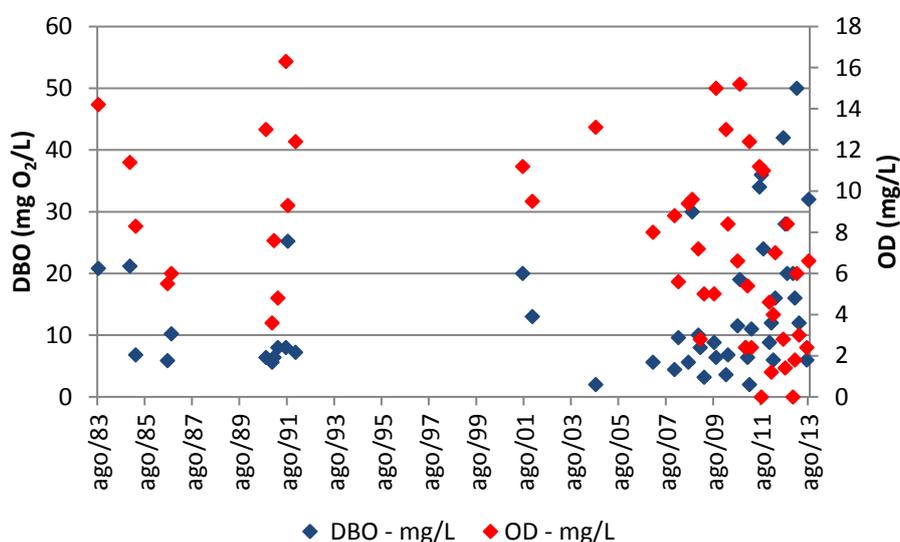


Processos oxidativos (como a nitrificação) também tendem a consumir alcalinidade e contribuir para valores mais baixos de pH. A nitrificação libera prótons, levando a uma diminuição do pH (ANTILEO et al., 2013 apud ZOPPAS et al., 2016).

## - Matéria orgânica (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD)

As medidas de concentração de oxigênio dissolvido (OD) da Lagoa de Jacarepaguá apresentam grande variação no período de amostragem considerado (ago/83 a ago/13), com valores de zero (indicando forte poluição por matéria orgânica biodegradável) a 16,3 mg/L (indicando alta atividade fotossintética). No entanto, uma análise dos dados mostra indícios do efeito do crescimento populacional no entorno da lagoa. As médias dos valores dos primeiros 8 anos (ago/83 a dez/91) e dos últimos 6 anos (jul/07 a ago/13) do período de amostragem são de  $(9,4 \pm 4,1)$  mg/L e  $(6,3 \pm 4,1)$  mg/L, respectivamente, mostrando uma redução de 33% nas médias, apesar dos elevados desvios-padrão. Já a DBO varia de 2 a 50 mg/L, com médias nos períodos mencionados de  $(11 \pm 7)$  mg/L e  $(15 \pm 12)$  mg/L. Há um pequeno aumento da DBO ao longo dos anos, conforme Figura 4.13.

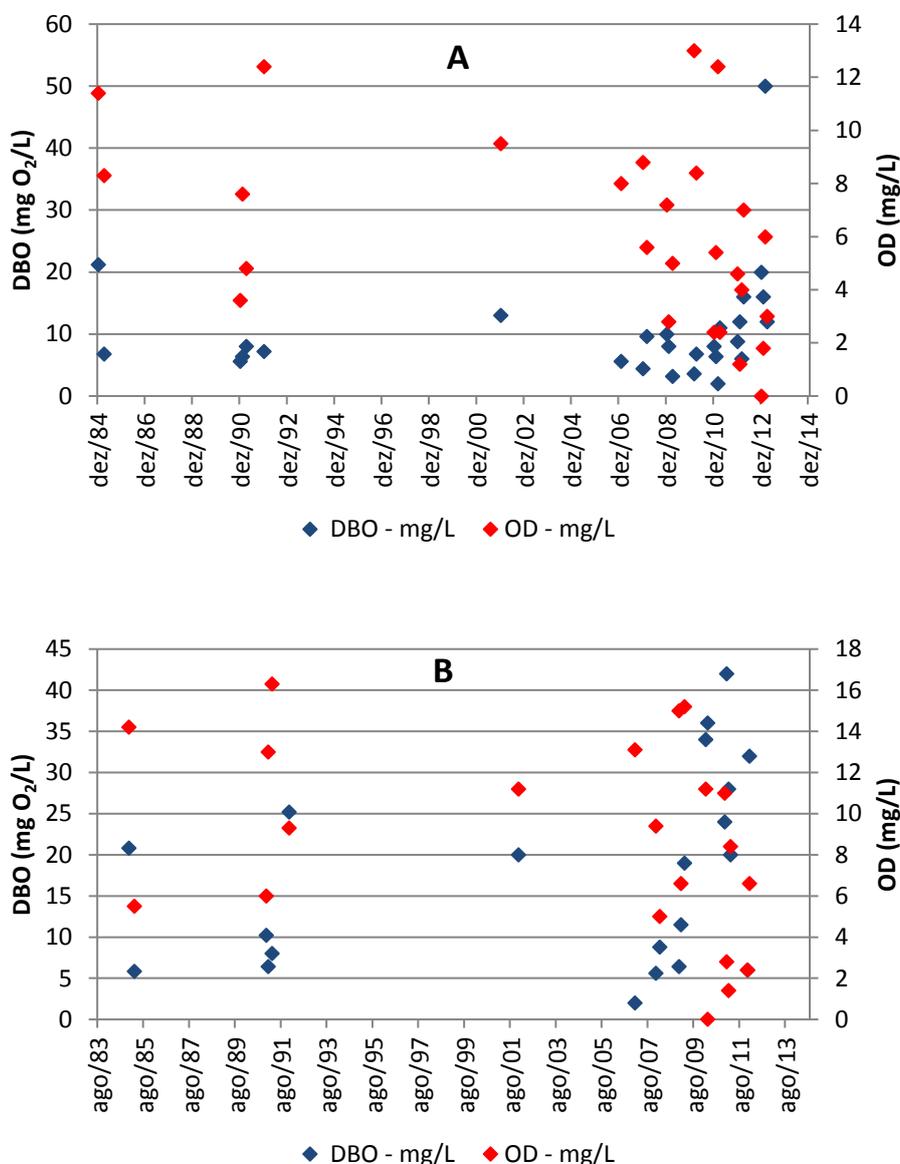
Figura 4.13 – Valores de DBO e OD na Lagoa de Jacarepaguá no período de ago/83 a ago/13.



Uma análise dos dados em períodos de chuva e seca separados, nos permite visualizar melhor o efeito de uma maior ou menor diluição dos aportes de matéria orgânica na lagoa. Nos períodos de chuva, o OD varia de  $(8,0 \pm 3,5)$  mg/L a  $(5,5 \pm 3,5)$  mg/L para os primeiros 8 anos (ago/83 a dez/91) e os últimos 6 anos (jul/07 a ago/13) do período de amostragem, respectivamente. Ou seja, há uma redução de 31% das médias de um período para o outro. A DBO apresenta médias nos períodos mencionados de  $(10 \pm 6)$  mg/L e  $(11 \pm 10)$  mg/L, mantendo valores muito similares aos observados para todo o período de amostragem. Já nos períodos de seca, o OD varia de  $(10,7 \pm 4,5)$  mg/L a  $(7,7 \pm 5,0)$  mg/L para os primeiros 8 anos (ago/83 a dez/91) e os últimos 6 anos (jul/07 a ago/13) do período de amostragem, respectivamente. Ou seja, há uma redução de 28% das médias de um período para o outro. A DBO apresenta médias nos períodos mencionados de  $(13 \pm 8)$  mg/L e  $(20 \pm 13)$  mg/L, com um aumento de 54% de um período para o outro (Figura 4.14).

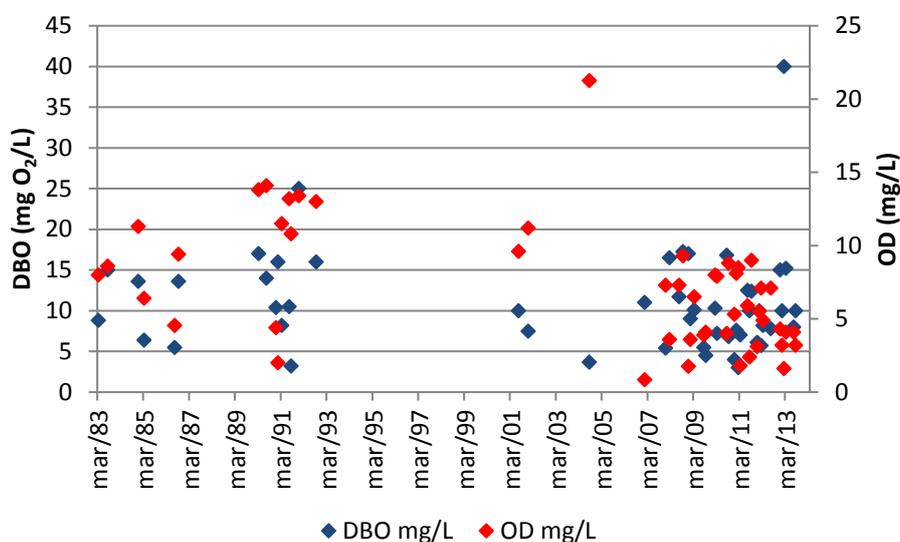
As concentrações médias de OD são inversamente proporcionais aos valores médios de DBO somente para os dados coletados em períodos de seca, conforme o esperado. A presença de matéria orgânica biodegradável (medida como DBO) propicia uma maior atividade bacteriana, que leva a um maior consumo de OD para a oxidação desta matéria orgânica, fazendo com que sua concentração diminua na coluna d'água (TEBBUTT, 1998). Nos demais períodos de amostragem os dados de DBO parecem estar em desacordo com os dados de OD. No entanto, deve-se considerar que nos períodos de chuva, esta contribui para uma maior diluição dos poluentes, o que pode ter influenciado os valores de DBO nos últimos anos. Além disto, nos períodos de chuva, as temperaturas ambientes e, conseqüentemente, da massa d'água, são mais elevadas. Temperaturas mais elevadas aumentam a atividade bacteriana e também reduzem a solubilização de OD em água, contribuindo assim para menores valores de OD nos últimos anos.

Figura 4.14 – Valores de DBO e OD na Lagoa de Jacarepaguá no período de chuva (dez/84 a dez/13 – A) e no período de seca (ago/83 a ago/13 – B).



A concentração de oxigênio dissolvido (OD) na Lagoa de Marapendi também apresenta forte variação no período de amostragem considerado (mar/83 a ago/13), com valores de 0,9 a 21,3 mg/L (Figura 4.15). As médias dos valores dos primeiros 8 anos (mar/83 a dez/91) e dos últimos 6 anos (jan/07 a ago/13) do período de amostragem são de (9,4±3,9) mg/L e (5,7±3,7) mg/L, respectivamente, mostrando uma redução de 39% nas médias. Já a DBO varia de 3 a 40 mg/L, com médias similares nos períodos mencionados de (12±6) mg/L e (10±7) mg/L.

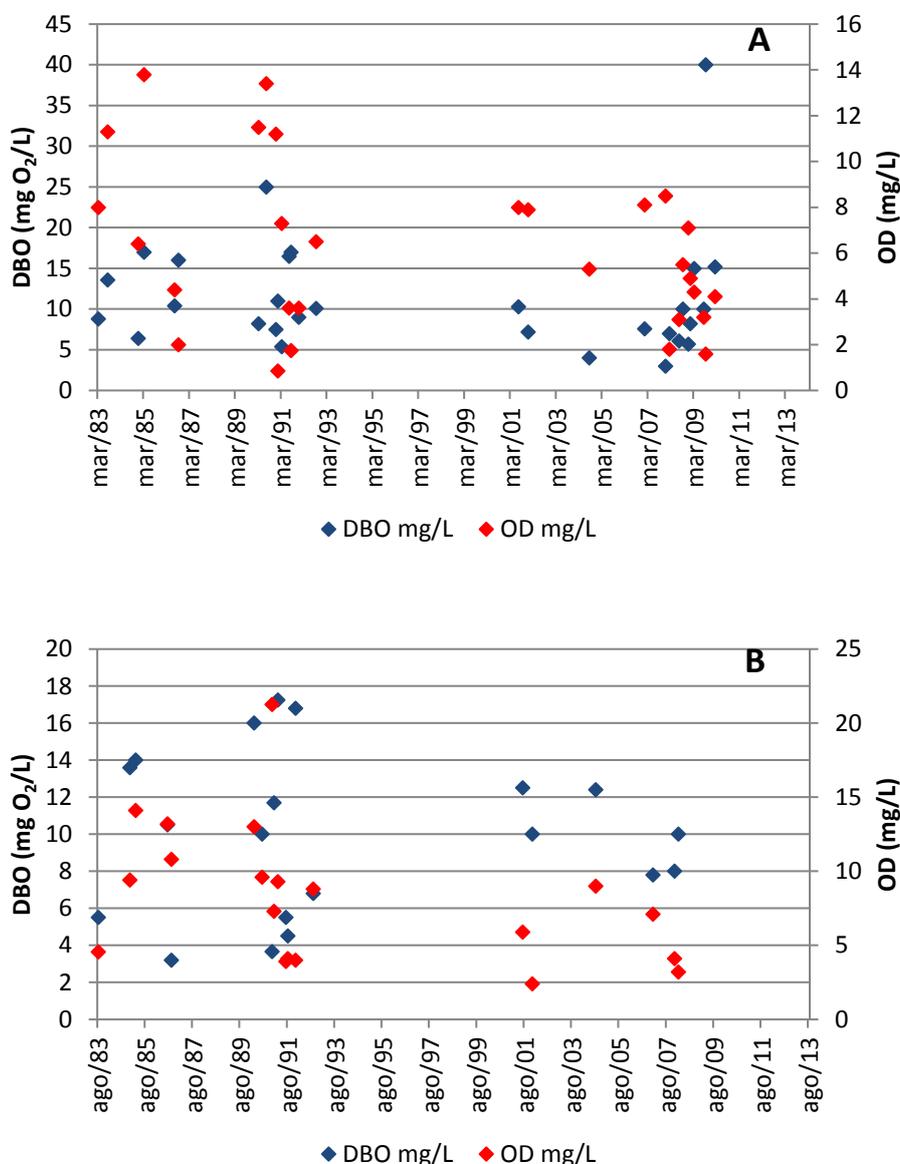
Figura 4.15 – Valores de DBO e OD na Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.



Uma análise dos dados em períodos de chuva e seca separados, mostra que o OD varia de  $(8,9 \pm 4,3)$  mg/L a  $(4,9 \pm 2,4)$  mg/L para os primeiros 8 anos (mar/83 a dez/91) e os últimos 6 anos (jan/07 a mar/13) do período de amostragem, respectivamente. Ou seja, há uma redução de 45% das médias de um período para o outro, conforme Figura 4.16.

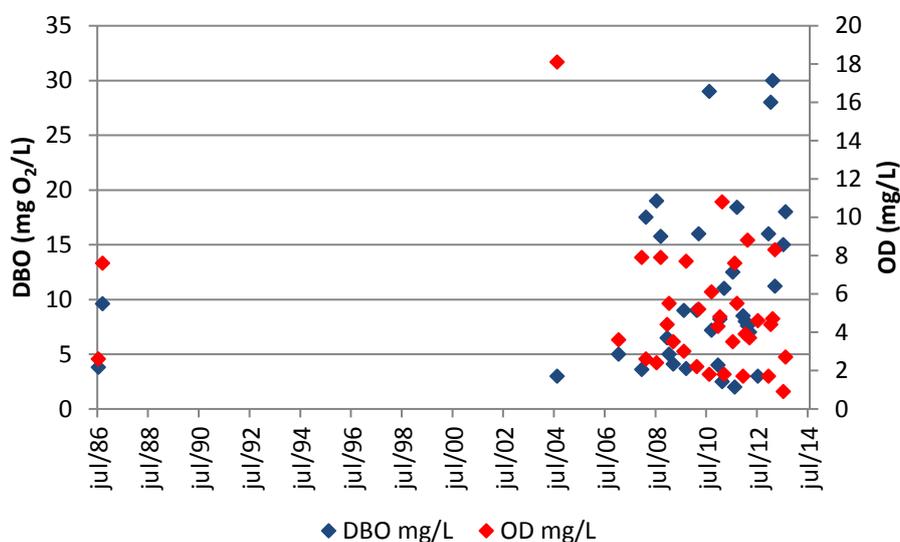
A DBO apresenta médias nos períodos mencionados de  $(13 \pm 6)$  mg/L e  $(11 \pm 8)$  mg/L, mantendo valores muito similares aos observados para todo o período de amostragem. Nos períodos de seca, o OD varia de  $(10,1 \pm 3,5)$  mg/L a  $(7,0 \pm 4,9)$  mg/L para os primeiros 8 anos (mar/83 a dez/91) e os últimos 6 anos (jan/07 a ago/13) do período de amostragem, respectivamente. Ou seja, há uma redução de 31% nas médias de um período para o outro. A DBO mantém médias nos períodos mencionados de  $(10 \pm 5)$  mg/L e  $(10 \pm 4)$  mg/L.

Figura 4.16 – Valores de DBO e OD da Lagoa de Marapendi no período de Chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de Seca (ago/83 a ago/13 – B).



Os dados de OD e DBO da Lagoa da Tijuca se concentram nos últimos dez anos, com somente duas coletas em 1986 (Figura 4.17). Os valores de OD variam de 0,9 a 18,1 mg/L, enquanto os de DBO de 2 a 30 mg/L. As médias calculadas com dados de jul/86 e set/86 e dos últimos 6 anos (jan/07 a ago/13) do período de amostragem são de  $(5,1 \pm 3,5)$  mg/L e  $(4,6 \pm 2,5)$  mg/L para OD e  $(7 \pm 4)$  mg/L e  $(11 \pm 8)$  mg/L para DBO, respectivamente.

Figura 4.17 – Valores de DBO e OD na Lagoa da Tijuca no período entre jul/83 e jul/13.



Para esta lagoa só é possível analisar as médias dos dados coletados em época de chuva (meses de dezembro a março) para os últimos 6 anos (jan/07 a mar/13), enquanto na época de seca (meses de julho a setembro) as médias são de  $(5,1 \pm 3,5)$  mg/L e  $(4,5 \pm 2,5)$  mg/L para OD e  $(7 \pm 4)$  mg/L e  $(13 \pm 8)$  mg/L para DBO nos primeiros (mar/83 a dez/91) e últimos 8 anos (fev/05 a mar/13), respectivamente (Figura 4.18). Nesta lagoa, os dados de OD e DBO se comportam conforme esperado: com OD diminuindo à medida que DBO aumenta.

Os valores de concentração de oxigênio dissolvido (OD) na Lagoa Camorim apresentam grande variação no período de amostragem considerado (mar/83 a ago/13), com medidas variando de zero (forte indicio de poluição por matéria orgânica biodegradável) a 12,8 mg/L (indicativo de alta atividade fotossintética) (Figura 4.19). Importante notar que no primeiros anos amostrados, entre 1983 e 1986, o OD estava em torno de 5 mg/L, com pico de 9,6 mg/L; enquanto que nos últimos dois anos da amostragem (2012 e 2013) a concentração de OD está em torno de zero, demonstrando uma forte ação antropogênica nesta lagoa. A média dos valores dos primeiros 8 anos (mar/83 a dez/91) e dos últimos 6 anos (jan/07 a ago/13) do período de amostragem são de  $(5,6 \pm 2,6)$  mg/L e  $(4,2 \pm 3,8)$  mg/L, respectivamente, mostrando uma redução de 33% nas médias, apesar dos

elevados desvios-padrão. Já a DBO varia de 8 a 80 mg/L, com médias nos períodos mencionados de  $(16 \pm 9)$  mg/L e  $(20 \pm 15)$  mg/L.

Figura 4.18 – Valores de DBO e OD da Lagoa da Tijuca no período de chuvas (jan/07 a jan/13 – A) e no período de Seca (jul/86 a jul/13 – B).

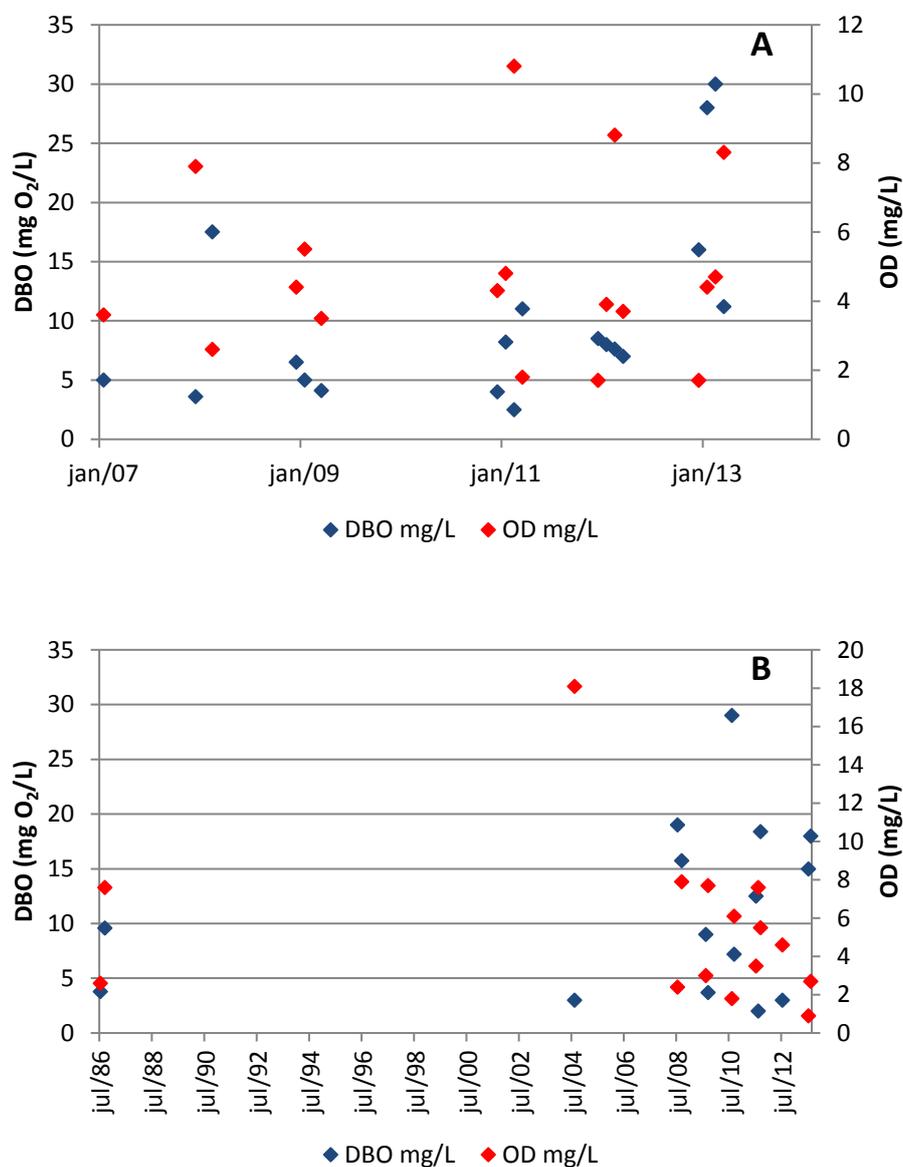
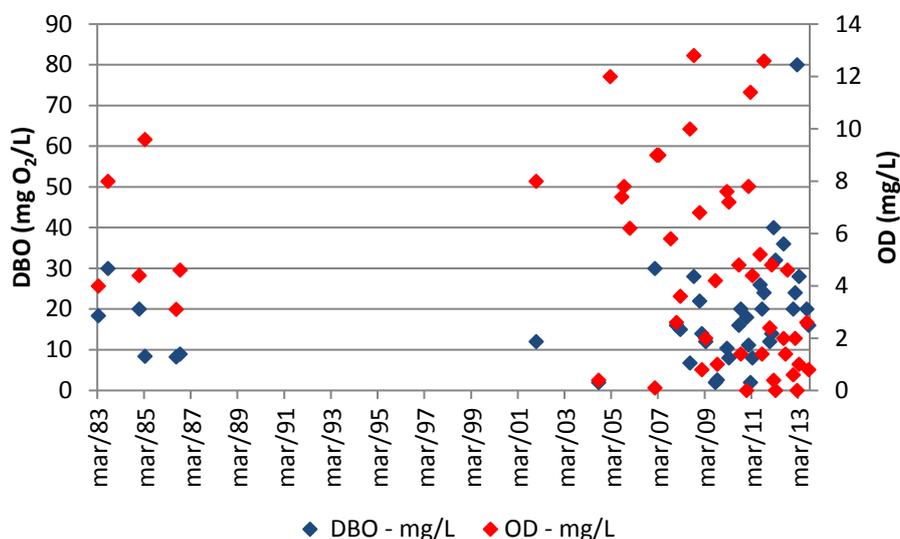


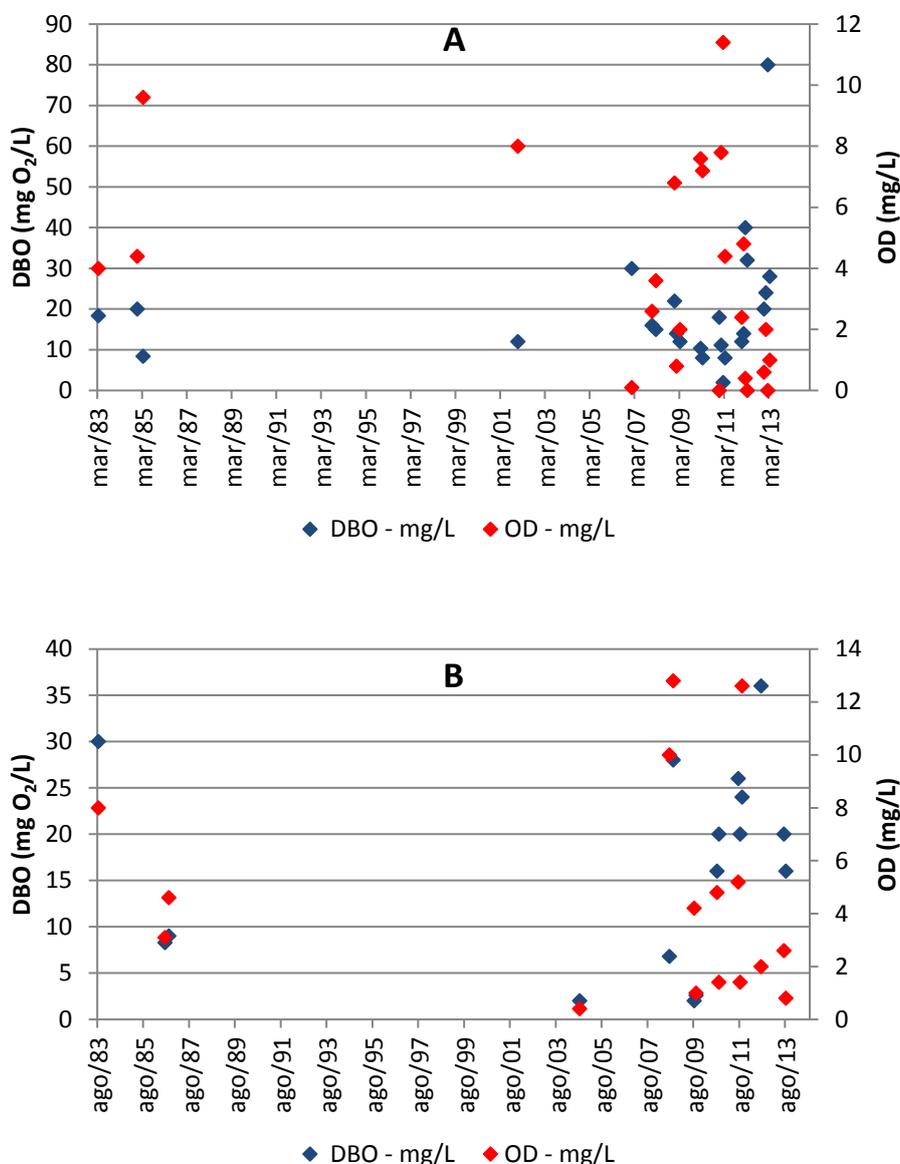
Figura 4.19 – Valores de DBO e OD da Lagoa Camorim no período entre mar/83 e mar/13



A análise em separado dos períodos de chuva e seca permite avaliar melhor o efeito de uma maior ou menor diluição dos aportes de matéria orgânica na lagoa. Nos períodos de chuva, o OD varia de  $(6,0 \pm 3,1)$  mg/L nos primeiros 8 anos (mar/83 a mar/91) a  $(3,3 \pm 3,3)$  nos últimos 8 anos (jan/07 a dez/13) do período de amostragem, respectivamente. Há uma redução de praticamente 50% nas médias, apesar dos altos valores de desvios-padrão. Já para a DBO há uma variação de  $(16 \pm 6)$  mg/L nos primeiros 8 anos (mar/83 a mar/91) a  $(21 \pm 17)$  mg/L nos últimos 8 anos (jan/07 a dez/13) do período de amostragem, respectivamente, o que demonstra um aumento em torno de 20%, apesar dos elevados desvios-padrão (Figura 4.20).

Para o período de seca, a Lagoa Camorim apresentou OD variando de  $(5,2 \pm 2,5)$  mg/L nos primeiros 8 anos (ago/83 a set/91) a  $(4,9 \pm 4,5)$  nos últimos 8 anos (jul/07 a ago/13) do período de amostragem, respectivamente. Há uma redução pequena nas médias, considerando os altos valores de desvios-padrão. Já para a DBO há uma variação de  $(16 \pm 12)$  a  $(18 \pm 10)$  no mesmo período de amostragem.

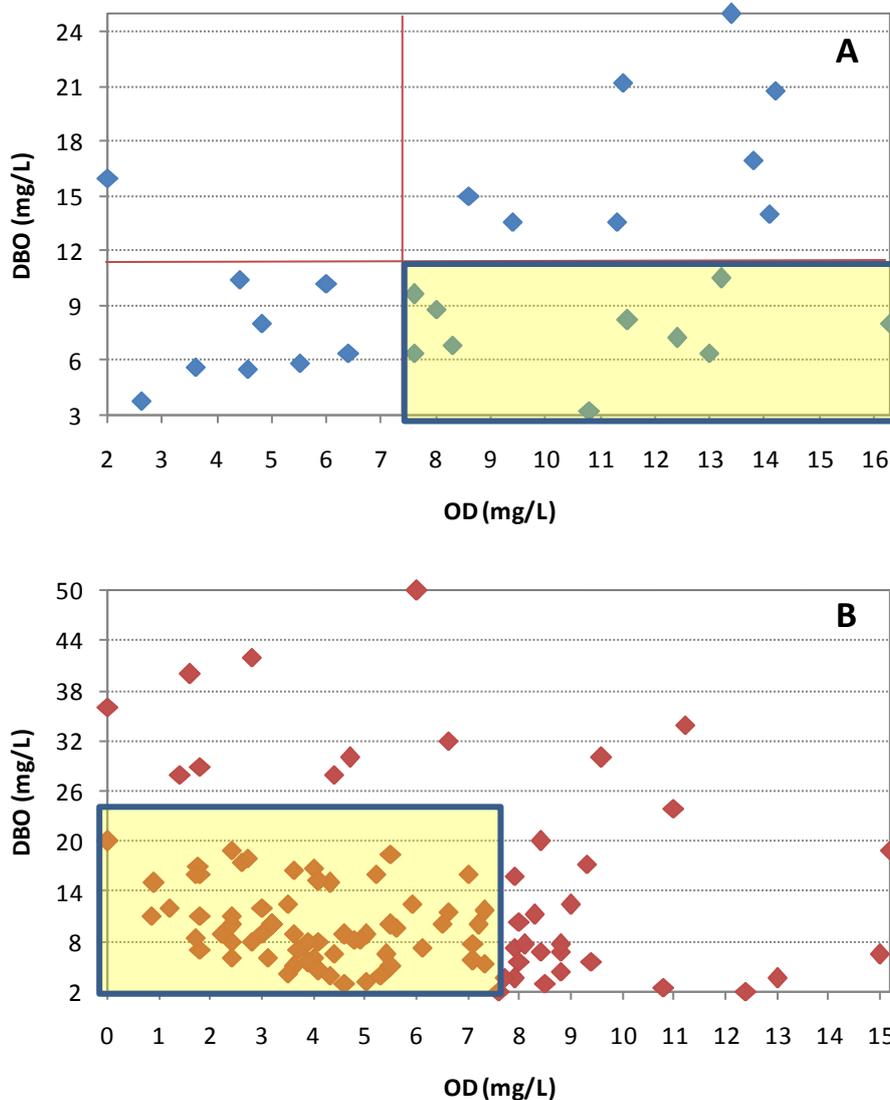
Figura 4.20 – Valores de DBO e OD da Lagoa Camorim no período de chuvas (mar/83 a mar/13 – A) e no período de Seca (ago/83 a ago/13 – B).



Como já comentado, os dados de DBO e OD não se correlacionam de acordo com o esperado. No entanto, quando se correlaciona os dados de OD e DBO separando os dados coletados de 1983 a 1991 dos dados coletados de 2007 a 2013, verifica-se que antes do aumento populacional os valores de OD se concentravam no quartil com OD > 7,2 mg/L e DBO < 11 mg/L (Figura 4.21). Já nos últimos anos, os dados se concentram no quartil com OD < 7,6 mg/L e DBO < 24 mg/L. Deve-se ressaltar também que nos quartis de maior DBO, no período de 1983 a 1991 a DBO variou de 11 a 25 mg/L, enquanto no período de 2007 a

2013 a DBO variou de 24 a 50 mg/L. Ou seja, a DBO nas situações mais críticas praticamente dobrou, acentuando os impactos causados nas lagoas.

Figura 4.21 – Correlação entre valores de OD e DBO das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá nos períodos de 1983-1991 (A) e 2007-2013 (B).



A redução da concentração de oxigênio dissolvido ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização de matéria orgânica biodegradável. Portanto, estes dois parâmetros estão interligados e a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os valores observados para as lagoas mostram valores médios de OD mais baixos nos últimos anos e muitas vezes menores que o mínimo permitido para águas salobras da classe 2 (4 mg/L, sendo a Resolução

Conama nº 357/2005). Não existem valores limite para a DBO nesta Resolução, mas na literatura se preconiza que em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg/L a 10 mg/L) (FUNASA, 2014). Verifica-se na Figura 4.21 que quase todos os pontos amostrados nas lagoas no período de 2000 a 2007 atingem valores bem mais elevados, indicando forte poluição orgânica.

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática (CETESB, 2008). Para a manutenção da vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L (FUNASA, 2014).

#### **- Metais**

Os metais foram quantificados em sedimentos coletados nas lagoas em pontos espaçados no tempo, e não na coluna d'água. Na Lagoa de Jacarepaguá, os metais foram monitorados nos anos de 1983 e 1986 e depois entre 2001 e 2005. Dos metais amostrados, os que aparecem em maior concentração são ferro, mercúrio e manganês seguidos de zinco, cobre e chumbo em concentrações mais baixas, conforme Figura 4.22.

O somatório dos metais revela maiores concentrações nos pontos amostrados em 1983 (29,15 mg/g, em média), enquanto nos demais pontos do período de amostragem (1986 a 2005) os valores são menores (1,90 mg/g, em média). Considerando que este resultado se deve às concentrações de ferro, um somatório com todos os metais exceto o ferro revela concentrações médias similares para os pontos dos primeiros 3 anos (jun/83 a out/86) e dos últimos 4 anos do período de amostragem (ago/01 a ago/05), de 0,74 mg/g e 0,63 mg/g, respectivamente, conforme Figura 4.23.

Figura 4.22– Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) em sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá no período de jun/83 a jun/05.

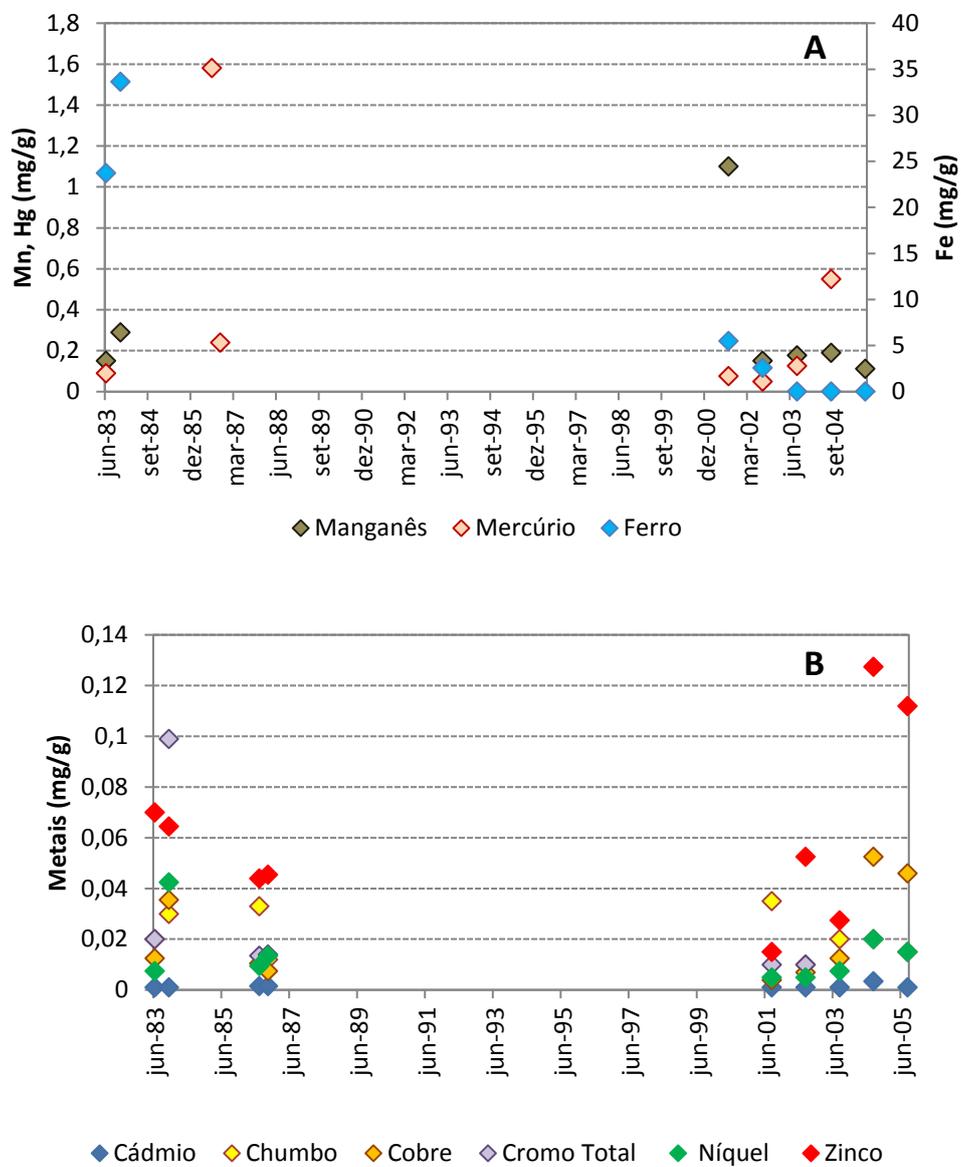
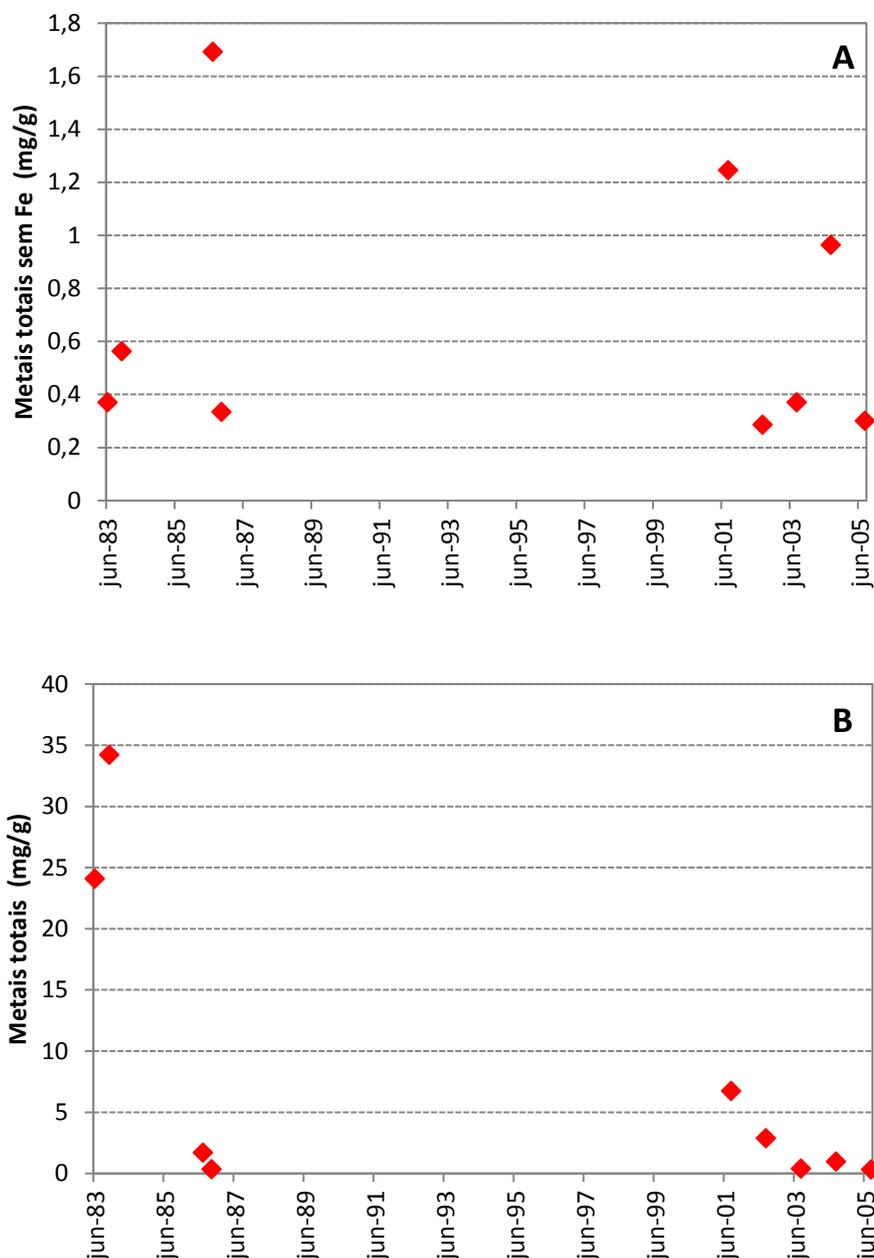
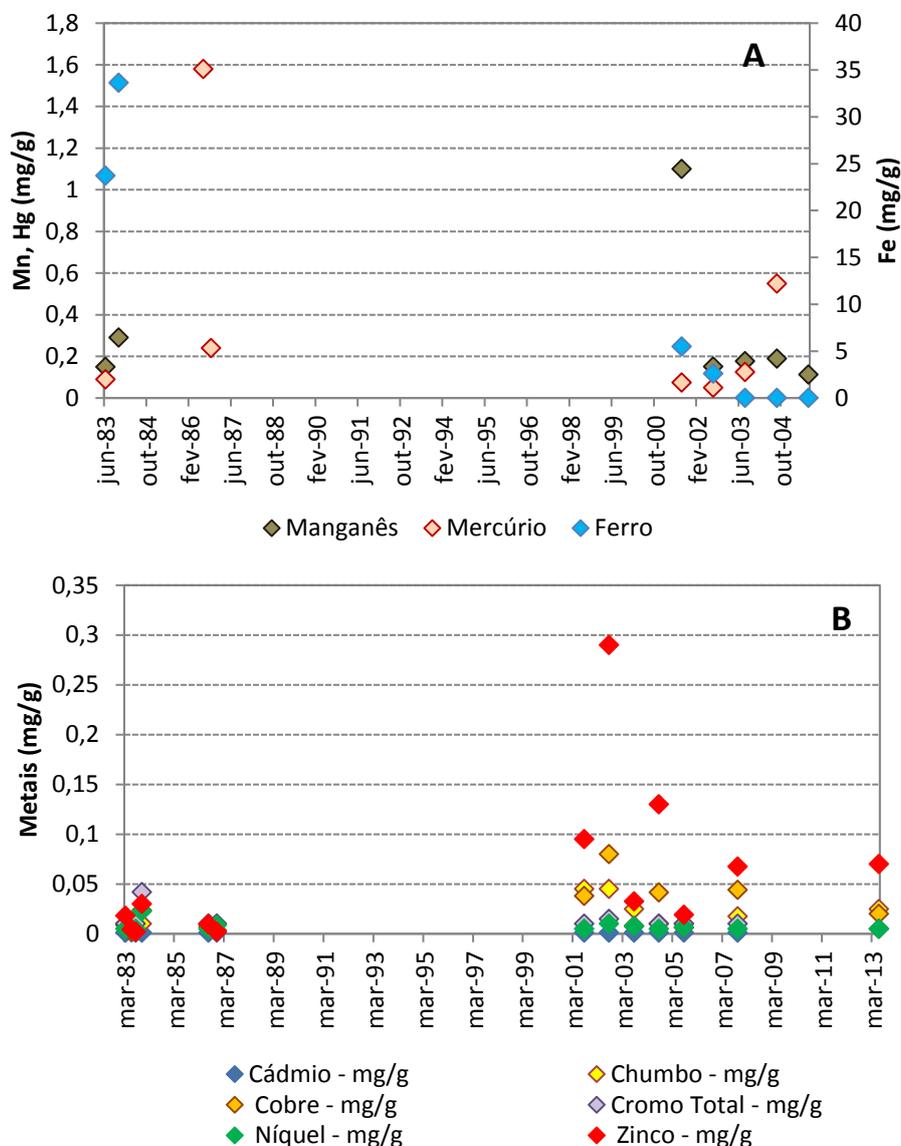


Figura 4.23 – Valores de metais totais (em mg/g) sem contar a presença de ferro (A) e metais totais (B) em sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá no período de jun/83 a jun/05.



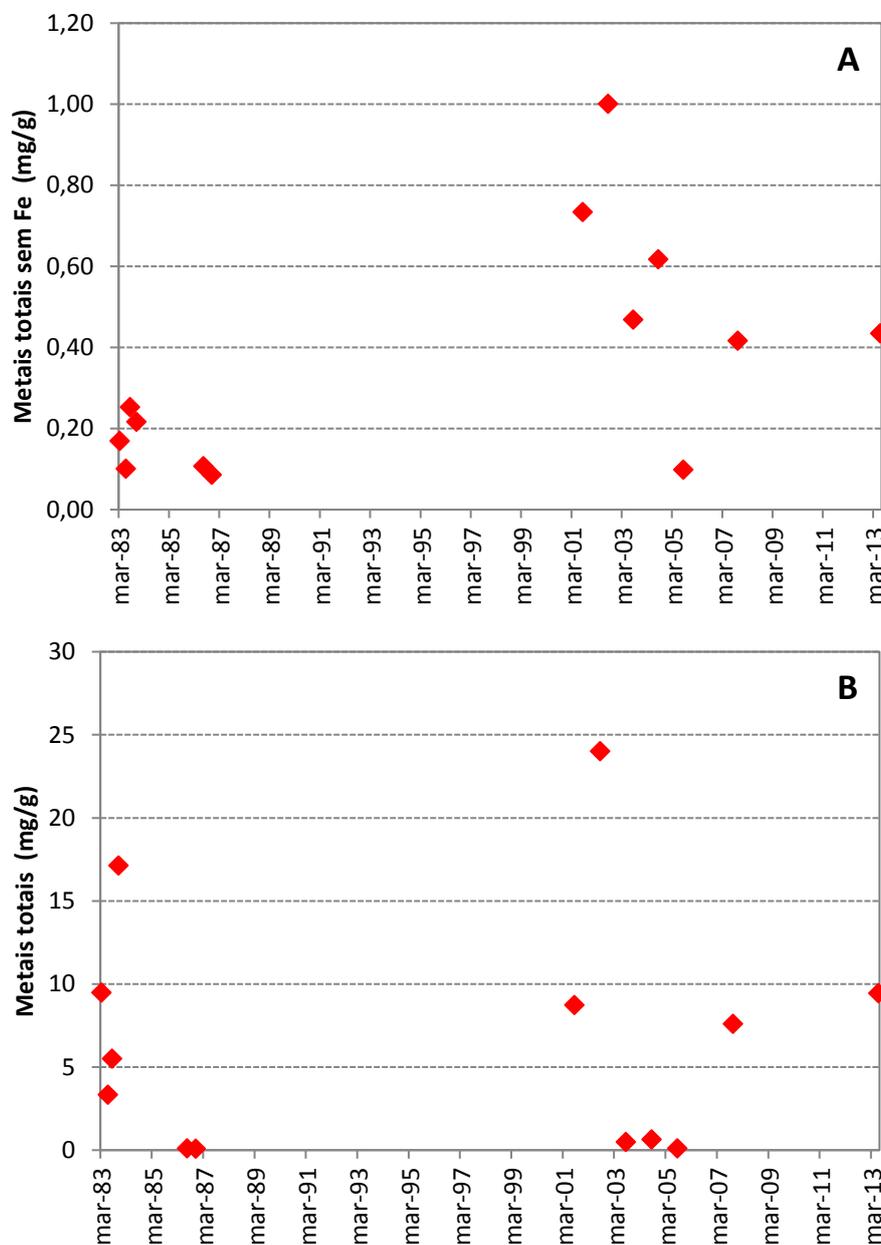
Na Lagoa de Marapendi, os metais foram monitorados nos anos de 1983 e 1986 e depois entre 2001 e 2013. Verifica-se um comportamento diferente da Lagoa de Jacarepaguá. Dos metais amostrados, os que aparecem em maior concentração também são ferro, mercúrio e manganês seguidos de zinco, cobre e chumbo em concentrações mais baixas, conforme Figura 4.24.

Figura 4.24 – Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) nos sedimentos da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.



Um somatório com todos os metais, exceto o ferro, revela concentrações médias com um aumento de 238% para os pontos amostrados nos primeiros 3 anos (jun/83 a out/86) e os últimos 12 anos do período de amostragem (ago/01 a jun/13), de 0,16 mg/g e 0,54 mg/g, respectivamente. Quando analisado o somatório de todos os metais incluindo o ferro nas mesmas frações de tempo - (jun/83 a out/86) e (ago/01 a jul/13), verifica-se um aumento de apenas 23% nas médias entre os períodos, com valores de 5,94 mg/g e 7,28 mg/g, respectivamente, conforme Figura 4.25.

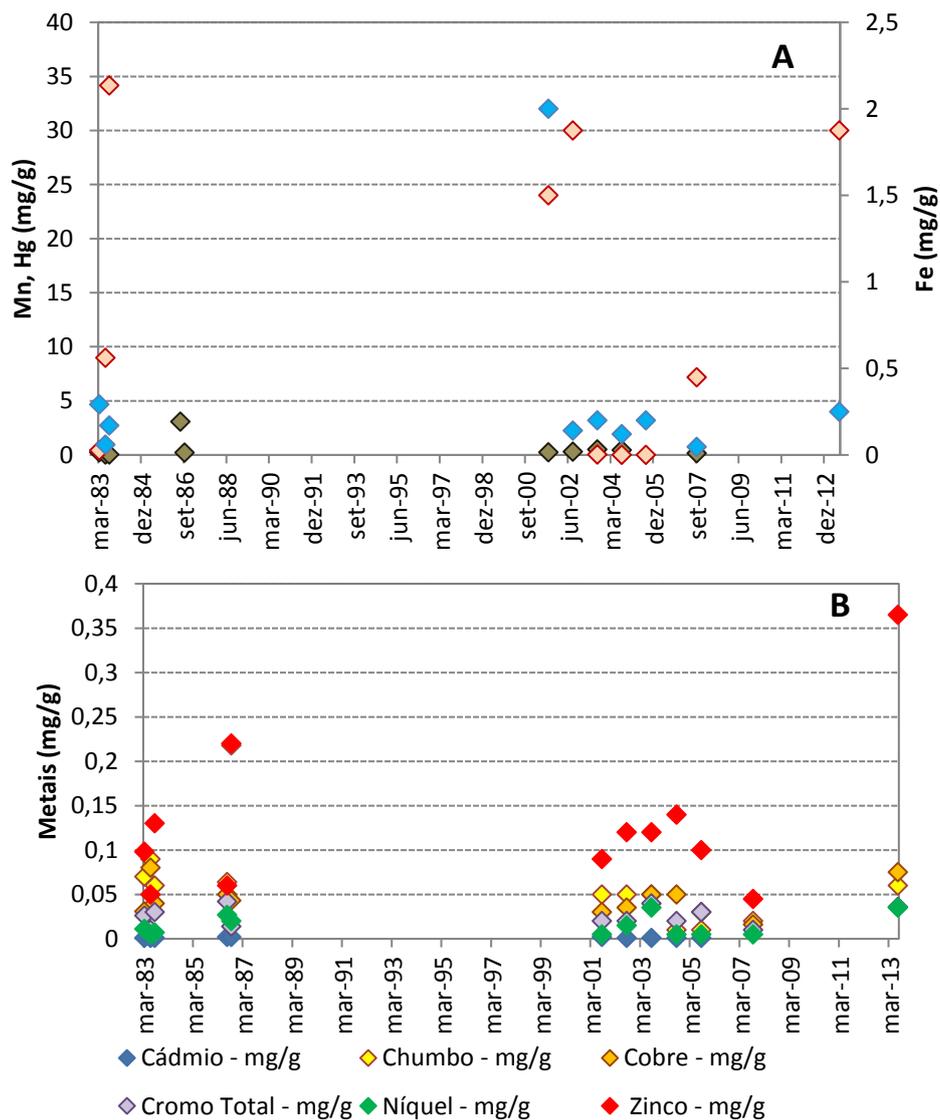
Figura 4.25 – Valores de metais totais (em mg/g) sem a presença de ferro (A) e metais totais (B) nos sedimentos da Lagoa de Marapendi no período de mar/83 a mar/13.



A Lagoa da Tijuca apresentou poucos pontos de amostragem e somente para o último período de estudo (ago/03 a jun/13), impossibilitando realizar uma análise comparativa da influência dos metais na qualidade da água desta lagoa.

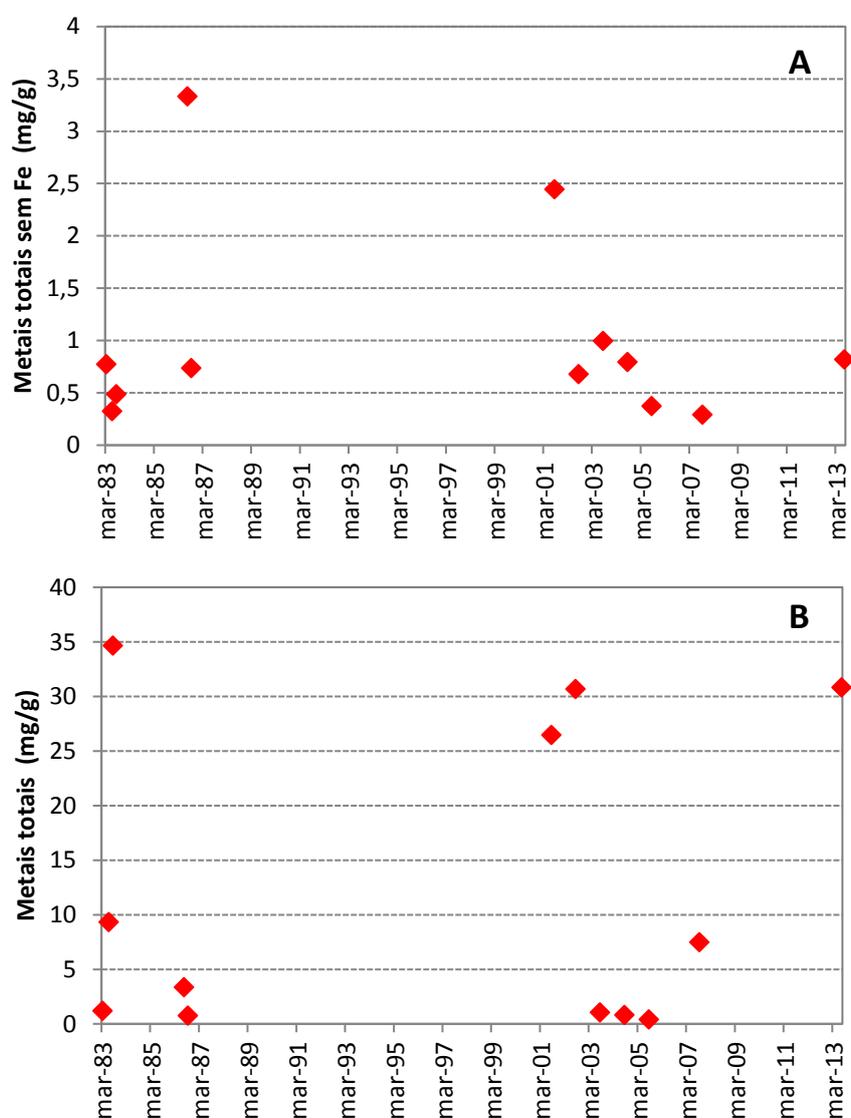
Na Lagoa de Camorim, os metais foram monitorados nos anos de 1983 e 1986 e depois entre 2001 e 2013. Dos metais amostrados, os que aparecem em maior concentração são ferro, mercúrio e manganês seguidos de zinco, cobre e chumbo em concentrações mais baixas, conforme Figura 4.26.

Figura 4.26 – Valores de metais – manganês, mercúrio e ferro (A) e demais metais (B) nos sedimentos da Lagoa de Camorim no período de mar/83 a mar/13.



Um somatório com todos os metais exceto o ferro revela concentrações médias similares para os pontos dos primeiros 3 anos (jun/83 a out/86) e dos últimos 12 anos do período de amostragem (ago/01 a jul/13), de 1,13 mg/g e 0,92 mg/g, respectivamente. Porém, quando analisado o somatório de todos os metais incluindo o ferro nas mesmas frações de tempo - (jun/83 a out/86) e (ago/01 a jul/13), verifica-se um aumento de 42% nas médias entre os períodos, com valores de 9,85 mg/g e 13,95 mg/g, respectivamente, conforme Figura 4.27.

Figura 4.27 – Valores de metais totais (em mg/g) sem a presença de ferro (A) e metais totais (B) nos sedimentos da Lagoa de Camorim no período de mar/83 a mar/13.



Altas concentrações de ferro e manganês são encontradas em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como águas subterrâneas ou nas camadas mais profundas dos lagos. Em condições de anaerobiose, o ferro e o manganês apresentam-se em sua forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ), precipitando quando em contato com o oxigênio (oxidação a  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ). Estes elementos não apresentam inconvenientes à saúde nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, mas podem provocar problemas de ordem estética. As águas de muitas regiões brasileiras, em função das características geoquímicas das bacias de drenagem, apresentam naturalmente teores elevados de ferro e manganês (FUNASA, 2014).

Segundo CETESB (2008), nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. O ferro também aparece, principalmente em águas subterrâneas, devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, formando carbonato ferroso ( $\text{FeCO}_3$ ), que é solúvel.

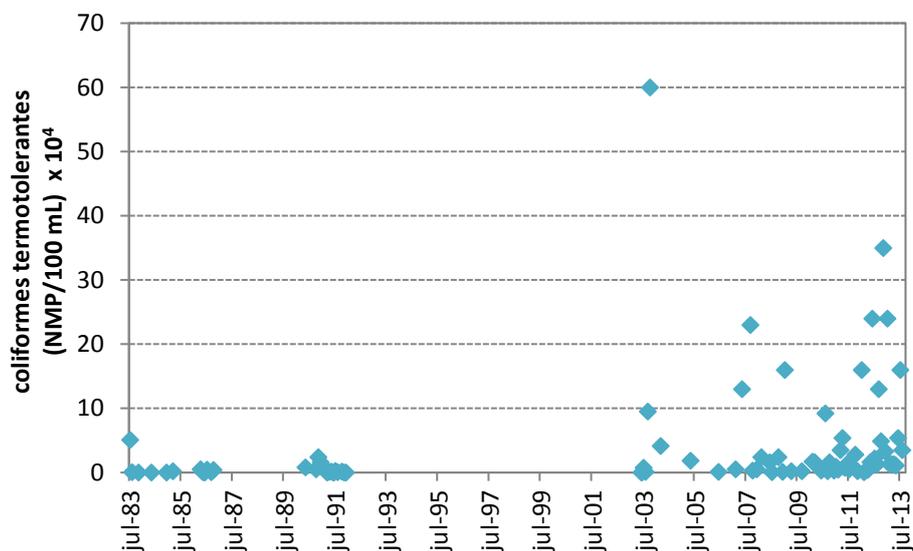
Altas concentrações de metais como chumbo, cobre, zinco, cádmio e mercúrio são verificadas nos corpos d'água quando estes são liberados dos solos e sedimentos por causa do aumento da acidez (na análise dos valores de pH verificaram-se valores mais baixos de pH nos últimos anos). Esses metais podem atingir as águas subterrâneas, rios, lagos e correntes usadas para a provisão de água potável e ser introduzidos nas cadeias alimentares que chegam ao homem (FUNASA, 2014).

#### **- Coliformes Termotolerantes**

O monitoramento de coliformes termotolerantes na Lagoa de Jacarepaguá revela pontos de menor concentração no período de amostragem entre 1983 e 1992 e pontos de maior concentração no período de amostragem entre 2007 e 2013. Apesar dos elevados desvios-padrão, as médias dos valores dos primeiros 8 anos (jul/83 a dez/91) e dos últimos 10 anos (jun/03 a ago/13) do período de amostragem são de  $(5,2 \pm 11,0) \times 10^3$  NMP/100 mL e  $(5,5 \pm 10,3) \times 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente, mostrando um aumento de quase 10 vezes nas médias,

provavelmente em função do descarte de maior volume de esgoto sanitário sem tratamento nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 4.28.

Figura 4.28 – Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Jacarepaguá no período de jul/83 a jul/13.

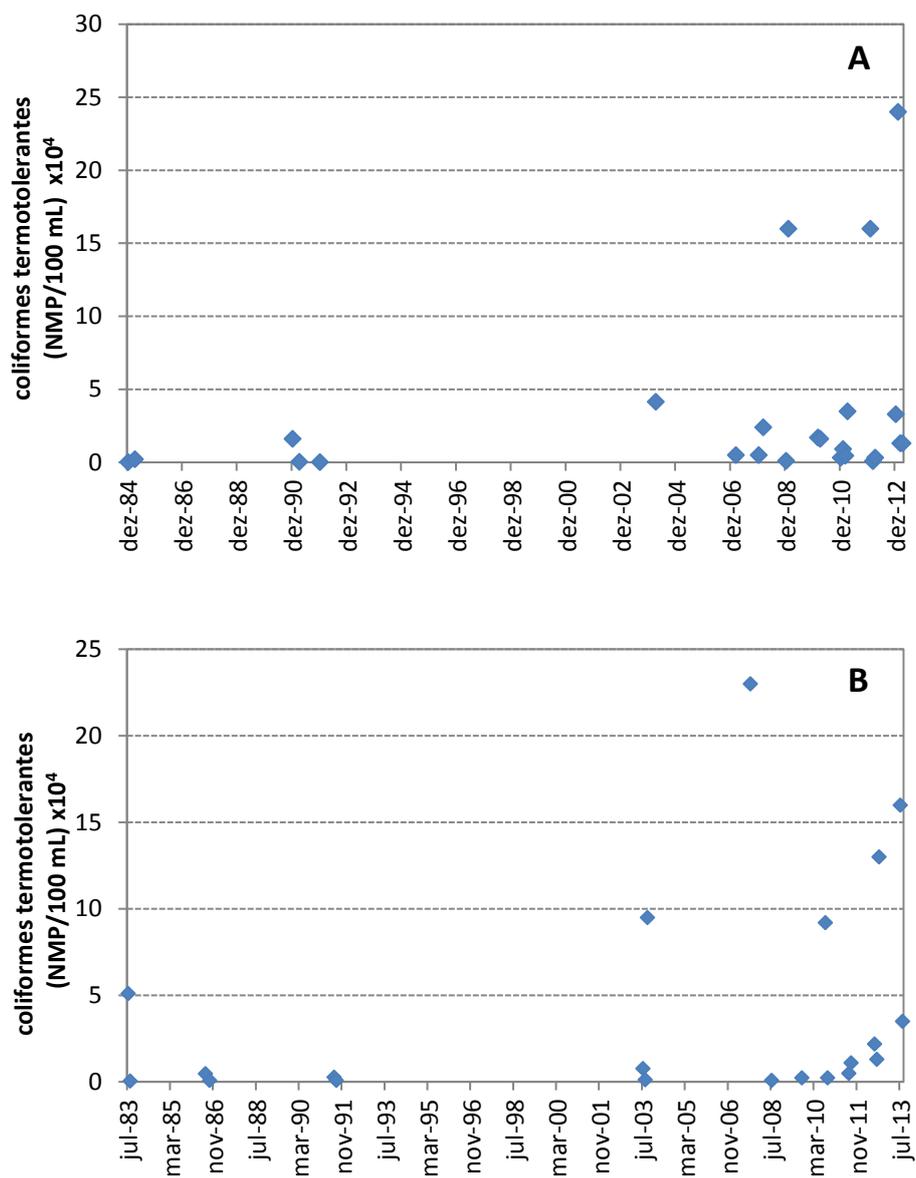


Uma análise de todos os dados amostrados em períodos de chuva e seca separados, nos mostra pouca diferença entre os dois períodos, com médias de  $(3,3 \pm 6,2) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(4,1 \pm 6,4) \times 10^4$  NMP/100 mL para os pontos amostrados em períodos de chuva e seca, respectivamente (Figura 4.29). Uma explicação para tal resultado seria que a diluição da coluna d'água pela maior intensidade de chuvas (que poderia contribuir para menores concentrações de coliformes) é neutralizada pelo maior arraste de esgoto e, conseqüentemente, de coliformes, dos rios e canais que deságuam na lagoa no período de chuva.

Já uma avaliação dos períodos de chuva e seca ao longo dos anos, revela que as médias dos primeiros 8 anos (jul/83 a dez/91) e dos últimos 10 anos (jun/03 a ago/13) dos períodos de chuva foram de  $(3,7 \pm 6,9) \times 10^3$  NMP/100 mL e  $(4,1 \pm 6,7) \times 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente, com um aumento de 10 vezes. Nos períodos de seca, a concentração média de coliformes termotolerantes foi de  $(1,0 \pm 2,0) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(5,4 \pm 7,1) \times 10^4$  NMP/100 mL, nos mesmos períodos de amostragem, com um aumento de 4,3 vezes, conforme Figura 4.29, comprovando o aporte de esgoto mais acentuado nos últimos anos e nos

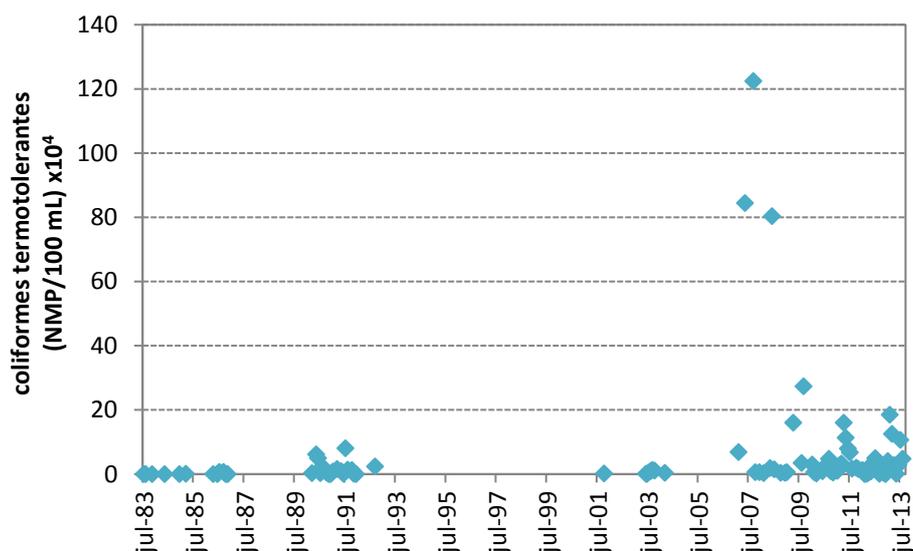
períodos de chuva. Novamente a chuva contribuindo mais para o aumento dos coliformes do que para a diluição de sua concentração.

Figura 4.29 – Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Jacarepaguá no período de Chuvas (dez/84 a jan/13 – A) e no período de Seca (jul/83 a abr/13 – B).



O comportamento da Lagoa de Marapendi com relação aos coliformes termotolerantes é semelhante ao da Lagoa de Jacarepaguá, revelando pontos de menor concentração no período inicial de amostragem, entre 1983 e 1991, e pontos de maior concentração no período final de amostragem, entre 2007 e 2013. Apesar dos elevados desvios-padrão, as médias dos valores dos primeiros 8 anos (jul/83 a dez/91) e dos últimos 10 anos (jun/03 a ago/13) do período de amostragem são de  $(1,1 \pm 2,3) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(8,2 \pm 21,0) \times 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente, mostrando um aumento de quase 8 vezes nas médias, provavelmente em função do descarte de maior volume de esgoto sanitário sem tratamento nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 4.30.

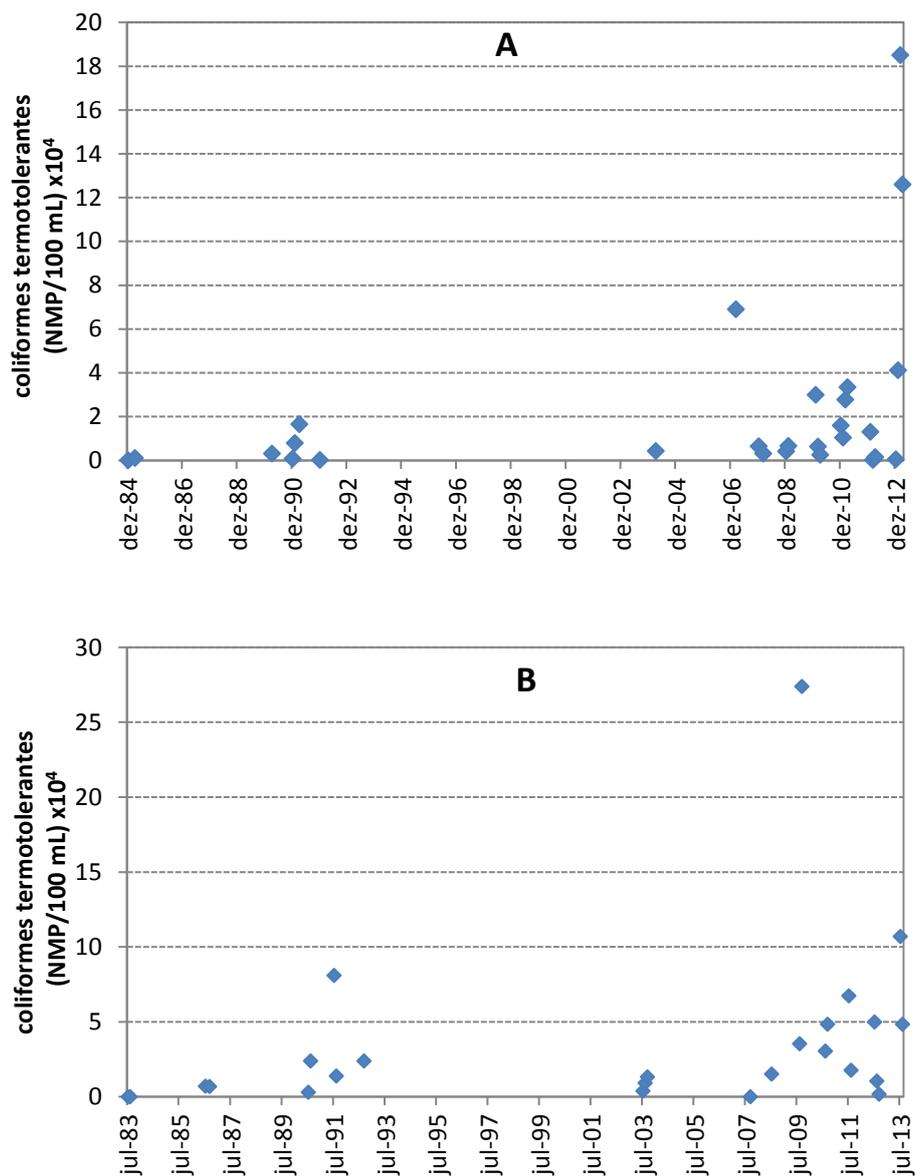
Figura 4.30 – Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Marapendi no período de jul/83 a jul/13.



A análise de todos os dados amostrados na Lagoa de Marapendi em períodos de chuva e seca separados, apresenta pouca variação entre os dois períodos, com médias de  $(2,3 \pm 4,2) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(3,7 \pm 5,8) \times 10^4$  NMP/100 mL para os pontos amostrados em períodos de chuva e seca, respectivamente. Já a análise separada dos períodos de chuva e seca ao longo dos anos revela que as médias dos primeiros 8 anos (dez/83 a dez/91) e dos últimos 10 anos (mar/03 a ago/13) dos períodos de chuva foram de  $(0,4 \pm 0,6) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(2,9 \pm 4,7) \times 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente, com um aumento de 7 vezes, conforme Figura 4.31. Nos períodos de seca, a concentração média de

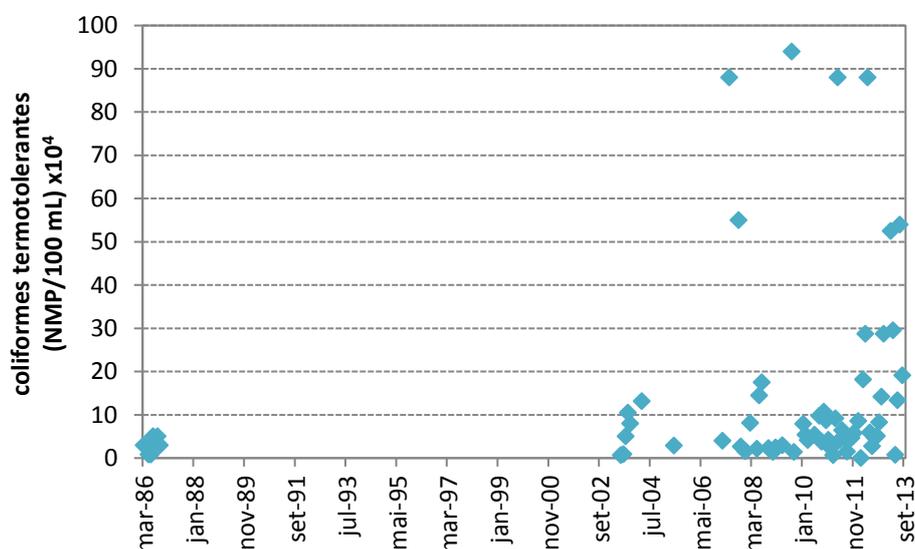
coliformes termotolerantes foi de  $(1,7 \pm 2,7) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(4,9 \pm 6,8) \times 10^4$  NMP/100 mL, nos mesmos períodos de amostragem, com um aumento de quase 3 vezes, conforme Figura 4.31, comprovando o aporte de esgoto mais acentuado nos últimos anos e nos períodos de chuva.

Figura 4.31 – Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Marapendi no período de chuvas entre dez/84 a jan/13 (A) e seca entre jul/83 a a jul/13 (B).



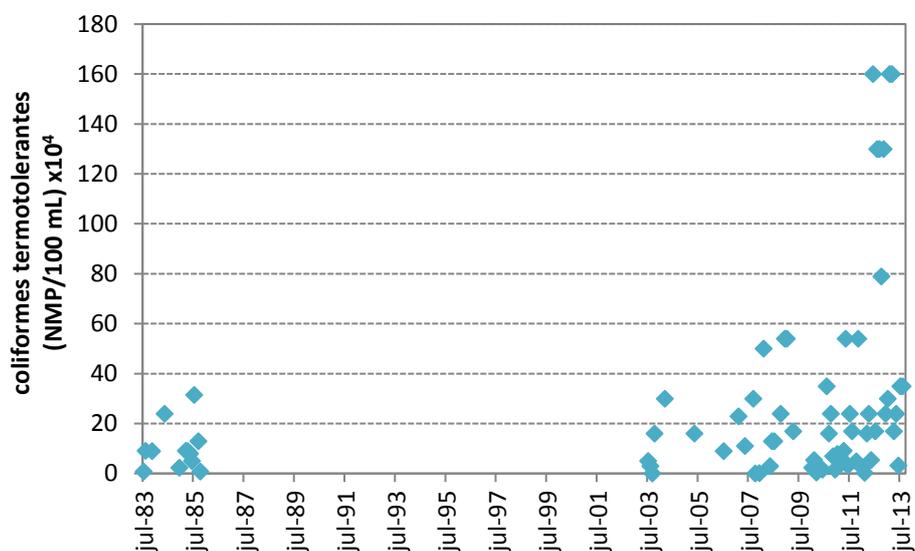
O monitoramento dos coliformes termotolerantes na Lagoa da Tijuca foi pouco consistente, tendo sido realizado em apenas alguns meses em 1986, interrompido e retomado posteriormente no período de junho de 2003 a agosto de 2013. Para este último período de amostragem, apesar dos elevados desvios-padrão, as médias dos valores são de  $(15 \pm 23) \times 10^4$  NMP/100 mL, conforme a Figura 4.32. Para um estudo comparativo, esses poucos resultados não permitem estabelecer uma correlação.

Figura 4.32 – Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Tijuca no período de mar/86 a set/13.



Na Lagoa de Camorim o monitoramento dos coliformes também teve uma amostragem pequena no período inicial, compreendendo apenas 3 (três) anos de jul/83 a out/85. Para este período, apesar dos elevados desvios-padrão, as médias dos valores amostrados são de  $(10 \pm 9) \times 10^4$  NMP/100 mL e para os 10 (dez) últimos anos, compreendendo o período de jul/03 a ago/13, as médias dos valores são de  $(31 \pm 42) \times 10^4$  NMP/100mL, representando um aumento de 3 vezes nas médias, conforme apresentado na Figura 4.33, provavelmente em função do descarte de maior volume de esgoto sanitário sem tratamento nos últimos anos, porém em quantidade inferior ao observado nas Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi.

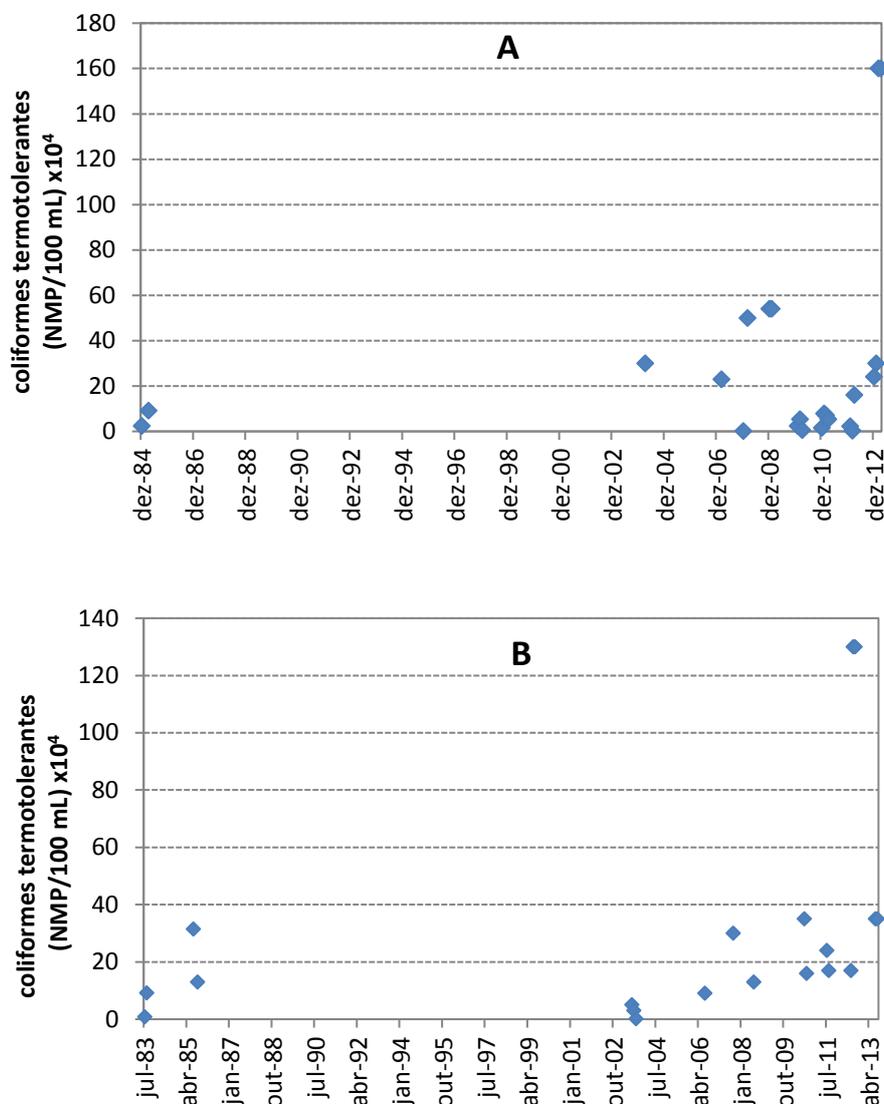
Figura 4.33 - Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Camorim no período de jul/83 a jul/13.



A análise de todos os dados amostrados em períodos de chuva e seca separados, não apresentou variação entre os dois períodos, com médias de  $(29 \pm 46) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(29 \pm 37) \times 10^4$  NMP/100 mL para os pontos amostrados em períodos de chuva e seca, respectivamente. Porém, quando os dados são analisados separadamente em períodos de chuva e seca ao longo dos anos, observa-se que as médias para os primeiros 2 anos (dez/84 a mar/85) e dos últimos 10 anos (mar/04 a mar/13) nos períodos de chuva foram de  $(5,8 \pm 4,8) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(32 \pm 47) \times 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente, com um aumento de 5,5 vezes, conforme Figura 4.34.

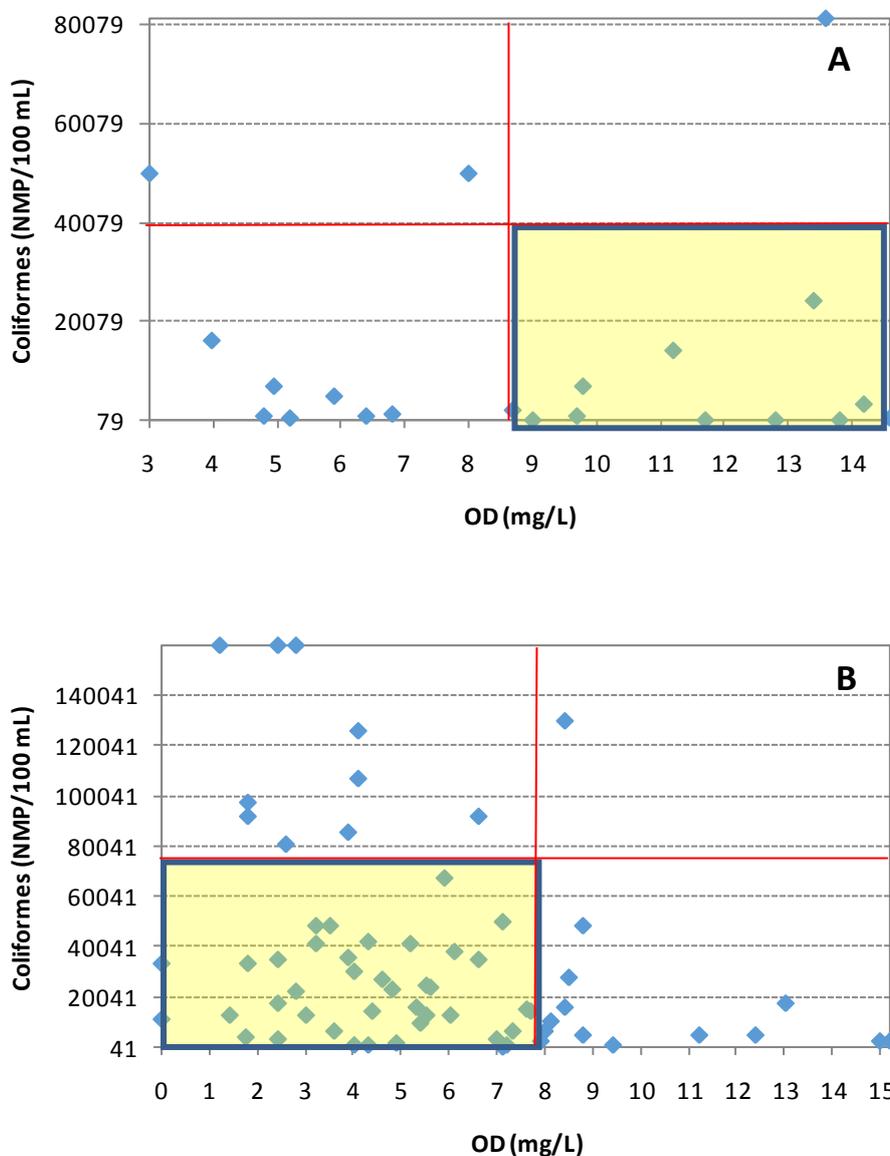
Nos períodos de seca, a concentração média de coliformes termotolerantes foi de  $(14 \pm 13) \times 10^4$  NMP/100 mL e  $(33 \pm 41) \times 10^4$  NMP/100 mL, nos mesmos períodos de amostragem, com um aumento de quase 2,4 vezes, conforme Figura 4.34, comprovando o aporte de esgoto mais acentuado nos últimos anos e nos períodos de chuva.

Figura 4.34 - Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) para a Lagoa de Camorim no período de chuvas entre dez/84 a mar/13 (A) e no período de seca entre jul/83 a jul/13 (B).



Correlacionando todos os dados de coliformes termotolerantes e OD amostrados nas lagoas, os dados coletados de 1983 a 1992 se concentram no quartil com valores de OD > 9 mg/L e até  $2,4 \times 10^4$  NMP/100 mL. Enquanto os dados de 2007 a 2013 se concentram no quartil com OD < 8 mg/L e coliformes até  $8,0 \times 10^4$  NMP/100 mL (Figura 4.35). Esta correlação não só comprova que o aumento da população microbiana reduz as concentrações de OD como também que nos anos mais recentes houve uma contribuição maior da descarga de esgoto sanitário nas lagoas, aumentando consideravelmente a população de coliformes e conseqüentemente reduzindo os níveis de OD.

Figura 4.35 – Correlação entre concentração de Coliformes Termotolerantes e OD amostrados nas lagoas no período de 1983 a 1992 (A) e no período de 2007 a 2013 (B).



Enquanto somente *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal, coliformes termotolerantes podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição, e também em águas de regiões tropicais ou sub-tropicais sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. No entanto, a presença de coliformes termotolerantes em águas de regiões de clima quente não pode

ser ignorada, pois não pode ser excluída, nesse caso, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos (CETESB, 2008).

A presença de microrganismos patogênicos na água indica sua contaminação a partir do solo, por descargas intencionais de esgoto ou liberados de matéria orgânica de animais em decomposição. As bactérias do grupo coliformes, por exemplo, sobrevivem apenas durante curtos períodos de tempo na água e, de modo geral, admite-se que, quando presentes, a contaminação é recente, porém alguns efluentes são tão poluídos com matéria orgânica que as bactérias coliformes não apenas sobrevivem, mas podem se manter como populações significativas à custa de uma lenta multiplicação (FUNASA, 2014).

Pela Resolução CONAMA nº 375/2005, o número de coliformes termotolerantes em águas salobras de classe 2 “não deve exceder um limite de 2500 por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.” Os valores obtidos nos últimos anos excede e muito este limite, comprovando o despejo de matéria orgânica, provavelmente de origem fecal.

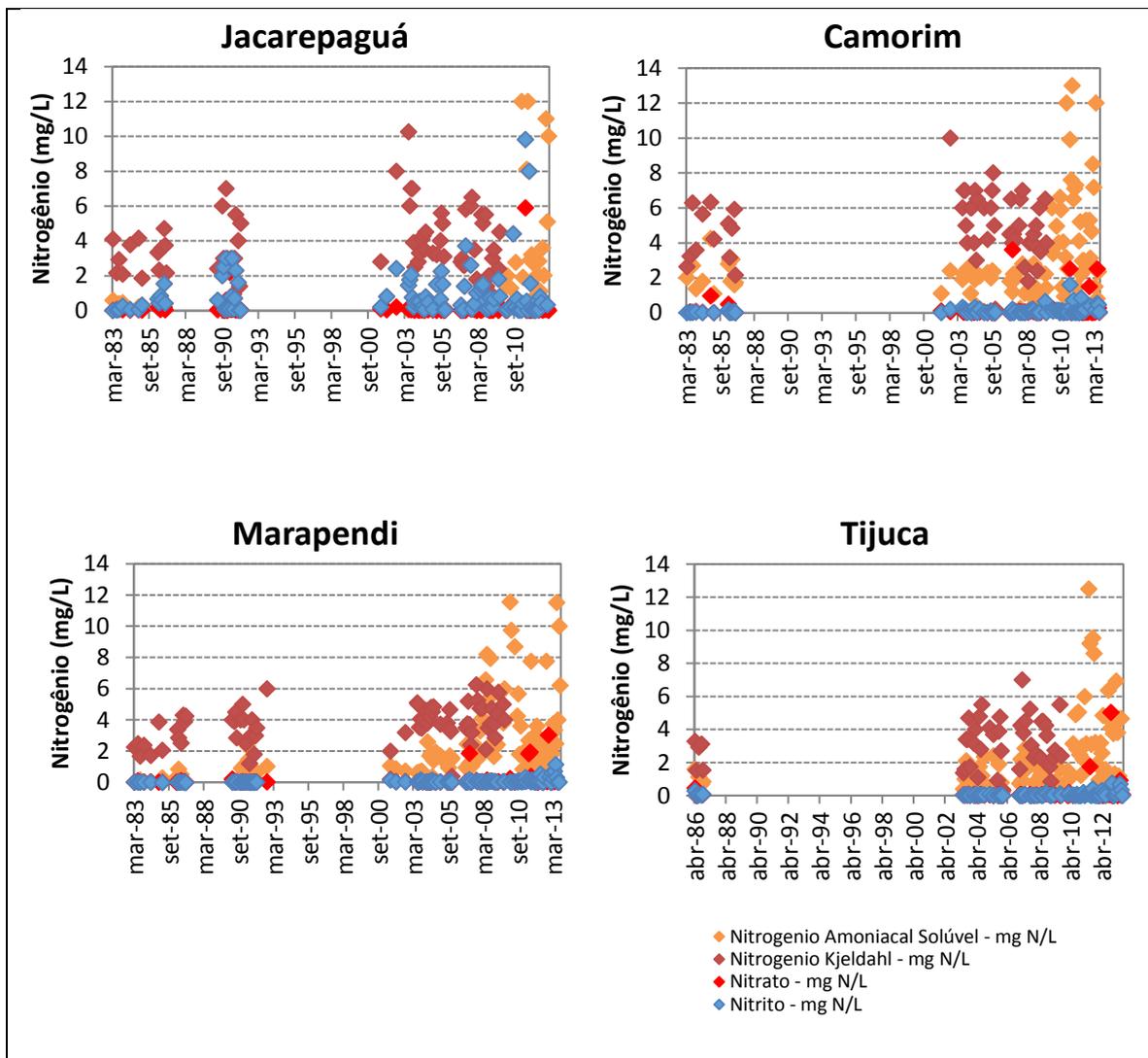
#### **- Nutrientes (N e P)**

Na Figura 4.36 são apresentados os valores de concentração para as diferentes formas de nitrogênio monitoradas nas quatro lagoas no período de 1983 a 2013.

Para um melhor entendimento das variações das espécies nitrogenadas monitoradas nas lagoas no período de 1983 a 2013, os resultados obtidos foram divididos em dois períodos. Na Tabela 4.1 são apresentadas as médias e desvios-padrão obtidos em cada período para as quatro lagoas.

No primeiro período (mar/83 a set/92), observam-se maiores concentrações de Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) e Nitrogênio amoniacal (associados ao despejo de esgoto sanitário sem tratamento) seguidas de nitrito e nitrato para todas as lagoas.

Figura 4.36 – Concentração de diferentes formas de nitrogênio nas Lagoas estudadas no período de mar/83 a jul/13.



No entanto, ao se considerar as médias e desvios-padrão para o segundo período (jul/01 a jul/13), percebe-se um agravamento da poluição. De um período para o outro, ocorrem aumentos de até 522% das concentrações de N amoniacal. Este elevado aumento da concentração de N amoniacal decorre do aumento de matéria orgânica nitrogenada proveniente dos esgotos domésticos, mais acentuado nas lagoas de Marapendi e Tijuca.

Tabela 4.1 – Médias e desvios-padrão das formas nitrogenadas nas lagoas nos períodos iniciais (mar/83 a set/92) e finais (jul/01 a jul/13) do monitoramento.

Lagoa		Jacarepaguá			Marapendi			Camorim			Tijuca		
Forma/período		mar/83 a dez/91	jul/01 a jul/13	Δ (%)	mar/83 a set/92	jul/01 a jul/13	Δ (%)	mar/83 a out/86	jul/01 a jul/13	Δ (%)	abr/86 a out/86	jul/03 a jul/13	Δ (%)
NKT (mg N/L)	Média	3,25	4,00	18	3,14	4,02	28	4,42	5,09	15	2,49	3,31	30
	DP	1,38	1,99		1,13	1,13		1,46	1,85		0,88	1,51	
N-NH <sub>3</sub> (mg N/L)	Média	0,81	1,98	150	0,46	2,86	522	2,10	3,09	47	0,83	2,50	300
	DP	0,91	2,82		0,56	2,73		1,06	2,85		0,49	2,33	
Nitrito (mg N/L)	Média	0,76	0,95	15	0,01	0,11	1000	0,03	0,14	367	0,08	0,08	0
	DP	0,94	1,61		0,01	0,18		0,05	0,25		0,10	0,13	
Nitrato (mg N/L)	Média	0,21	0,15	0	0,04	0,18	350	0,15	0,21	40	0,12	0,17	40
	DP	0,45	0,70		0,04	0,50		0,29	0,61		0,17	0,64	
Total	Média	4,85	5,13	6	3,65	7,17	96	6,70	8,53	27	3,51	6,05	70
	DP	2,98	4,36		1,74	4,53		2,86	5,55		1,63	4,61	

O aumento percentual extremamente elevado de nitrito (367% e 1000%) nas Lagoas de Camorim e Marapendi de um período para outro demonstra que houve um processo de nitrificação, sendo a amônia, decorrente da presença de esgotos domésticos, oxidada a nitrito e nitrato. As Figuras 4.37 e 4.38 apresentam os valores obtidos para as diferentes formas nitrogenadas nas quatro lagoas nos dois períodos separados.

Tomando o parâmetro N amoniacal como exemplo para avaliação dos resultados obtidos em períodos de seca e chuva (Figuras 4.39 e 4.40), nos períodos de seca as concentrações médias de N amoniacal são maiores que nos períodos de chuva. Na Tabela 4.2 podem ser visualizadas as médias, desvios-padrão e a relação entre os valores medidos em períodos de seca e chuva, verificando-se que os valores em geral são maiores nos períodos de seca. O que pode ser atribuído à redução das taxas de nitrificação (oxidação da amônia a nitrito e nitrato) nas temperaturas mais baixas dos períodos de seca.

Zoppas et al. (2016) cita resultados de vários autores sobre o efeito da temperatura na nitrificação, confirmando que a velocidade de nitrificação diminui drasticamente quando a temperatura das águas se encontra abaixo de 10°C, enquanto que temperaturas entre 28 e 30°C estimulam o crescimento de bactérias oxidadoras de amônio. A faixa de temperatura para cultura de *Nitrosomonas* está entre 30 e 36°C, com crescimento ótimo em 35°C. Para a cultura de *Nitrobacter* a temperatura varia de 8 a 28°C, com crescimento ótimo em 28°C. Em temperaturas inferiores a 15°C ocorre diminuição da atividade de *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Além disso, quando a temperatura decrescia a 10°C a eficiência da nitrificação decrescia a níveis menores do que 65%.

Figura 4.37 - Diferentes formas de nitrogênio no período de mar/83 a set/92.

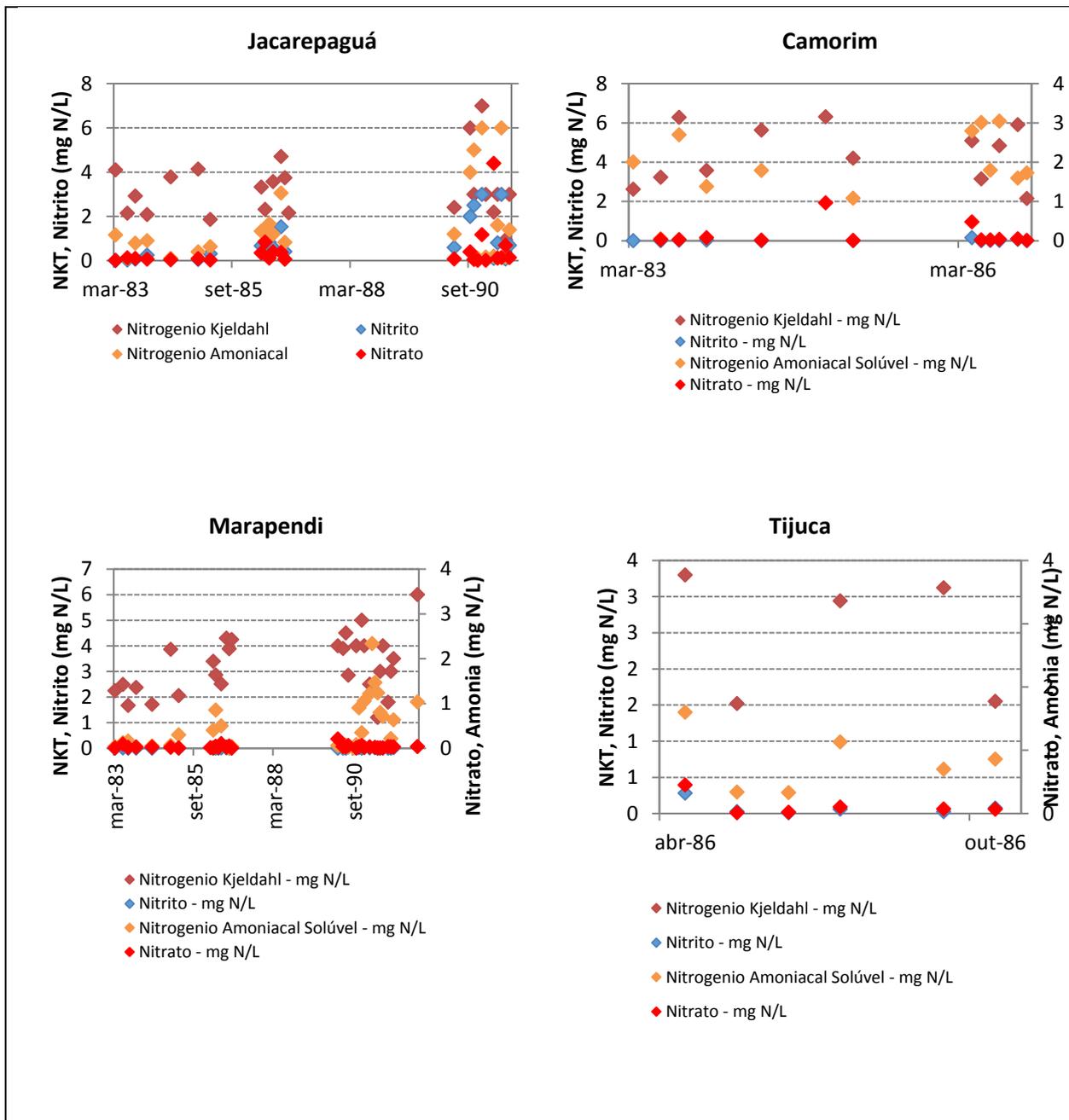


Figura 4.38 – Diferentes formas de nitrogênio no período de jul/01 a jul/13.

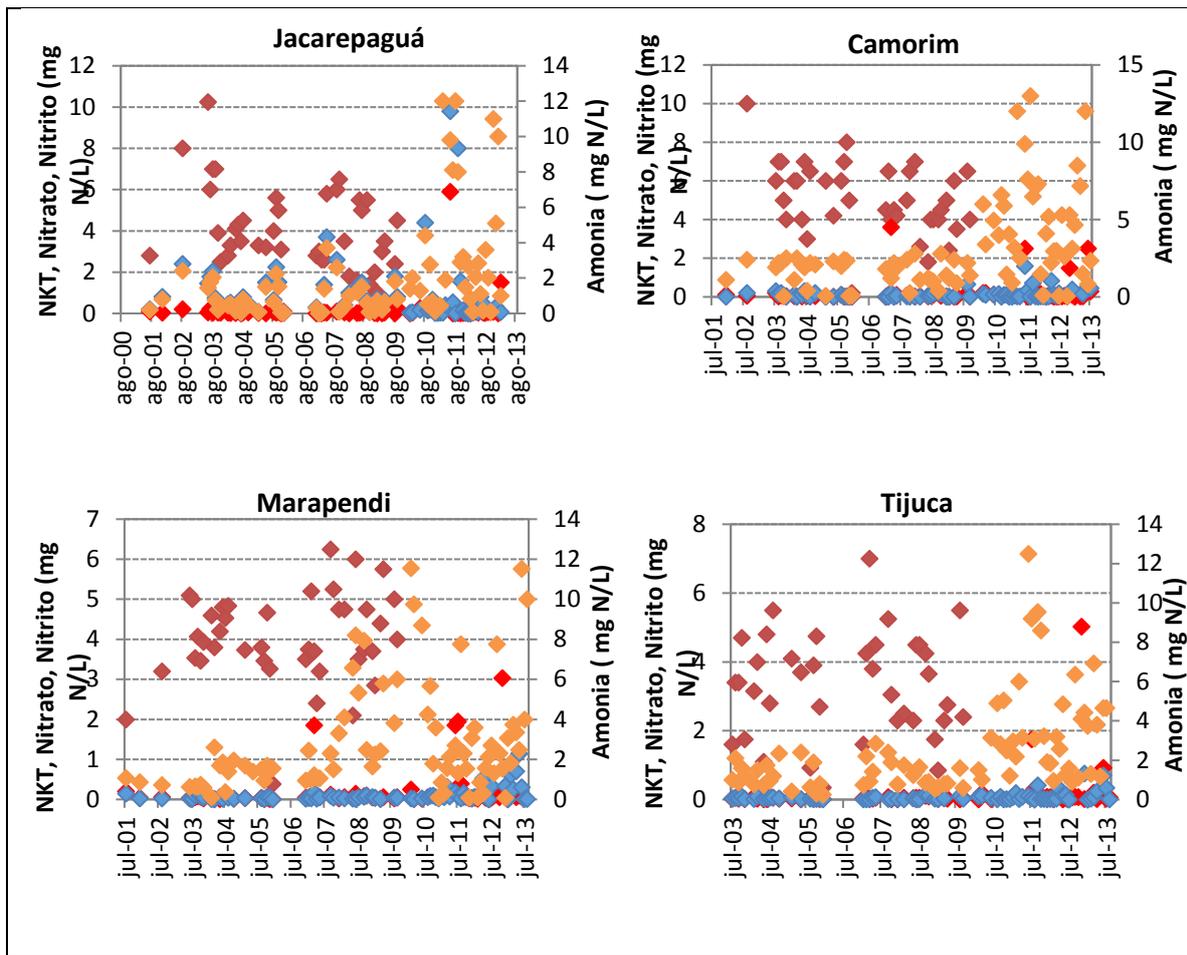


Figura 4.39 - Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de Jacarepaguá e Camorim nos períodos de seca e chuva.

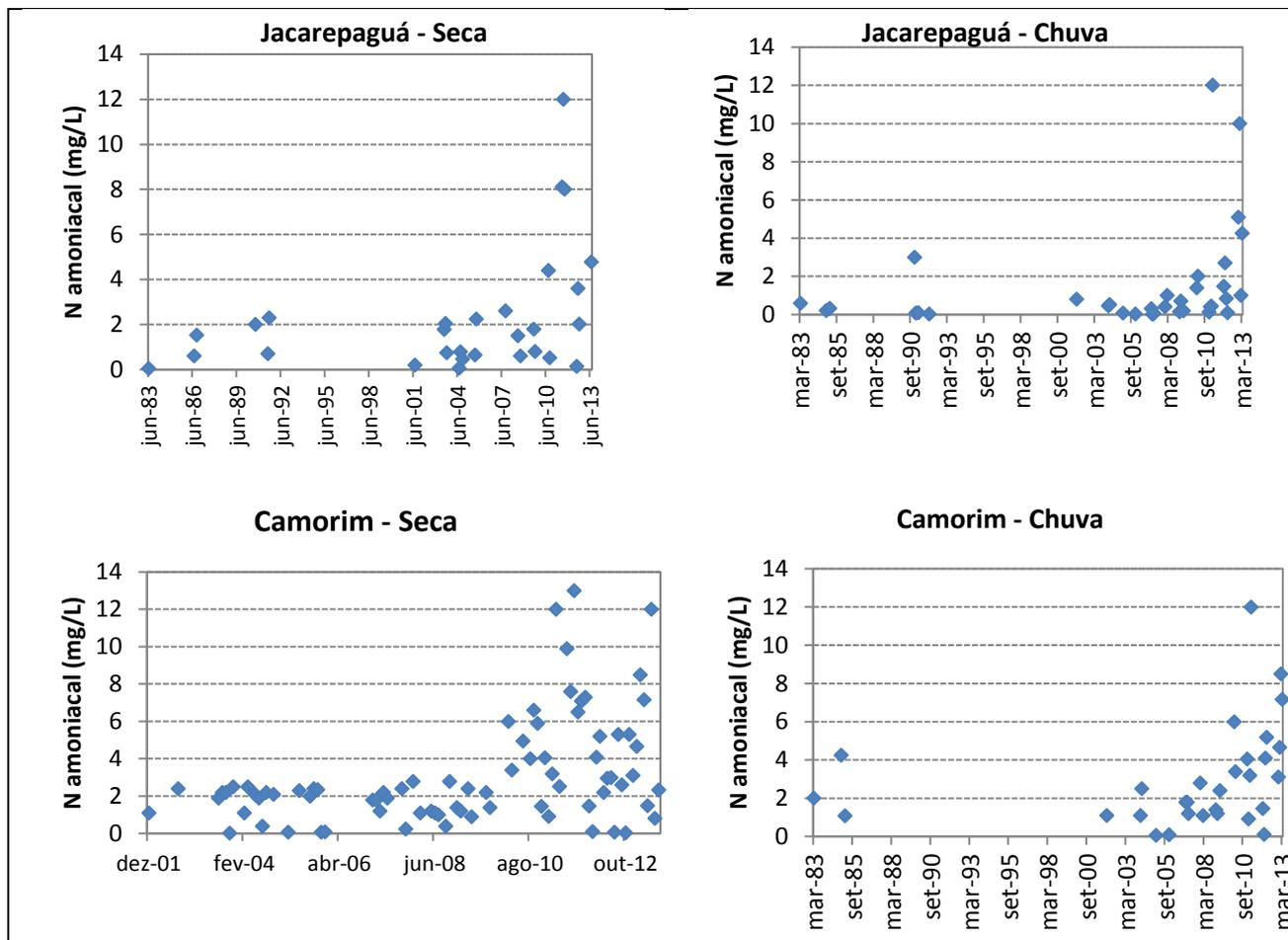


Figura 4.40 - Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de Marapendi e Tijuca nos períodos de seca e chuva

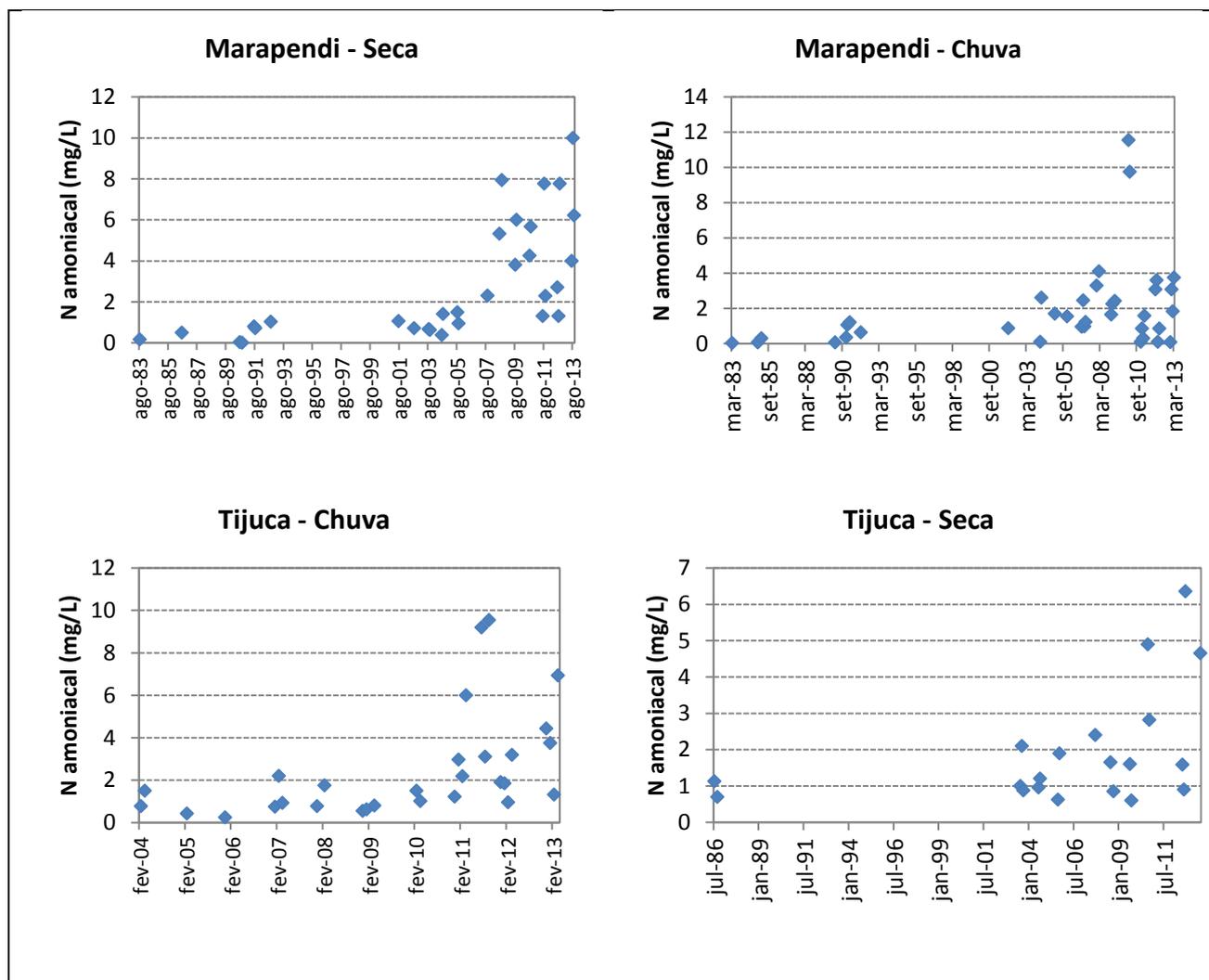


Tabela 4.2 – Médias e desvios-padrão das concentrações de N amoniacal nas lagoas nos períodos de seca e chuva do monitoramento.

Lagoa	Período		
	Seca	Chuva	S/C
Jacarepaguá	2,31	1,50	1,54
	2,79	2,71	
Marapendi	2,88	1,95	1,48
	2,84	2,46	
Camorim	3,00	2,99	1,00
	2,88	2,69	
Tijuca	1,94	2,50	0,78
	1,60	2,50	

As concentrações de N amoniacal são consideravelmente maiores que o limite recomendado na Resolução CONAMA nº: 357/2005 para águas salobras da classe 2: (0,7 mg/L). A amônia é bastante tóxica para os peixes, muitas espécies morrem em concentrações  $\geq 5$  mg/L. A amônia também reduz o OD das águas por oxidação biológica, conhecida como DBO de segundo estágio (CETESB, 2009).

Tal resultado indica a presença de matéria orgânica nitrogenada (medida como NKT) nas lagoas. Além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos, o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento em corpos d'água de despejos domésticos e industriais, de criatórios de animais e de fertilizantes. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água (FUNASA, 2014; CETESB, 2008). Pode-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. O predomínio de N amoniacal indica uma zona de decomposição ativa (CETESB, 2008).

As concentrações de Fósforo total nas Lagoas se apresentam bem variáveis ao longo do tempo (Figura 4.41). No entanto, ao se analisar as médias em dois períodos de tempo, no início do período estudado e em anos mais recentes, verificam-se valores 30 a 279% maiores nos anos mais recentes, conforme apresentado na Tabela 4.3.

Não se verifica influência da temperatura ou do volume de água nas lagoas sobre a concentração de fósforo total, pois as médias nos períodos de chuva e seca são muito próximas (Figuras 4.42 e 4.43 e Tabela 4.3).

Figura 4.41 – Concentração de Fósforo Total no período de mar/83 a jul/13.

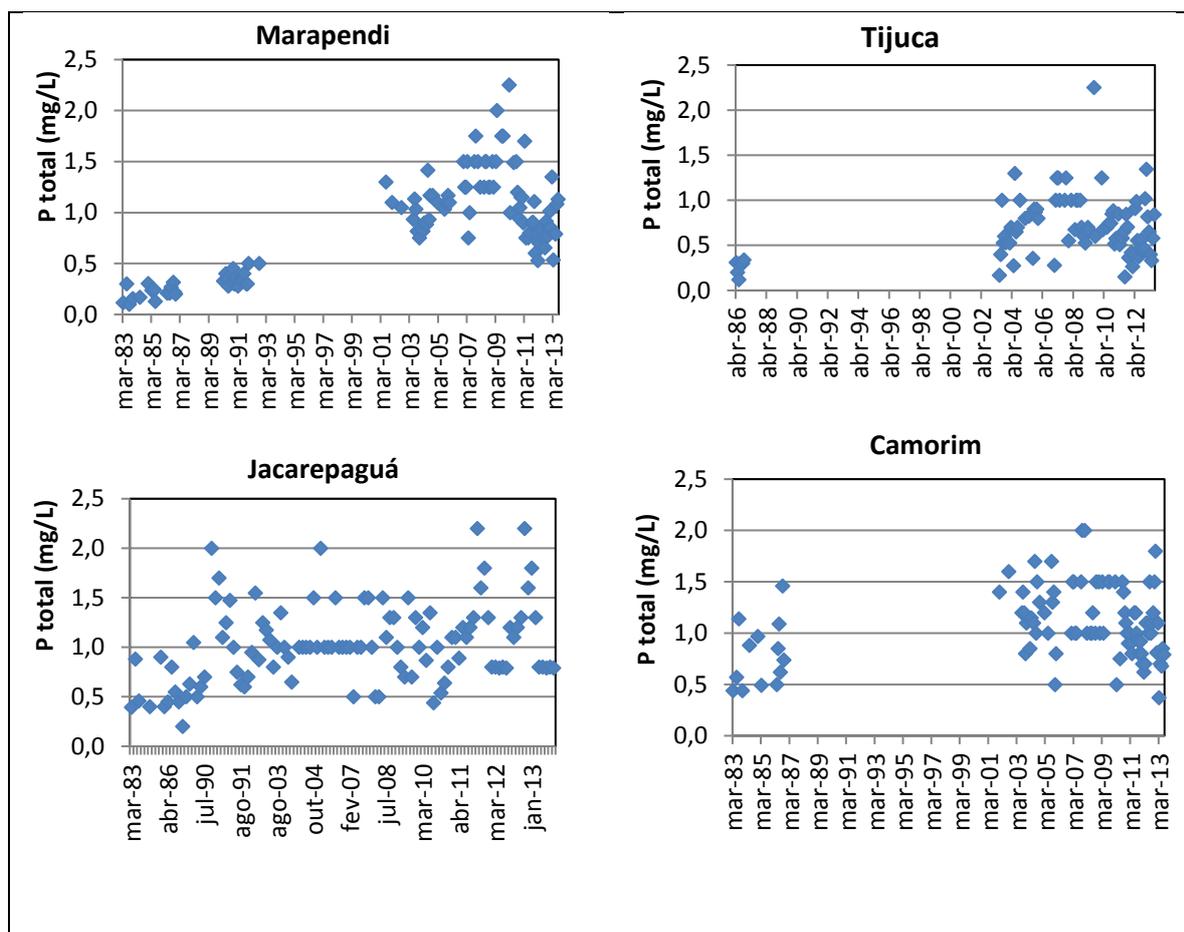


Figura 4.42 – Concentração de Fósforo Total (mg/L) nas Lagoas de Jacarepaguá e Camorim nos períodos de chuva e de seca.

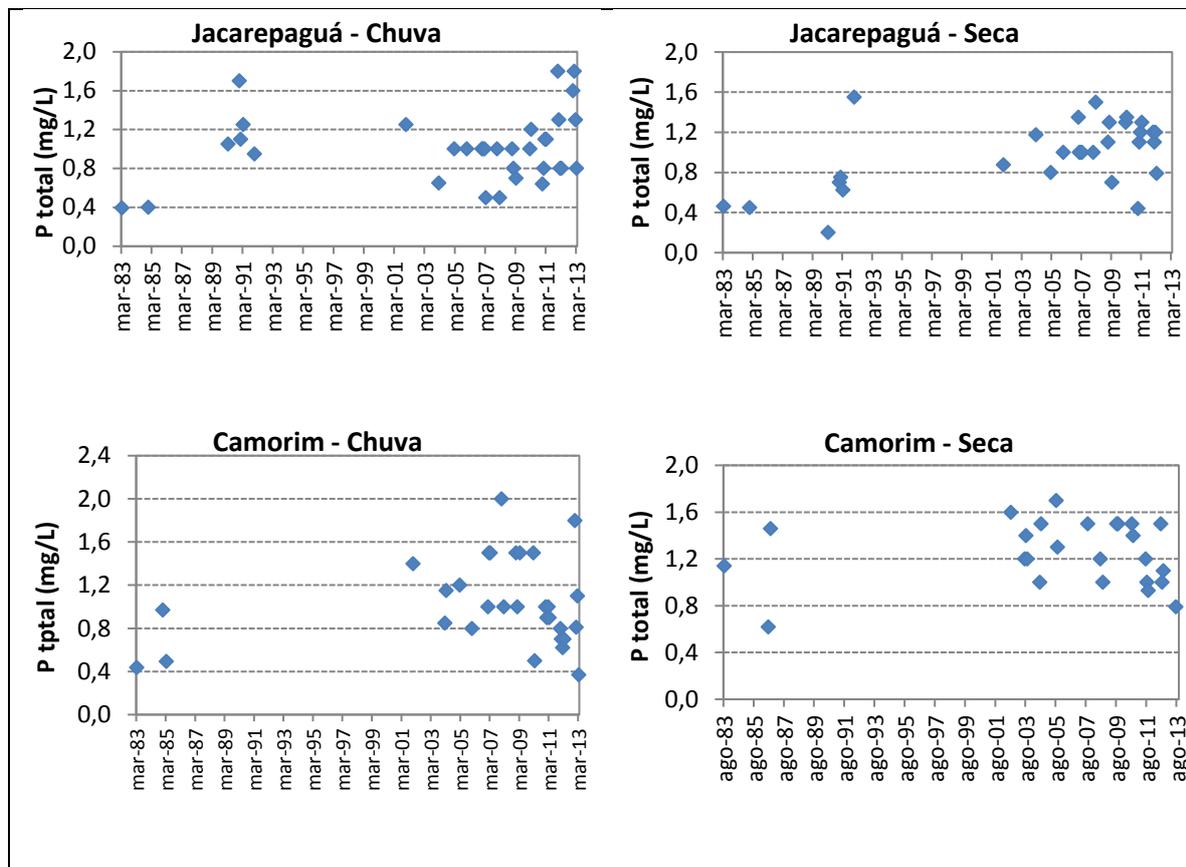


Figura 4.43 – Concentração de Fósforo Total (mg/L) nas Lagoas de Marapendi e Tijuca nos períodos de chuva e de seca.

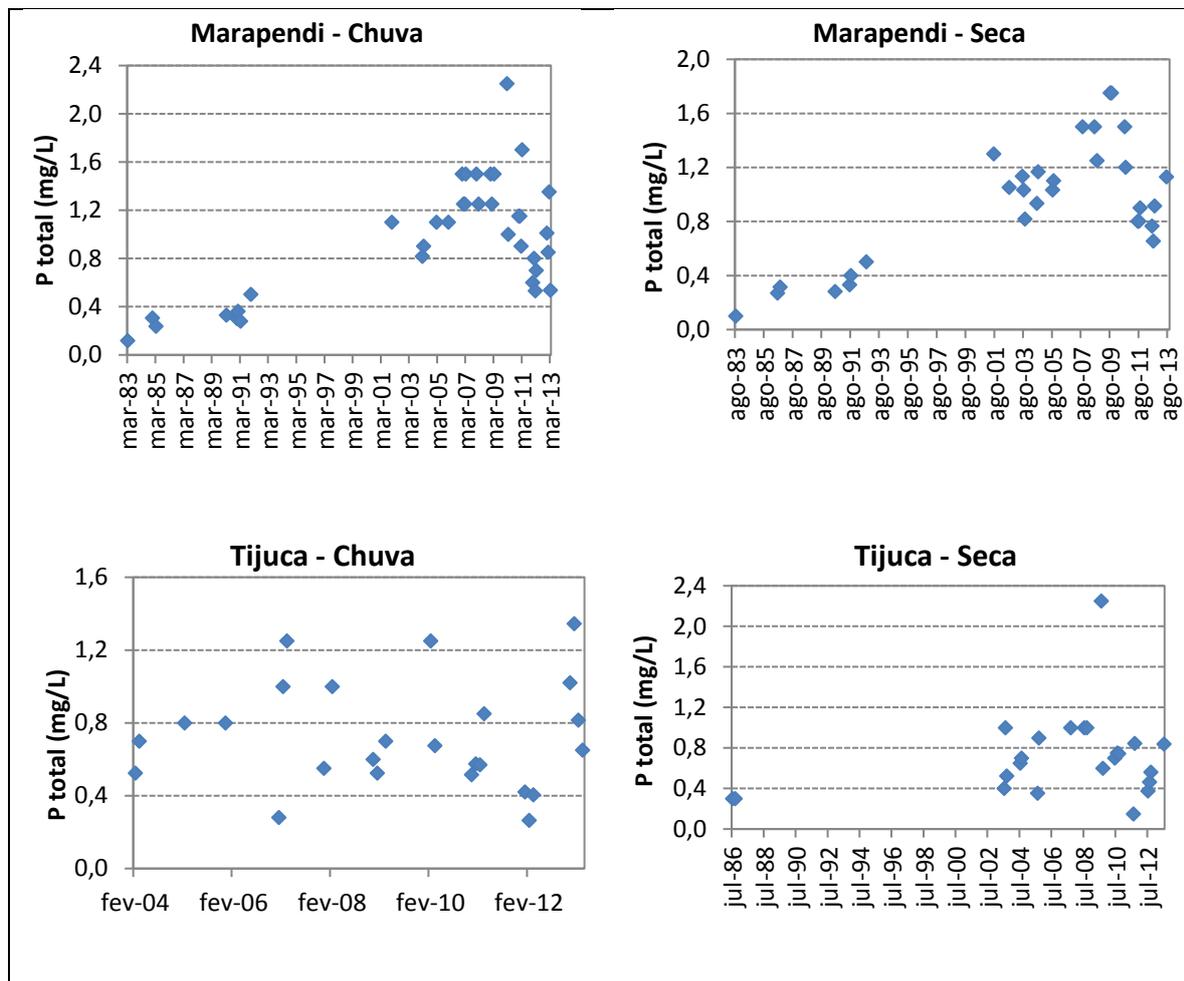


Tabela 4.3 – Médias e desvios-padrão de fósforo total nas lagoas nos períodos iniciais e finais do monitoramento. \* (C/S).

Lagoa	Período	Média ± DP	Δ(%)
Jacarepaguá	mar/83 a set/92	0,84 ± 0,45	30
	jul/01 a jul/13	1,09 ± 0,26	
	Chuva	1,01 ± 0,36	1,0*
	Seca	0,98 ± 0,34	
Camorim	mar/83 a out/86	0,78 ± 0,34	40
	dez/01 a jul/13	1,13 ± 0,34	
	Chuva	1,25 ± 0,27	1,2*
	Seca	1,03 ± 0,41	
Marapendi	mar/83 a set/92	0,29 ± 0,72	279
	dez/01 a jul/13	1,10 ± 0,34	
	Chuva	0,96 ± 0,49	1,0
	Seca	0,94 ± 0,44	
Tijuca	abr/86 a out/86	0,26 ± 0,08	180
	jun/03 a jul/13	0,73 ± 0,33	
	Chuva	0,72 ± 0,29	1,0
	Seca	0,71 ± 0,42	

A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 a 0,05 mg/L (FUNASA, 2014). As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) dependem do pH, sendo mais comum na faixa usual de pH o  $\text{HPO}_4^{2-}$  (VON SPERLING, 2005).

Considerando que o fósforo também teria origem nos descartes de esgoto doméstico, o aumento observado é bem menor que o encontrado para N amoniacal. Duas explicações são possíveis para este resultado. A primeira seria a de que os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total menor que a de nitrogênio total, com concentrações na faixa de 5

a 20 mgP/L (JORDÃO, 1995), enquanto a concentração de nitrogênio total é de 20 a 85 mg/L, ou seja, concentrações 4 vezes menores, em média.

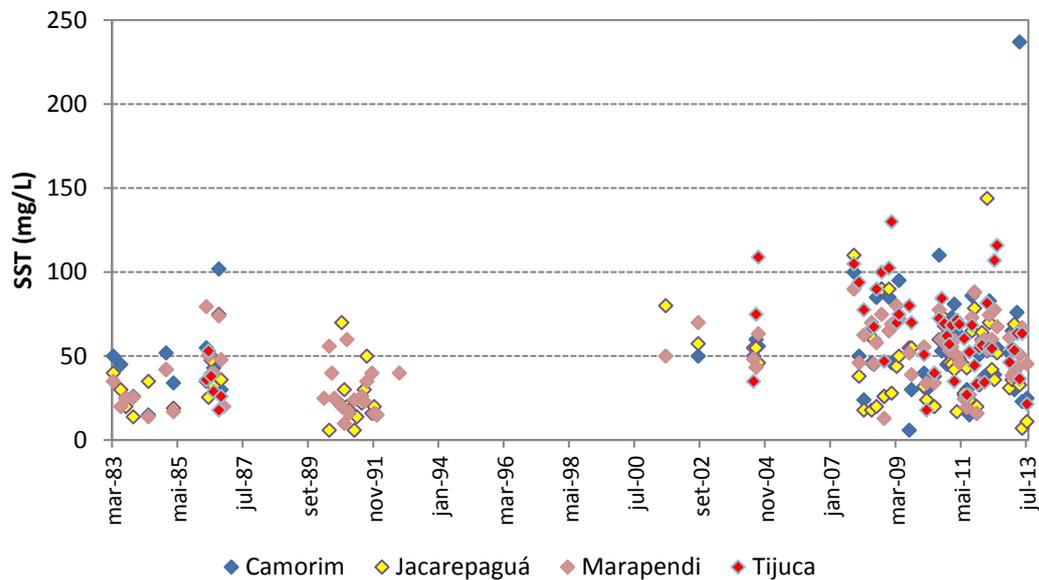
Outra explicação seria a de o fósforo apresenta mais mecanismos de remoção do que o N amoniacal. Estando preferencialmente na forma de o-fosfatos solúveis podem ser consumidos por microrganismos fotossintetizantes e também podem precipitar como fosfatos insolúveis. Os mesmos mecanismos de remoção empregadas nas tecnologias de tratamento podem acontecer no ambiente, incluindo métodos de remoção química (precipitação química e adsorção) e biológica (consumo por bactérias, macroalgas e microalgas) (MARONEZE et al., 2014).

Ainda assim, os valores encontrados nas lagoas estão acima do padrão para águas salobras de classe 2 (0,186 mg/L como fósforo total) pela Resolução Conama nº 357/2005, principalmente no período de amostragem mais recente. Quando excessivo em ambientes aquáticos, o fósforo tem sido considerado responsável por problemas causados pela eutrofização. O transporte de fósforo de solos para ambientes aquáticos pode criar condições nutricionais favoráveis ao crescimento acima do normal de fito e zooplâncton, além de plantas aquáticas superiores. Este crescimento exagerado de biomassa causa aumento na DBO, alteração de pH, turbidez e liberação de toxinas, que podem causar a morte de peixes e animais (Novais e Smyth, 1999 apud LOURES et al., 2006).

#### **- Sólidos Suspensos Totais e Turbidez**

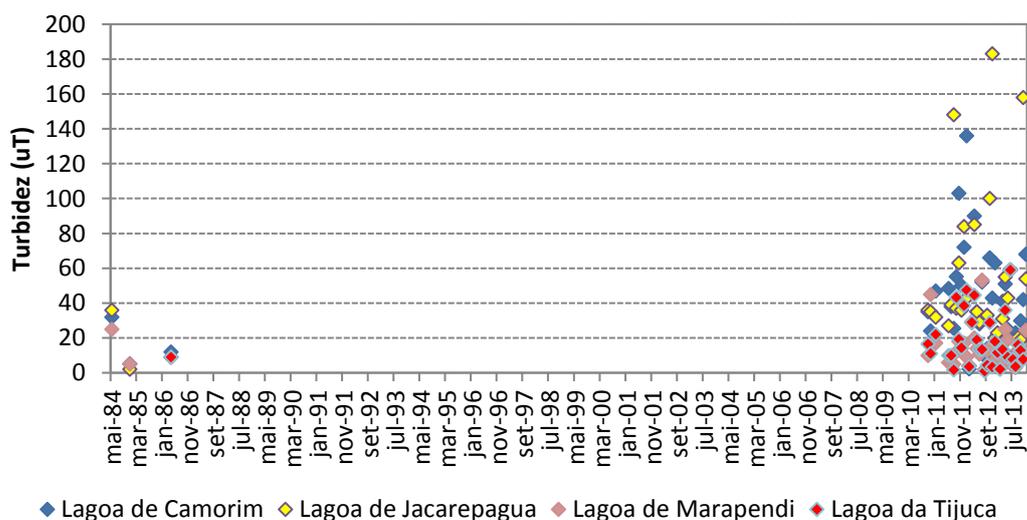
Os sólidos suspensos totais (SST) obtidos durante todo o período de amostragem se comportam de forma semelhante nas lagoas. Enquanto no período mais antigo de amostragem (de mar/83 a set/92) verifica-se média e desvio-padrão de  $33 \pm 20$  mg/L, nos últimos 10 anos (jul/01 a jul/13) é de  $57 \pm 27$  mg/L, ou seja, um aumento de 42%, conforme Figura 4.44.

Figura 4.44 – Sólidos Suspensos Totais nas lagoas no período de mar/83 a jul/13.



A turbidez encontrada nas lagoas durante o período de amostragem também apresenta comportamento semelhante nas lagoas. Enquanto nos primeiros 3 anos da amostragem (de mar/83 a mai/86) verifica-se média e desvio-padrão de  $(14 \pm 12)$  uT, nos últimos 3 anos (out/10 a dez/13) aumenta para  $(31 \pm 31)$ uT, ou seja, um aumento de 220%, conforme a Figura 4.45.

Figura 4.45 – Turbidez nas lagoas no período de mar/84 a jul/13



Pela Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração de sólidos em águas salobras de classe 2 é controlada indiretamente, estabelecendo-se ausência virtual de materiais flutuantes, substâncias que produzem turbidez e resíduos sólidos objetáveis.

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos). A presença de sólidos em suspensão e o consumo de oxigênio caracterizam o segundo estágio de poluição (poluição total). Neste estágio os corpos receptores tornam-se realmente afetados pela carga poluidora que recebem, e normalmente ocorre durante o desenvolvimento industrial e o crescimento das áreas urbanas. Os prejuízos causados ao corpo receptor e, em consequência, à população, podem ser reduzidos com a implantação de sistemas eficientes de tratamento de água e de esgotos (FUNASA, 2014).

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática, podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo a decomposição anaeróbia. Os esgotos sanitários provocam elevações na turbidez das águas, que pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, reduzindo a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas e suprimindo a produtividade de peixes (CETESB, 2008).

### **- Temperatura**

A temperatura da água das lagoas foi medida sempre na superfície d'água e é ligeiramente inferior à temperatura do ar. Na Lagoa de Jacarepaguá, verifica-se uma diferença de 2,2°C em média no período de chuva e de apenas 1,5°C no período de seca entre água e ar. As temperaturas da água das Lagoas de Camorim e Marapendi são semelhantes, com uma diferença de apenas 1°C em média no período de chuva e variando entre 1° a 2°C no período de seca entre água e ar. Enquanto na água da Lagoa da Tijuca há uma diferença de 2°C em média nos períodos de chuva e seca entre água e ar.

Na coluna d'água, a temperatura varia, sendo maior nos períodos de chuva que nos períodos de seca, com uma diferença de 4,4 – 6,0°C a mais nos períodos de chuva. Comparando as médias de temperatura da água das quatro lagoas, entre os períodos mais antigo e recente de amostragem, não se percebe uma diferença muito acentuada entre os dois períodos (diferença entre os valores médios de 1 a 2°C), conforme apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Médias e desvios-padrão de Temperatura (°C) nas lagoas nos períodos iniciais e finais do monitoramento e nos períodos de chuva e seca.

$\Delta$  = (período antigo - período recente) e (chuva – seca).

Lagoa	Período	Média $\pm$ DP	$\Delta$ (°C)
Jacarepaguá	jul/83 a out/86	26,0 $\pm$ 3,9	1,5
	jul/03 a jul/13	24,5 $\pm$ 2,6	
	Chuva	27,3 $\pm$ 2,3	4,4
	Seca	22,9 $\pm$ 1,9	
Camorim	mar/83 a out/86	26,0 $\pm$ 3,0	1,0
	mar/03 a jul/13	25,0 $\pm$ 2,0	
	Chuva	28,0 $\pm$ 2,0	6,0
	Seca	22,0 $\pm$ 2,0	
Marapendi	mar/83 a out/86	26,0 $\pm$ 3,0	2,0
	mar/03 a jul/13	24,0 $\pm$ 3,0	
	Chuva	27,0 $\pm$ 2,0	6,0
	Seca	21,0 $\pm$ 2,0	
Tijuca	abr/83 a out/86	25,0 $\pm$ 3,0	2,0
	mar/03 a out/13	23,0 $\pm$ 3,0	
	Chuva	26,0 $\pm$ 2,0	5,0
	Seca	w	

A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas), não sendo necessariamente um indicador de poluição por despejos domésticos. No entanto, a temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias, contribuindo para a intensificação dos processos de degradação de matéria orgânica e de nitrificação (FUNASA,

2014). Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2008).

Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de 20°C a 30°C (FUNASA, 2014). Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

### **Teste t-Student**

Devido a grande variabilidade dos dados amostrados no período de 1983 a 2013 para os diversos parâmetros de qualidade da água, foi necessário utilizar uma análise estatística, conhecida como Teste t de *Student*. Esta análise foi conduzida a partir de uma amostra aleatória, sob a suposição de que a mesma é proveniente de uma distribuição atribuída como Normal, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  (BARROS e MAZUCHELLI, 2005).

Partiu-se da hipótese nula de que o crescimento populacional não teria impacto sobre a qualidade das águas. No Apêndice A são apresentados os resultados encontrados no Test t de *Student* para cada um dos parâmetros analisados nas quatro lagoas em estudo. Os resultados  $P(T \leq t)$  uni-caudal e bi-caudal para nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, DBO e sólidos suspensos em todas as lagoas mostram que a probabilidade da hipótese nula se confirmar é descartável, pois os valores encontrados são muito próximos a zero. Descartando a hipótese nula, tem-se a confirmação da segunda hipótese de que o crescimento populacional realmente influencia na qualidade das águas do complexo lagunar.

Alguns parâmetros, tais como: Nitrogênio Kjeldahl e nitrato, com exceção da Lagoa de Marapendi, nitrito (Lagoas de Jacarepaguá e Tijuca), sedimentos com e sem a presença de ferro e temperatura apresentaram  $P(T \leq t)$  uni-caudal e bi-caudal com valores não tão baixos, não sendo possível afirmar que a diferença observada entre os dados é significativa. Outros fatores podem ter interferido nas amostras, como registros incorretos, forma de coleta da amostra da água, falta de dados em determinados períodos de tempo, entre outros. Seria necessária uma estatística descritiva, com análise de dados mais aprofundada para se ter uma afirmação mais conclusiva.

Para alguns parâmetros não foi possível aplicar o Teste t de *Student* em todas as lagoas por falta de dados amostrais, tais como pH, DBO, OD e sedimentos sem a presença do ferro para a Lagoa da Tijuca, sedimento com a presença de ferro para as Lagoas de Jacarepaguá e Tijuca e temperatura para a Lagoa de Marapendi.

Na Tabela 4.5 é apresentado um resumo dos resultados da análise estatística aplicada a cada parâmetro. Observa-se que das 39 aplicações do Teste t de *Student* para os diversos parâmetros e nas quatro lagoas, 22 apresentaram diferença significativa entre os dados dos dois períodos, ou seja, 56% dos dados apresentam diferenças significativas.

A relação entre o aumento dos parâmetros analisados e o crescimento populacional entre os dois períodos de amostragem analisados é discutida no próximo item.

Tabela 4.5 – Resultado da análise estatística aplicada a cada parâmetro

Lagoas	Período	N. Amoniacal	N. Kjeldhal	Nitrato	Nitrito	DBO	OD	Coliformes T.	SST	Sed. sem Fe	Sed. com Fe	pH	Temperatura
Jacarepaguá	mar/83 a dez/91	0,81±0,91 <sup>D</sup>	3,25±1,38 <sup>N</sup>	0,21±0,45 <sup>N</sup>	0,76±0,94 <sup>N</sup>	11±7 <sup>D</sup>	9,4±4,1 <sup>D</sup>	(5,2±11,0)×10 <sup>3D</sup>	42±20 <sup>D</sup>	0,74 <sup>N</sup>	29,15 <sup>N</sup>	8,0±0,6	26,0 ± 3,9 <sup>N</sup>
	fev/05 a mar/13	1,98±2,82 <sup>D</sup>	4,00±1,99 <sup>N</sup>	0,15±0,70 <sup>N</sup>	0,95±1,61 <sup>N</sup>	15±12 <sup>D</sup>	6,3±4,1 <sup>D</sup>	(5,5±10,3)×10 <sup>4D</sup>	57±27 <sup>D</sup>	0,63 <sup>N</sup>	1,9 <sup>N</sup>	7,8±0,6	24,5 ± 2,6 <sup>N</sup>
Camorim	mar/83 a dez/91	2,10±1,06 <sup>D</sup>	4,42±1,46 <sup>N</sup>	0,15±0,29 <sup>N</sup>	0,03±0,05 <sup>D</sup>	16 ± 9 <sup>D</sup>	5,6±2,6 <sup>D</sup>	(10 ± 9)×10 <sup>4D</sup>	45±21 <sup>N</sup>	1,13 <sup>N</sup>	9,85 <sup>N</sup>	7,6 ± 0,5 <sup>D</sup>	26,0 ± 3,0 <sup>N</sup>
	fev/05 a mar/13	3,09±2,85 <sup>D</sup>	5,09±1,85 <sup>N</sup>	0,21±0,61 <sup>N</sup>	0,14±0,25 <sup>D</sup>	20 ± 15 <sup>D</sup>	4,2 ± 3,8 <sup>D</sup>	(31±42)×10 <sup>4D</sup>	57±35 <sup>N</sup>	0,92 <sup>N</sup>	13,95 <sup>N</sup>	7,5 ± 1,2 <sup>D</sup>	25,0 ± 2,0 <sup>N</sup>
Tijuca	mar/83 a dez/91	0,83±0,49 <sup>D</sup>	2,49±0,88 <sup>N</sup>	0,12±0,17 <sup>N</sup>	0,08±0,10 <sup>N</sup>	7±4	5,1±3,5	-	33±12 <sup>D</sup>	-	-	7,9±0,3	25,0 ± 3,0
	fev/05 a mar/13	2,50±2,33 <sup>D</sup>	3,31±1,51 <sup>N</sup>	0,17±0,64 <sup>N</sup>	0,08±0,13 <sup>N</sup>	11±8	4,6±2,5	-	66±25 <sup>D</sup>	-	-	7,7±0,4	23,0 ± 3,0
Marapendi	mar/83 a dez/91	0,46±0,56 <sup>D</sup>	3,14±1,13 <sup>D</sup>	0,04±0,04 <sup>D</sup>	0,01±0,01 <sup>D</sup>	12±6 <sup>N</sup>	9,4±3,9 <sup>D</sup>	(1,1±2,3)×10 <sup>4D</sup>	33±18 <sup>D</sup>	0,16 <sup>D</sup>	5,94	8,1±0,5	26,0 ± 3,0 <sup>N</sup>
	fev/05 a mar/13	2,86±2,73 <sup>D</sup>	4,02±1,13 <sup>D</sup>	0,18±0,50 <sup>D</sup>	0,11±0,18 <sup>D</sup>	10±7 <sup>N</sup>	5,7±3,7 <sup>D</sup>	(8,2±21,0)×10 <sup>4D</sup>	55±18 <sup>D</sup>	0,54 <sup>D</sup>	7,28	7,7±0,5	24,0 ± 3,0 <sup>N</sup>

Legenda:

D = os valores diferem significativamente antes e depois do crescimento populacional.

N = os valores não diferem significativamente antes e depois do crescimento populacional.

Nota: O test-t de Student não foi aplicado para os valores que não apresentam letras, devido a falta de dados consistentes.

## **4.2. Impactos ambientais e correlação com crescimento populacional**

Os impactos ambientais constatados no Complexo Lagunar de Jacarepaguá estão relacionados, de forma direta ou indireta, com o crescimento populacional expressivo da Barra da Tijuca nos últimos 30 anos. A abertura de rodovias, construção de pontes, pavimentação de ruas, edificação de grandes condomínios residenciais, shopping centers, hospitais, prédios comerciais, entre outros, causaram impactos ambientais relevantes para a fauna e flora locais, tais como: o desmatamento, a erosão das encostas, a retirada da faixa marginal de proteção das lagoas, a destruição da vegetação dos manguezais, a poluição dos corpos hídricos, o assoreamento, a eutrofização e diminuição do espelho d'água das lagoas.

A explosão demográfica, aliada a uma falta de infraestrutura em saneamento adequada no que tange ao tratamento e destinação final de esgotos domésticos e efluentes industriais da região, ocasionaram efeitos danosos ao meio ambiente deste importante complexo lagunar e que carece de uma ação rápida e eficaz de recuperação de suas condições naturais.

De acordo com Von Sperling (2005), uma bacia hidrográfica sob a ação humana sofre uma série de consequências mais rapidamente que em áreas agricultáveis, são elas:

- Assoreamento: A crescente urbanização e loteamentos causa a movimentação de terras devido às obras e torna o terreno menos permeável às águas. As partículas do solo buscam um caminho a seguir pelos fundos dos vales até chegar aos lagos e represas, sedimentando em seguida. A sedimentação ocasiona o assoreamento, a diminuição do volume útil dos corpos d'água e o crescimento de macrófitas, que deterioram o aspecto visual das lagoas.
- Drenagem pluvial urbana: acarreta um transporte maior de nutrientes, o que contribui para o crescimento de algas nas lagoas.
- Esgotos: o principal fator de degradação está relacionado aos esgotos domésticos, porque contêm nutrientes em grandes quantidades

(nitrogênio e fósforo), presentes nas fezes, urina, alimentos e detergentes de uso residencial. A parcela de nutrientes oriunda dos esgotos é muito maior do que a proveniente da drenagem pluvial.

Conforme a Resolução CONAMA nº: 001/86, a análise dos impactos ambientais deve discriminar os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes, seu grau de reversibilidade, suas propriedades cumulativas e sinérgicas, a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

Portanto, visando avaliar os impactos ambientais na área de estudo, de acordo com a metodologia proposta por Reopanichkul et al. (2009), no presente trabalho foram adotados os valores apresentados na Tabela 4.6. A profundidade da lagoa não foi considerada como critério por não haver dados disponíveis. As lagoas com uma pressão antropogênica maior que 3,00 foram classificadas como poluídas.

Tabela 4.6 – Pressão antropogênica calculada para o Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

Lagoas em estudo	Lançamento de esgoto na lagoa (10x) <sup>(1)</sup>	Nível de atividade humana (5x) <sup>(1)</sup>	Nível de turbidez (4x) <sup>(1)</sup>	Pressão antropogênica esperada (P) <sup>(1)</sup>	Classificação
L. Camorim	5(50)	5(25)	4(16)	4,79	Poluída
L. Jacarepaguá	3(30)	5(25)	3(12)	3,53	Poluída
L. Marapendi	2(20)	5(25)	4(16)	3,21	Poluída
L. Tijuca	4(40)	5(25)	5(20)	4,47	Poluída

Legenda: os valores entre parênteses (1) correspondem ao peso de cada critério.

O nível de atividade humana na Tabela 4.6 foi pontuado como 5 (máximo) e igual para todas as lagoas devido ao crescimento populacional de 305% na Barra da Tijuca entre 1991 e 2010, enquanto Jacarepaguá cresceu 47% e a Cidade de Deus manteve-se praticamente constante, conforme Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – População residente, segundo as Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas – 1991/2010.

Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas	População Residente			
	1991	2000	2010	Taxa de Crescimento
Área de Planejamento 4	526 302	682 051	909 955	73%
XVI Jacarepaguá	389 302	469 682	571 402	47%
XXIV Barra da Tijuca	98 791	174 353	300 823	305%
XXXIV Cidade de Deus	38 209	38 016	37 730	-

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Demográfico 1991 e Base de informações por setor censitário do Censo Demográfico 2000 e 2010. Tabulação: IPP/DIG.

Nota: (1) Os dados do Censo 1991 são apresentados segundo a estrutura administrativa vigente em 2000 e foram obtidos através da compatibilização entre os setores censitários.

A Tabela 4.6 demonstra que há uma correlação entre a pressão antropogênica e a poluição das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, expressos pelos altos níveis de nutrientes e sólidos suspensos e os baixos níveis de oxigênio dissolvido relacionados. Todas as lagoas encontram-se poluídas, sendo Camorim em pior estado, seguida da Lagoa da Tijuca, Jacarepaguá e por último Marapendi, em condições pouco piores que as demais, conforme Figuras 4.46 a 4.49.

Figura 4.46 – Chegada do Canal das Taxas na Lagoa de Marapendi



Fonte: Foto autorizada de Mario Moscatelli, em 17 de Janeiro de 2014

Figura 4.47 – Lagoa de Camorim com a presença de Gigóias



Fonte: Foto de Acorda meu povo, em 15 de fevereiro de 2006

Figura 4.48 – Lagoa da Tijuca



Fonte: Foto autorizada de Mario Moscatelli, em 15 de julho de 2014

Figura 4.49 – Lagoa da Jacarepaguá



Fonte: Foto autorizada de Mario Moscatelli, em 15 de agosto de 2014

De acordo com a Tabela 4.8, observa-se que os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA n°: 357/2005 para nitrogênio amoniacal, fósforo, sólidos suspensos totais e coliformes termotolerantes foram ultrapassados em todas as lagoas, tanto no período de seca quanto de chuvas, assim como a concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) na Lagoa de Camorim no período de chuva, conforme explicado anteriormente.

A falta de investimento em infra-estrutura e em monitoramento das lagoas pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro indica ser a causa da baixa qualidade das águas, haja visto que houve uma década (1990-2000) perdida em que as lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá deixaram de ser monitoradas quanto à qualidade das águas. Aliado a isso, o alto índice de crescimento populacional da região, o aparecimento de favelas, a especulação imobiliária desenfreada contribuíram e muito para a degradação dos recursos hídricos da região.

Neste estudo, buscou-se ainda, a título de comparação, encontrar lagoas semelhantes às da área em estudo mas que não estivessem sob forte impacto

de ação antropogênica, a fim de confirmar o quanto a variação dos parâmetros da qualidade da água é intrínseca ao sistema lagunar ou não, e se efetivamente ocorre devido a fatores externos. Porém, os dados de qualidade de água para lagoas não poluídas semelhantes às da área em estudo não estavam disponíveis.

Tabela 4.8 – Parâmetros da qualidade da água medidos nas estações de seca e chuva para as quatro lagoas em estudo.

Parâmetro	Estação	Jacarepagua		Camorim		Marapendi		Tijuca		Padrão
		Min-Máx	Média ±DP	Min-Máx	Média ±DP	Min-Máx	Média ±DP	Min-Máx	Média ±DP	
OD (mg/l)	Seca	0,0 - 16,3	8,7 ± 4,8	0,4 - 12,8	4,7 ± 4,1	2,4 - 21,3	8,3 ± 4,6	0,9 - 18,1	5,5 ± 4,2	≥ 4 mg/l
	Chuva	0,0 - 13,0	6,2 ± 3,6	0,0 - 11,4	<b>3,8 ± 3,4</b>	0,9 - 13,8	6,2 ± 3,6	1,7 - 10,8	4,8 ± 2,6	
N amoniacal (mg N/L)	Seca	0,05 - 12,0	<b>2,31 ± 2,79</b>	0,05 - 13,00	<b>3,02 ± 2,88</b>	0,01 - 10,00	<b>2,88 ± 2,84</b>	0,60 - 6,36	<b>1,94 ± 1,60</b>	0,70 mg/L N
	Chuva	0,01 - 12,0	<b>1,50 ± 2,71</b>	0,07 - 12,00	<b>2,99 ± 2,69</b>	0,04 - 11,75	<b>1,95 ± 2,46</b>	0,25 - 9,55	<b>2,50 ± 2,50</b>	
Coliforme Termotolerantes (NMP/100 mL)	Seca	490 - 230000	<b>41326 ± 63934</b>	800 - 1300000	<b>291353 ± 400000</b>	28 - 273950	<b>37218 ± 57541</b>	13950 - 550000	<b>133333 ± 175265</b>	≤2500 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante 1 ano
	Chuva	41 - 240000	<b>33469 ± 61803</b>	1600 - 1.600.000	<b>293445 ± 500000</b>	79 - 185000	<b>22887 ± 42191</b>	410 - 525000	<b>92378 ± 125942</b>	
DBO (mg/L)	Seca	2 - 36	18 ± 12	2 - 36	17 ± 11	3 - 17	10 ± 4	2 - 29	11 ± 8	-
	Chuva	2 - 50	10,7 ± 9,2	2 - 80	20 ± 16	3 - 40	11 ± 7	3 - 30	10 ± 8	
Fósforo (mg P/L)	Seca	0,2 - 1,5	<b>0,98 ± 0,34</b>	0,62 - 1,70	<b>1,25 ± 0,27</b>	0,1 - 1,75	<b>0,94 ± 0,44</b>	0,15 - 1,00	<b>0,71 ± 0,42</b>	0,186 mg/L P
	Chuva	0,4 - 1,8	<b>1,01 ± 0,36</b>	0,4 - 1,8	<b>1,03 ± 0,41</b>	0,12 - 1,7	<b>0,96 ± 0,49</b>	0,27 - 1,35	<b>0,72 ± 0,29</b>	
SST (mg/L)	Seca	11 - 90	<b>49 ± 22</b>	6 - 110	<b>54 ± 32</b>	20 - 78	<b>52 ± 19</b>	22 - 116	<b>68 ± 32</b>	Visualmente ausentes
	Chuva	17 - 144	<b>44 ± 28</b>	24 - 85	<b>53 ± 17</b>	17 - 80	<b>50 ± 14</b>	18 - 130	<b>64 ± 26</b>	

Nota 1: O Padrão foi estabelecido pela CONAMA 357, de 17 de março de 2005 para águas salobras de classe 2.

Nota 2: Os valores médios nas estações de seca e chuva levaram em consideração o período de 1983 a 2013

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

A análise dos dados de monitoramento da qualidade das águas das lagoas que compõem o Complexo Lagunar de Jacarepaguá, nos últimos 30 anos, revelou que os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA n°: 357/2005 para nitrogênio amoniacal, fósforo, sólidos suspensos totais e coliformes termotolerantes foram ultrapassados em todas as lagoas, tanto no período de seca quanto de chuvas, assim como a concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) na Lagoa de Camorim no período de chuva.

A análise estatística (teste t de Student) das médias obtidas em dois períodos de tempo – inicial (1983 a 1991) e anos mais recentes (2005 a 2013) do monitoramento - revelou diferenças significativas. Com maiores valores, nos anos mais recentes, para nitrogênio amoniacal em quatro lagoas; sólidos suspensos totais, DBO e coliformes termotolerantes em três lagoas. E menores valores, nos anos mais recentes, para O.D. em três lagoas. Das 39 análises realizadas com os diversos parâmetros nas quatro lagoas, 22 apresentaram diferença significativa entre os dados dos dois períodos, ou seja, 56% dos dados apresentaram diferenças significativas.

O crescimento populacional da região de entorno do Complexo Lagunar de Jacarepaguá nos últimos 30 anos foi comprovado, sendo de 305% na Barra da Tijuca entre 1991 e 2010, enquanto Jacarepaguá cresceu 47% e a Cidade de Deus manteve-se praticamente constante no mesmo período.

A metodologia de Suporte a Decisão para Objetivos Múltiplos (*Multiple Objective Decision Support [MODS]*) demonstrou que há uma correlação entre a pressão antropogênica e a poluição das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, expressos pelos altos níveis de nutrientes e sólidos suspensos e os baixos níveis de oxigênio dissolvido relacionados. Todas as lagoas encontram-se poluídas, sendo Camorim em pior estado, seguida da Lagoa da Tijuca, Jacarepaguá e por último Marapendi.

## **5.1. Recomendações**

Visando restabelecer o equilíbrio ambiental da região da Barra da Tijuca, torna-se necessário um grande esforço de recuperação da qualidade das águas de todas as lagoas, assim como dos rios que desaguam nelas e também da orla marinha.

Recomenda-se fortemente que o Governo do Estado do Rio de Janeiro disponibilize os recursos financeiros necessários para realizar as obras de revitalização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, seja por iniciativa própria ou através de parcerias público-privadas e com apoio da sociedade. É de suma importância que medidas drásticas e urgentes sejam postas em práticas, visando a melhoria da infraestrutura, investimento em novas tecnologias ou até mesmo a privatização dos serviços de saneamento básico da região.

Mas não bastam só investimentos, se não houver uma boa fiscalização dos órgãos públicos e uma preocupação constante em preservar o meio ambiente e torná-lo cada vez mais útil e disponível à população.

A educação ambiental é uma contribuição importante, pois a conservação dos corpos hídricos em nosso país é um dever de todos. E compreende desde não jogar lixo nas lagoas até não realizar ligações clandestinas de esgotos, assentamentos de terra, remoção de vegetação para a construção de moradias, dentre outros.

Recomenda-se, por fim, que as legislações no âmbito federal, estadual e municipal sejam aprimoradas e cumpridas e haja fiscalização mais rigorosa nesse sentido, pois muito do que foi visto neste trabalho se deve ao simples fato de que as leis existem, mas não são cumpridas.

## REFERÊNCIAS

ALHO, JUHA M. **Scenarios, uncertainty and conditional forecasts of the world population**. Royal Statistical Society. 1997. 160, Part 1, p71-85.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – **Balanço das águas**. Exercício 2011. 18p. v1. n1.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Informe 2014. 110p. Brasília. DF. 2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**. 2012. 266p. Brasília. DF.

BIDONE, E.D. *et al.* **Natural and cultural nutrient levels in rivers of small coast watersheds, S-SE, Brazil**. Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil. Eds. Knoppers, B.; Bidone, E.D 7 Abrão, J.J. Série Geoquímica Ambiental, 6: 89-103, 1999.

BOAS, MARIANA D.V. **Modelo de simulação de sistemas hídricos complexos, integrado com avaliação de qualidade da água. Uma ferramenta de gestão para apoio de decisão**. 2008. 198p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

BRAGA, BENEDITO. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2. ed., 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília. FUNASA. 2014.

CAMARANO, ANA AMÉLIA *et al.* **Tendências demográficas no Município do Rio de Janeiro**. Convênio IPP/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro – IBGE. ISSN 1984 – 7203. Nº: 20040301. Março 2004.

CARNEIRO, ALCIDES E SANTOS, LÚCIA. **Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010** – IPP-Rio – Setembro de 2013 - nº: 20.

CARNEIRO, FERNANDO MACÊDO. **Análise do estudo de impacto ambiental e da qualidade da água – O caso Açude Atalho – Brejo Santo, Ceará.** 2002. 198p. Dissertação de mestrado em Desenvolvimento e meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará – Fortaleza, CE.

CASTIGLIA, MARIA CLARA C. P. **Disposição subaquática de rejeitos de dragagem: O caso do Compleo Lagunar de Jacarepaguá.** 2006.170p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

CASTRO, CLEBER M. de. **Águas do Rio de Janeiro: Da metrópole com riscos à metrópole dos riscos.** 2010. 165p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

CAVALLIERI, FERNANDO E VIAL, ADRIANA, **Favelas na cidade do Rio de Janeiro: o quadro populacional com base no censo 2010** – IPP/ Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro - nº: 20120501 – Maio – 2012.

CETESB – **Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais.** 2013. 56p. São Paulo. SP.

CETESB - **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo.** Série Relatórios. Apêndice A – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2008.

COHN, PIERRY D. *et al.* **Water quality and treatment. A Handbook of community water supplies.** McGraw-Hill, Inc. 5ª edition. p2.1-2.33.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº: 001, de 23 de janeiro de 1986.** Resoluções do CONAMA; 1984/1986. Brasília: SEMA, 1986. P. 33-38.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº: 357, de 17 de março de 2005**. Publicada no DOU nº: 053, de 18/03/2005, pags.58-63. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº: 430, de 13 de maio de 2011**. Complementa e altera a Resolução CONAMA Nº: 357/2005.

COPPETEC. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro. R8 – Cenário econômico e demográfico**. Revisão 2. Junho de 2013.

DAVIS, MACKENZIE L. E CORNWELL, DAVID A.. **Introduction to environmental engineering**. McGraw-Hill International Editions, 2.ed., 1991. p.295-304.

DZ-205-R-6. Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial. Aprovada pela Deliberação CECA nº: 4887, de 25 de setembro de 2007. Republicada no DOERJ de 08 de novembro de 2007.

DZ-215-R-4. Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. Aprovada pela Deliberação CECA nº: 4886, de 25 de setembro de 2007. Republicada no DOERJ de 08 de novembro de 2007.

EGLER, MARIANA. **Gerenciamento integrado de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro: Ensaio de indicador para o estabelecimento da avaliação das relações entre qualidade da água e cobertura vegetal**. 2012. 333p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

FERNANDES, LEILA M. B. **O Plano piloto para a Barra da Tijuca e a Baixada de Jacarepaguá & o Projeto Rio –Cidade: Imagens-signo na arquitetura e conformação urbana da razão modernista e pós-modernista de cidade**.

2003. 232p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Planejamento urbano e Regional da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

FERNANDES, TATIANA. **Barra da Tijuca (RJ), Plano Piloto, Legislação e Realidade: o processo de urbanização, ocupação e suas consequências ambientais. Revista VITAS – Visões Transdisciplinares sobre Ambiente e Sociedade.** ISSN 2238-1627, Ano III, N°6, abril de 2013.

FERREIRA, CARLOS EDUARDO N. Barra da Tijuca. Um exemplo híbrido de cidade contemporânea. De ville contemporaine a generic city. 2008. 332p. Tese de Doutorado em Urbanismo da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

GONÇALVES, ELANO M. **Avaliação da qualidade da água do Rio Uberabinha – Uberlândia – MG.** 2009. 159p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Processos Químicos e Bioquímicos da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

GOODMAN, RICHARD. **Statistics teach yourself books.** The English University Press. 1970.

GUILFORD, J.P. **Fundamental statistics in psychology and education.** McGraw-Hill Book Company. 1965.

HAJKOWICZ, STEFAN A.; MCDONALD, GEOFF T.; SMITH, PHIL N. **An evaluation of multiple objective decision support weighting techniques in natural resource management.** Journal of Environmental planning and management; Jul 2000; 43, 4; p505-518.

HERZOG, LAWRENCE A. **Barra da Tijuca: The political economy of a global suburb in Rio de Janeiro, Brazil. Latin American Perspectives.** 2013 40: 118. Originally published online 20 November 2012. <http://lap.sagepub.com/content/40/2/118>.

HOLGUIN-GONZALEZ, J.E. *et al.* **Development and application of an integrated ecological modelling framework to analyze the impact of wastewater discharges on the ecological water quality of rivers.** Environmental Modelling & Software, 48 (2013) p 27-36. Elsevier Ltd.

<http://janucc.nau.edu>. ENV 440 – Course Topics. **Environmental Chemistry 440 Lecture 9 – Distribution of species in a system at equilibrium,** Carbonate Equilibria, acesso em julho de 2016.

IACOB, VLADUT-SEVERIAN. **The wastewater – a problem of integrated urban water management.** Procedia Economics and Finance. 6 (2013) 436-443. Elsevier Ltd.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Taxa média geométrica de crescimento anual - Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro - 1872/2000.** Armazém de Dados / Taxa média geométrica de crescimento anual – Brasil, Rio de Janeiro). 2016.

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **Cadernos do Rio – Condições de Vida.** Junho, 2013 a. (Armazém de Dados/Bairros Cariocas).

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **Características demográficas do Município do Rio de Janeiro e suas Regiões Administrativas – 2010** Setembro, 2013 b.

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **Estudo N°: 1347. Desenvolvimento humano e condições de vida na cidade do Rio de Janeiro.** Janeiro, 2004. (Armazém de Dados / Índice de Desenvolvimento Humano – IDH).

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **Domicílios particulares permanentes, por tipo de infraestrutura (lixo, esgoto e água), segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca - 1991/ 2000/2010.** (Armazém de Dados/ Domicílios Particulares Permanentes , por tipo de infraestrutura, segundo a Região Administrativa XXIV Barra da Tijuca). 2016.

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. **População residente, segundo as Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas - 1991/2010.** (Armazém de Dados/ População Residente Segundo as Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas).

JORDÃO, E.P. E PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 1995.

JUNIOR, LEDILSON L.S. **Sociabilidade e identidades confinadas em condomínios da Barra da Tijuca.** 2009. 280p. Tese de Doutorado do programa de pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

KELLNER, SHEILAH R. de O. **Fundamentos da estatística para as ciências do comportamento.** Editora Renes. 1971. Rio de Janeiro.

KLAPPER, H. **Control of eutrophication in inland waters.** Ellis Horwood, New York. 1991.

KNOPPERS, B. et al. **Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil.** Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil. Eds. Knoppers, B.; Bidone, E.D 7 Abrão, J.J. Série Geoquímica Ambiental, 6: 123-154,1999.

LACERDA, L.D. et al. **Biogeodynamics of heavy metals in the lagoons of Eastern Rio de Janeiro State, Brazil.** Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brasil. Eds. Knoppers,B.; Bidone, E.D. & Abrão, J.J. Série Geoquímica Ambiental, 6: 179-195, 1999.

LEIVAS, MÁRCIA O.K. **Indicadores na legislação urbanística carioca em novas formulações de sustentabilidade urbana: contribuição para o desenvolvimento de indicador de ocupação sustentável da bacia hidrográfica (IOS-BH).** 2011. 303p. Tese de Doutorado em Planejamento Urbano e Regional. IPPUR/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

LERMONTOV, ANDRÉ. **Novo Índice de qualidade das águas com uso da lógica e inferência nebulosa.** 2009. 216p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos da UFRJ / RJ.

LERMONTOV, ANDRÉ. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Palatinato – Petrópolis – RJ.** 2003. Dissertação de Mestrado da Escola de Química da UFRJ / RJ.

LIAO, SHU-HSIEN. **Expert system methodologies and applications – a decade review from 1995 to 2004.** Elsevier Ltd. 2005. p93-103.

LOURES, A.P.S. *et al.* Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.10, n.3, p.706-714, 2006.

LUZ, ALFREDO da. **O centro metropolitano da Baixada de Jacarepaguá. Uma crítica às suas diretrizes de ocupação.** 2011. 143p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Urbanismo da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

MANAHAN, STANLEY E.. **Environmental chemistry.**Crc Press, 8.ed., 2005.

MARGESSON, RHODA. **Environment and international water management: Dealing with the problems of the Danube Delta.** Environ Impact Assess Rev. 1997; 17: 145-162. Elsevier Science Inc.

MARONEZE *et.al.* **A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais.** Rev. Ambient Água. Vol.9 n.3. Taubaté. Jul/Sep. 2014.

MILLER,G. TYLER, **Ciência ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MULLER, CARLA CRISTINE. **Confiabilidade analítica dos ensaios qualitativos de fitoplâncton para o monitoramento eficiente da qualidade dos mananciais.** 2011. 186p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-

graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS.

MVUNGI, A. *et al.* **Impact of home industries on water quality in a tributary of the Marimba River, Harare: Implications for urban water management.** *Physics and Chemistry of the earth.* 28 (2003) 1131-1137. Elsevier Ltd.

NEUFELD, JOHN L. **Estatística aplicada à administração usando excel.** Pearson. 2003. São Paulo.

NT-202-R-10. Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos. Aprovada pela Deliberação CECA nº: 1007, de 04 de dezembro de 1986. Publicada no DOERJ de 12 de dezembro de 1986.

PAULA, THIAGO PIRES de. **Diagnóstico e modelagem matemática da qualidade da água em trecho do Rio Piabanha/RJ.** 2011. 267p. Dissertação de Mestrado do Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

PEREIRA, LILIAN P.F. E MERCANTE, CACILDA T.J. **A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão.** Instituto de Pesca, São Paulo, 31 (1): 81-88, 2005.

REHAN, R. *et al.* **Financially sustainable management strategies for urban wastewater collection infrastructure – development of a systems dynamics model.** *Tunnelling and Underground Space Technology* 39 (2014) 116-129. Elsevier Ltd.

REOPANICHKUL, PASINEE *et al.* **Wastewater discharge degrades coastal waters and reef communities in southern Thailand.** *Marine Environmental Research.* Elsevier Ltd. 2010. p287-296.

SCHNAIDER, MATHEUS. *et al.* **PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL, BAIXADA DE JACAREPAGUÁ – 1980, 1980.**

SILVA, GABRIELA. **Processo de ocupação urbana da Barra da Tijuca (RJ): Problemas ambientais, conflitos sócio-ambientais, impactos ambientais urbanos**. 2006. 29p. Publicação eletrônica [http:// www.fec.unicamp.br/~parc](http://www.fec.unicamp.br/~parc).

TEBBUT, T.H. **Principles of water quality control**. Butterworth-Heinemann. 5<sup>th</sup> edition. 1998. p12-27 e 84-117.

THE ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Pollution causes, effects and control**. 4<sup>th</sup> Edition. 2001.p88-109.

TELLES, DIRCEU D'ALCKIMIN *et al.* **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. 1 ed. Blucher, São Paulo. 2013.

SANTOS, MARIANA R. dos. **Evolução temporal da eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá**. 2014. 126p. Projeto de graduação de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

SUBCOMITÊ DE JACAREPAGUÁ. Subcomitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara – Sistema Lagunar de Jacarepaguá. Disponível em: <<http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/sc-jacarepagua/>>.

VALLE, CyroEyer do. **Qualidade Ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente**: (como se preparar para as Normas ISO 14000). São Paulo: Pioneira, 1995.

VÉLEZ, MARIA VITÓRIA N. **Meio ambiente, informação e mobilização social: a degradação da Praia de Sepetiba**. 2012. 93p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência de Informação da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. 1996. Ed. UFMG, Belo Horizonte, MG.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. 2005. Ed. UFMG, Belo Horizonte, MG.

WEATHERBURN, C.E. **A first course in mathematical statistics**. Cambridge at University Press. 1947.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A.M.; MENEGUEZZI, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea**. Eng Sanit Ambient. V21 n1. Jan/mar 2016. 29-42.

## ANEXO I - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Como os dados dos parâmetros de qualidade da água analisados possuem uma oscilação muito grande, com valores extremos e muitas vezes faltantes, foi necessário utilizar um método estatístico que assegurasse a confiabilidade das medidas.

Segundo Kellner (1971), o Teste-t de Student pode ser aplicado, em uma amostra, em dois conjuntos de dados diferentes.

Adotou-se um nível de significância de 5% (teste de dois lados) para testar se as médias de dois conjuntos de informações eram significativamente diferentes. As seguintes hipóteses são testadas quando um Test-t de duas amostras é aplicado:

H<sub>0</sub>: as médias da verdadeira população são iguais.

H<sub>1</sub>: as médias da verdadeira população são diferentes.

Existem três suposições que são feitas enquanto se executa o Teste-t de Student de duas amostras:

- 1- Cada grupo é considerado ser uma amostra de uma *população distinta*.
- 2- As respostas em cada grupo são independentes das outras em outros grupos.
- 3- As distribuições da variável de interesse são normais.

A distribuição-*t* é um caso especial de distribuição normal com uma média idealizada de 0 e desvio padrão de 1. As duas distribuições são similares; entretanto, a distribuição-*t* é usada para amostras de tamanho pequeno (normalmente menores que 30), assim como é sensível às amostras de tamanho pequeno.

Para calcular a estatística-t, as equações (3.2) são usadas (KELLNER, 1971):

(3.2)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

e  $n$  é o tamanho da amostra de um grupo em particular,  $\bar{x}$  é a média de um grupo em particular,  $s^2$  é a variância de um grupo em particular, e  $df$  é o número de graus de liberdade.

Conforme Weatherburn (1947), para o teste-t de dois lados, a hipótese nula é que a média de duas populações é a mesma. Se o teste estatístico calculado é maior que o valor crítico  $t_{df; \alpha}$  em módulo, a hipótese nula é rejeitada.

Por exemplo: o comportamento de um parâmetro de qualidade da água de uma lagoa mudou antes e depois do crescimento populacional da Barra da Tijuca? Adotando-se um nível de significância  $\sigma = 0,05$ , as hipóteses a serem testadas seriam:

$H_0$ : O nível de qualidade da água não difere significativamente, antes e depois do crescimento populacional.

$H_1$ : O nível de qualidade da água difere significativamente, antes e depois do crescimento populacional.

O Test-t é executado diretamente no software Excel, sendo os valores calculados conforme exemplificado na Tabela 3.3. Pode-se concluir que, como o valor calculado, em módulo, (Stat t = 2,79257) é maior do que o valor crítico bi-caudal (t crítico bi-caudal = 2,042272), deve-se rejeitar a hipótese  $H_0$ . Isto é, a hipótese  $H_1$  é verdadeira, o nível de qualidade da água difere significativamente,

antes e depois do crescimento populacional. Pode-se chegar à mesma conclusão comparando-se o valor do p-value  $P(T \leq t)$  bi-caudal = 0,009015, com o nível de significância adotado  $\sigma = 0,05$ . Como  $\sigma > p$ -value, rejeita-se a hipótese  $H_0$ . Se  $\sigma < p$ -value, aceitava-se a hipótese  $H_0$ .

Tabela A.1 – Test-t de duas amostras em par para médias de Nitrogênio Amoniacal na lagoa Camorim.

Nit. Amoniacal – lagoa Camorim		
	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	2,096846	4,059565
Variância	1,13036	9,361668
Observações	13	23
Hipótese da diferença de média	0	
gl	30	
Stat t	-2,79257	
P(T<=t) uni-caudal	0,004508	
t crítico uni-caudal	1,697261	
P(T<=t) bi-caudal	0,009015	
t crítico bi-caudal	2,042272	

## Apêndice A – Análise Estatística

### Teste t - Student

#### Nitrogênio Amoniacal

##### Lagoa Camorim

	Variável 1	Variável 2
Média	2,09685	4,05957
Variância	1,13036	9,36167
Observações	13	23
Hipótese da diferença de média	0	
gl	30	
Stat t	-2,79257	
P(T<=t) uni-caudal	0,00451	
t crítico uni-caudal	1,69726	
P(T<=t) bi-caudal	0,00902	
t crítico bi-caudal	2,04227	

##### Lagoa Jacarepaguá

	Variável 1	Variável 2
Média	0,83525	3,59611
Variância	0,85695344	13,014
Observações	28	36
Hipótese da diferença de média	0	
gl	41	
Stat t	-4,4090294	
P(T<=t) uni-caudal	3,6637E-05	
t crítico uni-caudal	1,682878	
P(T<=t) bi-caudal	7,3275E-05	
t crítico bi-caudal	2,01954095	

##### Lagoa Marapendi

	Variável 1	Variável 2
Média	0,15759677	4,3005
Variância	0,04248696	9,75681
Observações	31	40
Hipótese da diferença de média	0	
gl	39	
Stat t	-8,3649662	
P(T<=t) uni-caudal	1,5529E-10	
t crítico uni-caudal	1,68487512	
P(T<=t) bi-caudal	3,1057E-10	
t crítico bi-caudal	2,0226909	

##### Lagoa Tijuca

	Variável 1	Variável 2
Média	0,82667	3,84636
Variância	0,23815	3,8502
Observações	6	11
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	-4,83719	
P(T<=t) uni-caudal	0,0002	
t crítico uni-caudal	1,78229	
P(T<=t) bi-caudal	0,00041	
t crítico bi-caudal	2,17881	

#### Nitrogênio Kjeldahl

##### Lagoa Camorim

	Variável 1	Variável 2
Média	4,42167	4,5087
Variância	2,13565	3,16538
Observações	12	23
Hipótese da diferença de média	0	
gl	27	
Stat t	-0,15492	
P(T<=t) uni-caudal	0,43902	
t crítico uni-caudal	1,70329	
P(T<=t) bi-caudal	0,87804	
t crítico bi-caudal	2,05183	

##### Lagoa Jacarepaguá

	Variável 1	Variável 2
Média	3,35863462	3,57065
Variância	2,07121563	2,52311
Observações	26	31
Hipótese da diferença de média	0	
gl	55	
Stat t	-0,528291	
P(T<=t) uni-caudal	0,29971132	
t crítico uni-caudal	1,67303397	
P(T<=t) bi-caudal	0,59942264	
t crítico bi-caudal	2,00404477	

##### Lagoa Marapendi

	Variável 1	Variável 2
Média	3,24532143	4,07333
Variância	1,26927687	1,19424
Observações	28	40
Hipótese da diferença de média	0	
gl	57	
Stat t	-3,0197023	
P(T<=t) uni-caudal	0,00189084	
t crítico uni-caudal	1,67202889	
P(T<=t) bi-caudal	0,00378168	
t crítico bi-caudal	2,00246544	

##### Lagoa Tijuca

	Variável 1	Variável 2
Média	2,486	3,19
Variância	0,76998	1,82757
Observações	5	15
Hipótese da diferença de média	0	
gl	11	
Stat t	-1,34044	
P(T<=t) uni-caudal	0,10356	
t crítico uni-caudal	1,79588	
P(T<=t) bi-caudal	0,20713	
t crítico bi-caudal	2,20099	

**Nitrato****Lagoa Camorim**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,1475	0,25895
Variância	0,08299	0,40809
Observações	12	19
Hipótese da diferença de média	0	
gl	27	
Stat t	-0,66139	
P(T<=t) uni-caudal	0,25698	
t crítico uni-caudal	1,70329	
P(T<=t) bi-caudal	0,51397	
t crítico bi-caudal	2,05183	

**Lagoa Jacarepaguá**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,18092857	0,30294
Variância	0,17598242	1,05091
Observações	28	34
Hipótese da diferença de média	0	
gl	45	
Stat t	-0,6326561	
P(T<=t) uni-caudal	0,26508003	
t crítico uni-caudal	1,67942739	
P(T<=t) bi-caudal	0,53016006	
t crítico bi-caudal	2,01410336	

**Lagoa Marapendi**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,03651563	0,24633
Variância	0,00153399	0,36087
Observações	32	49
Hipótese da diferença de média	0	
gl	49	
Stat t	-2,4369248	
P(T<=t) uni-caudal	0,0092454	
t crítico uni-caudal	1,67655089	
P(T<=t) bi-caudal	0,01849079	
t crítico bi-caudal	2,0095752	

**Lagoa Tijuca**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,11933	0,645
Variância	0,02737	2,45168
Observações	6	10
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-1,0519	
P(T<=t) uni-caudal	0,16013	
t crítico uni-caudal	1,83311	
P(T<=t) bi-caudal	0,32027	
t crítico bi-caudal	2,26216	

**Nitrito****Lagoa Camorim**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,03267	0,2018
Variância	0,00206	0,10841
Observações	12	35
Hipótese da diferença de média	0	
gl	38	
Stat t	-2,95812	
P(T<=t) uni-caudal	0,00265	
t crítico uni-caudal	1,68595	
P(T<=t) bi-caudal	0,0053	
t crítico bi-caudal	2,02439	

**Lagoa Jacarepaguá**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,78944643	0,90553
Variância	0,90917141	2,53285
Observações	28	75
Hipótese da diferença de média	0	
gl	81	
Stat t	-0,4510425	
P(T<=t) uni-caudal	0,32658204	
t crítico uni-caudal	1,66388391	
P(T<=t) bi-caudal	0,65316408	
t crítico bi-caudal	1,98968629	

**Lagoa Marapendi**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,00884483	0,18046
Variância	8,0895E-05	0,06031
Observações	29	34
Hipótese da diferença de média	0	
gl	33	
Stat t	-4,0716082	
P(T<=t) uni-caudal	0,00013722	
t crítico uni-caudal	1,69236026	
P(T<=t) bi-caudal	0,00027444	
t crítico bi-caudal	2,03451529	

**Lagoa Tijuca**

	Variável 1	Variável 2
Média	0,078	0,18547
Variância	0,01037	0,06101
Observações	6	15
Hipótese da diferença de média	0	
gl	19	
Stat t	-1,41172	
P(T<=t) uni-caudal	0,0871	
t crítico uni-caudal	1,72913	
P(T<=t) bi-caudal	0,1742	
t crítico bi-caudal	2,09302	

**DBO****Lagoa Camorim**

	Variável 1	Variável 2
Média	15,6833	32,8889
Variância	76,6417	375,111
Observações	6	9
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	-2,33163	
P(T<=t) uni-caudal	0,01898	
t crítico uni-caudal	1,78229	
P(T<=t) bi-caudal	0,03796	
t crítico bi-caudal	2,17881	

**Lagoa Jacarepaguá**

	Variável 1	Variável 2
Média	10,9708333	19,1227
Variância	50,0392992	167,987
Observações	12	22
Hipótese da diferença de média	0	
gl	32	
Stat t	-2,3725355	
P(T<=t) uni-caudal	0,01192227	
t crítico uni-caudal	1,6938887	
P(T<=t) bi-caudal	0,02384454	
t crítico bi-caudal	2,03693333	

**Lagoa Marapendi**

	Variável 1	Variável 2
Média	12,2133333	10,6182
Variância	30,2840952	55,5044
Observações	15	22
Hipótese da diferença de média	0	
gl	35	
Stat t	0,74848776	
P(T<=t) uni-caudal	0,22958329	
t crítico uni-caudal	1,68957244	
P(T<=t) bi-caudal	0,45916657	
t crítico bi-caudal	2,03010792	

**Oxigênio Dissolvido****Lagoa Camorim**

	Variável 1	Variável 2
Média	5,61667	1,68333
Variância	6,60167	2,64333
Observações	6	12
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	3,42281	
P(T<=t) uni-caudal	0,00555	
t crítico uni-caudal	1,89458	
P(T<=t) bi-caudal	0,01109	
t crítico bi-caudal	2,36462	

**Lagoa Jacarepaguá**

	Variável 1	Variável 2
Média	9,36666667	5,71667
Variância	16,6024242	18,9667
Observações	12	24
Hipótese da diferença de média	0	
gl	23	
Stat t	2,47560733	
P(T<=t) uni-caudal	0,01054858	
t crítico uni-caudal	1,71387152	
P(T<=t) bi-caudal	0,02109717	
t crítico bi-caudal	2,0686576	

**Lagoa Marapendi**

	Variável 1	Variável 2
Média	9,63	4,93529
Variância	14,9227857	5,52743
Observações	15	17
Hipótese da diferença de média	0	
gl	23	
Stat t	4,08622454	
P(T<=t) uni-caudal	0,00022701	
t crítico uni-caudal	1,71387152	
P(T<=t) bi-caudal	0,00045403	
t crítico bi-caudal	2,0686576	

**Coliformes Termotolerantes**

Camorim	Jacarepaguá		Marapendi		Tijuca						
	Variável 1	Variável 2	Variável 1	Variável 2	Variável 1	Variável 2					
Média	10,1575	59,1165	Média	0,523852	5,7698	Média	11175,48	42334,57	Média	2,933333	21,24753
Variância	84,22331	3673,855	Variância	1,216508	76,05233	Variância	3,89E+08	2,44E+09	Variância	3,530667	536,5656
Observações	12	20	Observações	25	30	Observações	30	30	Observações	6	18
Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0	
gl	20		gl	30		gl	38		gl	18	
Stat t	-3,54523		Stat t	-3,26362		Stat t	-3,2091		Stat t	-3,32176	
P(T<=t) uni-caudal	0,001015		P(T<=t) uni-caudal	0,001374		P(T<=t) uni-caudal	0,001353		P(T<=t) uni-caudal	0,001897	
t crítico uni-caudal	1,724718		t crítico uni-caudal	1,697261		t crítico uni-caudal	1,685954		t crítico uni-caudal	1,734064	
P(T<=t) bi-caudal	0,002031		P(T<=t) bi-caudal	0,002747		P(T<=t) bi-caudal	0,002706		P(T<=t) bi-caudal	0,003795	
t crítico bi-caudal	2,085963		t crítico bi-caudal	2,042272		t crítico bi-caudal	2,024394		t crítico bi-caudal	2,100922	

**Sólidos Suspensos**

Camorim	Jacarepaguá		Marapendi		Tijuca						
	Variável 1	Variável 2	Variável 1	Variável 2	Variável 1	Variável 2					
Média	44,61538	58,69231	Média	29,26852	46,27419	Média	33,36667	52,14063	Média	33,33333	48,57143
Variância	460,0897	1814,862	Variância	286,5429	694,864	Variância	309,9644	312,0683	Variância	144,6667	232,369
Observações	13	26	Observações	27	31	Observações	30	32	Observações	6	7
Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0	
gl	37		gl	52		gl	60		gl	11	
Stat t	-1,3725		Stat t	-2,95907		Stat t	-4,18917		Stat t	-2,01293	
P(T<=t) uni-caudal	0,089085		P(T<=t) uni-caudal	0,002318		P(T<=t) uni-caudal	4,66E-05		P(T<=t) uni-caudal	0,034626	
t crítico uni-caudal	1,687094		t crítico uni-caudal	1,674689		t crítico uni-caudal	1,670649		t crítico uni-caudal	1,795885	
P(T<=t) bi-caudal	0,178171		P(T<=t) bi-caudal	0,004637		P(T<=t) bi-caudal	9,32E-05		P(T<=t) bi-caudal	0,069252	
t crítico bi-caudal	2,026192		t crítico bi-caudal	2,006647		t crítico bi-caudal	2,000298		t crítico bi-caudal	2,200985	

**Sedimentos sem ferro****Camorim**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	1,132	0,915714
Variância	1,550443	0,518123
Observações	5	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	0,348981	
P(T<=t) uni-caudal	0,369512	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,739024	
t crítico bi-caudal	2,446912	

**Jacarepaguá**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	0,739875	0,6334
Variância	0,412936	0,195676
Observações	4	5
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	0,282189	
P(T<=t) uni-caudal	0,394553	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,789107	
t crítico bi-caudal	2,570582	

**Marapendi**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	0,155417	0,538905
Variância	0,00474	0,080358
Observações	6	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	-3,46205	
P(T<=t) uni-caudal	0,005259	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,010518	
t crítico bi-caudal	2,364624	

**Sedimentos com Ferro****Camorim**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	9,8452	13,95029
Variância	204,0957	214,3559
Observações	5	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-0,48568	
P(T<=t) uni-caudal	0,319401	
t crítico uni-caudal	1,833113	
P(T<=t) bi-caudal	0,638801	
t crítico bi-caudal	2,262157	

**Marapendi**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	5,938083	7,282379
Variância	42,60364	71,41171
Observações	6	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	11	
Stat t	-0,32318	
P(T<=t) uni-caudal	0,37631	
t crítico uni-caudal	1,795885	
P(T<=t) bi-caudal	0,75262	
t crítico bi-caudal	2,200985	

**pH****Marapendi**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	8,113833	7,533333
Variância	0,290378	0,23131
Observações	15	15
Hipótese da diferença de média	0	
gl	28	
Stat t	3,11274	
P(T<=t) uni-caudal	0,002121	
t crítico uni-caudal	1,701131	
P(T<=t) bi-caudal	0,004242	
t crítico bi-caudal	2,048407	

**Temperatura****Camorim****Jacarepaguá****Tijuca**

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>		<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>		<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	25,86667	23,7037	Média	26,04167	23,91667	Média	24,85714	23,51667
Variância	10,23095	7,216524	Variância	15,05492	3,992424	Variância	9,142857	10,86697
Observações	15	27	Observações	12	12	Observações	7	12
Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0		Hipótese da diferença de média	0	
gl	25		gl	16		gl	14	
Stat t	2,219922		Stat t	1,686678		Stat t	0,901355	
P(T<=t) uni-caudal	0,017861		P(T<=t) uni-caudal	0,055531		P(T<=t) uni-caudal	0,191322	
t crítico uni-caudal	1,708141		t crítico uni-caudal	1,745884		t crítico uni-caudal	1,76131	
P(T<=t) bi-caudal	0,035722		P(T<=t) bi-caudal	0,111062		P(T<=t) bi-caudal	0,382644	
t crítico bi-caudal	2,059539		t crítico bi-caudal	2,119905		t crítico bi-caudal	2,144787	