

# **Revisão HISTÓRICA SOBRE O ESTADO TRÓFICO DE LAGOAS COSTEIRAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

---

Leonardo Bernardo Campaneli da Silva  
Maurício Mussi Molisani

Campos dos Goytacazes



2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586r Silva, Leonardo Bernardo Campanelli da.  
Revisão histórica sobre o estado trófico de lagoas costeiras do  
estado do Rio de Janeiro / Leonardo Bernardo Campanelli da Silva e  
Maurício Mussi Molisani. — Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia, 2019.  
105 p.

Inclui bibliografia.  
ISBN 978-85-99968-59-8 (Broch.)

1. Lagoas costeiras – Preservação ambiental – Rio de Janeiro (RJ). 2.  
Biogeoquímica. 3. Meio ambiente – Lagoas (RJ). 4. Ecologia costeira – Rio de  
Janeiro (RJ). I. Molisani, Maurício Mussi. II. Título.

CDD 577.63609153

**Essentia Editora**

Rua Coronel Walter Kramer, 357  
Parque Santo Antônio  
Campos dos Goytacazes/RJ  
CEP 28080-565 | Tel.: (22) 2737-5648  
www.essentiaeditora.iff.edu.br  
essentia@iff.edu.br

**Tiragem:** 500 exemplares

**Impressão:** Editora e Papeis Nova Aliança Eireli  
Tel.: (21) 3105-5087/ 3105-6262

**Ministério da Educação  
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense**

<b>Reitor</b>	Jefferson Manhães de Azevedo
<b>Pró-Reitor de Administração</b>	Guilherme Batista Gomes
<b>Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional</b>	José Luiz Sanguedo Boynard
<b>Pró-Reitora de Gestão de Pessoas</b>	Aline Naked Chalita Falquer
<b>Pró-Reitor de Ensino</b>	Carlos Artur Carvalho Arêas
<b>Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Inovação</b>	Vicente de Paulo Santos de Oliveira
<b>Diretor de Pesquisa e Extensão Tecnológica</b>	Pedro de Azevedo Castelo Branco
<b>Conselho Editorial 2016-2017</b>	<b>Conselho Editorial 2018-2020</b>
Adriano Carlos Moura	Cláudia Marcia Alves Ferreira
Cláudia Marcia Alves Ferreira	Danielly Cozer Aliprandi
Desiely Silva Gusmão Taouil	Denise Rena Haddad
Edinalda Maria Almeida da Silva	Edson Carlos Nascimento
Edson Carlos Nascimento	Eldo Campos
Helvia Pereira Pinto Bastos	Ferdinanda Fernandes Maia
Inez Barcellos de Andrade	Gunnar Glauco de Cunto Carelli Taets
Jefferson Manhães de Azevedo	Inez Barcellos de Andrade
José Augusto Ferreira da Silva	José Augusto Ferreira da Silva
Judith Maria Daniel de Araújo	Kíssila da Conceição Ribeiro
Kíssila da Conceição Ribeiro	Luciano Rezende Moreira
Luciano Rezende Moreira	Marco Antônio Cruz Moreira
Luiz de Pinedo Quinto Junior	Maria Ines Paes Ferreira
Marcos Antônio Cruz Moreira	Paula Aparecida Martins Borges Bastos
Maria Amelia Ayd Corrêa	Pedro de Azevedo Castelo Branco
Maria Inês Paes Ferreira	Raimundo Helio Lopes
Paula Aparecida Martins Borges Bastos	Renato Barreto de Souza
Pedro de Azevedo Castelo Branco	Vicente de Paulo Santos
Roberto Moll Neto	
Vicente de Paulo Santos Oliveira	
Wander Gomes Ney	
<b>Equipe Editorial</b>	
Editor Executivo	Cláudia Marcia Alves Ferreira
Comissão de Editores Científicos	Inez Barcellos de Andrade
	Paula Aparecida Martins Borges Bastos
	Raimundo Helio Lopes
Revisão de língua portuguesa	Vania Cristina Alexandrino Bernardo
Catalogação e Revisão técnica	Inez Barcellos de Andrade
Capa, Projeto Gráfico	Caíque Pereira de Sá Cavalcante
Diagramação	Cláudia Marcia Alves Ferreira
	Larissa de Paula Viana Souza

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) por fornecer os dados de monitoramento de lagoas fluminense, bem como a base de dados cartográfica que foram fundamentais para a execução dos mapas deste livro, em especial, ao Chefe de Serviço Ronaldo de Souza Poly e ao Superintendente Regional René Justen pelo suporte logístico nas atividades de campo e por auxiliarem na busca de informações históricas ao banco de dados do INEA. Agradecemos ao Professor Dr. Bastiaan Knoppers, do Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense, por gentilmente ter disponibilizado todos os seus trabalhos publicados sobre lagoas costeiras; e à Professora do Instituto Federal Fluminense, Dr<sup>a</sup>. Vania Cristina Alexandrino Bernardo, pela revisão linguística. Este estudo foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação (PPG-CiAC), da Universidade Federal do Rio de Janeiro, *campus* Macaé e do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM/UFRJ).



# **SUMÁRIO**

---

<b>Apresentação</b>	<b>07</b>
<b>1. Lagoas costeiras e os estados tróficos</b>	<b>09</b>
<b>2. Estado trófico de lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro</b>	<b>19</b>
2.1. Complexo lagunar de Jacarepaguá e Lagoa Rodrigo de Freitas	19
2.2. Complexo lagunar de Piratininga-Itaipu	29
2.3. Complexo lagunar de Maricá	33
2.4. Complexo lagunar de Saquarema	38
2.5. Lagoa de Araruama	42
2.6. Lagoa de Imboassica	48
2.7. Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba	54
2.8. Lagoa Feia	62
<b>3. Considerações sobre os estados tróficos das lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro</b>	<b>67</b>
<b>Referências</b>	<b>75</b>
<b>Apêndice</b>	<b>87</b>



# **APRESENTAÇÃO**

As lagoas costeiras são um patrimônio natural do Brasil. No estado do Rio de Janeiro, são regiões turísticas como a Região dos Lagos; cenários de novelas e bairros valorizados como a Lagoa Rodrigo de Freitas, na zona sul da cidade do Rio de Janeiro; ambientes peculiares como a hipersalina Lagoa de Araruama; áreas de proteção permanente como as lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba; além da Lagoa Feia, que é a maior lagoa costeira de águas doce do Brasil. Esses ambientes foram formados pelas mudanças no nível do mar (principalmente ao longo dos últimos 10 mil anos) as quais moldaram suas características cênicas, de qualidade de água, como locais de importante produção biológica, além de todas as peculiaridades ecológicas, e atualmente, socioeconômicas, que também influenciam o continente e o oceano costeiro.

O homem também faz parte dessa paisagem: passando pelos índios Goitacás que utilizavam as lagoas do Norte Fluminense como áreas de pesca e caça; considerando estabelecimento de culturas de café, cana de açúcar e criação de gado nas bacias hidrográficas de muitas destas lagoas desde o período do Brasil-Império; estabelecendo processo de urbanização de alta

densidade no entorno das Lagoas da Barra da Tijuca e da Lagoa Rodrigo de Freitas; criando área de preservação federal para proteção das lagoas de Jurubatiba; utilizando esta paisagem em eventos esportivos mundiais como as Olimpíadas no Rio de Janeiro, entre várias outras intervenções. Porém, a proximidade das atividades humanas com as lagoas iniciou um processo de degradação e da mudança de suas características.

Dentre os impactos que vêm acontecendo, devemos ressaltar o aumento na emissão de matéria orgânica e de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), que induzem a um processo de mudanças da qualidade das águas, chamado eutrofização cultural. Podemos supor que a primeira intervenção do homem na transferência de matéria orgânica e de nutrientes, em maior escala, para estas lagoas pode ter ocorrido no Brasil Império, quando se inicia a remoção das florestas das bacias hidrográficas; passando pela introdução da agricultura e da pecuária, e atualmente conjugando todas estas atividades com a emissão de esgoto doméstico não tratado, pela crescente população que reside na região costeira. A maior quantidade de nutrientes nas lagoas associada à transparência da água, temperatura, entre outros fatores, pode acelerar o crescimento de micro/macroalgas e plantas aquáticas, sendo essas características indicadas pelos diferentes estados tróficos (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipertrófico). A floração desordenada dos produtores primários e a decomposição da matéria orgânica autóctone e alóctone promovem o aumento da densidade de micro-organismos produtores de toxinas o que pode causar efeitos como a redução do oxigênio dissolvido e da transparência da água e assim como a diminuição da biodiversidade.

Este livro realizou cálculos de índices de estado trófico utilizando uma compilação de dados de concentração de clorofila *a* e fósforo na coluna d'água das lagoas do Complexo de Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Itaipu/Piratininga, Maricá, Saquarema, Imboassica, Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e Feia, promovendo um histórico dos estados tróficos das principais lagoas costeiras fluminense entre anos de 1979 e 2015. Este histórico foi discutido no âmbito dos processos limnológicos de cada lagoa descritos pela literatura científica. Adicionalmente, foi efetuada uma compilação de ações de manejo dessas lagoas realizadas pelos órgãos ambientais, que também auxiliaram a interpretar, porque algumas lagoas podem estar melhorando, mantendo ou piorando seu estado trófico. Os resultados descrevem uma visão inédita destas lagoas que deve subsidiar ações de gestão ambiental e ressaltar a viabilidade da recuperação e a preservação das lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro.

*Maurício Mussi Molisani*





## **Lagoas costeiras e os estados TRÓFICOS**

As lagoas costeiras são corpos d'água terrestres, usualmente orientados, paralelos ou perpendiculares à linha de costa, separados do mar por uma barreira de areia e conectados ao oceano por um ou mais canais. Esses ambientes possuem profundidades variadas, mas em muitos casos são corpos d'água rasos ( $<2\text{m}$ ). As lagoas costeiras foram formadas há cerca de 10 mil anos durante o último evento de progressão e transgressão do nível do mar (KJERFVE; MAGILL, 1989; KJERFVE, 1994). Deste modo, são áreas formadas recentemente em um contexto geológico; sendo influenciadas por processos meteorológicos e oceanográficos, que podem, por exemplo, abrir sua conexão com o mar alterando suas condições limnológicas. São ambientes caracterizados pela acumulação de materiais orgânicos e inorgânicos de origem autóctone e alóctone. Porém, nas últimas décadas, esta característica acumuladora vem sendo alterada para uma condição de exportação de materiais para o oceano, principalmente devido às intervenções humanas como abertura de barra arenosa (*sandbar*) ou a perenização de

sua ligação com o mar através de canais artificiais que podem ou não ser manobrados por comportas. Os ecossistemas lacustres costeiros possuem um importante significado ambiental, pois estão entre os ambientes mais produtivos biologicamente do planeta, sendo berçários, fonte de alimento, e descanso para diversas espécies continentais e marinhas, inclusive, de significado econômico (ESTEVES *et al.*, 2008). Porém, do ponto de vista socioeconômico, o que é bem recente na história geológica dessas lagoas, esses ambientes costeiros se transformam em importantes áreas para urbanização, turismo, pesca, navegação, prospecção mineral, lançamento e diluição de efluentes, tornando-se sensíveis às pressões antrópicas ao longo da bacia hidrográfica.

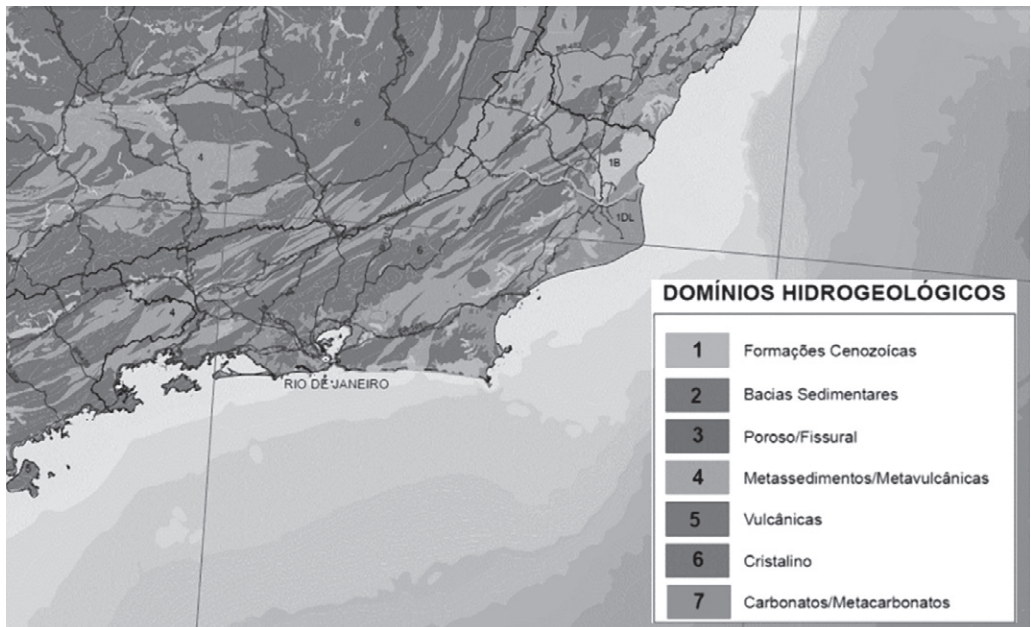
A distribuição destes ambientes lênticos, ao longo do litoral brasileiro, estende-se do Maranhão ao Rio Grande do Sul (KNOPPER *et al.*, 1999a). Essas lagoas costeiras possuem origem geológica diversa, a saber: isolamento de enseada marinha através de cordão arenoso (Ex.: Lagoa de Araruama, RJ; Lagoa dos Patos e Mirim, RS); fechamento da desembocadura de rios por sedimentos marinhos (Ex.: Lagoa Mundaú, Al; Lagoa Comprida e Cabiúnas, RJ); fechamento da desembocadura de rios por recifes de corais (Ex.: Lagoa do Rodeio, SC); fechamento da desembocadura de rios por sedimentos fluviomarinhas (Ex.: Lagoa Feia, RJ; lagoa Juparanã e das Palminhas, ES); formação nas depressões entre faixas de areia que constituem a restinga (Ex.: Lagoa Preta, RJ; Lagoa Taí Grande, RJ; Lagoa Piri-Piri, RJ) (ESTEVES, 2011b).

As lagoas costeiras são classificadas em três tipos geomorfologicamente distintos, de acordo com a natureza de formação. Elas podem ser classificadas pelo número de canais que conectam a lagoa ao mar e o grau de influência da maré, sendo os tipos (KJERFVE; MAGILL, 1989):

- Lagoas sufocadas (*choked lagoons*), caracterizadas por possuírem um único e longo canal de ligação com o mar, alto tempo de residência das águas, circulação interna dirigida principalmente pelos ventos, e costumam ser permanente ou temporariamente hipersalinas;
- Lagoas restritas (*restricted lagoons*) que apresentam dois ou mais canais de entrada de maré, circulação interna definida pela maré, com influência dos ventos, salinidade variando desde águas salobras a águas marinhas;
- Lagoas abertas (*leaky lagoons*) as quais possuem vários canais conectando com o mar, influência de fortes correntes de maré e salinidade correlatas às do mar.

No litoral do estado do Rio de Janeiro, existem aproximadamente 80 lagoas costeiras, sendo a maior concentração desses ambientes entre os estados litorâneos do Brasil. Este fato se deve às regressões marinhas nos últimos 1,6 milhões de anos que, no litoral fluminense, originou o Domínio Hidrogeológico<sup>1</sup> de Formações Cenozoicas, Subdomínio Depósitos Litorâneos (Figura 1).

<sup>1</sup> O Domínio hidrogeológico é o grupo de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características litológicas das rochas.

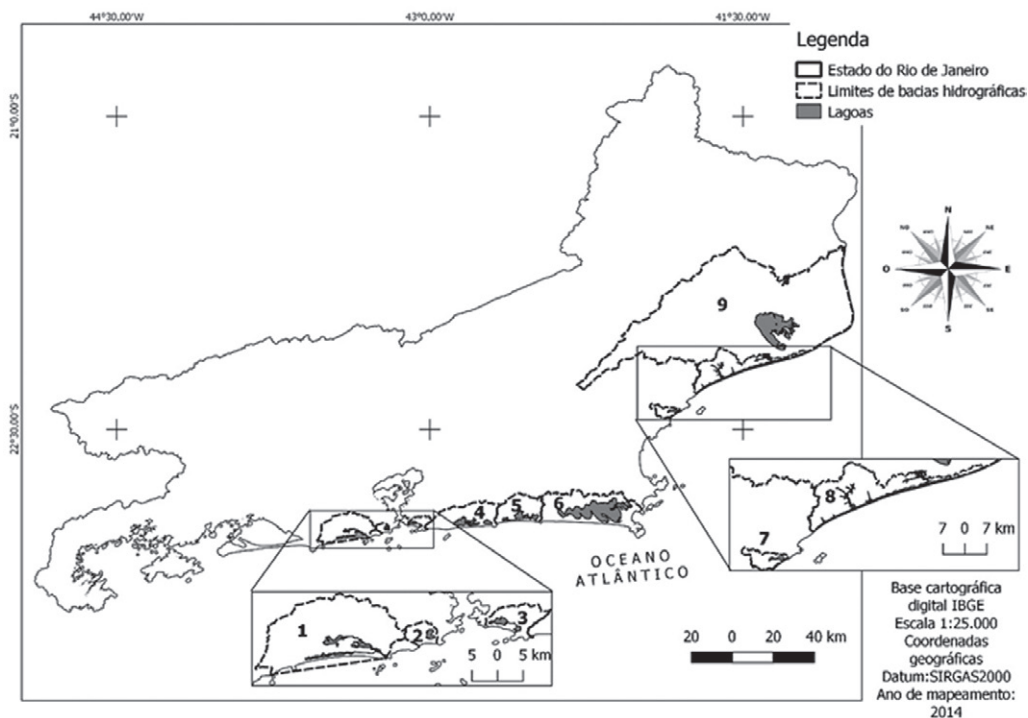


**Figura 1 - Domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil, em destaque o Estado do Rio de Janeiro**

Fonte: Base cartográfica digital, escala 1:1.000.000 (CPRM, 2004)

Esse domínio e subdomínio hidrogeológico têm sua gênese na deposição de sedimentos fluviomarinhas, com consequente formação de restingas arenosas paralelas à linha de costa, favorecendo a formação de lagoas costeiras, conforme descreve Esteves *et al.* (2008). Neste texto, limitaremos-nos a discutir sobre as lagoas fluminenses que aparecem entre o Cabo de São Tomé (Norte) e a Baía de Sepetiba (Sul). Essas lagoas compõem a porção final das Bacias Hidrográficas do Atlântico Sudeste (Paralelos 22-29°) que têm como importante característica possuírem área de drenagem reduzida (<0,001 km<sup>2</sup> - 1.000 km<sup>2</sup>) e gradiente de altitude variando de 1.500 metros nas montanhas da Serra do Mar até o nível médio do oceano, onde, ao longo deste trecho, estão dispostas as planícies costeiras de variadas dimensões, nas quais as lagoas se inseriram (KNOPPERS *et al.*, 1999a) (Figura 2).

Essa região costeira apresenta aspectos singulares que podem possibilitar a comparação entre seus ambientes lagunares: está sob influência do mesmo ecossistema marinho, a Plataforma Brasileira Marítima Sul (SCHIAVETTI *et al.*, 2013); está sob influência da mesma corrente oceânica, a Corrente Brasileira (CASTRO; MIRANDA, 1998; KNOPPERS *et al.*, 1999b); está na mesma zona climática segundo a classificação climática de Köppen, Zona Tropical com Inverno Seco (ALVARES *et al.*, 2013); está no mesmo domínio geoambiental, Domínio Geoambiental da Região Litorânea do Rio de Janeiro (DANTAS *et al.*, 2000).



**Figura 2 - Lagoas costeiras e respectivas bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.** 1- Complexo lagunar de Jacarepaguá; 2- Lagoa Rodrigo de Freitas; 3- Lagoas de Piratininga e Itaipu; 4- Lagoas de Maricá; 5- Lagoas de Saquarema; 6- Lagoa de Araruama; 7- Lagoa de Imboassica; 8- Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba; 9- Lagoa Feia

Devido a essas características dessa região costeira, ela foi um atrativo para a colonização humana, começando com os povos indígenas e mais atualmente passando pela urbanização de alta densidade (Lagoa Rodrigo de Freitas e Complexo Lagunar de Jacarepaguá). Ao longo desse período, podem-se observar ciclos econômicos extrativistas, como a agricultura de cana de açúcar (Lagoa Feia), de café (Complexo Lagunar de Jacarepaguá), a pecuária extensiva e a pesca (Lagoa de Araruama), turismo (Lagoa Saquarema, Araruama, Maricá) e mais atualmente a extração de petróleo nas águas *offshore* em frente a essa região costeira (Lagoa Imboassica) (Esteves, 2011a). Porém, outras lagoas estão em áreas ambientalmente protegidas como as lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Jurubatiba). Em comum, essas lagoas têm suas condições físicas, químicas e biológicas alteradas, em algum grau, por atividades socioeconômicas. Uma alteração frequentemente observada é a mudança, no estado trófico, atualmente relacionada à emissão de efluentes domésticos, industriais e agropecuários sem tratamento, ricos em nutrientes com potencial de eutrofização como nitrogênio e fósforo (ESTEVES *et al.*, 2008).

O estado trófico é uma classificação de condições de ambientes aquáticos (rios, lagos, reservatórios, estuários, oceanos) associado à fertilidade do ambiente. O termo "trófico" está relacionado à disponibilidade de nutrientes a organismos. Lagos mais eutróficos possuem mais nutrientes disponíveis e consequentemente mais organismos autotróficos, como algas e plantas. O estado trófico é avaliado por variados índices, os quais são calculados com base na composição e densidade de células de fitoplâncton, na concentração de nutrientes, na transparência da água, na morfometria do ambiente lacustre, entre outros (CARLSON, 1977; RAST; HOLLAND, 1998; REYNOLDS *et al.*, 2002). A análise destes parâmetros classifica usualmente os ambientes aquáticos em oligotrófico (oligo = pouco), mesotrófico (meso = meio) e eutrófico (eu = verdadeiro), embora possa haver outras divisões como hipereutrófico e supertrófico. Estas condições estão relacionadas principalmente à disponibilidade de nitrogênio e fósforo, à entrada de luz solar ao longo da coluna d'água (transparência) e à biomassa do fitoplâncton (representada pelo pigmento chamado clorofila *a* que pode ser indicativo da biomassa de microalgas).

Um ambiente aquático é considerado oligotrófico quando possui uma concentração reduzida de nutrientes, águas claras e reduzida produtividade primária; enquanto que, no outro extremo, as águas são consideradas eutróficas, quando há elevada disponibilidade de nutrientes e aumento da biomassa de microalgas. Este aumento na concentração de microalgas pode gerar *blooms* e diminuir a transparência da água. Um dos principais efeitos do *bloom* é o acúmulo de matéria orgânica originada pela biomassa de algas.

A degradação dessa matéria orgânica pelos organismos consumidores heterotróficos, que utilizam o oxigênio dissolvido na água para respiração, causa a depleção até níveis hipóxicos ou anóxicos. Outras consequências deste *bloom* em ambientes lacustres são: diminuição da transparência da água; mortandade e migração de espécies de organismos; alteração da diversidade; presença de substâncias como toxinas originadas de algumas espécies de algas; perda da balneabilidade; e, em casos extremos, mudança no estado original do ecossistema. Um efeito drástico usualmente observado em lagos eutróficos é o aumento da concentração de algas cianofíceas, como gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Oscillatoria* que, como adaptação a essas condições, podem liberar substâncias para restringir a competição de outras espécies de algas, mas que podem também ser tóxicas a outros organismos, inclusive, ao homem que utiliza os recursos lacustres.

Existem casos descritos de evidências de correlação entre a floração de cianofíceas, no reservatório em Itaparica (BA), com a morte de 88 pessoas e intoxicação de 200, em 1988 (TEIXEIRA *et al.*, 1993). O primeiro caso confirmado de mortalidade humana por cianotoxinas ocorreu em 1996, quando 130 pacientes renais crônicos que faziam hemodiálise em uma clínica na cidade de Caruaru (PE) passaram a apresentar um quadro crônico de hepatotoxicose, sendo que destes 60 pacientes vieram a óbito. Posteriormente descobriu-se a presença de microcistinas e cilindrospermopsina no sistema

de purificação da água da clínica, de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes que apresentaram tais sintomas e a dominância dos gêneros de cianofíceas nas águas do reservatório que abastecia a cidade (AZEVEDO *et al.*, 2002).

A teoria clássica de gênese de ambientes lacustres postula que, na origem de sua formação, eles são oligotróficos e, com o passar do tempo, tornam-se mesotróficos ou eutróficos, tendo em vista haver uma tendência de eutrofização natural, devido ao aporte contínuo de matéria orgânica e de nutrientes; como, por exemplo, devido ao escoamento superficial da bacia hidrográfica. Podemos assumir que as águas superficiais sejam empobrecidas de N e P, salvo exceções, o que limita a produção primária, principalmente a produção extensiva ou *blooms*. Atualmente, o desenvolvimento socioeconômico representado pela urbanização, agricultura, pecuária, aquicultura vem aumentando a emissão de efluentes enriquecidos de N e P (leia FRANCO *et al.*, 2010).

Embora poucos estudos sejam realizados, em ambientes costeiros do estado do Rio de Janeiro abordando a quantificação das emissões por atividades antrópicas, podemos exemplificar este aporte através do estudo de caso do estuário do Rio Macaé no qual se constatou que 99% das emissões de N (1.446 ton/ano) e 90% das emissões de P (783 ton/ano) são oriundos do ambiente urbano das áreas onde há pecuária, sendo ínfima a contribuição por fontes naturais, como a erosão de solos e deposição atmosférica as quais aportam valores entre 153 e 4,2 ton/ano destes elementos químicos (MOLISANI *et al.*, 2013).

O aporte adicional de nutrientes por atividades humanas vem intensificando as mudanças do estado trófico em ambientes aquáticos ao redor do mundo, inclusive, as lagoas costeiras (ESTEVES *et al.*, 2008; SMITH, 2003; SMITH *et al.*, 1999). Um dos exemplos mais drásticos de eutrofização é a descoberta das “*dead zones*” ou zonas mortas, em diversos ambientes costeiros do mundo, onde a entrada excessiva de nutrientes desencadeou florações de algas e mudanças no estado trófico que induziram a depleção de oxigênio na água, tornando essas regiões estéreis ou pela morte dos organismos (principalmente os sésseis, como moluscos) ou pela migração para áreas oxigenadas (como os peixes). O Golfo do México (USA) é o caso mais estudado de zonas mortas, embora atualmente se tenha conhecimento da ocorrência de mais de 400 áreas, e essas áreas podem dobrar a cada década (RABALAIS *et al.*, 2010). É importante mencionar que o cenário de eutrofização pode ser reversível desde que as fontes de nutrientes sejam controladas e a carga em excesso seja reduzida.


O estado trófico deve ser considerado como uma “fotografia” dos ambientes, sendo este estado um momento transiente da sucessão natural ou artificial (KIMMEL; GROEGER, 1986). Durante a formação de um ambiente lacustre, que pode ser recente no caso de um reservatório artificial ou ter mais de 5,0 mil anos no caso das lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro, há uma tendência desse se tornar mais produtivo, embora nem sempre a



eutrofização natural possa ocorrer. Porém, com o contínuo crescimento das atividades socioeconômicas, ao longo das bacias hidrográficas, temos uma intensificação do estado trófico em direção à eutrofização. De acordo com a magnitude e o intervalo do aporte de nutrientes, pode haver uma mudança contínua do estado trófico de uma lagoa reduzindo a sua capacidade de resiliência e induzindo a um estado alternativo sem possibilidade de reversão ao estado original, modificando as características ecológicas, a biodiversidade e os serviços socioeconômicos desses ambientes costeiros de forma perene (SCHEFFER, 2004).

No contexto de lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro, o estado trófico advém da ontogenia destes ambientes que sofrem influência do aporte de matéria orgânica e de nutrientes oriundos de fontes alóctones como a perda de solos da bacia hidrográfica. Porém, nos últimos 50 anos, pode-se observar a intensificação da ocupação dessas regiões pelas atividades humanas que aumentam o aporte de nutrientes, afetando o estado trófico dessas lagoas. Adicionalmente, ações como a abertura de barra de areia e a perenização de canais com o intuito de intensificar a troca de água com o mar são fatores determinantes tanto do estado trófico (CARLONI *et al.*, 2010; CERDA *et al.*, 2013; KNOPPERS *et al.*, 1999a; SUZUKI *et al.*, 1998) como das mudanças de comunidades de peixes (SAAD *et al.*, 2002) e zooplâncton (KOZLOWSKY *et al.*, 2004). Com o passar dos anos, a ocupação humana desordenada das áreas naturais de inundação das lagoas ocasionou um aumento na frequência de eventos de enchente, nestas áreas agora habitadas, resultando da necessidade de se abrir esporadicamente, principalmente no verão, ou permanentemente, uma comunicação que permita o escoamento das águas acumuladas para o mar.

Como dito anteriormente, diversos índices de estados tróficos são propostos na literatura (CARLSON, 1977; OECD, 1982, SALAS; MARTINO, 2001). Esses índices são utilizados para lagos profundos, em ambientes com baixas temperaturas, o que faz com que a ciclagem de nutrientes dentro deles seja mais lenta do que a ciclagem nos ambientes costeiros rasos, submetido à alta energia cinética de ventos e marés e maiores temperaturas. Assim, os índices de estados tróficos desenvolvidos especialmente para ecossistemas lênticos tropicais menos profundos têm sido cada vez mais usado por pesquisadores brasileiros (LAMPARELLI, 2004; MERCANTE; TUCCI-MOURA, 1999; SANTOS, 2014).

No presente estudo, dois índices de estados tróficos para sistemas lênticos tropicais foram utilizados para avaliar as variações, nos últimos 30 anos, nas lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro. Esses índices são o  índice de Lamparelli (2004) e o índice de Carlson, modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983). O primeiro índice utiliza os valores de concentração de clorofila *a*, de fósforo total e da transparência de Secchi. O segundo índice utiliza os valores de concentração de clorofila *a*, de fósforo e dissolvido e da transparência de Secchi. Contudo, na nossa abordagem, não utilizaremos o parâmetro transparência de Secchi, pois este parâmetro foi estabelecido para reservatórios artificiais com

profundidades médias superiores a 4,0 m, enquanto que a maioria das lagoas costeiras fluminenses tem profundidade média inferior a 4,0 m; logo, o uso da transparência de Secchi pode gerar distorções no resultado final.

Além disso, por recomendação da própria autora (Lamparelli, comunicação pessoal), a transparência só deve ser utilizada quando há uma relação direta entre o aumento de turbidez e aumento da biomassa de fitoplâncton, o que não ocorre nas lagoas costeiras fluminenses que, por serem muito rasas, têm o aumento de turbidez mais associado à ressuspensão de sedimento pela ação do vento e de maré (ALVES, 2003; CRUZ, 2010; KNOPPERS *et al.*, 1999a; KNOPPERS *et al.*, 1991; MACIEL, 2007; MAROTTA, 2009). Por fim, podemos elucidar que o fósforo entra na equação do estado trófico como o componente que “controla” o potencial de eutrofização, enquanto que a clorofila *a* é o componente que “mede” a resposta do ambiente. Assim, as duas variáveis fornecem uma relação de causa e efeito sobre o estado trófico de ambientes lacustres.

Os índices que representam o estado trófico (IET) dos ambientes lacustres são calculados a partir das equações obtidas por Lamparelli (2004):

$$IET_L (CL) = 10. \left[ 6 - \left( 0,92 - \frac{0,34. \ln CL}{\ln 2} \right) \right]$$

$$IET_L (PT) = 10. \left[ 6 - \left( 1,77 - \frac{0,42. \ln PT}{\ln 2} \right) \right]$$

Onde:

$IET_L (CL)$  é o índice de estado trófico de Lamparelli baseado na concentração de clorofila *a* em  $\mu\text{g/L}$  (CL),

$IET_L (PT)$  é o índice de estado trófico de Lamparelli baseado na concentração de clorofila *a* em  $\mu\text{g/L}$  (PT).

E do índice de Toledo Jr *et al.* (1983):

$$IET_T (CL) = 10. \left[ 6 - \left( \frac{2,04 - 0,695. \ln CL}{\ln 2} \right) \right]$$

$$IET_T (PD) = 10. \left[ 6 - \left( \frac{\ln \frac{21,67}{PD}}{\ln 2} \right) \right]$$

$$IET_T (PT) = 10. \left[ 6 - \left( \frac{\ln \frac{80,32}{PT}}{\ln 2} \right) \right]$$

Onde:

$IET_T (CL)$  é o índice de estado trófico de Toledo Jr. baseado na concentração de clorofila *a* em  $\mu\text{g/L}$  (CL),

$IET_T (PD)$  é o índice de estado trófico de Toledo Jr. baseado na concentração de fósforo dissolvido em  $\mu\text{g/L}$  (PD),

$IET_T (PT)$  é o índice de estado trófico de Toledo Jr. baseado na concentração de fósforo total em  $\mu\text{g/L}$  (PT).



Tanto para o índice de Lamparelli (2004) quanto para o índice Toledo Jr. *et al.* (1983), os valores de IET são somados e é feita a média final do índice. A média final, então, permite enquadrar o estado trófico do corpo d'água lêntico conforme as classificações estabelecidas (Tabela 1).

**Tabela 1 - Classificação de índices de estado trófico (IET) para sistemas lênticos tropicais**

Nível Trófico	Lamparelli (2004)	Toledo Jr. <i>et al.</i> (1983)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	-----
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$IET \leq 44$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$44 < IET \leq 54$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$54 < IET \leq 74$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	-----
Hipereutrófico	$IET \geq 67$	$IET \geq 74$

Fonte: Lamparelli (2004) e Toledo Jr *et al.* (1983)

Desta forma, baseado nos parâmetros clorofila *a*, fósforo total (P total) e fósforo dissolvido (P dissolvido), fez-se o enquadramento do nível trófico das lagoas do Sistema Lagunar de Jacarepaguá, Lagoa Rodrigo de Freitas, Complexo Lagunar Piratininga-Itaipu, Complexo Lagunar de Maricá, Complexo Lagunar de Saquarema, Lagoa de Araruama, Lagoa de Imboassica, Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e Lagoa Feia. Os valores de clorofila *a*, P total e P dissolvido das Tabelas 3 a 20 foram consultados em publicações sobre lagoas costeiras fluminenses e o estado trófico foi calculado utilizando os índices de Lamparelli (2004) e Toledo Jr. *et al.* (1983). Todas as publicações sobre as lagoas utilizaram metodologias similares para dosagem de clorofila *a* e fósforo como, por exemplo, APHA (1998). As malhas amostrais de todos os estudos foram representativas das principais condições das lagoas sendo descritas em detalhes por cada referência.

Para avaliar se há variação temporal estatisticamente significativa dos parâmetros limnológicos e dos índices de estado trófico em cada período amostrado, fez-se uma análise de variância para um único fator (MONTGOMERY *et al.*, 2012). Os detalhamentos dos resultados estatísticos estão nos apêndices. Para realizar as comparações múltiplas nos casos em que houve diferença entre os anos, foi utilizado o teste t de Student para amostras independentes, corrigidos pelo método de Holm-Bonferroni (HOLM, 1979). A exceção foi a Lagoa Feia, que devido ao fato de sua distribuição de dados não ser normal e sua distribuição de frequência ser heterocedástica, optou-se por utilizar teste não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido do teste *post-hoc* de Nemenyi (HOLLANDER; WOLF, 2013). As análises são consideradas estatisticamente significativas a um nível de significância de  $p < 0,05$ . O software utilizado nas análises estatísticas foi o R (versão 3.1.3). Tanto o estado trófico quanto a análise de variância permitem comparar as mudanças ocorridas nessas lagoas, ao longo dos últimos 30 anos, conforme será demonstrado na sequência.





## **ESTADO TRÓFICO DE LAGOAS COSTEIRAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

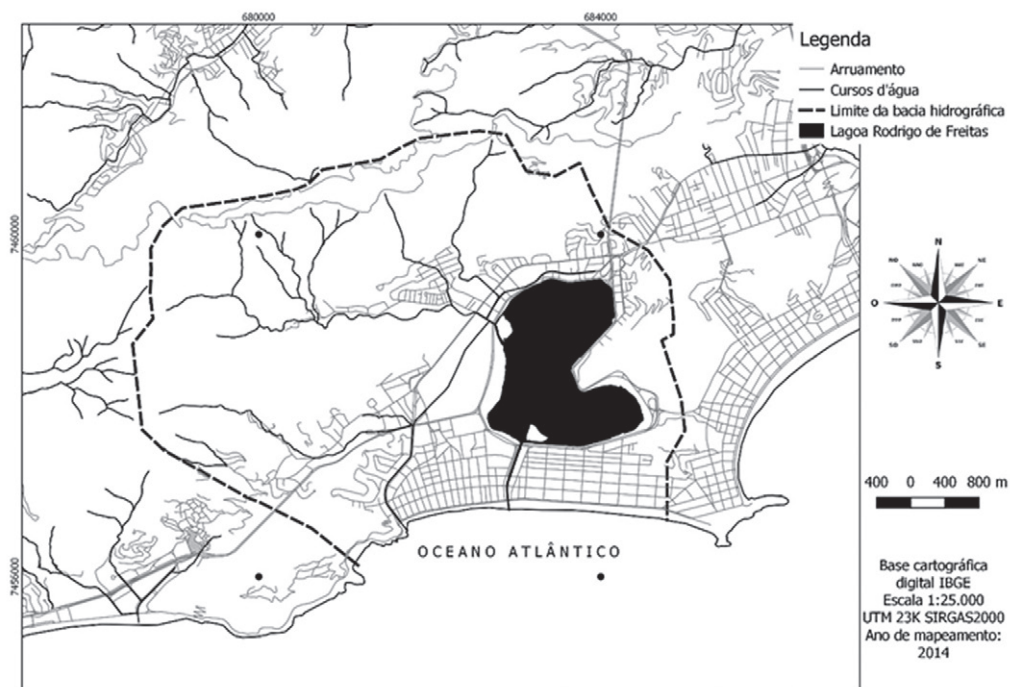
---

### **2.1 COMPLEXO LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ e LAGOA RODRIGO DE FREITAS**

Atualmente, o Complexo Lagunar de Jacarepaguá (Figura 3) e a Lagoa Rodrigo de Freitas (Figura 4) estão inseridos na malha urbana no município do Rio de Janeiro, mais precisamente na zona sul e oeste da capital fluminense, respectivamente, sendo localizado em uma planície costeira margeada pelas montanhas da Serra do Mar e pelo oceano Atlântico. Segundo Kjerfve e Dias (2009), essas lagoas estão localizadas na região da baixa planície sedimentar fluminense (*low-lying Fluminense sedimentary plain*) e situam-se entre afloramentos cristalinos de origem Pré-cambriana (Serra do Mar) e um sistema de dupla barreira, sendo uma mais interna ao continente, de origem pleistocênica, e a outra barreira arenosa de origem holocênica. A Lagoa de Marapendi é a única que se situa entre estas duas barreiras (TURCQ *et al.*, 1999).



**Figura 3 - Bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. LJ – Lagoa de Jacarepaguá, LC – Lagoa do Camorim, LT – Lagoa da Tijuca, LM – Lagoa de Marapendi**



**Figura 4 - Bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas**

O Complexo Lagunar de Jacarapaguá é formado por quatro lagoas: Lagoa da Tijuca, Lagoa de Jacarepaguá e Lagoa de Marapendi, que são alongadas na direção leste-oeste; e, ainda, pela Lagoa de Camorim que, na verdade, é um canal de conexão entre as lagoas da Tijuca e de Jacarepaguá. Este complexo lagunar localiza-se entre as latitudes 22°58'24" e 23°01'19" e as longitudes 43°17'37" e 43°26'54" e recebe a drenagem de uma área de cerca de 300 km<sup>2</sup>. A superfície total das lagoas somadas é de 12,8 km<sup>2</sup>. São 47 cursos d'água que fazem parte desta bacia hidrográfica, incluindo o canal que as conecta de forma perene com o mar: o canal da Joatinga (SEMADS, 2001). Esse complexo possui águas salobras com salinidade entre 0,5 a 25 (SAMPAIO, 2008). A Tabela 2 traz os valores morfométricos dessas lagoas segundo Riguetti (2009).

A Lagoa Rodrigo de Freitas situa-se entre as latitudes 22°57'47" e 22°58'49" e longitude 43°12'00" e 43°13'05" na região hidrográfica da Baía de Guanabara conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). A bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas possui uma área de 32 km<sup>2</sup>, sendo alimentada por três rios principais: Rio Cabeças, Rio Macacos, Rio Rainha. Podem-se observar duas ilhas em seu interior: Piraquê e Caiçaras (SEMADS, 2001). A lagoa possui uma ligação perene com o mar chamada de Canal do Jardim de Alah, com 800 metros de comprimento, largura variando entre 10 e 18 metros e cota de fundo de -0,70 m, o que permite classificar esta lagoa como sufocada (KJERFVE; MAGILL, 1989). As águas da Lagoa Rodrigo de Freitas são salobras, com salinidade variando de 7,0 a 25 (MACIEL, 2007).

**Tabela 2 - Valores da área do espelho d'água (km<sup>2</sup>); largura, comprimento e perímetro (km); profundidade média (m); volume (m<sup>3</sup>) da Lagoa Rodrigo de Freitas e Complexo Lagunar de Jacarepaguá**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade	Volume (x10 <sup>6</sup> )
Lagoa Rodrigo de Freitas	2,2	0,80	2,0	7,8	2,8	6,2
Lagoa de Jacarepaguá	3,7	0,93	4,0	15	3,3	12
Lagoa do Camorim	0,80	0,49	3,5	8,0	1,3	1,0
Lagoa da Tijuca	4,8	0,88	6,0	21	2,1	10
Lagoa de Marapendi	3,5	0,35	10	23	1,8	6,3

Fonte: Riguetti (2009)

A partir dos dados limnológicos da lagoa Rodrigo de Freitas e do Complexo Lagunar de Jacarepaguá extraídos de estudos limnológicos da literatura, entre os anos de 1982 e 2014, obtém-se a variação temporal do estado trófico aplicando-se os índices de Lamparelli e Toledo Jr. revelados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Índices de estado trófico de lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras (continua)**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Abr a Dez 1981	5	215 ±239	318 ±309	711 ±426	77	hipereutrófico	91	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Nov 1982	5	78,1 ±60,0	229 ±355	568 ±243	74	hipereutrófico	85	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Nov 1983	5	123 ±55,6	258 ±73,3	657 ±279	75	hipereutrófico	88	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mai a Dez 1984	5	81,8 ±31,5	387 ±56,5	914 ±34,4	75	hipereutrófico	90	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Abr a Out 1986	7	80,6 ±55,8	147 ±50,6	839 ±335	75	hipereutrófico	85	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mai a Out 2004	6	307 ±152	700 ±210	1242 ±320	80	hipereutrófico	99	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2005	6	216 ±119	700 ±277	986 ±333	78	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Dez 2006	7	216 ±212	600 ±229	1290 ±267	79	hipereutrófico	97	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2007	7	235 ±22,6	950 ±163	1500 ±408	80	hipereutrófico	100	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 2008	6	135 ±50,1	608 ±139	1100 ±191	77	hipereutrófico	95	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan 2009 a Dez 2010	5	114 ±13,3	690 ±187	1090 ±250	77	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2011 a Dez 2012	5	138 ±26,0	500 ±140	970 ±388	77	hipereutrófico	93	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2013 a Dez 2014	5	143 ±53,2	370 ±213	720 ±355	76	hipereutrófico	90	hipereutrófico	Santos (2014)

Lagoa do  
Camorim

**Tabela 3 - Índices de estado trófico de lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras (continuação)**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Maio a Out 1986	7	52,4 ± 50,7	80,0 ± 60,0	266 ± 83,6	71	hipereutrófico	75	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jun a Nov 2003	6	-----	243 ± 230	375 ± 375	78	hipereutrófico	88	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 2004	14	286 ± 270	413 ± 330	735 ± 590	78	hipereutrófico	93	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2005	7	194 ± 165	399 ± 220	779 ± 489	77	hipereutrófico	92	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Dez 2006	8	69,1 ± 101	456 ± 218	940 ± 478	75	hipereutrófico	90	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Dez 2007	16	358 ± 151	608 ± 322	866 ± 355	79	hipereutrófico	97	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 2008	12	300 ± 120	555 ± 190	896 ± 247	79	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan 2009 a Dez 2010	28	82,7 ± 27,7	370 ± 242	620 ± 363	74	hipereutrófico	88	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2011 a Dez 2012	37	91,1 ± 48,7	260 ± 150	530 ± 273	74	hipereutrófico	86	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2013 a Dez 2014	31	81,6 ± 40,4	170 ± 135	940 ± 680	76	hipereutrófico	86	hipereutrófico	Santos (2014)

Lagoa da  
Tijuca

**Tabela 3 - Índices de estado trófico de lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras (continuação)**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Mar a Out 1980	4	31,5 ± 9,76	167 ± 57,4	210 ± 21,6	69	hipereutrófico	76	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 1981	12	225 ± 219	231 ± 156	769 ± 648	77	hipereutrófico	90	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Nov 1982	5	133 ± 103	238 ± 257	466 ± 272	75	hipereutrófico	86	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Dez 1983	9	81,6 ± 46,9	154 ± 68,0	319 ± 64,3	72	hipereutrófico	81	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Dez 1984	10	461 ± 175	281 ± 93,1	707 ± 196	79	hipereutrófico	93	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Abr a Out 1986	14	112 ± 88,9	145 ± 111	502 ± 246	74	hipereutrófico	83	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mai a Dez 1990	5	124 ± 39,4	300 ± 117	590 ± 241	75	hipereutrófico	88	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Dez 1991	10	169 ± 109	300 ± 97,2	560 ± 151	76	hipereutrófico	89	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Dez 2001	5	242 ± 23,1	906 ± 84,7	1720 ± 228	80	hipereutrófico	101	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 2004	14	327 ± 185	485 ± 175	1014 ± 358	79	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2005	14	190 ± 137	614 ± 215	968 ± 249	78	hipereutrófico	95	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Mar a Nov 2006	8	146 ± 55,5	663 ± 242	1250 ± 378	78	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2007	8	131 ± 25,8	750 ± 266	1188 ± 372	77	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 2008	6	144 ± 46,6	633 ± 204	1083 ± 204	77	hipereutrófico	95	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan 2009 a Dez 2010	14	124 ± 24,6	570 ± 175	940 ± 250	77	hipereutrófico	93	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2011 a Dez 2012	24	134 ± 24,5	640 ± 210	1030 ± 340	77	hipereutrófico	95	hipereutrófico	Santos (2014)
Jan 2013 a Dez 2014	19	137 ± 28,9	450 ± 198	1130 ± 515	77	hipereutrófico	93	hipereutrófico	Santos (2014)

Lagoa de  
Jacarepaguá



**Tabela 3 - Índices de estado trófico de lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), P dissolvido (PD) e P total (PT). NA = número de amostras (continuação)**

	Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
						Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Lagoa de Marapendi	Mar a Nov 1980	4	27,8 ±51,2	12,5 ±5,00	66,5 ±42,2	65	supereutrófico	58	eutrófico	Riguetti (2009)
	Mar a Dez 1981	11	3,69 ±2,81	19,8 ±15,7	58,0 ±39,8	60	eutrófico	52	mesotrófico	Riguetti (2009)
	Jan a Out 1982	5	18,5 ±19,6	14,6 ±7,10	56,0 ±30,5	63	supereutrófico	56	eutrófico	Riguetti (2009)
	Mar a Nov 1983	9	51,0 ±25,7	16,5 ±11,1	187 ±79,5	70	hipereutrófico	66	eutrófico	Riguetti (2009)
	Mar a Dez 1984	4	64,0 ±33,4	23,8 ±14,9	185 ±73,3	70	hipereutrófico	69	eutrófico	Riguetti (2009)
	Abr a Nov 1986	14	44,3 ±38,0	17,9 ±17,2	228 ±61,6	70	hipereutrófico	67	eutrófico	Riguetti (2009)
	Mar a Dez 1990	10	143 ±28,9	29,0 ±24,2	360 ±106	74	hipereutrófico	75	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Jan a Dez 1991	11	187 ±149	50,9 ±60,2	341 ±77,7	75	hipereutrófico	78	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Fev a Out 2004	14	195 ±137	582 ±316	1129 ±449	78	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Fev a Dez 2005	13	202 ±134	654 ±356	1061 ±229	78	hipereutrófico	96	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Mar a Dez 2006	8	92,1 ±73,3	740 ±246	1310 ±259	77	hipereutrófico	95	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Jan a Dez 2007	16	25,3 ±14,5	969 ±397	1313 ±479	74	hipereutrófico	92	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Fev a Out 2008	12	37,4 ±6,05	904 ±222	1333 ±389	75	hipereutrófico	94	hipereutrófico	Riguetti (2009)
	Jan 2009 a Dez 2010	28	69,1 ±25,8	----	1350 ±450	76	hipereutrófico	87	hipereutrófico	Santos (2014)
	Jan 2011 a Dez 2012	40	69,5 ±26,6	370 ±190	860 ±313	75	hipereutrófico	89	hipereutrófico	Santos (2014)
	Jan 2013 a Dez 2014	32	81,8 ±28,2	300 ±248	680 ±98	75	hipereutrófico	87	hipereutrófico	Santos (2014)

**Tabela 3 - Índices de estado trófico de lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), P dissolvido (PD) e P total (PT). NA = número de amostras (conclusão)**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Jan a Dez 1982	113	59,2 ± 67,3	19,4 ± 150	443 ± 216	72	hipereutrófico	83	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Out 1983	30	84,3 ± 67,7	14,0 ± 120	375 ± 132	73	hipereutrófico	81	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Abr a Dez 1984	31	68,6 ± 85,6	36,0 ± 58,2	199 ± 90,6	71	hipereutrófico	71	eutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Dez 1985	30	33,5 ± 19,6	23,3 ± 53,6	142 ± 63,1	68	hipereutrófico	65	eutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Out 1998	28	78,4 ± 27,0	----	114 ± 68,1	69	hipereutrófico	70	eutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Nov 1999	32	86,4 ± 68,8	----	362 ± 133	73	hipereutrófico	78	hipereutrófico	Riguetti (2009)
Fev a Dez 2000	34	56,3 ± 58,2	47,5 ± 27,8	177 ± 70,0	70	hipereutrófico	71	eutrófico	Riguetti (2009)
Jan a Out 2008	36	11,5 ± 6,85	15,7 ± 11,7	126 ± 53,0	65	supereutrófico	59	eutrófico	Riguetti (2009)
Mar 2013	6	30,0 ± 4,75	46,2 ± 12,7	----	63	supereutrófico	67	eutrófico	Rio de Janeiro (2016 a)
Jan a Ago 2014	8	15,0 ± 15,9	----	----	60	eutrófico	57	eutrófico	Rio de Janeiro (2016 a)

Lagoa Rodrigo  
de Freitas

As lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá tiveram comportamentos diferentes entre si:

- A Lagoa do Camorim basicamente não alterou as concentrações de clorofila *a* e fósforo ao longo dos anos (Apêndice – Tabelas 23 e 24);
- A Lagoa da Tijuca teve um aumento significativo nas concentrações de clorofila *a* e fósforo a partir de 2007 (Apêndice – Tabelas 25 e 26);
- A Lagoa de Jacarepaguá teve pico na concentração de clorofila *a* nos anos de 2001 e 2004, enquanto que o fósforo aumentou significativamente a partir de 2001 (Apêndice – Tabelas 27 e 28);
- A Lagoa de Marapendi teve um pico de clorofila *a* entre os anos de 2004 e 2005, com um aumento do P, depois de 2005, mantendo-se significativamente mais alto que os níveis observados no início dos anos 80 (Apêndice – Tabelas 29 e 30).

As lagoas do Camorim, da Tijuca e de Jacarepaguá revelam-se, pelos índices adotados, como hipereutróficas durante todo o intervalo de tempo analisado (início da década de 1980 até 2014). Já a Lagoa de Marapendi, durante os anos de 1980, muda seu estado trófico de mesotrófico/eutrófico para hipereutrófico permanecendo assim nos anos subsequentes. De acordo com Riguetti (2009), a lagoa de Marapendi era classificada como oligotrófica em 1980, tornando-se mesotrófica em 1981 e 1982; e, por fim, apresentando uma condição eutrófica em 1983. Todas as demais lagoas são classificadas como eutróficas de 1980 a 2008. A análise realizada pelo presente estudo é similar à de Riguetti (2009) que utilizou índices diferentes.

Apesar de a Lagoa de Marapendi ser a única que realmente muda de estado trófico dentro do período analisado, pela análise estatística feita para clorofila *a* e fósforo, nas lagoas desse complexo, infere-se que, de um modo geral, houve uma piora na qualidade da água desse complexo lagunar ao longo do período analisado representado por estes parâmetros. Esse fato provavelmente está associado com o aumento da densidade populacional que ocorreu na bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá a partir dos anos 80. Segundo dados da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (2016), o crescimento da população nos bairros existentes nesta bacia hidrográfica, durante 1991 e 2000, foi em torno de 33% (de 443.777 habitantes para 590.541 habitantes), gerando um salto de densidade demográfica de 1.479 hab/km<sup>2</sup> para 1.968 hab/km<sup>2</sup>. Associado a esse fato está a deficiência no tratamento de esgoto gerado por esta população: no ano de 1991, 66,37% das residências desta bacia hidrográfica tinham rede coletora de esgoto; porém, a partir do ano 2000, esse número cai para 65,12%. O aumento da densidade demográfica associado à deficiência no tratamento de esgoto explica a piora no estado trófico das lagoas dessa bacia hidrográfica, que também foi descrito por Riguetti (2009).

A variação temporal dos parâmetros limnológicos utilizados para o cálculo dos índices de estado trófico na Lagoa Rodrigo de Freitas indicou uma diminuição estatisticamente significativa das concentrações de clorofila *a* do ano de 2008 em diante e fósforo do ano de 1984 em diante

(Apêndice – Tabelas 21 e 22). Essa diminuição também se refletiu nos índices de estado trófico, fazendo com que esta lagoa passasse de hipereutrófica para eutrófica, principalmente a partir do ano de 2008. A Lagoa Rodrigo de Freitas foi classificada por Riguetti (2009) como eutrófica utilizando dados de monitoramento da FEEMA e o índice de Carlson (1977). Também ficou demonstrado nesse trabalho que a concentração de nutrientes tendeu a diminuir no decurso do tempo. Apesar de utilizar um índice trófico diferente do que foram calculados neste estudo, na Tabela 3, os resultados daquele autor são semelhantes aos do presente estudo, que utilizou índices específicos para ambientes tropicais.

A Lagoa Rodrigo de Freitas sofre estratificação térmica e salina que associada à alta produção primária, induzida pelo estado trófico, gera uma maior concentração de oxigênio dissolvido na superfície e menor concentração no seu fundo, o que pode acarretar anoxia e mortandade de peixes, frequentemente divulgadas pela imprensa. A hidrodinâmica de águas em seu interior é determinada principalmente pela ação dos ventos, maré e aumento da afluência da bacia hidrográfica, como consequência de chuvas intensas. Estes processos podem ser responsáveis pela quebra da termoclina, ocasionando a ressuspensão de sedimentos e da matéria orgânica do fundo da lagoa, o que, por fim, pode redundar na depleção da concentração de oxigênio (hipoxia) em toda coluna d'água e mortandade de peixes (MACIEL, 2007). Essa eventual ressuspensão de sedimentos pode ser uma explicação para a oscilação que os parâmetros limnológicos sofrem conforme mostra a Tabela 3. Riguetti (2009) apontou uma possível correlação entre eventos de mortandade de peixes, depleção de oxigênio, diminuição da transparência e aumento da concentração de nutrientes na água da lagoa, o que reforça esta tese de que a ressuspensão do fundo da lagoa é um dos fatores que afetam seu estado trófico.

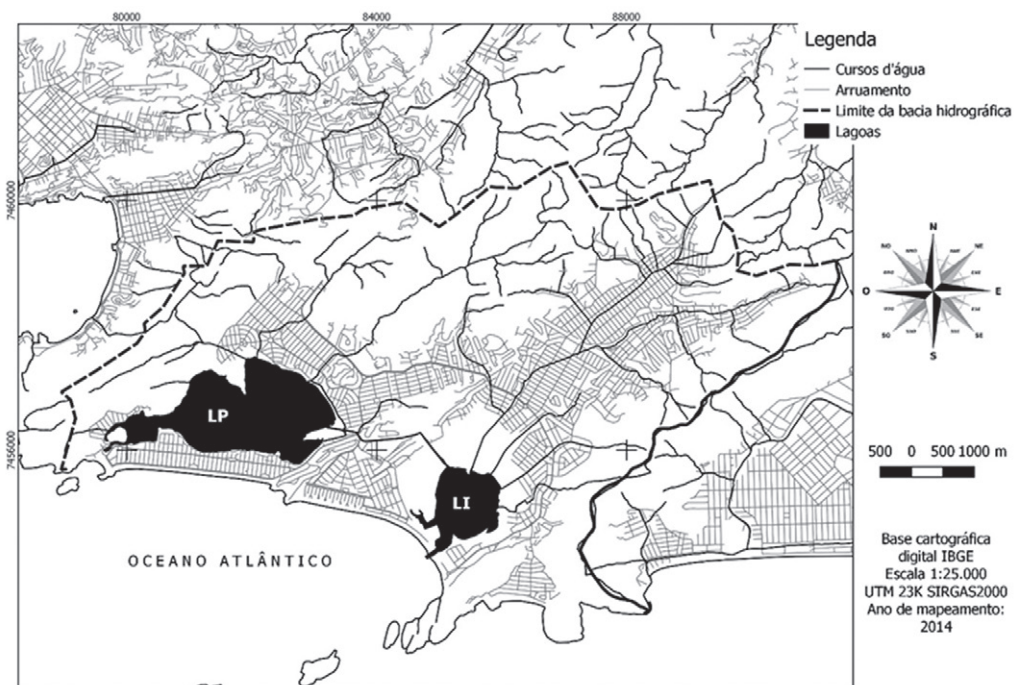
A bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas é a que possui maior densidade populacional entre todas as bacias litorâneas do RJ. No ano de 2000, esta densidade era de 4.662 hab/km<sup>2</sup> o que significa uma população de 149.188 habitantes que, segundo dados da Prefeitura, tem cerca de 99% das residências sendo ligadas à rede coletora de esgoto (RIO DE JANEIRO, 2016b). Esse cenário associado à manutenção da ligação perene com o mar é uma das prováveis causas da progressiva melhora no estado trófico que essa lagoa revelou ao longo do tempo, embora ainda sendo eutrófica.

O periódico *Oecologia Australis* dedicou um volume sobre o simpósio "Lagoa Rodrigo de Freitas: Passado, Presente e Futuro", no qual se discutiram os principais estudos científicos sobre essa lagoa apresentando aspectos históricos, ecológicos, sanitários e sociais. Esses estudos confirmam o cenário eutrófico da lagoa devido ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, que através de indicadores microbiológicos mostram um cenário no qual a água está imprópria para o contato direto (reduzida balneabilidade), além de revelarem a presença de espécies de fitoplâncton predominantemente as cianobactérias. Esses estudos indicaram as propostas para a melhoria

da lagoa, incluindo a necessidade da implantação do saneamento básico, o controle da mudança nos usos do solo e da urbanização, e a necessidade da eficiente troca de água entre a lagoa e o mar através do canal do Jardim Alah.

## 2.2 Complexo Lagunar de Piratininga-Itaipu

O Complexo Lagunar de Piratininga-Itaipu (Figura 5) está inserido no município de Niterói, entre as latitudes  $22^{\circ}56'20''$  e  $22^{\circ}58'00''$  S e longitudes  $43^{\circ}2'10''$  e  $43^{\circ}05'50''$  O, na região hidrográfica da Baía de Guanabara conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). A origem geológica do Complexo Lagunar de Piratininga-Itaipu está associada à regressão e à transgressão do mar ocorridas época Holoceno (últimos 5.000 anos), que tiveram como resultado o fechamento, através de barras arenosas, de enseadas e estuários (TURCQ *et al.*, 1999). Da mesma forma que as lagoas da capital fluminense, este complexo lagunar se situa na unidade geomorfológica da baixa planície sedimentar fluminense (*low-lying Fluminense sedimentary plain*) (KJERFVE; DIAS, 2009).



**Figura 5 - Bacia hidrográfica do Complexo Lagunar Piratininga-Itaipu. LP – Lagoa de Piratininga, LI – Lagoa de Itaipu**

A bacia hidrográfica do Complexo Lagunar Piratininga-Itaipu possui uma área de  $45,5 \text{ km}^2$ , que é drenada por sete principais cursos d'água de pequena extensão ( $<10$

km) que desembocam nas lagoas. Os valores morfométricos destas lagoas encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores morfométricos do Complexo Lagunar de Piratininga-Itaipu. Espelho d'água (km<sup>2</sup>) e perímetro (km) (LEMA, 2012); volume (m<sup>3</sup>); largura e comprimento (km) (base cartográfica digital IBGE 1:25.000) profundidade média em m**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade	Volume (x10 <sup>6</sup> )
Lagoa de Piratininga	2,9	1,44	3,67	11,6	0,9	2,6
Lagoa de Itaipu	2,0	1,12	0,98	5,3	1,2	2,4

Fonte: SEMADS (2001)

A hidrodinâmica do complexo lagunar indica que as águas da Lagoa de Piratininga escoam em direção à Lagoa de Itaipu, por intermédio do Canal do Camboatã, que possui 2,15 km de comprimento, e essa lagoa por sua vez conecta-se permanentemente com o mar através do canal de Itaipu, construído em 1979 (SEMADS, 2001). Em 2008, foi construído um canal artificial subterrâneo para ligar a Lagoa de Piratininga ao mar, o canal do Tibau. Este canal permite a água do mar entrar na Lagoa de Piratininga pelo regime de maré, forçando o fluxo de água dessa lagoa pelo canal do Camboatã à Lagoa de Itaipu e desta para o mar (LEMA, 2012). Devido estas características atuais, esse complexo lagunar pode ser classificado como de lagoas restritas (KJERFVE; MAGIL, 1989). As lagoas salobras de Piratininga e Itaipu têm salinidades que variam de 6 a 34, refletindo a interação entre aporte por rios tributários, precipitação pluviométrica e entrada de água do mar por força de maré. A abertura do canal do Tibau praticamente igualou a salinidade entre as duas lagoas que passaram a oscilar conjuntamente seus teores de sal ao longo do ano (SEMADS, 2001; CERDA *et al.*, 2013).

Aplicando-se os índices de estado trófico de Lamparelli e Toledo Jr. aos dados limnológicos das lagoas de Piratininga e Itaipu que foram extraídos da literatura entre os anos de 1982 e 2011, obtêm-se os resultados revelados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Índices de estado trófico das lagoas de Piratininga e Itaipu calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras. n.c. = não calculado**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Lagoa de Piratininga	Jan 1989 a Dez 1990	160 ± 43,0	114 ± 71,5	350 ± 92,0	74	hipereutrófico	82	hipereutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Jul 2005 a Nov 2006	-----	1.112 ± 1.193	-----	n. c.	-----	117	hipereutrófico	Cerda et al. (2013)
	Abr 2009 a Mar 2011	26,9 ± 31,3	28,5 ± 19,0	475 ± 314	71	hipereutrófico	71	eutrófico	Lema (2012)
Lagoa de Itaipu	Jun 1988 a Jun 1989	6,00 ± 29,8	76,0 ± 104	91,0 ± 90,4	62	eutrófico	62	eutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Jul 2005 a Nov 2006	-----	198 ± 542	-----	n. c.	-----	92	hipereutrófico	Cerda et al. (2013)
	Abr 2009 a Mar 2011	41,5 ± 36,6	95,0 ± 57,0	361 ± 247	71	hipereutrófico	77	hipereutrófico	Lema (2012)



Os dados de clorofila *a* e P dissolvido indicam uma tendência de diminuição significativa de suas concentrações entre o final da década de 80 e o período de 2009/2011, na Lagoa de Piratininga, enquanto que a Lagoa de Itaipu apresentou um aumento das concentrações dos parâmetros clorofila *a* e P total no mesmo período (Apêndice – Tabelas 31, 32 e 33). Porém, mesmo com estas significativas variações, os índices de estado trófico indicaram que ambas as lagoas permaneceram em um estado eutrófico e hipertrófico ao longo do período amostrado. O estudo de Knoppers *et al.* (1999a) que utilizou o índice da OECD entre os anos de 1988 e 1990, classificou as lagoas Piratininga e Itaipu como hipertrófica e mesotrófica, respectivamente. Esse estudo indicou que o estado trófico está relacionado à alta carga de matéria orgânica encontrada nessas lagoas, fruto de uma urbanização intensa de sua bacia hidrográfica com lançamento de efluentes sanitários não tratados nas águas e nos rios afluentes dessas lagoas.

Lema (2012) mostrou que, pelo índice de TRIX (VOLLENWEIDER *et al.* 1998 *apud* LEMA, 2012), essas lagoas estavam, entre 2009 e 2011, classificadas com qualidade de água ruim ou péssima em 80% das amostras, sendo a média deste índice de 6,8 para a Lagoa de Piratininga e 7,0 para a Lagoa de Itaipu, em uma escala que vai de 0 a 8. Esse mesmo trabalho demonstrou que segundo classificação de estado trófico de Håkanson e Bryhn (2008 *apud* LEMA, 2012), que essas lagoas são hipertróficas. Comparando seus dados com pesquisas de outros autores publicadas, nos anos 90, pode-se observar que com a abertura de um canal de comunicação permanente entre o mar e a Lagoa de Piratininga, em 2008, houve uma melhora na qualidade de sua água devido à diluição dos nutrientes antrópicos causada pela entrada de água marítima. No entanto, tendo em vista que a circulação hidrodinâmica imposta pela abertura deste canal faz com que a lagoa de Piratininga afluia para a Lagoa de Itaipu, esta última sofreu uma piora significativa da qualidade de sua água. Esse fato explica por que a Lagoa de Itaipu agravou seu estado trófico entre o final da década de 1980 e a primeira década do século XXI.

A bacia hidrográfica do Complexo Lagunar Piratininga-Itaipu coincide com os limites da região administrativa de Niterói denominada Região Oceânica. A população nesta região teve um aumento de 20.000 habitantes em 1986 para 55.790 em 2010 (KNOPPERS *et al.*, 1999a; IBGE, 2015). Considerando que a bacia hidrográfica dessa lagoa possui uma área de 45,5 km<sup>2</sup> (SEMADS, 2001), podemos estimar um aumento na densidade demográfica de 439 hab/km<sup>2</sup> para 1.226 hab/km<sup>2</sup>, durante os últimos vinte e quatro anos, associada à emissão de esgoto sem tratamento diretamente nas lagoas ou ao longo das bacias hidrográficas. O estudo de Knoppers e colaboradores (1999a) calculou um aporte entre 31,5 a 42 Kg/dia de P total chegando às lagoas de Piratininga e Itaipu entre 1988 e 1990. A aplicação desse mesmo método de estimativa de aporte de P total baseado no tamanho da população atual indica um aumento no aporte para 117 kg/dia. Porém a partir de 2002, acontece a implantação da Estação de Tratamento de

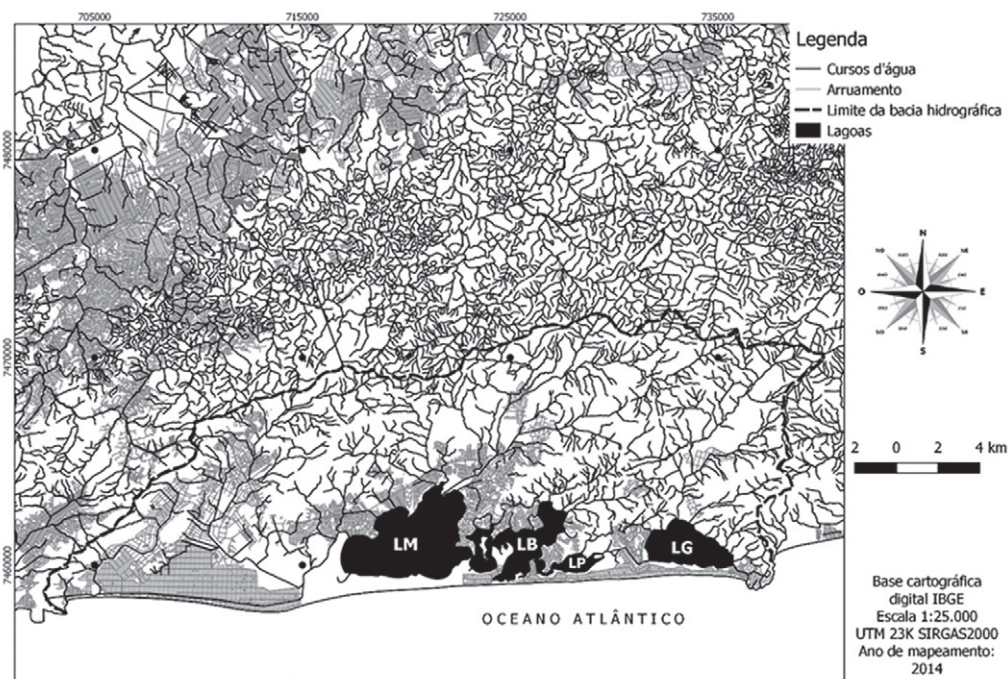


Esgoto de Cambinhas e, em 2004, inicia-se o tratamento na Estação Itaipu, sendo que ambas as estações conseguem reduzir a concentração de matéria orgânica lançada nessas lagoas em até 95% (MAIS..., 2004). No entanto, a prevalência da condição eutrófica/hipertrófica, em ambas as lagoas, indica que não houve uma melhora das condições, sugerindo ou persistência da entrada de nutrientes via efluentes não tratados ou que a carga de matéria orgânica acumulada na lagoa ainda libera nutrientes e induz a eutrofização. Isso indica que as medidas de saneamento não garantem a redução de um estado de eutrofização em curto prazo.

Porém, quando tratamos de lagoas costeiras, o aporte de matéria orgânica e de nutrientes deve ser considerado em uma escala de tempo mais ampla, abrangendo tanto o período anterior como o atual no qual há urbanização de alta densidade de suas bacias hidrográficas. O estudo de Lema (2012), baseado em análise de concentração de N total e P total no perfil sedimentar da lagoa de Itaipu, estimou o aumento do fluxo desses elementos químicos, nos últimos 200 anos, em 150% e 634%, respectivamente. Nesse trabalho, o autor também demonstra que ações as quais visam mitigar o efeito da entrada de esgoto nessas lagoas (construção de estação de tratamento de esgoto para atender a Região Oceânica e a abertura do canal de comunicação perene entre a Lagoa de Piratininga e o mar em 2008) são positivas no que se refere à redução da concentração de nutriente ainda que por um limitado período, mas o saldo global da concentração de nutrientes mostra um aumento significativo concomitante à intensa urbanização que ocorreu a partir dos anos 80 na bacia hidrográfica deste complexo lagunar. Assim, segundo esse autor, é indubitável o papel do componente antrópico nos níveis tróficos dessas lagoas.

## 2.3 Complexo Lagunar de Maricá

O Complexo Lagunar de Maricá (Figura 6) está totalmente inserido no município de Maricá, entre as latitudes 22°55'00" e 22°57'30" S e as longitudes 42°42'05" e 43°53'07" O na região hidrográfica da Baía de Guanabara conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). Da mesma forma que as lagoas de Jacarepaguá e Piratininga-Itaipu, a origem geológica das lagoas de Maricá está associada à regressão e transgressão do mar, ocorridas no período Quaternário, que tiveram como resultado o fechamento, através de barras arenosas, de enseadas e estuários (KJERFVE; DIAS, 2009). Contudo, entre este complexo lagunar e o mar situam-se duas barreiras arenosas: uma de origem pleistocênica mais interior ao continente e próxima das margens sul das lagoas, e outra de origem holocênica mais próxima do mar (DA SILVA *et al.*, 2014). As lagoas estão inseridas na unidade geomorfológica da Baixa Planície Sedimentar Fluminense (*low-lying Fluminense sedimentary plain*) (KJERFVE; DIAS, 2009).



**Figura 6 - Bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Maricá. LM – Lagoa de Maricá, LB – Lagoa da Barra, LP – Lagoa do Padre, LG – Lagoa de Guarapina**

Fonte: Base Cartográfica INEA

Esse complexo é formado por quatro lagoas denominadas respectivamente: Lagoa de Maricá, Lagoa da Barra, Lagoa do Padre, Lagoa de Guarapina. Sua bacia hidrográfica drena 21 afluentes principais que desembocam nessas lagoas, ao longo de uma área total de drenagem de 330 km<sup>2</sup>. A área total de espelho d'água dessas lagoas soma 37,7 km<sup>2</sup>. A Tabela 6 traz os valores morfométricos dessas lagoas (SEMADS, 2001).

**Tabela 6 - Valores morfométricos do Complexo Lagunar de Maricá segundo SEMADS (2001). Espelho d'água (km<sup>2</sup>); largura, comprimento e perímetro (km); profundidade média (m), volume (km<sup>3</sup>)**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade média	Volume (x10 <sup>3</sup> )
Lagoa de Maricá	17	4,5	6,8	24	1,4	24
Lagoa da Barra	9,0	2,3	4,1	30	1,4	13
Lagoa do Padre	2,7	0,90	2,7	10	0,60	2,0
Lagoa de Guarapina	6,5	2,1	4,4	1,7	1,0	7,0

Tabela 7 - Índices de estado trófico do Complexo Lagunar de Maricá calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras

	Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
						Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Lagoa Maricá	1980, 1984, 1987, 1988	8	182 ± 92,5	105 ± 61,8	260 ± 157	74	hipereutrófico	79	eutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Mar a Nov 2014	9	----	97,1 ± 156	2.162 ± 140	88	hipereutrófico	111	hipereutrófico	INEA
Lagoa da Barra	Out 1990 a Abril 1991	27	99,0 ± 45,5	171 ± 218	1.226 ± 589	77	hipereutrófico	88	hipereutrófico	Carmouze et al. (1994)
	Mai 1991 a Abril 1992	42	89,0 ± 86,3	100 ± 53,0	270 ± 144	72	hipereutrófico	78	hipereutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Mar 2014 a Nov 2014	15	----	810 ± 151,0	1.435 ± 722	86	hipereutrófico	107	hipereutrófico	INEA
	Jun 1985 a Jun 1986	19	43,0 ± 40,75	38,0 ± 30,9	158 ± 90,1	69,1	hipereutrófico	68	eutrófico	Knoppers et al. (1999a)
Lagoa de Guarapina	Nov 1986 a Ago 1987	28	42,4 ± 19,61	73,6 ± 83,25	-----	65,1	supereutrófico	72	eutrófico	Machado (1989)
	Mar a Nov 2014	5	----	390 ± 334	672 ± 715	81,7	hipereutrófico	96	hipereutrófico	INEA

De uma maneira geral, podemos observar atualmente um aumento significativo das concentrações de fósforo em relação às condições reportadas para o final da década de 80 e início da década de 90, à exceção da P total na Lagoa de Guarapina que não alterou sua concentração no período abordado (Apêndice – Tabelas 34, 35, 36, 37, 38). Atualmente, a Lagoa de Maricá apresentou as maiores concentrações de P total, enquanto que a Lagoa de Guarapina apresentou os menores valores. A aplicação dos índices de estado trófico indicou que as lagoas, desde o início do monitoramento até o presente momento, apresentaram um perfil eutrófico a hipertrófico. A falta de dados atuais de clorofila *a* para as lagoas permite interpretar os dados de 2014 apenas sob a ótica do potencial de eutrofização e não do efeito. Assim, é importante que futuros monitoramentos destas lagoas avaliem não somente as concentrações de P, mas também os teores de clorofila *a*, a fim de saber se a alta carga de P se reflete em aumento significativo da densidade de organismos fotossintetizantes.

O estudo de Carmouze e colaboradores (1994) realizado na Lagoa da Barra, entre 1990 e 1991, classificou essa lagoa, pelos critérios da OECD, como eutrófica devido principalmente à elevada concentração de clorofila *a*. Porém, esse estudo considerou baixas as concentrações de P dissolvido, indicando que a elevada concentração daquele pigmento fotossintetizante está relacionada ao “metabolismo acelerado” da lagoa. Os autores entendem como “metabolismo acelerado” a alta taxa de assimilação de nutrientes pelo fitoplâncton de tal forma que esses nutrientes estão quase totalmente na fração particulada (orgânica/fitoplancônica) da coluna d’água, dada a alta eficiência desses organismos em retirar nutrientes da fração dissolvida, reduzindo as concentrações do fósforo nessa fração da água.

A existência de poucas espécies de fitoplâncton diminui a competição interespecífica, o que favorece o aumento das populações que conseguem sobreviver a esses ambientes adversos. Carmouze e colaboradores (1994) observaram um *bloom* de fitoplâncton na lagoa da Barra, causado por uma condição seletiva da lagoa, que eliminou os competidores favorecendo que a espécie *Synechocystis aquatilis* proliferasse até o ponto de causar uma crise distrófica nessa lagoa. Como é de amplo conhecimento, o aumento do número de organismos fitoplancônicos é um dos indicativos mais notáveis de eutrofização, sendo a concentração de clorofila *a* o parâmetro mais comum em índices tróficos (veja as revisões sobre eutrofização e índices feitas por Franco *et al.*, 2010; Smith, 2003; Smith *et al.*, 1999).

O tempo de residência das águas pode ser outro importante fator determinante do estado trófico dessas lagoas. Knoppers e colaboradores (1991) estabeleceram a seguinte relação: as lagoas mais próximas do mar, logo mais afetadas em suas trocas de massa d’água pelo regime de marés, possuem menor tempo de residência hidráulica e, portanto, tendem a acumular menos nutrientes; já as lagoas mais interiores, que são menos sujeitas ao regime de maré, trocam menos suas massas de água e tendem a ter um efeito de acúmulo de nutrientes e consequentemente induzir a

eutrofização. Essa proposição é corroborada pelas taxas de sedimentação, que determinam o acúmulo de materiais na lagoa, como matéria orgânica e os nutrientes. As lagoas mais interiores tendem a ter maiores taxas de sedimentação que aquelas próximas ao mar: 0,34 cm/ano para a Lagoa de Maricá; 0,27 cm/ano para a Lagoa da Barra; 0,28 cm/ano para a Lagoa do Padre e 0,29 cm/ano para a Lagoa de Guarapina. Isto explica as menores concentrações de clorofila *a*, P dissolvido e P total na Lagoa de Guarapina em relação às lagoas de Maricá e da Barra ao longo de todo período amostrado (veja Tabela 7).

Em concomitância aos aspectos biológicos e hidrodinâmicos que influenciam a presença de nutrientes e a indução do estado eutrófico, a ocupação humana na bacia hidrográfica também se mostra um importante fator. No passado, em torno de 70% do uso do solo da bacia eram determinados por atividades agropecuárias. A população inserida na bacia, em meados da década de 80, era de 46 mil habitantes, o que representa uma densidade populacional de 139 hab/km<sup>2</sup>, ou seja, inferior a áreas densamente urbanizadas, como a região oceânica de Niterói, onde no mesmo período a densidade populacional era de 439 hab/km<sup>2</sup>. Já no ano de 2015, o município de Maricá possuía população estimada de 146.549 habitantes, o que lhe confere uma densidade demográfica de aproximadamente 404 hab/km<sup>2</sup>. Como é de amplo conhecimento na literatura, o aumento da densidade populacional associada a uma falta de planejamento urbano redundou no aumento do lançamento de efluentes sanitários não tratados no corpo d'água receptor; sendo este um importante fator gerador de eutrofização (ESTEVES *et al.*, 2008; SMITH *et al.*, 1999; SMITH, 2003). Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Maricá (CONEN, 2015), no ano de 2013, 16,58% da população era atendida por rede coletora de esgoto e, desse esgoto recolhido, apenas 68,32% eram tratados em estação de tratamento de esgoto.

Porém, segundo este mesmo documento,

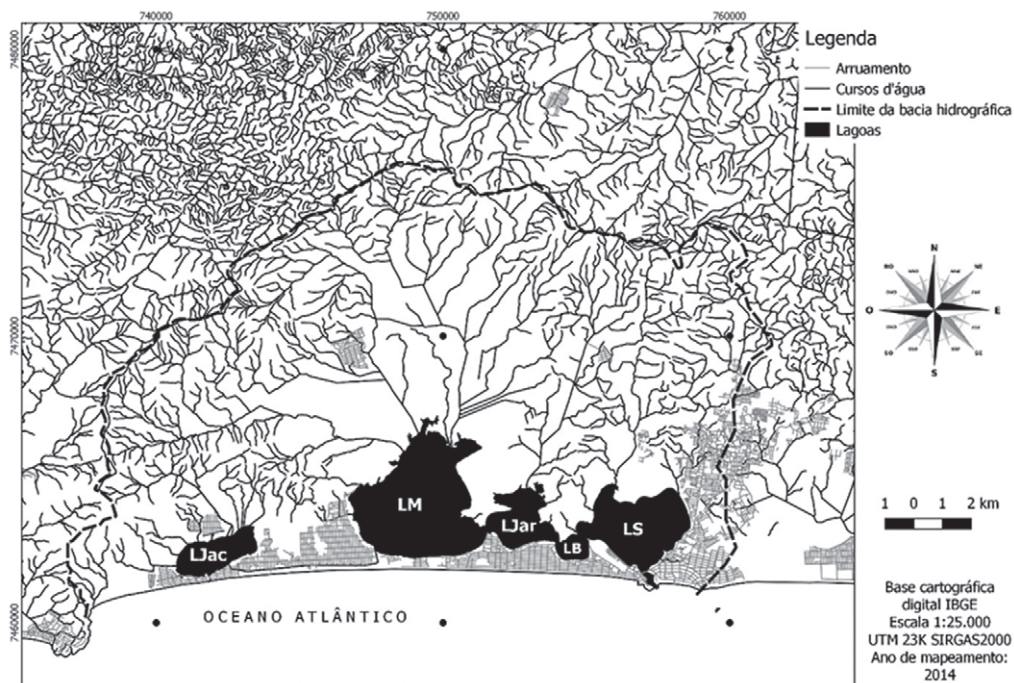
A ETE Araçatiba, principal estação de tratamento de Maricá, não funciona adequadamente e também não é dimensionada para tratar todo o esgoto gerado pela população. Sendo assim, muitas das vezes, esta ETE funciona apenas como "by-pass" (portal) do esgoto para as lagoas de Maricá que atualmente têm apresentado mau cheiro constante (CONEN, 2015, p. 47).

O aumento do aporte de nutrientes por esgoto é um fator que explica o incremento das concentrações de fósforo e dos índices tróficos do Complexo Lagunar de Maricá, entre 1980 e 2014. Em publicação sobre avaliação de estado trófico e previsão de cenários futuros, Cotovicz Jr. e colaboradores (2013) avaliaram que devido ao baixo poder de diluição, pequeno potencial de exportação de nutrientes para o mar e grande aporte de nutrientes, principalmente de origem antrópica, a Lagoa de Guarapina tem um cenário futuro de deterioração da qualidade das águas e indução de estados tróficos mais agudos.



## 2.4 Complexo Lagunar de Saquarema

A bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Saquarema possui cinco lagoas, a saber: Lagoa do Jaconé, Lagoa Urussanga ou Mombaça, Lagoa Jardim, Lagoa Boqueirão, Lagoa de Saquarema ou de Fora. A área total da bacia hidrográfica contribuinte para essas lagoas é de 244 km<sup>2</sup>, sendo a soma da área do espelho d'água das lagoas de 28 km<sup>2</sup> (SEMADS, 2001). Existem centenas de cursos d'água nessa bacia hidrográfica, mas todos estes afluem para 14 cursos d'água que desembocam nessas lagoas. A bacia hidrográfica do complexo lagunar engloba a maior parte do município de Saquarema e uma pequena porção do município de Maricá, onde está inserida a Lagoa do Jaconé (Figura 7). A Lagoa do Jaconé está localizada em bacia hidrográfica distinta das outras lagoas (SEMADS, 2001), porém devido ao fato de haver uma conexão entre esta lagoa e a Lagoa Urussanga, através do Canal do Salgado, podemos considerá-las como pertencentes a uma mesma unidade hidrográfica (CARLONI *et al.*, 2010).



**Figura 7 - Bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Saquarema. LJac – Lagoa do Jaconé, LM – Lagoa Urussanga ou Mombaça, LJar – Lagoa Jardim, LB – Lagoa Boqueirão, LS – Lagoa de Saquarema ou de Fora**

Este complexo lagunar está situado entre as latitudes 22°53'30" e 22°56'00" S e as longitudes 42°28'43" e 43°39'10" O na região hidrográfica dos Lagos de São João conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). Da mesma forma que os complexos lagunares já relatados neste texto, a origem geológica do Complexo Lagunar de Saquarema está associada aos movimentos de regressão e transgressão do mar ocorrido no

período Quaternário, estando esse complexo lagunar situado na unidade geomorfológica da Baixa Planície Sedimentar Fluminense (*low-lying Fluminense sedimentary plain*) (KJERFVE; DIAS, 2009).

O Complexo Lagunar de Saquarema não possuía ligação perene com o mar, havendo apenas comunicação quando a massa d'água da Lagoa de Saquarema atingia uma cota suficiente para o rompimento da barra arenosa. Porém, em 2003, a SERLA<sup>2</sup> abriu um canal artificial (Canal da Barra Franca) com guias de corrente para a comunicação permanente desta lagoa, e, conseqüentemente, de todo o complexo lagunar com o mar (CARLONI *et al.*, 2010). Antes da abertura do canal perene, a salinidade desse complexo lagunar oscilava entre 0 e 15, sendo que após a construção da ligação, a salinidade desse sistema mudou para valores entre 20 e 35, e hoje essas lagoas se mantêm em uma condição que oscila entre salobra e salina (CARLONI *et al.*, 2010). A Tabela 8 traz os valores morfométricos dessas lagoas.

**Tabela 8 - Valores morfométricos do Complexo Lagunar de Saquarema. Espelho d'água (km<sup>2</sup>) (SEMADS, 2001). Largura, comprimento e perímetro (km), volume (km<sup>3</sup>) (base cartográfica digital IBGE 1:25.000); profundidade média (m)**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade	Volume (10 <sup>3</sup> )
Lagoa do Jacaré	4,0	1,0	2,9	8,0	1,0	4,0
Lagoa Urussanga	13	4,2	4,2	7,9	1,1	16
Lagoa Jardim	3,4	1,9	2,3	2,4	0,95	3,0
Lagoa Boqueirão	0,90	0,87	1,1	0,54	0,90	1,0
Lagoa de Saquarema	6,0	2,6	3,9	5,0	1,2	7,0

Fonte: Carloni et al. ( 2010).

Os dados sobre as concentrações de clorofila *a*, de nutrientes e do estado trófico estão demonstrados para as lagoas de Saquarema e Urussanga na Tabela 9. Aplicando-se a análise de variância a esses trabalhos, observa-se que o P dissolvido diminuiu sua concentração ao longo do período de amostragem em ambas as lagoas, enquanto que a diminuição significativa de clorofila *a* só foi observada na Lagoa de Saquarema (Apêndice – Tabelas 39, 40, 41 e 42). Esses valores aplicados aos índices de estado trófico mostram que pelo índice de Lamparelli ambas as lagoas tiveram melhora em seu estado trófico, enquanto que pelo índice de Toledo Jr. não há mudança de estado trófico ao longo do tempo (Tabela 9). Como o índice de Lamparelli possui mais categorias de estado trófico que o índice de Toledo Jr. e, portanto seja mais sensível para distinguir mudanças tróficas, atentemos que houve melhoras no estado trófico devido à redução das concentrações de clorofila *a* e P dissolvido e à redução do índice de hipertrófico para supereutrófico, embora continuem sendo lagoas bastante eutrofizadas ao longo do tempo.

<sup>2</sup> A Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA foi um órgão de meio ambiente criado pelo artigo 21º do Decreto-Lei n.º 39, de 24 de março de 1975 para gerir a política ambiental aplicada a recursos hídricos no estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 9 - Índices de estado trófico do Complexo Lagunar de Saquarema calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT). NA = número de amostras. n.c. = não calculado**

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Lagoa de Urussanga	Jun 1988 a Jun 1989	25	55,0 ± 14,4	66,5 ± 23,8	201 ± 151	hipereutrófico	73	eutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Jul 2003 a Jun 2004	18	-----	44,8 ± 27,9	-----	n. c.	70	eutrófico	Azevedo (2005)
	Mai a Dez 2011	8	22,6 ± 17,4*	10,0 ± 5,40**	251 ± 28,4*	hipereutrófico	62	eutrófico	*CILSJ (2015) **INEA
	Jan a Nov 2013	9	10,8 ± 9,06	-----	236 ± 298	supereutrófico	65	eutrófico	CILSJ(2015)
	Fev a Abril 2014	4	14,4 ± 10,2	-----	192 ± 98,1	supereutrófico	65	eutrófico	CILSJ(2015)
Lagoa de Saquarema	Jun 1988 a Jun 1989	25	28,0 ± 10,8	66,5 ± 23,8	170 ± 88,7	hipereutrófico	70	eutrófico	Knoppers et al. (1999a)
	Jul 2003 a Jun 2004	9	-----	51,0 ± 50,7	-----	n. c.	72	eutrófico	Azevedo (2005)
	Mai a Dez 2011	20	20,6 ± 17,1*	10,0 ± 7,66**	186 ± 170*	hipereutrófico	60	eutrófico	*CILSJ (2015) **INEA
	Jan a Nov 2013	30	7,33 ± 5,09	-----	267 ± 414	supereutrófico	64	eutrófico	CILSJ (2015)
	Fev a Abril 2014	12	6,33 ± 5,60	-----	140 ± 114	supereutrófico	58	eutrófico	CILSJ(2015)



Knoppers e colaboradores (1991) relacionaram as diferenças nas concentrações de clorofila *a* e fósforo nas Lagoas Urussanga e de Saquarema aos tempos de residência hidráulica dessas lagoas, estimados em 46 e 12 dias, respectivamente. Knoppers e colaboradores (1991 e 1999a) mostraram que a carga de nitrogênio e fósforo dissolvidos oriundo da contribuição fluvial, no final da década de 80, era de apenas 5%, sendo os demais 95% oriundos da decomposição da matéria orgânica autóctone, principalmente de origem fitoplanctônica, que era a principal forma de produção primária da lagoa (CARMOUZE *et al.*, 1991). Dados de campo permitiram calcular uma contribuição da bacia hidrográfica drenada pelos rios de 39,6 kg/dia e 86,4 kg/dia de P total para Lagoa de Urussanga e de Saquarema, respectivamente (KNOPPERS *et al.*, 1999a).

No final da década de 80, a área de contribuição para a Lagoa Urussanga foi considerada prístina, pois possuía baixíssima taxa de ocupação urbana, predominando a ocupação do solo com florestas nas partes mais altas e algumas áreas de pastagens dispersas nas planícies costeiras (KNOPPERS *et al.*, 1999a). A Lagoa de Saquarema possuía uma ocupação urbana um pouco maior em sua área de contribuição, principalmente em suas margens, tendo toda a bacia hidrográfica deste complexo lagunar uma população de 32.000 habitantes (KNOPPERS *et al.*, 1991), sendo este valor muito menor que os atuais 82.359 habitantes. Isto implica um aumento da densidade populacional na bacia de 80 hab/km<sup>2</sup> para 232 hab/km<sup>2</sup> (CARLONI *et al.*, 2010). Mas o aumento de população não significa necessariamente piora no estado trófico da lagoa. Conforme se pode ver na Tabela 9, pelo índice de Lamparelli, essas lagoas tendem a uma melhora em seu estado trófico, principalmente depois de 2011. Em 2010, apenas 40% da população urbana do município de Saquarema eram atendidos por rede coletora de esgoto (AGENDA 21, COMPERJ, 2015). Já no ano de 2013, 59,53% da população eram atendidos com rede coletora e tratamento de esgoto, segundo dados do Ministério das Cidades (2015). Esse aumento de coleta e tratamento de esgoto podem ter contribuído para a redução de nutrientes que são aportados a essas lagoas.

A abertura perene da barra arenosa propiciou a homogeneização da concentração de nutrientes entre as lagoas do complexo lagunar de Saquarema. Baseado nos dados de Azevedo (2005), é possível verificar que não há diferença estatística nas concentrações de N dissolvido e P dissolvido entre as lagoas, restando apenas diferença no que tange à salinidade (Tabela 10).

**Tabela 10 - Parâmetros limnológicos medidos entre junho de 2002 e julho de 2003 na água das Lagoas Urussanga e de Fora**

	Lagoa Urussanga	Lagoa de Fora
Salinidade	n = 9 21,1 ± 7,08	n = 9 34,6 ± 2,06
[N-Dissolvido] µM	n = 9 5,87 ± 3,75	n = 9 10,3 ± 8,68
[P-Dissolvido] µM	n = 9 0,47 ± 0,29	n = 9 0,53 ± 0,53

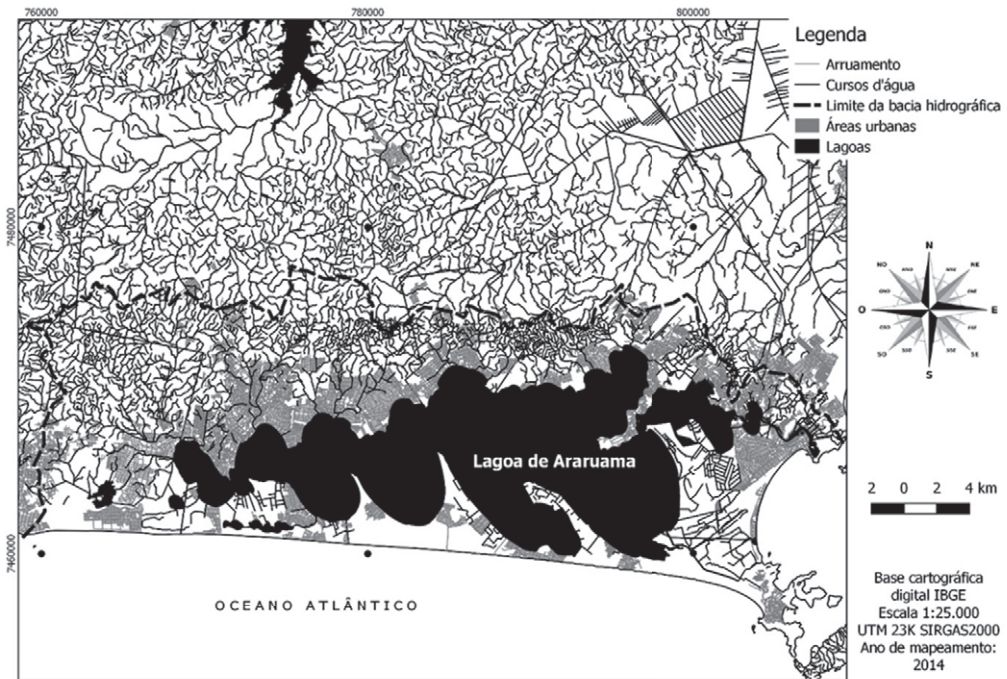
N = número de amostras; valores médios ± desvio-padrão

Fonte: Azevedo (2005)

Segundo Alves (2003), a abertura perene da barra arenosa fez com que estas lagoas passassem a trocar águas pelo regime de marés. Deste modo, houve um aumento do transporte de matéria da Lagoa de Saquarema em direção à Lagoa de Urussanga, principalmente na subida da maré de sizígia, o que fez com que a Lagoa de Urussanga, com maior volume de água, passasse a diluir as águas da Lagoa de Fora, que, com menor volume de água e maior ocupação antrópica de suas margens, tinha um histórico ambiental de maior concentração de nutrientes. Esse mesmo autor calculou o tempo de residência hidráulico das lagoas de Urussanga e Saquarema em >180 dias e 24 dias respectivamente antes da abertura de sua barra arenosa e de no máximo 58 dias e 20 dias após a abertura de suas barras. Esses resultados apontam que o aumento de troca de água entre essas lagoas e o mar diminuiu o tempo de residência hidráulico delas. Esse dado associado ao aumento na coleta e tratamento de esgoto vêm ocasionando uma melhora das condições ambientais das lagoas costeiras, representado pela diminuição das concentrações de clorofila *a* e fósforo e consequente diminuição do estado trófico (Tabela 9 e Tabelas 40, 41, 42 e 43 do Apêndice).

## 2.5 Lagoa de Araruama

A Lagoa de Araruama está compreendida geograficamente entre as latitudes 22°49'37" e 22°56'45" e longitude 42°00'00" e 42°23'12" na Região Hidrográfica dos Lagos e Rio São João conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). Ela localiza-se sobre um sistema de dupla barreira formada por deposição de sedimentos marinhos. Os movimentos de transgressão e regressão do mar acabaram, pela formação de cordão arenoso hoje conhecido como restinga de Massambaba, confinando uma baía rasa que ali existia há cerca de 5.000 anos (KJERFVE; DIAS, 2009; TURCQ *et al.*, 1999). Hoje esse complexo lagunar se situa na unidade geomorfológica da Baixa Planície Sedimentar Fluminense (KJERVE; DIAS, 2009).



**Figura 8 - Bacia hidrográfica da Lagoa de Araruama.**

Seu espelho d'água se estende por seis municípios, a saber: Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo (Figura 8). Segundo levantamentos da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM, 1984 apud BIDEgain; BIZERRIL, 2002), a lagoa possui uma área de 220 km<sup>2</sup> e profundidade média de 3,0 m, embora, em certas áreas da lagoa, a profundidade máxima possa atingir até 17 m. Sua bacia hidrográfica possui uma área de 572 km<sup>2</sup>. Os valores morfométricos dessa lagoa estão detalhados na Tabela 11.

**Tabela 11 - Valores morfométricos da Lagoa de Araruama. Espelho d'água (km<sup>2</sup>); largura, comprimento e perímetro (km); volume (km<sup>3</sup>); profundidade média (m)**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade	Volume (x10 <sup>6</sup> )
Lagoa de Araruama	220	14	33	190	3,0	636

Fonte: Bidegain e Bizerril (2002)

Esse corpo d'água liga-se com o mar através do Canal de Itajuru localizado no município de Cabo Frio. Existem centenas de cursos d'água na bacia hidrográfica que drenam para a Lagoa de Araruama, embora existam 13 afluentes principais drenando para a sua margem esquerda (BIDEgain; BIZERRIL, 2002). Contudo, os atributos físicos dessa lagoa tendem a ser alterados, ao longo do tempo, pela circulação hidrodinâmica regida pela ação

dos ventos e pela maré; e pelas intervenções antrópicas, como a dragagem de seu canal de conexão com o mar, e um efeito histórico *a posteriori* causado pela extração de sal e calcário (ALVES, 2006; GOMES, 2009).

A Lagoa de Araruama possui uma peculiaridade: é a maior lagoa hipersalina do mundo, com salinidade variando entre 12 e 60, com média em torno de 50 (BIDEGAIN; BIZERRIL, 2002; KJERFVE *et al.*, 1996; GOMES, 2009). Um balanço utilizando uma longa série histórica de precipitação, evaporação e salinidade dessa lagoa indicou que sua condição hipersalina é fruto da prevalência da evaporação sobre a precipitação (MOREIRA-TURCO, 2000). O estudo de balanço de sal nessa lagoa revelou que a salinidade dela é muito homogênea em toda sua massa d'água e ao longo do ano hidrológico, havendo uma pequena redução da salinidade no ponto de deságue do Rio das Moças (seu principal afluente) e no início do Canal do Itajuru, seu único defluente. É por este canal que a lagoa exporta a maior parte do seu sal para o oceano (KJERVE *et al.*, 1996).

As concentrações de clorofila *a*, P dissolvido, P total e os índices tróficos da Lagoa de Araruama, numa comparação de intervalo de tempo de 30 anos, podem ser observadas na Tabela 12. Podemos relatar um aumento significativo das concentrações de clorofila *a* e P total analisado de 1979 até o período entre 2005 e 2006, com posterior redução das concentrações destes parâmetros limnológicos, sem que, contudo, retornassem-se as concentrações da década de 70 (Apêndice – Tabelas 43 e 44). Os dados de 1979 aplicados ao índice de estado trófico de Toledo Jr. permitem classificar a Lagoa de Araruama como mesotrófica, enquanto que o índice de Lamparelli (2004) classifica-a como supereutrófico. A partir desse período, a lagoa mudou seu estado trófico para hipereutrófico (por ambos os índices), reduzindo-o posteriormente a supereutrófico (pelo índice de Lamparelli) e a eutrófico (pelo índice de Toledo) (Tabela 12).

Tabela 12 - Índices de estado trófico da Lagoa de Araruama calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT)

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
1979	9	----	----	35,6 ± 17,2	63	supereutrófico	48	mesotrófico	CILS](2015)
Abr 1991 a Mar 1992	197	2,43 ± 2,2	47,5 ± 76,0	66,9 ± 42,4	59	eutrófico	56	eutrófico	Souza (1993)
Jan a Dez 1994	240	1,92 ± 1,51	21,2 ± 27,1	133 ± 30,3	60	eutrófico	54	eutrófico	Souza (1997)
Set 2005 a Jan 2006	48	132 ± 47,3	91,6 ± 204	423 ± 312	74	hipereutrófico	81	hipereutrófico	Mello (2007)
Jan a Dez 2011	117	19,6 ± 4,30	----	149 ± 92,9	66	hipereutrófico	64	eutrófico	CILS](2015)
Jan a Dez 2013	120	14,1 ± 8,46	----	203 ± 201	67	hipereutrófico	65	eutrófico	CILS](2015)
Jan a Abril 2014	30	13,1 ± 11,6	----	97,3 ± 80,1	64	supereutrófico	59	eutrófico	CILS](2015)

NA = número de amostras

Os estudos de Souza (1993, 1997) os quais determinaram as concentrações de clorofila *a*, das formas nitrogenadas inorgânicas dissolvidas e de fósforo dissolvido e particulado, mostraram que a Lagoa de Araruama em 1991/1992 poderia ser caracterizada como um sistema lacustre oligotrófico tendendo a mesotrófico (baseado no índice OECD), onde a comunidade bentônica dominava sobre a produtividade primária. A piora das condições da qualidade das águas, entre a década de 90 e o início dos anos 2000, na Lagoa de Araruama, pode ser exemplificada pelos estudos de Souza e colaboradores (2003) e Mello (2007) que através das análises de parâmetros físico-químicos e biológicos revelam o aumento nas concentrações ao longo deste período (Tabela 13).

**Tabela 13 - Faixa de variação das concentrações de nutrientes e clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) na Lagoa de Araruama na década de 90**

	Chl <i>a</i>	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	PT	PD
Souza et al. (2003)	ND - 19	5,4 - 702	9,2 - 276	18 - 1116	3,8 - 642	0,95 - 570
Mello (2007)	2,0 - 398	0,54 - 3964	0,46 - 193	0,62 - 1569	57 - 3918	1,9 - 2259

ND: abaixo do limite de detecção do método.

Fonte: Souza et al. (2003) até os anos 2000 Mello (2007)

Souza e colaboradores (2003) avaliaram os dados limnológicos dos anos 90 e ressaltaram que os reduzidos valores de P na coluna d'água conferiam uma razão N:P de 32:1 nas águas dessa lagoa, sendo essa relação superior à razão de Redfield de 16:1, sugerindo que o P era um nutriente limitante à produção primária. As reduzidas concentrações de P poderiam ser oriundas do reduzido aporte por fontes naturais, como lixiviação de solos e deposição atmosférica e ainda devido à pequena contribuição de águas servidas e *runoff* urbano (SOUZA et al., 2003). Porém em períodos de alta pluviosidade, Moreira-Turcq (2000) demonstrou haver um aumento das concentrações de P dissolvido o que reduzia a relação N:P favorecendo a produção primária. A reduzida concentração de P na lagoa também foi relacionada a processos diagenéticos como a formação de fosfato de cálcio (apatita) e a complexação do P à matéria orgânica que reveste os grãos de carbonatos presentes na lagoa (KNOPPERS et al., 1999a). Todos esses fatores explicam a reduzida produção primária da lagoa no início da década de 90 a qual é representada pelos reduzidos valores médios de clorofila *a* (2,43 – 3,09  $\mu\text{g/L}$ ) (Tabela 12).

Em um período posterior, o estudo de Mello (2007) retrata a deterioração da qualidade das águas da lagoa e o aumento das concentrações de nutrientes e da produção primária representada pelo aumento da clorofila *a* e de fósforo. Este aumento principalmente de P, reduz a razão N:P, tornando o fósforo menos limitante o que favorece a produção fitoplancônica. A análise da composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , nos sedimentos da lagoa, permitiu a autora concluir que houve um aumento da contribuição alóctone de matéria

orgânica. Somando esses dados aos demais dados limnológicos pesquisados pela autora, ela concluiu que hoje há predominância da produtividade primária planctônica, sobre a produtividade primária bentônica.

Assim como as lagoas dos Complexos de Maricá e Saquarema, a maior parte da bacia hidrográfica da Lagoa de Araruama é composta por áreas rurais (veja Figura 7); contudo, em todos os municípios da bacia hidrográfica, mais de 80% da população vive em área urbana a qual teve crescimento acelerado nos últimos 30 anos. Baseado na estimativa feita pela Secretaria Estadual de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro (BIDEGAIN; BIZERRIL, 2002), 71% da população dos municípios de Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo vivem dentro dos limites dessa bacia hidrográfica.

Assim, pode-se estimar, baseado no censo demográfico do IBGE, que a população habitante dessa bacia hidrográfica em 1991 era de 148.959 habitantes, o que gerava uma densidade demográfica de 260 hab/km<sup>2</sup>. Em 2015, a população estimada para essa bacia hidrográfica é de 565.593 habitantes, o que gera uma densidade demográfica de 989 hab/km<sup>2</sup>. É importante ressaltar que a vocação regional para o turismo eleva substancialmente a população da Região dos Lagos no verão podendo intensificar problemas relacionados à emissão de efluentes sanitários não tratados. Outro vetor importante do crescimento populacional são as atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos que aumentaram o fluxo populacional para os municípios da Região dos Lagos nos últimos 20 anos devido à proximidade com o município de Macaé, que é a base operacional das atividades de exploração.

Este aumento de densidade demográfica redundou, entre os anos de 1979 e 2006, em aumento dos impactos ambientais para essa lagoa, principalmente devido ao lançamento de esgoto em suas águas que é a fase final do processo de consumo de água fluvial ou subterrânea pela população. O lançamento dessas águas servidas não salinas, em uma lagoa hipersalina, pode causar mudanças nas condições limnológicas originais dela como, por exemplo, a diminuição de sua salinidade. Baseado no censo populacional de 1986, Knoppers e colaboradores (1999a) estimaram a contribuição por esgoto de P total nessa lagoa em 420 kg/dia. Utilizando as mesmas fórmulas matemáticas destes autores, podemos estimar que, no ano de 2015, o esgoto aportou 1.187 kg/dia de P total. Este aporte deveria redundar em 128 µg/L de P dissolvido nessa lagoa<sup>3</sup> no mês de abril<sup>4</sup> de 2015. Contudo, a concentração de P total medida em campo pelo CILSJ (2015) foi de 58 µg/L. O Ministério das Cidades (2015) mostra que no ano de 2005 (quando houve o auge dos valores dos parâmetros limnológicos apontados na Tabela 12), cerca de 60% dos moradores dos

<sup>3</sup> Para se chegar a esta estimativa, considerou-se um volume médio da lagoa de 636x106 m<sup>3</sup> e tempo de residência hidráulico de 168 dias (KNOPPERS et al., 1999a) e uma retenção de 40,796%, no mês de abril, de P total aportado para a Lagoa de Araruama na forma de P dissolvido na coluna d'água (SOUZA, 1997).

<sup>4</sup> Utilizou-se o mês de abril como referência, porque nele basicamente só contribuem para a lagoa as águas servidas da população residente, pois o verão, que traz a população flutuante, encerrou-se.



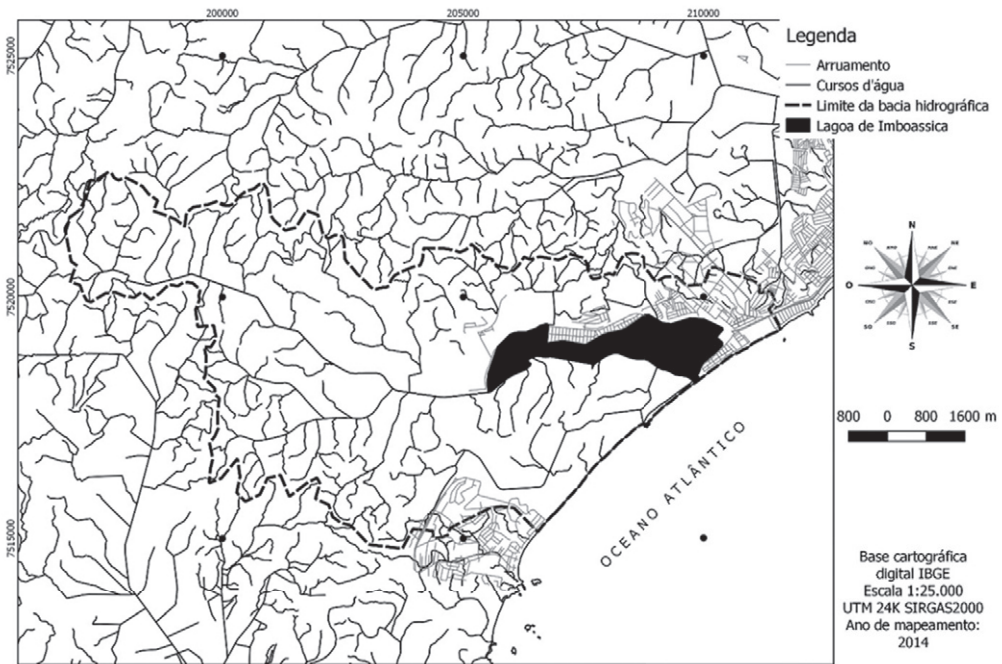
municípios de Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo eram atendidos em suas residências com coleta e tratamento de esgoto; já no ano de 2013, este valor sobe para 82,8%.

Comparando-se a evolução das concentrações de P total (Tabela 12) e observando-se o aumento de percentual da população habitante da bacia hidrográfica atendida pelos serviços de coleta e tratamento de esgoto, pode-se inferir que o tratamento de esgoto na bacia hidrográfica dessa lagoa tem gerado resultados positivos na redução das concentrações de nutrientes, gerando um efeito em longo prazo de redução de seu estado trófico. Outro aspecto que pode explicar a melhora nos índices tróficos da Lagoa de Araruama é o alargamento e dragagem do Canal do Itajuru no trecho sob a RJ 140 que liga São Pedro da Aldeia a Cabo Frio. Esta obra hidráulica, concluída em 2009, aumentou a circulação das massas de água dentro dessa lagoa, melhorando as trocas dela com o mar (GOMES, 2009). Talvez este aspecto possa ter reduzido o tempo de residência hidráulico dessa lagoa, o que parece sempre favorecer a diminuição de seu estado trófico, conforme já discutido em relação a outras lagoas (AZEVEDO, 2005; KNOPPERS *et al.*, 1999<sup>a</sup>; LEMA, 2012).

## 2.6 Lagoa de Imboassica

A Lagoa de Imboassica (Figura 9) estende seu espelho d'água sobre os municípios de Rio das Ostras e Macaé, entre as latitudes 22°24'18" e 22°25'1,9" S e as longitudes 41°48'38" e 41°51'39" O, na região hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). A origem geológica da Lagoa de Imboassica se assemelha a de outras lagoas costeiras fluminenses (ESTEVES, 2011b; KJERFVE; DIAS, 2009; KNOPPERS *et al.*, 1999a). A regressão do mar ocorrida há cerca de 5.000 anos (no Holoceno) propiciou o surgimento de uma nova faixa litorânea na qual se configuram microbacias que drenam um relevo ondulado esculpido pelos efeitos de regressão e transgressão do mar na costa brasileira ocorrido principalmente durante o período Quaternário. Essas microbacias costeiras, que estão entre o município de Búzios e o sul do estado do Espírito Santo, situam-se na unidade geomorfológica da Planície de Cristas de Praia (*Beach ridge plains*) (KJERFVE; DIAS, 2009). Entre estas microbacias, está a do rio Imboassica que, por sua pequena vazão, não consegue manter uma foz permanente para o mar, devido à deposição de areia na barra da lagoa trazida pelos ventos e pela Corrente do Brasil. Assim, há a formação em sua foz de uma lagoa ortogonal à linha de costa que se comunica com o mar através da abertura de sua barra arenosa ou da barra arenosa de um canal artificial que comunica essa lagoa com o mar (BARRETO, 2009; ERAZO, 2003).





**Figura 9 - Bacia hidrográfica da Lagoa de Imboassica.**

O principal afluente dessa lagoa é o Rio Imboassica (um curso d'água de quarta ordem) o qual drena uma série de pequenos cursos d'água (de primeira a terceira ordem) para essa lagoa (BARRETO, 2009). A área dessa bacia hidrográfica é de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>. Os valores morfométricos dessa lagoa encontram-se na Tabela 14. É importante destacar que o espelho d'água da Lagoa de Imboassica possui área, segundo demarcação oficial do governo do estado, de aproximadamente 344,67 ha (Rio de Janeiro, 1988). A Lagoa de Imboassica é salobra, com uma salinidade média de  $3,52 \pm 4,22$ , embora perto da barra de areia, devido à proximidade com o mar, possa haver maiores valores, da mesma forma que durante uma abertura de barra a lagoa possa se tornar temporariamente salina (CALIMAN et al., 2010; PALMA-SILVA et al., 2004; SETUBAL et al., 2013).

**Tabela 14 - Valores morfométricos da Lagoa Imboassica. Espelho d'água (km<sup>2</sup>); largura, comprimento e perímetro (km); volume (m<sup>3</sup>); profundidade média (m)**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade	Volume (10 <sup>6</sup> )
Lagoa Imboassica	3,26	1,3	5,3	27,6	1,09	3,55

Fonte: Panosso et al. (1998)

Conforme se observa, na Tabela 15 e nas Tabelas 45 e 46 do Apêndice, há um significativo aumento das concentrações de clorofila *a* e de P dissolvido e P total, ao longo do tempo, indicando uma deterioração da qualidade das águas da lagoa desde a década de 80 até o presente momento. A clorofila *a* e o P total e P dissolvido tiveram aumentos significativos nas suas concentrações a partir do ano de 1995/1996. Consequentemente podemos observar uma progressão entre os anos de 1980 e 2015 do estado mesotrófico para eutrófico e, por fim, chegando ao estado hipertrófico. Contudo, essa modificação de estado trófico não é linear, havendo variações significativas de concentração de clorofila *a*, P dissolvido e P total a partir do ano de 1995. Essa oscilação da concentração dos parâmetros analisados e do estado trófico pode ser explicada pela influência que a abertura da barra arenosa dessa lagoa traz (BOZELLI *et al.*, 2009; FERNANDES; ESTEVES, 2003; MELO *et al.*, 2007; PANOSSO; ESTEVES, 2000; SETUBAL *et al.*, 2013).

**Tabela 15 - Índices de estado trófico da Lagoa de Imboassica calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT)**  
(continua)

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Out 1980	6	1,50 ± 0,85	15,0 ± 10,5	21,7 ± 9,83	54	mesotrófico	43	mesotrófico	Dados não publicados FEEMA
1983 a 1984	3	2,24 ± 0,15 <sup>1,3</sup>	11,9 ± 3,85 <sup>1,2</sup>	22,8 ± 11,9 <sup>1,3</sup>	55	mesotrófico	43	mesotrófico	<sup>1</sup> Huzar e Esteves (1988) <sup>2</sup> Petrucio e Furtado (1998) <sup>3</sup> Esteves et al. (1984)
Out 1989	6	6,07 ± 3,43	18,3 ± 4,08	38,3 ± 7,53	59	eutrófico	51	mesotrófico	Dados não publicados FEEMA
Mar 1992 a Jan 1994	12	6,87 ± 6,07 <sup>1</sup>	10,5 ± 9,23 <sup>2</sup>	75,5 ± 7,50 <sup>1</sup>	62	eutrófico	52	mesotrófico	<sup>1</sup> Bozelli et al. (2009) <sup>2</sup> Petrucio e Furtado (1998)
Fev a Ago 1994	36	----	10,4 ± 6,93	28,7 ± 26,8	62	eutrófico	47	mesotrófico	Fernandes e Esteves (2003)
Jan 1995 a Jan 1996	48	13,4 ± 7,55	27,5 ± 28,5	135 ± 92,6	65	supereutrófico	62	eutrófico	Panosso e Esteves (2000)
Nov 1996 a Mai 1998	114	----	60,2 ± 22,2	133 ± 79,2	71	hipereutrófico	71	eutrófico	Melo et al. (2007)
Mar 2000 a Fev 2002	12	67,8 ± 40,9	----	308 ± 242	72	hipereutrófico	76	hipereutrófico	Bozelli et al. (2009)
Jun 2002 a Jul 2003	14	41,2 ± 13,4	89,3 ± 57,0	----	64	supereutrófico	74	hipereutrófico	MacCord et al. (2013)

NA = número de amostras

Tabela 15 - Índices de estado trófico da Lagoa de Imboassica calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT)

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência	
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico		
Lagoa de Imboassica	Nov 2002 a Nov 2003	12	28,2 ± 10,4	76,0 ± 40,4	221 ± 101	69	hipereutrófico	72	eutrófico	Amado <i>et al.</i> (2007)
	Nov 2004 a Nov 2006	24	16,5 ± 17,0	----	143 ± 60,8	66	supereutrófico	63	eutrófico	Setubal <i>et al.</i> (2013)
	Jan 2014 a Fev 2015	16	119 ± 66,5	----	896 ± 170	76	hipereutrófico	86	hipereutrófico	Beraldi (2015)

NA = número de amostras

É importante considerar que há uma variação espacial das concentrações dos parâmetros limnológicos dentro da lagoa. Os estudos de Melo e colaboradores (2007) e Palma-Silva e colaboradores (2004) mostraram que as concentrações de nitrogênio total e fósforo total foram maiores nos pontos de amostragem próximos às áreas de adensamento urbano, enquanto os pontos mais próximos da barra arenosa (onde há pouca ocupação antrópica) e no meio da lagoa revelam menores concentrações destes nutrientes. A contribuição antrópica, como esgoto doméstico, o local da lagoa e o período do ano em que ocorreram as amostragens são fatores que determinam as concentrações dos parâmetros limnológicos. Fernandes e Esteves (2003) observaram que parâmetros como nitrato e fósforo total possuem relação com o local da lagoa e a época do ano em que foram realizadas as medições. Por outro lado, a amônia guarda relação somente com a área da lagoa onde se fez a coleta. De uma maneira geral, pode-se observar por esse estudo que a concentração de alguns nutrientes tende a ser maior no verão, na área mais próxima ao lançamento de efluentes sanitários não tratados.

O estado trófico da Lagoa de Imboassica também foi influenciado pelo manejo através da dragagem de plantas aquáticas no rio contribuinte à lagoa (MAROTTA *et al.*, 2009). Esse estudo sugere que a dragagem das plantas intensifica ao invés de reduzir a eutrofização da lagoa, se não houver a redução na emissão antrópica de nutrientes para a lagoa. Após a dragagem das plantas, foi observado um aumento da concentração de nitrogênio e fósforo na lagoa intensificando a sua eutrofização.

Em sua pesquisa de doutorado, Marotta (2009) conclui que há uma tendência de aumento da concentração de nutrientes nas águas da Lagoa de Imboassica correlacionada ao aumento de população e malha urbana do município de Macaé (principal contribuinte em quantidade de águas servidas a essa lagoa) apesar de haver perturbações pontuais que impedem o estabelecimento de uma curva de regressão. Silva (2009) mostrou que os maiores crescimentos da área urbana do município de Macaé ocorreram entre 1976 e 1989 e entre 1989 e 1999 com taxas de 90,0% e 41,4% respectivamente. Contudo, conforme se pode observar nesse trabalho, a ocupação urbana da bacia hidrográfica da Lagoa de Imboassica começou de fato partir da década de 1980. Segundo dados do IBGE (2015), a população de Macaé aumentou de 75.863 habitantes na década de 80 para 234.628 habitantes em 2015. Embora não haja dados oficiais sobre a população da bacia hidrográfica dessa lagoa, estimam-se em 10 mil habitantes, os quais lançam seus efluentes diretamente no corpo hídrico. Na bacia hidrográfica da Lagoa de Imboassica, há uma população flutuante que presta serviço às empresas *offshore* de exploração de petróleo ali instaladas que faz com que o lançamento de esgoto seja ainda maior que aquele oriundo apenas dos 10 mil moradores residentes. Em pesquisa feita nos anos de 2011 e 2012, Pessanha (2012) mostrou que havia deficiência na coleta e tratamento de esgoto nessa bacia. A partir de 2013, parte do esgoto produzido vem sendo tratado pela estação de tratamento do Mutum, que tem capacidade atual

de tratar 40 L/s. No entanto, conforme se podem observar, nas Tabelas 15, 46 e 47, os efeitos do tratamento de esgoto ainda não são perceptíveis na melhora de estado trófico e concentração de nutrientes dessa lagoa.

## 2.7. Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba

As lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PNRJ) ou PARNA Jurubatiba estão compreendidas geograficamente entre os limites latitude 22°08'10" e 22°18'07" e longitude 41°17'52" e 42°41'38" na Região Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba do Sul conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). Dentro do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, existem 18 lagoas, sendo 5 ortogonais à linha de costa, enquanto que 13 lagoas são paralelas. Estas lagoas estão na unidade geomorfológica da Planície de Cristas de Praia (*Beach ridge plains*) (KJERFVE; DIAS, 2009).

Segundo Lamego (1946), essas lagoas fazem parte de uma fisiografia da costa onde a planície costeira forma uma grande área alagável que, no passado, era chamada de "Pantanal Fluminense", estando essas lagoas conectadas, inclusive, com a Lagoa Feia. No período de cheias da Lagoa Feia, esta escoava suas águas para o mar abrindo a barra arenosa em Barra do Furado (hoje permanentemente aberta pela construção do Canal das Flechas) e também, através da Lagoa da Ribeira, alcançava a Lagoa Preta forçando a abertura da barra desta lagoa para o mar. Segundo esse mesmo autor, as lagoas da restinga de Jurubatiba, nas épocas de cheia, transbordavam suas águas de forma a gerar este pantanal alagado no qual não seria possível distinguir os leitos das lagoas. Assim, historicamente, é demonstrado que a Lagoa Feia comunica-se com as lagoas do PNRJ, apesar de hoje esta comunicação estar comprometida pelas obras de drenagem implantadas pelo homem na Baixada Campista (que impedem o alagamento dessa baixada) e pelos diques marginais da Lagoa Feia que impedem seu transbordamento em direção às lagoas do PNRJ. Contudo, ainda resta um grande canal feito na época do Brasil Império, o Canal Campos-Macaé, que remanesce nos dias de hoje interligando essas lagoas à Lagoa Feia e ao sistema de canais artificiais existentes na Baixada Campista (BIDEGAN *et al.*, 2002).

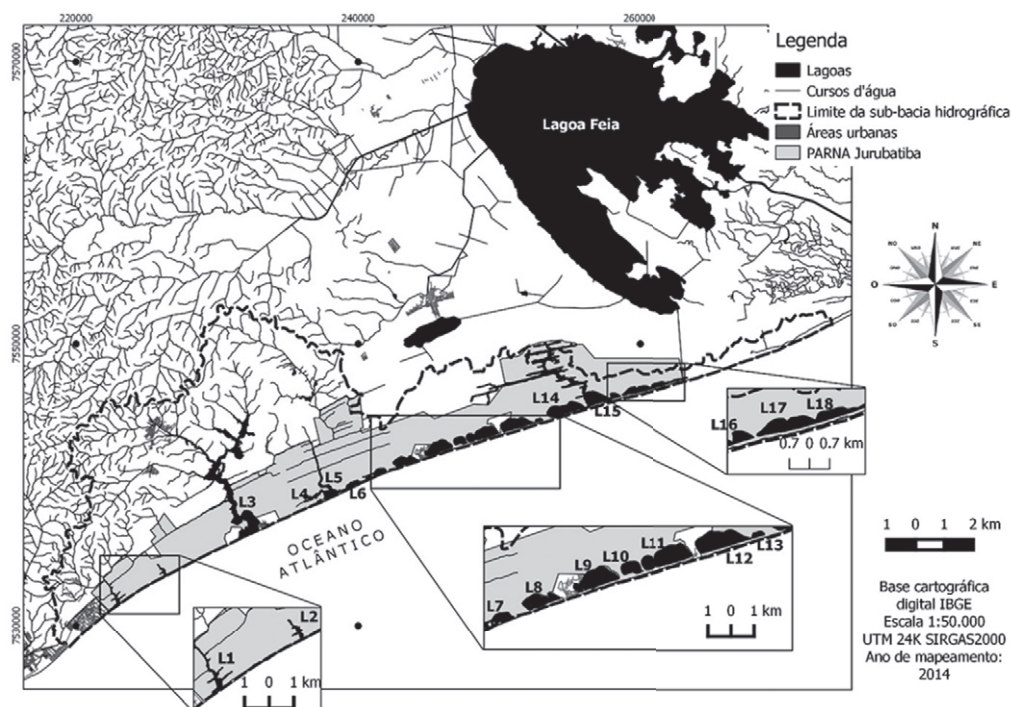
As lagoas do PNRJ se estendem ao longo de três municípios: Macaé, Carapebus e Quissamã (Figura 10). Pela definição de Faustino (1996), podemos classificá-las como formadoras de uma sub-bacia<sup>5</sup>, já que sua área é de 381,6 Km<sup>2</sup> é superior à área máxima de uma micro-bacia (100 Km<sup>2</sup>) e inferior à de uma bacia propriamente dita (cuja área mínima é de 700 Km<sup>2</sup>).

<sup>5</sup> Apesar de Faustino (1996) pressupor que toda a drenagem de uma sub-bacia passe pelo exutório, que obviamente não existe no caso do PNRJ devido ao fato de essas lagoas não estarem permanentemente tributando para o mar, esse autor entende que a sub-bacia é um conjunto de microbacias e que a bacia é o conjunto de sub-bacias, sendo que a principal diferença entre elas são as suas extensões, o que se aplica perfeitamente ao caso, já que as lagoas do PNRJ drenam pequenos curso d'água (que formam microbacias) e essas lagoas se conectam ao corpo d'água principal dessa bacia que que é a Lagoa Feia.

As lagoas do PNRJ têm duas origens geológicas distintas segundo Martin e Dominguez (1994). Algumas dessas lagoas foram formadas pelo fechamento da desembocadura de rios por sedimentos marinhos, enquanto que outras foram formadas nas depressões entre faixas de areia que constituem a Restinga de Jurubatiba. Ambas as origens estão relacionadas aos movimentos de regressão e transgressão do mar, ocorridos no período do Holoceno. O primeiro grupo de lagoas origina-se pela deposição de sedimentos marinhos na desembocadura de rios pequenos que, por suas baixas energias cinéticas de foz, não conseguem romper o primeiro cômodo praial. Essas lagoas em geral são perpendiculares à linha de costa e possuem água salobra na sua porção próxima ao cordão arenoso e água doce nas porções mais distantes do mar.

Essas lagoas podem, em períodos de intensa chuva, romper naturalmente a barra arenosa transbordando suas águas para o mar. São deste grupo: Lagoa de Jurubatiba, Lagoa Comprida, Lagoa de Carapebus, Lagoa Paulista e Lagoa Preta. O segundo grupo de lagoas tem origem no acúmulo de água pluvial, que se deposita nas depressões existentes entre o primeiro e o segundo cômodo praial. Devido ao reduzido volume de água, essas lagoas são em geral rasas e paralelas à linha de costa, com forte influência marinha, sendo suas massas de água salobra ou totalmente salgada. Podem se conectar superficialmente ou subterraneamente com lagoas adjacentes, e neste caso, tendem a seguir um regime hidrológico complexo de variação de volume de água das lagoas. O rompimento da barra arenosa dessas lagoas geralmente é feito pelo mar quando em maré de tempestade. Nesse grupo, encontramos a Lagoa Encantada, Lagoa Amarra-Boi, Lagoa da Bezerra, Lagoa da Garça, Lagoa Piri-Piri, Lagoa Maria Menina, Lagoa do Robalo, Lagoa do Visgueiro, Lagoa Catingosa, Lagoa do Pires, Lagoa da Barrinha, Lagoa da Casa-Velha, Lagoa de Ubatuba (CALIMAN *et al.*, 2010; CUNHA, 2012; ESTEVES, 2011b; ICMBIO, 2007).





**Figura 10 - Sub-bacia hidrográfica das Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.** L1 – Lagoa de Jurubatiba (ou Cabiúnas), L2 – Lagoa Comprida, L3 – Lagoa de Carapebus, L4 – Lagoa Encantada, L5 – Lagoa Paulista, L6 – Lagoa Amarra-Boi, L7 – Lagoa da Bezerra, L8 – Lagoa da Garça, L9 – Lagoa Piri-Piri, L10 – Lagoa Maria Menina, L11 – Lagoa do Robalo, L12 – Lagoa do Visgueiro, L13 – Lagoa Catingosa, L14 – Lagoa do Pires, L15 – Lagoa Preta, L16 – Lagoa da Barrinha, L17 – Lagoa da Casa-Velha, L18 – Lagoa de Ubatuba.

As lagoas do PNRJ possuem área de espelho d'água variando entre 0,02 km<sup>2</sup> e 4,11 km<sup>2</sup>, sendo a soma da área de superfície de 16,22 km<sup>2</sup>. As profundidades destas lagoas variam de 0,50 m a 3,00 m (CALIMAN *et al.*, 2010). Na Tabela 16, encontram-se os valores morfométricos dessas lagoas.



**Tabela 16 - Valores morfométricos das Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. O espelho d'água, o perímetro, a profundidade média e o volume foram obtidos de Cunha (2012). A largura e o comprimento foram calculados a partir da base cartográfica digital IBGE 1:25.000 através do programa Quantum Gis versão 2.4. Espelho d'água (km<sup>2</sup>); largura, comprimento e perímetro (km); profundidade média (m), volume (m<sup>3</sup>)**

Lagoa	Espelho d'água	Largura	Comprimento	Perímetro	Profundidade média	Volume (x10 <sup>3</sup> )
Lagoa de Jurubatiba	0,34	0,11	1,89	14,6	3,59	1221
Lagoa Comprida	0,11	0,16	1,06	3,61	2,45	270
Lagoa de Carapebus	4,11	0,65	6,25	42,5	0,85	3494
Lagoa Encantada	0,05	0,14	0,35	1,24	0,93	47
Lagoa Paulista	1,41	1,10	3,54	25,6	0,98	1382
Lagoa Amarra-boi	0,22	0,27	1,00	2,56	0,64	141
Lagoa da Bezerra	0,02	0,38	1,65	0,86	0,70	14
Lagoa da Garça	0,21	0,55	1,80	2,87	0,90	189
Lagoa Piri-Piri	1,92	0,68	1,81	11,1	0,74	1421
Lagoa Maria Menina	0,60	0,59	0,81	4,32	0,63	378
Lagoa do Robalo	1,25	0,58	2,13	8,97	0,90	1125
Lagoa do Visgueiro	1,21	0,72	2,1	5,43	0,83	1004
Lagoa Catingosa	0,09	0,42	0,61	1,36	0,79	71
Lagoa do Pires	1,59	0,7	2,43	6,73	0,96	1526
Lagoa Preta	1,94	1,42	4,35	20,6	0,98	1901
Lagoa da Barrinha	0,28	0,44	0,72	2,32	0,75	210
Lagoa da Casa Velha	0,53	0,46	1,96	5,13	0,69	366
Lagoa de Ubatuba	0,34	0,38	2,29	3,45	0,52	177

A salinidade dessas lagoas varia conforme sua posição em relação à linha da costa como descrito anteriormente. Caliman e colaboradores (2010) demonstraram que 8 das 12 lagoas paralelas à linha de costa possuíam a salinidade positivamente correlacionadas entre si. Em uma análise temporal, esse estudo observou que há coerência na variação de salinidade entre o grupo de lagoas paralelas e ortogonais à linha de costa. A salinidade média destas lagoas encontra-se detalhada na Tabela 17.

**Tabela 17 - Salinidade média  $\pm$  desvio-padrão das Lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**

Lagoa	Salinidade	Período de amostragem
Lagoa de Jurubatiba	1,01 $\pm$ 1,60	Jan 2002 - Dez 2008
Lagoa Comprida	0,13 $\pm$ 0,06	Jan 2002 - Dez 2008
Lagoa de Carapebus	5,31 $\pm$ 3,72	Jan 2002 - Dez 2008
Lagoa Encantada	5,16 $\pm$ 6,38	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa Paulista	2,27 $\pm$ 1,75	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa Amarra-boi	0,27 $\pm$ 0,40	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa da Bezerra	1,71 $\pm$ 2,42	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa da Garça	31,2 $\pm$ 28,7	Jan 2002 - Dez 2008
Lagoa Piri-Piri	47,1	Jul 2000 - Fev 2003
Lagoa Maria Menina	15,3 $\pm$ 9,42	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa do Robalo	25,0 $\pm$ 12,6	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa do Visgheiro	28,4 $\pm$ 21,7	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa Catingosa	25,3 $\pm$ 21,3	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa do Pires	17,3 $\pm$ 24,4	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa Preta	7,51 $\pm$ 9,61	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa da Barrinha	11,4 $\pm$ 15,9	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa da Casa Velha	8,98 $\pm$ 9,11	Fev 2004 - Ago 2008
Lagoa de Ubatuba	7,99 $\pm$ 5,89	Fev 2004 - Ago 2008

Fonte: Caliman et al. (2010) e Enrich-Prast et al. (2004)

Baseado em dados de nutrientes e clorofila *a* publicados por Enrich-Prast e colaboradores (2004), foi possível calcular o estado trófico das lagoas do PNRJ (Tabela 19). Apesar de apresentar um caráter temporal restrito (2000-2003), quando comparados às outras lagoas abordadas nesse estudo, os ambientes lacustres do PNRJ apresentaram uma ampla faixa de variação das concentrações de clorofila *a* (1,77 a 58  $\mu\text{g/L}$ ), fósforo total (17,1 a 278  $\mu\text{g/L}$ ) e fósforo dissolvido (24,2 a 612  $\mu\text{g/L}$ ) (Tabela 18). O cálculo do índice de estado trófico mostrou que são mesotróficas as lagoas de Jurubatiba, Comprida e Paulista. As lagoas de Carapebus, da Garça, Piri-Piri, do Robalo e Visgheiro foram classificadas como eutróficas por ambos os índices. Já as lagoas Maria Menina, Preta e do Pires foram consideradas hipereutróficas ou supereutróficas em pelo menos um índice. Nenhuma lagoa do PNRJ foi classificada como oligotrófica. É relevante salientar que baseado no trabalho de Caliman e colaboradores (2010), as concentrações médias de P total e clorofila *a* para todas as lagoas do PNRJ, entre os anos de 2002 e 2008, foram de 278  $\mu\text{g/L}$  e 15  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente, confirmando o caráter hipereutrófico, segundo o índice de Lamparelli e eutrófico segundo o índice de Toledo Jr. das lagoas do PNRJ.

Tabela 18 - Índices de estado trófico das lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba calculados a partir das concentrações de clorofila a (µg/L), P total (µg/L) e P dissolvido (µg/L)

Lagoas	Número de amostras	Posição em relação à linha de costa	Chl a	P dissolvido	P total	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)	
						Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico
Jurubatiba	6	ortogonal	4,34	17,1	34,2	58	mesotrófico	49	mesotrófico
Comprida	6	ortogonal	2,27	26,6	50,3	58	mesotrófico	51	mesotrófico
Carapebus	6	ortogonal	3,69	32,3	58,9	60	eutrófico	54	eutrófico
Paulista	6	ortogonal	3,62	28,5	42,7	59	mesotrófico	52	mesotrófico
Garça	6	paralela	1,77	54,1	174	61	eutrófico	60	eutrófico
Piri-Piri	6	paralela	3,12	62,7	128	62	eutrófico	61	eutrófico
Maria-Menina	6	paralela	58,7	169	469	73	hipereutrófico	82	hipereutrófico
Robalo	6	paralela	2,66	67,4	104	61	eutrófico	60	eutrófico
Preta	6	ortogonal	11,2	66,5	126	65	supereutrófico	65	eutrófico
Pires	6	paralela	12,7	278	612	70	hipereutrófico	80	hipereutrófico
Visgueiro	6	paralela	1,98	124	198	62	eutrófico	65	eutrófico
Ubatuba	1	paralela	7,34	44,6	----	56	mesotrófico	60	eutrófico

É notável que a maioria das lagoas desse parque seja eutrófica, sendo as lagoas Maria Menina, Preta e Pires as que apresentam os maiores índices tróficos. As lagoas Preta e Pires estão situadas, segundo o Plano de Manejo do PNRJ (ICMBIO, 2007), na chamada Zona Primitiva<sup>6</sup> da Lagoa Preta, que é a zona mais restritiva à ocupação humana deste parque. Já a lagoa Maria Menina, que possui o maior valor de índice trófico, está na Zona de Usos Extensivos<sup>7</sup>, denominada Zona Extensiva das Lagoas. Essa lagoa dista cerca de 1.700 m da área urbana mais próxima, que é o Balneário de João Francisco e, ainda assim, está mais eutrofizada que as lagoas que banham este balneário (a saber, as lagoas Piri-Piri e da Garça). Destaca-se que, em ambas as zonas, o solo está quase totalmente recoberto por ecossistemas nativos, sendo que na totalidade do PNRJ o uso antrópico direto do solo atinge apenas 0,23% de sua área (ICMBIO, 2007). Tomando, ainda, a informação do Plano de Manejo desse parque de que essas três lagoas citadas estão na microbacia do Preto (cujo principal corpo receptor de água é a Lagoa Preta) e de que esta microbacia encontra-se totalmente inserida nos limites do PNRJ, é possível concluir, em um primeiro momento, que a eutrofização destas lagoas advém de processos naturais.

Porém, a ocupação pretérita da área desse parque por culturas agrícolas, como coco (*Cocos nucifera*), que utilizava fertilizantes, pode ter contribuído, e ainda contribuir, com uma carga de nutrientes com potencial de eutrofização para algumas lagoas. Adicionalmente, para algumas lagoas, principalmente as ortogonais à costa, as bacias hidrográficas contribuintes estão ocupadas pela malha urbana e outros usos antrópicos do solo que podem influir negativamente no nível trófico dessas lagoas. Como exemplo, temos o caso da Lagoa de Carapebus cujo principal contribuinte (o córrego da Maricota) passa pela zona urbana do município de Carapebus e recebe uma carga de efluentes sanitários sem tratamento que certamente contribui para a degradação da qualidade das águas dessa lagoa, principalmente em sua porção inicial que está fora da área do PNRJ. Entretanto, em longo prazo, essa degradação da qualidade das águas pode se espalhar para todo o espelho dessa lagoa atingindo áreas dentro do parque. Outro fator que pode contribuir para o aporte de nutrientes para as lagoas do PNRJ é o transporte subterrâneo ou superficial, por exemplo, através do Canal Campos-Macaé, oriundo da planície quaternária da Lagoa Feia, que aporta águas de áreas urbanizadas dos municípios de Campos dos Goytacazes e Quissamã.

É possível considerar também que o estado trófico das lagoas pode ser relacionado às conexões, através do lençol freático, entre as próprias lagoas na planície costeira, onde o PNRJ está inserido, que são expostas a similares condições de clima, tipo de solos e vegetação. A coerência ou sincronia

<sup>6</sup> Segundo definição do Plano de Manejo do Parque Estadual da Restinga de Jurubatiba a Zona Primitiva "defini-se como aquela onde tenha ocorrido pequena ou mínima intervenção humana, contendo espécies da flora e da fauna naturais de grande valor ecológico e/ou científico" (ICMBIO, 2007, p. E4-29).

<sup>7</sup> Segundo definição do Plano de Manejo do Parque Estadual da Restinga de Jurubatiba, a Zona de Uso Extensivo "é constituída em sua maior parte, por áreas naturais, podendo apresentar algumas alterações humanas". (ICMBIO, 2007, p. E4-31).

temporal entre as lagoas foi estudada por Caliman *et al.* (2010) que reportou que, embora estejam sob mesma influência dos parâmetros descritos acima, as lagoas diferem em relação à morfometria, posição da paisagem e estado trófico, o que pode prever condições e agrupar lagoas através de parâmetros, como temperatura da água (mais significativo), salinidade (menos significativo) e cor da água. A clorofila *a* apresentou fraca coerência entre as lagoas sugerindo a influência da alta heterogeneidade regional dos corpos hídricos, representada por parâmetros como composição de espécies aquáticas, fisiografia e estado trófico (CALIMAN *et al.*, 2010). Esse cenário pode sugerir que as possíveis conexões entre as lagoas não influenciem seus estados tróficos.

A elevada salinidade nessas lagoas pode produzir restrições à diversidade, limitando o número de espécies que conseguem habitá-las. Conforme se observa, nas Tabelas 17 e 18, as únicas lagoas classificadas como mesotróficas, nos dois índices utilizados, são Jurubatiba, Comprida e Paulista que são lagoas com salinidade média inferior a 3,00. As demais lagoas são classificadas como eutróficas, supereutróficas ou hipereutróficas por pelo menos um dos índices utilizados e têm salinidade média superior a 5,00. É notável também que esse segundo grupo de lagoas além de concentração média de sal mais alta, também tem desvios-padrões mais altos, o que mostra que essas lagoas estão sujeitas a momentos de pico de valor de salinidade. Estudos indicam que a composição fitoplanctônica apresenta menor riqueza de espécies em lagoas com maior salinidade ou em porções de lagoas mais próximas ao mar (HUSZAR; ESTEVES, 1988; MELO; SUZUKI, 1998), sendo esse mesmo padrão observado para outros organismos como bacterioplâncton, hidrófitas vasculares e ictiofauna (DI DARIO *et al.*, 2013; FARJALLA *et al.*, 2001; MacCORD *et al.*, 2013; PAZ, 2007). Como demonstrado para a Lagoa da Barra em Maricá, a existência de poucas espécies diminui a competição interespecífica, o que favorece o aumento das populações fitoplanctônicas que conseguem sobreviver a estes ambientes adversos podendo gerar *blooms* ao ponto de causar uma crise distrófica nessa lagoa (CARMOUZE *et al.*, 1994).

O tempo de residência hidráulica pode ser sempre um importante fator explicativo do estado trófico (KNOPPERS *et al.*, 1991). Apesar de não haver trabalho que quantifique o tempo de residência hidráulica das lagoas do PNRJ, é razoável supor que seus tempos de residência tendam a ser maiores que muitas das lagoas abordadas neste livro, baseado no fato de que nenhuma das lagoas do PNRJ possui conexão permanente com o mar; o que poderia explicar o elevado estado trófico delas, mesmo sendo sua maior parte prístina. Apesar de as lagoas do PNRJ não terem conexão permanente com o mar, algumas passam por eventos esporádicos de abertura de suas barras arenosas. Setubal e colaboradores (2013), analisando o efeito da abertura de barra arenosa na Lagoa de Jurubatiba, mostram que a profundidade da lagoa e a sua salinidade são significativamente afetadas por esse evento; contudo, esses autores não encontraram diferença significativa na concentração média de P total, clorofila *a* e N total comparando os 12 meses anteriores à abertura de barra com os 12 meses posteriores à abertura de

barra. Entretanto, aplicando índices de estado trófico aos resultados desses autores, observa-se uma tendência de diminuição pelo índice de Lamparelli, sendo que pelo índice de Toledo Jr. (1990), há uma mudança clara do estado trófico dessa lagoa após a abertura de sua barra arenosa (Tabela 19). Melo e Suzuki (1998), trabalhando com comunidade fitoplactônica na Lagoa de Jurubatiba, entre 1991 e 1993, encontraram uma redução no número de espécies e densidade de fitoplâncton depois da abertura de barra arenosa comparando-se com o período anterior a essa abertura (abertura corrida em setembro de 1992). Esses resultados, apesar de contemplarem apenas uma lagoa, apontam no sentido de que o tempo de residência hidráulica das lagoas ou a alteração desse tempo pela abertura de sua barra arenosa, podem ser fatores de influência em seu estado trófico.

**Tabela 19 - Índices de estado trófico da Lagoa de Jurubatiba calculados a partir das concentrações de clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ), *P* total ( $\mu\text{g/L}$ ) antes e depois da abertura da barra arenosa**

		Data da abertura da barra arenosa	NA	Chl a	P total	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)	
						Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico
Nov 2004 a Nov 2006	09/11/05	Antes	24	5,50	87,4	62,2	eutrófico	54,4	eutrófico
		Depois	24	2,47	67,4	59,5	eutrófico	48,6	mesotrófico

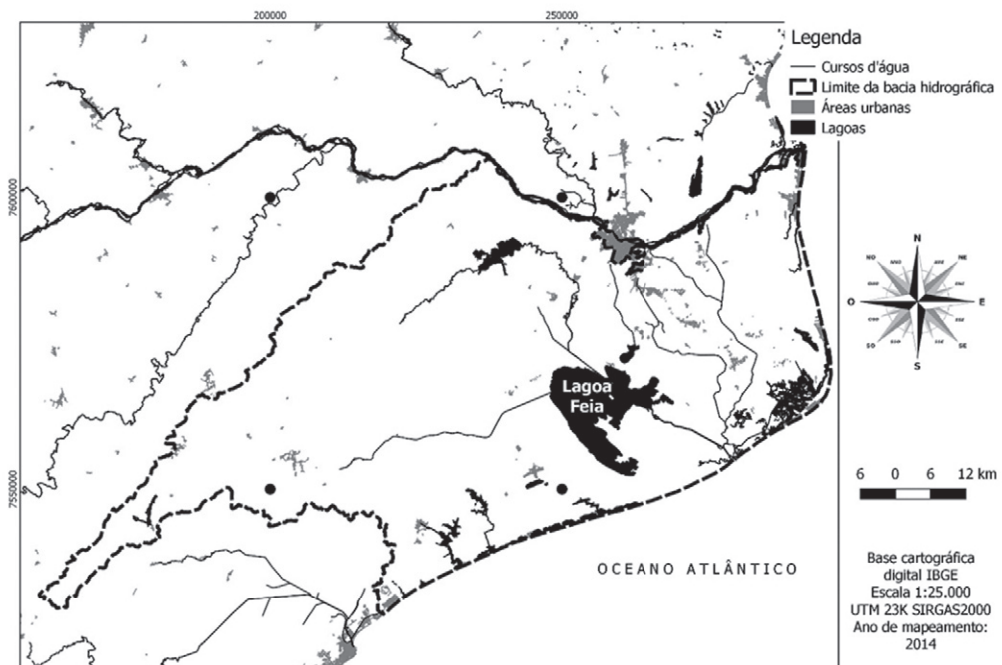
NA = número de amostras.

## 2.8 Lagoa Feia

A Lagoa Feia está compreendida geograficamente entre os limites latitude 22°07'19,2" e 21°55'00" e longitude 41°14'16,8" e 42°26'22,56" na Região Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba do Sul conforme a Resolução CERHI 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013). Essa lagoa está na unidade geomorfológica da Planície de Cristas de Praia (*Beach ridge plains*) (KJERFVE; DIAS, 2009). Sua origem geológica data do Holoceno estando associada à última transgressão do nível do mar e mudança geográfica de foz do Rio Paraíba do Sul. Ao longo deste período, o Rio Paraíba do Sul (RPS) possuía dois canais de desembocadura no mar: um canal que seguia no sentido sul em direção à atual Lagoa Feia que, nesta época, era uma baía marinha rasa; e outra saída ao norte na baía de Campos, onde está localizado o atual delta do RPS. O abaixamento brusco do nível eustático, mar nos últimos 4.200 anos, e a menor distância percorrida pelo rio em direção à desembocadura ao norte resultaram na perenização desse canal. O canal vertendo em direção ao sul foi sendo fechado pela deposição de areia marinha e pela crescente deposição aluvionar, devido à diminuição da capacidade de transporte das águas do RPS nesta direção.

Desse modo, o atual delta do RPS começou a se desenhar enquanto que o aumento da restinga central fechou definitivamente a comunicação direta com a baía localizada ao sul, ocasionando o surgimento do ecossistema lagunar dulcícola que hoje conhecemos como Lagoa Feia (BIDEGAIN *et al.*, 2002; LAMEGO, 1946). A Lagoa Feia continuou a se comunicar ordinariamente com o RPS através de um canal remanescente, o Canal do Cula que, ainda no século XVIII, era navegável por toda sua extensão na Baixada Campista. As obras do Departamento Nacional e Obras e Saneamento, durante o século XX, extinguíram todas as comunicações naturais do RPS com sua antiga baía remanescendo apenas um sistema de canais artificiais que permite esta comunicação apenas na época de chuvas intensas (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

A Lagoa Feia é o maior corpo hídrico lântico de água doce do Brasil (BIDEGAIN *et al.*, 2002) e, apesar das mudanças que houve por intervenção antrópica, em sua massa de água, ainda mantém um espelho d'água oficialmente demarcado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro de 18.285 ha ou aproximadamente 183 km<sup>2</sup>. Segundo geoprocessamento realizado nesse trabalho, a área da bacia hidrográfica da Lagoa Feia é de aproximadamente 5.157 km<sup>2</sup> (Figura 11).



**Figura 11 - Bacia hidrográfica da Lagoa Feia.**

Estudo recente feito por Lima (2014) sobre mapeamento dessa bacia hidrográfica encontrou uma área máxima de expansão dessa lagoa de 408 km<sup>2</sup> e espelho d'água médio de 200 km<sup>2</sup>. Por esse mesmo estudo, a bacia

hidrográfica dessa lagoa é de 3.231 km<sup>2</sup>. Contudo, optou-se por utilizar os valores da demarcação oficial da lagoa, já que para fins de manejo ambiental e monitoramento ambiental, o órgão ambiental estadual, o INEA, que é o responsável pela gestão deste corpo hídrico, reconhece apenas a área da demarcação oficial. Para, além disto, os dados de monitoramento limnológicos da Lagoa Feia utilizados neste trabalho são fornecidos pelo INEA. Assim, os pontos amostrados dentro dessa lagoa respeitam a área oficial dela, não havendo nenhuma coleta fora desse perímetro, mesmo tendo áreas permanentemente inundadas por ela fora desse perímetro (Figura 11).

Os principais tributários da Lagoa Feia são o Rio Macabu e o Rio Ururuai. O Rio Macabu possui cerca de 120 km de extensão, drenando uma bacia hidrográfica de 1.076 km<sup>2</sup>. Esse rio nasce na serra no município de Trajano de Moraes – RJ. A cerca de 40 km da nascente, existe uma barragem que forma o Lago de Tapera o qual acumula água para um sistema de transposição entre as bacias do Rio Macabu e Rio Macaé, sendo o Rio São Pedro o afluente recebedor das águas da transposição. Tal transposição é realizada através da gravidade, e, ao longo do desnível topográfico, há a geração de energia elétrica. A transposição também faz o trecho do Rio Macabu secar cerca de 5 km após a barragem, embora no distrito de Sodrelândia (Trajano de Moraes), o leito desse rio volte a ter águas perenes pela drenagem de várias nascentes, correndo até a sua foz na Lagoa Feia (BIDEGAIN *et al.*, 2002). O Rio Ururuai nasce na Lagoa de Cima e seu traçado até a sua foz na Lagoa Feia possui 48 km de extensão. Seu principal afluente é o Rio Preto cuja nascente localiza-se na região de Rio Preto, vertente campista da Serra do Desengano ou Imbé. A Lagoa de Cima, por sua vez, é alimentada pelas águas do Rio Urubu (com cerca de 40 km de extensão) e do Rio Imbé (com cerca de 70 km de extensão). A bacia hidrográfica da Lagoa de Cima drena uma área de 986 km<sup>2</sup> (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

A Lagoa Feia é uma lagoa de água doce. Huszar e Esteves (1988), em campanha realizada entre janeiro e setembro de 1983, mediram salinidade nessa lagoa variando entre 0,07 e 0,08. Os trabalhos de monitoramento trimestral do INEA, entre os anos de 2012 e 2015, mostraram salinidade variando entre 0,05 e 0,08. O Governo do Estado do Rio de Janeiro através da FEEMA (da década de 1970 até 2007) e do INEA (de 2007 até a presente data) vem monitorando uma série de parâmetros limnológicos nas águas dessa lagoa.

Baseado em dados de nutrientes e clorofila *a* oriundos do monitoramento ambiental feito pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, foi possível calcular o estado trófico da Lagoa Feia (Tabela 20).



Tabela 20 - Índices de estado trófico da Lagoa Feia calculados a partir dos valores de clorofila *a* (Chl *a*), *P* dissolvido (PD) e *P* total (PT)

Período	NA	Chl <i>a</i>	PD	PT	Índice de estado trófico Lamparelli (2004)		Índice de estado trófico Toledo Jr. et al. (1983)		Referência
					Valor	Estado trófico	Valor	Estado trófico	
Jul a Dez 1978	13	22,3 ±19,0	19,2 ±17,1	112 ±68,9	66	supereutrófico	61	eutrófico	INEA
Abril a Out 1979	29	6,80 ±5,51	10,0 ±6,87	58,7 ±71,9	62	eutrófico	51	mesotrófico	INEA
Mai a Out 1980	17	20,4 ±10,8	46,4 ±35,2	112 ±63,2	66	supereutrófico	65,52	eutrófico	INEA
Fev a Jul 1981	11	5,20 ±3,44	12,3 ±9,83	82,5 ±51,4	62	eutrófico	53,11	mesotrófico	INEA
Mar a Dez 2012	32	11,2 ±6,76	17,5 ±13,7	155 ±152	65	supereutrófico	60,45	eutrófico	INEA
Jan a Ago 2013	24	16,7 ±14,4	23,6 ±30,0	92,1 ±31,6	65	supereutrófico	60,69	eutrófico	INEA
Fev a Dez 2014	32	7,88 ±10,3	21,3 ±15,8	112 ±119	63	supereutrófico	58,61	eutrófico	INEA
Abril a Set 2015	16	21,2 ±10,1	10,0 ±7,93	90,0 ±40,2	65	supereutrófico	57,23	eutrófico	INEA

NA = número de amostras

Conforme se observa, na Tabela anterior, para os anos de 1978 e 1981, o estado trófico da Lagoa Feia oscila entre eutrófico e supereutrófico pelo índice de Lamparelli, e entre mesotrófico e eutrófico pelo índice de Toledo Jr. A partir do ano de 2102, a lagoa mantém seu estado eutrófico ou supertrófico, dependendo do índice utilizado. Essa variação da concentração de nutrientes observada, ao longo do período de análise, é confirmada estatisticamente (Tabelas 47 e 48 do Apêndice).

A variação do estado trófico pode estar associada ao aporte de nutrientes oriundo de atividades humanas na bacia hidrográfica. Baseado no Censo IBGE (2015) e no trabalho de Lima (2014) é possível estimar a população da bacia hidrográfica da Lagoa Feia em de 97.772 indivíduos no ano de 2015. Com este número, calcula-se uma densidade demográfica de 18,96 ha/km<sup>2</sup>, notavelmente menor que de outras bacias hidrográficas abordadas neste livro, que variaram entre 232 a 1.226 hab/km<sup>2</sup> para o ano de 2015. Segundo Lima (2014), os usos antrópicos do solo (pecuária, agricultura, silvicultura) ocupam 77,89% da área dessa bacia. Assim, pode-se inferir que a contribuição de nutrientes por efluentes domésticos sem tratamento oriundo de uma bacia hidrográfica com baixa densidade demográfica para lagoa, seja menor que o aporte por fontes agrosilvipastoris.

Desse modo, as oscilações da concentração de nutrientes, de clorofila a e consequentemente do estado trófico na Lagoa Feia, no final da década de 70 e início da década de 80, podem estar associadas às flutuações da produção agropecuária. No que diz respeito à agricultura, na produção de cana-de-açúcar, que era o principal produto agrícola do Norte Fluminense, houve uma diminuição da safra, que variava entre 7 a 8 milhões de toneladas no início da década de 80, para menos de 5 milhões de toneladas a partir da década de 90 (COSTA, 2009). Na safra de 2015, a produção estimada do setor foi de 1,2 milhão de toneladas<sup>8</sup> (INEA, dados não publicados). Essa diminuição deve-se ao desaquecimento da indústria de açúcar e combustível na região, com reflexo no número de usinas em funcionamento, que diminuiu de 23 operantes em 1979, para apenas 3 em 2015. Contudo, apesar da acentuada diminuição da produção de cana-de-açúcar ao longo dos anos, não foi observada uma redução do estado trófico da Lagoa Feia.

O aporte de nutrientes por processos naturais como a lixiviação dos solos e deposição atmosférica podem ser fatores determinantes do estado trófico da lagoa. O tempo de residências das águas também pode explicar a variação temporal visto que apesar da ligação com o oceano, realizado pelo Canal das Flechas, o fato de ele ser manobrado por comportas, pode alterar em muito o tempo de residência da Lagoa Feia de um ano para o outro a depender do tempo em que as comportas ficaram abertas em cada ano. Os processos limnológicos intrínsecos dessa lagoa também podem ser fatores determinantes de seu estado trófico, porém essa lagoa, por ser umas das menos pesquisadas do ponto de vista de sua hidroquímica na costa do Brasil, carece de informações que subsidiem esta discussão.

<sup>8</sup> No ano de 2015, a estimativa de produção de cana-de-açúcar, dentro da bacia hidrográfica da Lagoa Feia, foi de 900 mil toneladas em toda a safra.



## **Considerações sobre os estados TRÓFICOS DAS LAGOAS COSTEIRAS DO Estado do Rio de Janeiro**

---

As lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro são um patrimônio natural, formadas através de eventos de progressão e transgressão marinha ao longo dos últimos 5,0 mil anos. As características físicas, químicas e biológicas atuais dessas lagoas refletem a influência dos processos naturais e de origem antrópica que ocorreram nas bacias de drenagem e nos espelhos d'água ao longo desse período. Os estados tróficos são relacionados ao aporte de matéria orgânica e dos nutrientes por fontes naturais e humanas, à influência de processos limnológicos autóctones e a eventos climáticos e oceanográficos. A condição de ambiente lântico com alto tempo de residência e característica de retenção de materiais são fatores preponderantes no estabelecimento do estado trófico, visto que em lagoas que tiveram canais perenizados ligando-as ao mar (o que reduz o tempo de retenção) pode-se observar uma diminuição do estado trófico.

A variação temporal dos parâmetros analisados, nas lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro, proporcionou o levantamento de faixas de concentração de clorofila  $a$ : 1,50 – 461  $\mu\text{g/L}$ , fósforo dissolvido: 10 – 1.112  $\mu\text{g/L}$ , fósforo total: 21,7 – 2.162  $\mu\text{g/L}$ . As lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá apresentaram as maiores concentrações médias de clorofila  $a$  e fósforo dissolvido, enquanto que a Lagoa de Maricá apresentou os maiores valores de fósforo total. A Lagoa de Imboassica apresentou os menores valores médios de clorofila  $a$  e fósforo total, enquanto que a Lagoa Feia teve os menores valores médios de fósforo dissolvido.

A aplicação desses dados aos índices de estado trófico indicou que algumas das lagoas analisadas agravaram seu estado trófico nos últimos 30 anos. Contudo, os dados do fim da década de 70 e início da década de 80, quando a urbanização das bacias hidrográficas era menor que os atuais, revelam que, àquele tempo, já havia elevados índices de estado trófico. Isso inclui as lagoas da Região dos Lagos e Norte Fluminense, que tinha, a essa época, bacias hidrográficas prístinas (ex. Lagoa Imboassica) ou com ocupações agrícolas de uso não intensivo do solo (Lagoa Feia). Contudo, podemos destacar que o histórico de colonização destas planícies costeiras remonta ao período das capitânicas hereditárias, que apesar do histórico de baixa densidade demográfica, conviveu com usos de solo como extração de madeira, culturas temporárias como cana de açúcar e café e criação extensiva de gado que podem ter iniciado um fluxo adicional de matéria orgânica e de nutrientes com potencial de eutrofização.

Algumas características da forma de ocupação urbana atual do entorno das lagoas podem ser observadas pelos mapas. Uma característica é a ocupação urbana da área da barra arenosa, ocorrendo de forma mais pronunciada (em cor cinza nas Figuras de 3 a 11) nas lagoas Rodrigo de Freitas, parte da barra da Lagoa de Marapendi, Piratininga, Saquarema; havendo menos ocupação nas lagoas de Araruama, Maricá, Imboassica; e, por fim, com pouca ou nenhuma urbanização nas lagoas de Maricá, Itaipu, PNRJ e Feia. Muitas das lagoas do PNRJ têm seu entorno com vegetação de restinga, porém até mesmo em uma área de proteção federal há uma irrisória ocupação na barra da lagoa representada por uma dezena de casas de veraneio que permanecem por estarem em bolsões de exclusão (ICMBio, 2007).

Outra característica de ocupação é a dispersão urbana marginalmente aos rios e em direção as partes mais altas das bacias podendo chegar, em alguns casos, até as nascentes. Como exemplo de intensa urbanização da margem de cursos d'água podem apontar as Lagoas de Itaipu e Piratininga, onde quase todo o uso do solo dessa bacia hidrográfica é urbano, enquanto em outro extremo, temos as bacias das Lagoas Imboassica e Feia onde há reduzida ocupação urbana das margens de seus cursos d'água tributários. É interessante notar que mesmo lagoas como Carapebus e Jurubatiba têm parte da margem de sua rede fluvial ocupada por urbanização, pois parte de suas bacias hidrográficas estão fora da área protegida do parque. Este cenário exemplifica que delimitações das Unidades de Conservação e Zonas de Amortecimento, principalmente das que visam proteger ambientes aquáticos, deveriam ser balizadas pelos limites de bacias hidrográficas.

Com a ocupação humana das bacias hidrográficas, as lagoas costeiras tiveram, em muitos casos, a intensificação do aporte de matéria orgânica e de nutrientes induzindo a um cenário de aumento dos estados tróficos. Baseado em publicações sobre o tema (COTOVICZ *et al.*, 2013; ESTEVES *et al.*, 2008; SMITH, 2003; SMITH *et al.*, 1999), pode-se hipotetizar que a eutrofização de lagoas do Estado do Rio de Janeiro deveria seguir um gradiente no qual as lagoas localizadas, em áreas de intensa urbanização (Rodrigo de Freitas, Jacarepaguá, Piratininga e Itaipu), deveriam ser mais eutróficas que as lagoas localizadas, em áreas de urbanização recente e de menor intensidade e de vocação turística (lagoas da Região dos Lagos, Lagoa Imboassica) e agrícola (Lagoa Feia), enquanto que as lagoas localizadas no PNRJ apresentariam os menores estados tróficos. Porém, é interessante notar que elevados estados tróficos estão associados a lagoas cercadas de vegetação preservada de restinga, como no PARNA Jurubatiba, da mesma forma que ocorre com aquelas que são margeadas por bairros densamente povoados, como a Lagoa Rodrigo de Freitas e da Barra da Tijuca, no município do Rio de Janeiro, indicando que outros fatores, além da urbanização, determinam o estado trófico dessas lagoas.

Na condição de ambiente lântico, as lagoas costeiras possuem elevados tempos de residência das águas, que podem ser de 2 dias a 180 dias (KNOPPERS *et al.*, 1999a), fazendo com que sejam acumulados os materiais transportados pelas bacias hidrográficas contribuintes, inclusive a matéria orgânica. Esta acumulação de matéria orgânica se inicia quando há o fechamento da conexão da lagoa com o mar, o que ocorreu nas lagoas costeiras fluminenses há cerca de 5 mil anos. Sob a perspectiva ecológica, esse é um extenso período de acumulação que ajuda a explicar os estados tróficos elevados. Essa acumulação de matéria orgânica só era interrompida naturalmente quando havia a abertura natural de suas barras arenosas.

Nos tempos atuais, para as lagoas que não foram ainda permanentemente conectadas ao mar, a abertura de barra continua a ocorrer naturalmente. Todavia, é notório o aumento da frequência de aberturas feitas através de intervenções humanas. Um dos motivos para estas aberturas é o alagamento, em períodos de chuvas, das áreas marginais das lagoas que atualmente são habitadas. Esse cenário é observado, por exemplo, na Lagoa de Imboassica onde a ocupação urbana desordenada das áreas de inundação dessa lagoa faz com que se necessite abrir sua barra arenosa para “desafogar residências”. Se por um lado, resolve-se a questão das casas alagadas; por outro, as águas com elevado estado trófico são lançadas no mar, junto com uma carga de matéria orgânica oriunda de biomassa de fitoplâncton, de macrófitas aquáticas, esgotos domésticos entre outros materiais, que contaminam a costa. Como as praias vizinhas a essa lagoa têm no turismo de verão uma importante fonte de renda, a diminuição da balneabilidade costeira pela abertura de barra da lagoa resulta em consequências negativas para economia local.

Atualmente um canal extravasor reduziu a necessidade de abertura de barra; porém, após 4 anos sem abertura da lagoa para o mar, podemos observar o agravamento do estado trófico provavelmente pelo acúmulo de

matéria orgânica oriunda de águas servidas. Tendo em vista que a partir de 2014 houve um esforço da administração pública macaense de implantação de rede coletora e tratamento de esgoto na região, há expectativa de futura melhora no estado trófico dessa lagoa.

Essa expectativa de um impacto positivo sobre a redução do estado trófico das lagoas como consequência da implantação de rede de saneamento básico, principalmente a coleta e tratamento de esgoto, tem fulcro nos históricos de outras lagoas costeiras fluminenses. Conforme vimos, municípios com significativo avanço nesse aspecto, como Saquarema e os da Bacia da Lagoa de Araruama, tiveram melhoras reais nos índices de estado tróficos dessas lagoas. O saneamento básico é obrigação legal trazida por um conjunto de leis, em especial a Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007) que determina expressamente em seu artigo 45:

Art. 45. Ressalvadas as disposições em contrário das normas do titular, da entidade de regulação e de meio ambiente, **toda edificação permanente urbana será conectada às redes públicas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário disponível** e sujeita ao pagamento das tarifas e de outros preços públicos decorrentes da conexão e do uso desses serviços [grifo nosso].

O estabelecimento de direitos e deveres entre o poder público e o cidadão é fundamental à gestão pública salutar bem como basilar à efetivação de uma política ambiental sustentável.

Considerando a possibilidade de essas lagoas terem sua ligação com o mar fechada em um período de tempo remoto, e tendo sido esta ligação restabelecida somente em eventos esporádicos, podemos levantar uma hipótese de que a acumulação de matéria orgânica e de nutrientes vem induzindo há muito tempo um cenário de eutrofização natural. O trabalho de Lema (2012), na Lagoa de Itaipu, mostra aumentos de fluxos de C e N, nos últimos 200 anos, para dentro dessa lagoa o que pode ser resultado de processos naturais de lixiviação da bacia para dentro da lagoa ou resultado da primeira ocupação europeia nessa região de Niterói que, abrindo espaço no terreno para urbanização futura, retira uma cobertura vegetal nativa que acaba sendo parcialmente perdida para a lagoa, contribuindo com uma carga adicional de matéria orgânica e de nutrientes.

Esse cenário deve ter sido intensificado no início da urbanização, por exemplo, no município do Rio de Janeiro. Obviamente a urbanização crescente influencia na manutenção do estado trófico das lagoas através de cargas de matéria orgânica e de nutrientes. As taxas de crescimento populacional das bacias hidrográficas das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e de Rodrigo de Freitas estão em 3,22% e -0,46% ao ano, respectivamente, enquanto que em Maricá esse valor pode chegar a 5,71% ao ano. Em áreas de elevada densidade demográfica, as taxas de crescimento populacional sinalizam uma estagnação da expansão urbana como, por exemplo, na Lagoa Rodrigo de Freitas na qual há reduzida

oferta de áreas para novas edificações e elevados preços de imóveis. Essa estagnação da expansão urbana resulta na estabilização da emissão de efluentes domésticos sem tratamento. Por outro lado, na Região dos Lagos e Norte Fluminense onde há disponibilidade de áreas para expansão urbana, relativamente a preços menores, pode-se esperar um aumento das atividades socioeconômicas com possível aumento da emissão de efluentes com potencial de eutrofização. O crescimento econômico é impulsionado pelo turismo e pelas atividades de exploração de petróleo, na costa do estado, que aumentam as cidades do entorno dessas lagoas.

Além da interferência humana, é possível apontar para fatores naturais como contribuintes do agravamento do estado trófico de lagoas costeiras. O tempo de residência hidráulico é um fator que pode ter induzido, desde a formação das lagoas, à acumulação de matéria orgânica e de nutrientes. Outro fator é o aumento da concentração de matéria orgânica na coluna d'água pela ressuspensão de sedimentos como resultado da ação de ventos em lagoas de pequena profundidade. Uma alta salinidade pode atuar como fator de exclusão de espécies e diminuição de riqueza e propiciar blooms de algas que são adaptadas a essa condição resultando em crises distróficas. Na literatura acadêmica, também são apontados fatores naturais que podem reduzir o estado trófico como os processos diagenéticos de formação de fosfato de cálcio (apatita) e a complexação desse fosfato à matéria orgânica retirando nutrientes da coluna d'água.

Como conclusão, podemos através de análise de *cluster*, agrupar as lagoas pelos seus estados tróficos, correlacionando estes grupos a fatores como localização geográfica, presença de saneamento básico na bacia hidrográfica e perenização da comunicação dessas lagoas com o mar. A Figura 12 mostra, no primeiro nível, dois grandes grupos de lagoas que são separados pela localização na costa do Estado do Rio de Janeiro:

- Grupo A (Lagoas da Região do Lagos e Norte Fluminense e Rodrigo de Freitas): Urussanga, Saquarema, Araruama, Imboassica, Feia e Rodrigo de Freitas.
- Grupo B (Lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro): Jacarepaguá, Tijuca, Marapendi, Camorim, Piratininga, Itaipu, Guarapina, Marica e Barra;

Esses grupos mostram que os piores estados tróficos foram observados nas lagoas em área mais densamente urbanizada que é a região metropolitana do Rio de Janeiro; já os melhores resultados são do grupo das lagoas mais ao norte do estado cujas bacias hidrográficas sempre tiveram vocação para turismo sazonal, pesca e atividades agropecuária. A exceção é a Lagoa da Rodrigo de Freitas, que, provavelmente, devido à efetiva coleta e tratamento de esgoto existente em sua bacia, mostrou índice similar às lagoas que estão fora da região metropolitana fluminense.

Em um segundo nível, podemos observar quatro grupos:

- Grupo 1 (Lagoas Rodrigo de Freitas, Urussanga, Saquarema): são lagoas que apresentam uma tendência de redução de estado trófico, ao longo

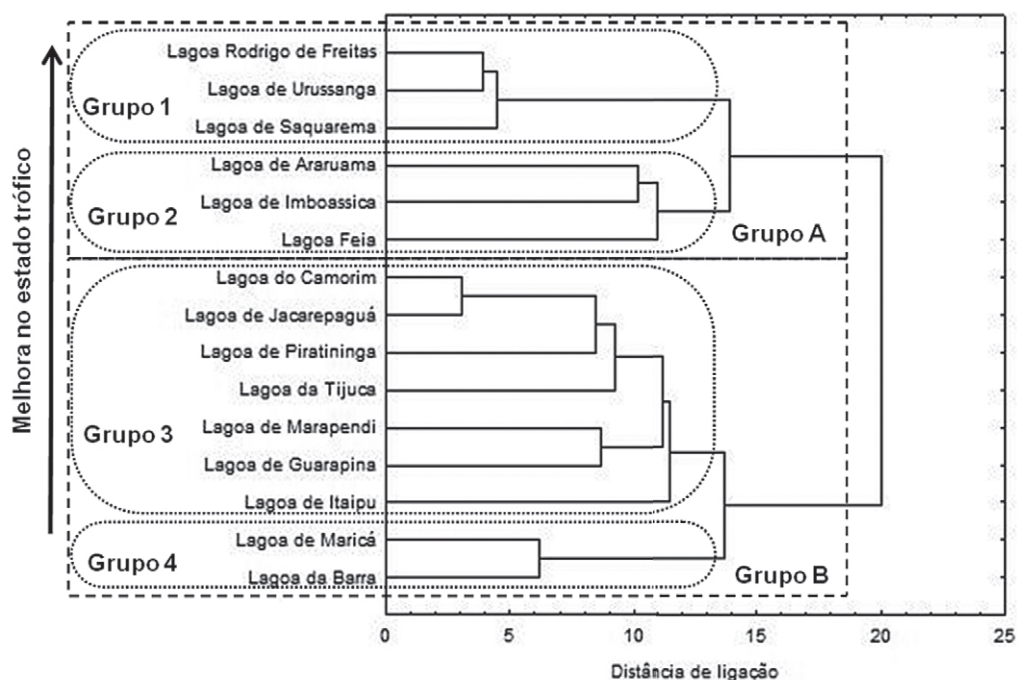
dos anos, provavelmente devido a um aumento da área da bacia hidrográfica coberta com saneamento básico (principalmente a coleta e tratamento de esgoto) ainda que 100% desta cobertura não tenha sido atingida. Esse cenário de melhora também está associado à perenização da ligação destas lagoas com o mar que induz à frequente renovação das águas, embora a descarga das lagoas possa afetar a balneabilidade de praias adjacentes.

- Grupo 2 (Lagoas Araruama, Imboassica e Feia): são lagoas que apresentaram oscilações nos estados tróficos, ao longo dos anos, mas se estabilizando atualmente dentro de um contexto eutrófico. Podemos supor que esse cenário está associado a esforços como as aberturas esporádicas da ligação com o mar, por exemplo, em Imboassica; e a dragagem de canais como no Canal de Itajuru. É provável que esses corpos hídricos ainda recebam uma carga de esgoto doméstico sem tratamento, embora na Lagoa de Araruama, e atualmente em Imboassica, em Macaé, possamos observar o saneamento básico avançando positivamente. A inclusão da Lagoa Feia neste grupo não tem uma explicação óbvia, contudo, podemos inferir que a flutuação do estado trófico dessa lagoa se deva às variações na produção, por exemplo, da cana de açúcar, às aberturas intermitentes das comportas do Canal das Flechas que alteram a dinâmica interna da lagoa e as mudanças do uso da terra.

- Grupo 3 (Lagoas Jacarepaguá, Tijuca, Marapendi, Camorim, Piratininga, Itaipu, Guarapina): apresentaram uma tendência de piora do seu estado trófico, que se estabilizou nos últimos 5 anos. São lagoas urbanas que ainda recebem uma importante carga de esgoto sem tratamento. O estado hipertrófico, frequente ao longo da década de 80 até 2014, permite destacar as lagoas Tijuca, Camorim e Jacarepaguá como as mais eutrofizadas historicamente no estado do Rio de Janeiro.

- Grupo 4 (Lagoa de Maricá e da Barra): apresentaram, desde o início do levantamento até atualmente, uma tendência de piora do estado trófico devido ao esgoto sem tratamento lançada na lagoa e às suas comunicações com mar estarem assoreadas, sendo realizada descarga de suas águas no oceano somente quando há chuvas muito intensas. Assim, essas lagoas podem ser apontadas como as que mais agravaram seu estado trófico nos últimos 30 anos (Figura 12).





**Figura 12 - Agrupamento de cluster do estado trófico de 15 lagoas costeiras fluminenses com nós estabelecido por meio de análise Euclidiana dos valores dos índices de estado trófico de Lamparelli (2004) e Toledo Jr. et al. (1983) calculados entre os anos de 1979 e 2015**

O estado trófico é uma forma de se analisar as condições das lagoas do Estado do Rio de Janeiro através de uma visão científica sobre o tema. A piora do estado trófico resulta pragmaticamente em consequências negativas como a perda de balneabilidade desses ambientes, impedindo a população de utilizar seus serviços ecossistêmicos (ex. recreação, pesca). Se nada for feito para o controle da emissão de matéria orgânica e de nutrientes para estas lagoas costeiras, poderemos ter o comprometimento ecológico e socioeconômico dos usos desses ambientes tão característicos do Estado do Rio de Janeiro.



## **REFERÊNCIAS**

AGENDA 21 COMPERJ. **Saneamento em Saquarema**. Disponível em: <http://agenda21comperj.com.br/content/saneamento-em-saquarema-0>. Acesso em: 31 out. 2015.

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil.

**Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, dez. 2013.

ALVES, A.R. **Modelagem numérica como ferramenta de gestão ambiental: aplicação ao sistema lagunar de Saquarema, RJ**. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

ALVES, A.R. **Modelagem Numérica Aplicada ao Estudo da Origem e Evolução Morfológica dos Esporões da Lagoa de Araruama, RJ**. 2006. 102 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

AMADO, A.M. et al. **Constrasting interections mediate dissolved organic matter decomposition in tropical aquatic ecosystems. Aquatic Microbial Ecology**, Paris, v. 49, p. 25-34, 2007.

APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1325 p.  
AZEVEDO S.M.F.O. et al. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru, Brazil. **Toxicology**, Oxford, v. 181, p. 441-116, dez. 2002.

AZEVEDO, F.B. **Modelagem da capacidade de suporte da Lagoa de Saquarema – RJ após a abertura de uma conexão permanente com o mar**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

BARRETO, G.S. **Mapeamento ambiental da bacia hidrográfica da Lagoa de Imboassica: subsídio para construção de planos de bacia**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

BERALDI, G.Q.F. **Distribuição de metais em compartimentos bióticos e abióticos na Lagoa de Imboassica (Macaé, RJ)**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2015.

BIDEGAIN, P.; BIZERRIL, C. **Lagoa de Araruama: Perfil Ambiental do Maior Ecossistema Lagunar Hipersalino do Mundo**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2002, 160 p.

BIDEGAIN, P.; BIZERRIL, C.; SOFFIATI, A. **Lagoas do Norte Fluminense**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2002, 148 p.

BOZELLI, R.L. et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. **Limnologia: Ecology and Management of Inland Waters**, Cidade do México, v. 39, n. 4, p. 306-313, dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 de janeiro de 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Série Histórica**. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 31 out. 2015.

- CALIMAN, A. *et al.* Temporal coherence among tropical coast lagoons: a search for patterns and mechanisms. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 3, p. 803-814, out. 2010.
- CARLONI, F.B.B.A. *et al.* Mudanças na qualidade da água de uma laguna do leste fluminense, geradas pela abertura permanente de conexão com o mar. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 29-40, 2010.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and oceanography**, Minneapolis, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CARMOUZE, J.P.; KNOPPERS, B.; VASCONCELOS, P. Metabolism of a subtropical Brazilian lagoon. **Biogeochemistry**, Nova York, v. 14, n. 2, p. 129-148, Jan. 1991.
- CARMOUZE, J.P.; SAMPAIO, C.E.; DOMINGUES, P. Évolution des stocks de matière organique et de nutriments dans une lagune tropicale (Brésil) au cours d'une période marquée par une mortalité de poissons. **Revista Hydrobiologia Tropical**, Paris, v. 27, n. 3, p. 217-234, 1994.
- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S. *In*: ROBINSON, A.R.; BRINK, K.H. (eds). **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**, New York: John Wiley & Sons, 1998. v. 11. p. 209-252.
- CERDA, M. *et al.* Nutrient budgets in the Piratiniga-Itaipu lagoon system (southeastern Brazil): effects of sea-exchange management. **Latin American Journal of Aquatic Research**, Valparaiso, v. 41, n. 2, p. 226-238, abr. 2013.
- CILSJ. Consórcio Intermunicipal Lagos São João. **Análise das Águas: Relatórios de Qualidade da Água**. Disponível em: <http://www.lagossaojoao.org.br/n-relatorioqualiaguas.htm>. Acesso em: 2 out. 2015.
- CONEN. **Plano municipal de saneamento básico de Maricá**. Rio de Janeiro: CONEN, 2015. 176 p.
- COSTA, J.A.B. **Competitividade da agroindústria canavieira na região Norte Fluminense**. 2009. 166 f. Tese (Doutorado em produção vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.
- COTOVICZ JR, L.C.C. *et al.* Assessment of the trophic status of four coastal lagoons and one estuarine delta, eastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Berlin, v. 185, n. 4, p. 3297-3311, abr. 2013.

CRUZ, A.C. **Análise de intervenções no sistema lagunar de Maricá-RJ com auxílio de modelagem hidrodinâmica ambiental.** 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CUNHA, T.L.B. **Saturação de CO<sub>2</sub> e seus fatores reguladores em lagoas costeiras tropicais.** 2012. 166 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

DA SILVA, A.L.C. *et al.* Sedimentary architecture and depositional evolution of the Quaternary coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 191-206, abr./jun. 2014.

DANTAS, M.E. *et al.* **Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM, 2000. 24 p.

DI DARIO, F *et al.* An update on the fish composition (Teleostei) of the coastal lagoons of the Restinga de Jurubatiba National Park and the Imboassica Lagoon, northern Rio de Janeiro State. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 257-278, 2013.

ENRICH-PRAST, A.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A. Lagoas costeiras da restinga de Jurubatiba: descrição de suas variáveis limnológicas. *In*: ROCHA, C.F.D.; ESTEVES, F. A.; ESCARANO, F. R. (org.). **Pesquisa de longa duração na restinga de Jurubatiba.** Rima: São Carlos, 2004. p. 245-253.

ERAZO, J.A.G. **Estudo de modelagem sobre a abertura da barra da Lagoa Imboassica – RJ.** 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

ESTEVES, F.A. **Do índio Goitacá à economia do petróleo: uma viagem pela história e ecologia da maior restinga protegida do Brasil.** Campos do Goytacazes: Essentia Editora, 2011a.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos da limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2011b. 826 p.

ESTEVES, F.A *et al.* Neotropical coastal lagoons: an appraisal os their biodiversity, functioning, threats and conservation management. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 4, suppl, p. 967-981, nov. 2008.

ESTEVES, F.A.; ISHII, I.I.; CAMARGO, A.F.M. Pesquisas limnológicas em 14 lagoas do litoral do estado do Rio de Janeiro. *In*: LACERDA, L.D *et al.* (eds). **Restingas: origens, estruturas e processos**. Niterói: CEUFF, 1984. p. 441-452.

FARJALLA, V.F. *et al.* Bacterial density na biomass, and relations with abiotic factors, in 14 coastal lagoons of Rio de Janeiro state. *In*: FARIA, B. M.; FARJALLA, V. F.; ESTEVES, F. A. (eds). **Aquatic microbial ecology in Brazil**. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, 2001. p. 65-76. (Series Oecologia Brasiliensis).

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERNANDES, V.O.; ESTEVES, F. A. The use of indices for evaluating the periphytic community in two kinds of substrate in imboassica lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Jornal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 2, p. 233-243, maio 2003.

FRANCO, D.P.M.; MANZANO, J.Q.; CUEVAS, A.L. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. **ContactoS**, Iztapalapa, v. 78, p. 25-33, 2010.

GOMES, N.F. **Análises de circulação hidrodinâmica e de transporte de sal em um estuário hipersalino: Lagoa de Araruama**, RJ. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D.A. **Nonparametric statistic methods**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2013. 816 p.

HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. **Scandinavian Journal of Statistics**, Michigan, v.6, n. 2, p. 65-70, 1979.

HUSZAR, V.L.M.; ESTEVES, F.A. Considerações sobre o fitoplâncton de rede de 14 lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 11, p. 323-345, 1988.

IBGE. **Séries históricas e estatísticas: nível geográfico: população dos municípios das capitais (população presente e residente)**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=1&vcodigo=CD79&t=populacao-municipios-capitais-populacao-presente-residente>. Acesso em: 21 maio 2015.

ICMBIO. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Restinga de Jurubatiba**. Rio de Janeiro: ICMBio, 2007. 670 p.



KIMMEL, B.L.; GROEGER, A.W. Limnological and ecological changes associated with reservoir aging. *In*: HALL, G.E.; VAN DEN AVYLE, M.J. (eds.). **Reservoir fisheries management: strategies for the 80's**. Bethesda: Reservoir Committee, 1986. p. 103-109.

KJERFVE, B. Coastal Lagoons Processes. *In*: KJERFVE, B. (ed.). **Coastal Lagoons Processes**. Berlin: Elsevier, 1994. p. 1-8. (Oceanography Series).

KJERFVE, B.; DIAS, G.T.M. Barrier and beach ridge systems of Rio de Janeiro coast. *In*: DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. (eds.). **Geology and Geomorphology of Holocene costal barries of Brazil**. 1. ed. Berlin: Springer, 2009. p. 225-252.

KJERFVE, B.; MAGILL, K.E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 88, p. 187-199, 1989.

KJERFVE, B. *et al.* Hydrology and Salt Balance in a Large, Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Oxford, v. 42, n. 6, p. 701-725, 1996.

KNOPPERS, B.; CARMOUZE, J.P.; MOREIRA-TURCQ, P.F. Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the east fluminense coast, state of Rio de Janeiro, Brazil. *In*: KNOPPERS, B.; BIDONE, E.D.; ABRÃO, J.J. (eds.). **Environmental Geochemistry of coastal lagoon systems, Rio de Janeiro, Brasil**. Niterói: UFF, Programa de Geoquímica Ambiental, 1999a. p.123-154.

KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A.G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, Londres, v. 19, n. 3, p. 171-178, dez. 1999b.

KNOPPERS, B.; KJERFVE, B.; CARMOUZE, J.P. Trophic state and water turn-over time in six choked coastal lagoons in Brazil. **Biogeochemistry**, Nova York, v. 14, p. 149-166, 1991.

KNOPPERS, B.; LACERDA, L.D.; PATCHINEELAM, S.R. Nutrients, heavy metals and organic micropollutants in an eutrophic Brazilian lagoon. **Marine pollution bulletin**, Oxford, v. 21, n. 8, p. 381-384, 1990.

KOZLOWSKY-SUZUKI, B.; BOZELLI, R. Resilience of a zooplankton community subjected to marine intrusion in a tropical coastal lagoon. **Hydrobiologia**, Londres, v. 522, n. 1, p. 165-177, Jul. 2004.

LAMEGO, A. R. **O Homem e a restinga**. Rio de Janeiro: IBGE, 1946. 227 p.

- LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LEMA, M.L.C. **Biogeoquímico do C, N, P: hidrodinâmica de particulados e evolução da eutrofização na região costeira de Niterói, RJ**. 2012. 225 f. Tese (Doutorado em Biologia Marinha) - Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.
- LIMA, V.S. **Variação espaço-temporal do espelho d'água da Lagoa Feia, RJ**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- MacCORD, F. *et al.* Regulation of bacterioplankton density and biomass in tropical shallow coastal lagoons. **Acta Limnologia Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 224-234, 2013.
- MACHADO, E.C. **Desoxigenação e regeneração de nutrientes pelo sedimento na Lagoa de Guarapina, R.J.** 1989. 104 f. Dissertação (Mestrado em Biogeoquímica) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1989.
- MACIEL, G.L.R. **Análise de dados hidrodinâmicos e estratificação na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ: Relação com a concentração de Oxigênio Dissolvido**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MAIS uma estação de tratamento de esgoto é inaugurada na região oceânica. **CCRONotícias**, Niterói, 4 mar. 2004. Disponível em: <http://www.ccron.org.br/images/file/CCRONoticias/05%20CCRONoticias-MAR%C3%87O%202004.pdf>. Acesso em: 17 out. 2015.
- MAROTTA H. *et al.* Whole Ecosystem Evidence of Eutrophication Enhancement by Wetland Dredging in a Shallow Tropical Lake. **Estuaries and Coasts**, v.32, p. 654-660, 2009.
- MAROTTA. H. **Dióxido de carbono em lagos tropicais: De controles locais a padrões globais**. 2009. 96 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. Geological history of costal lagoons. *In*: KJERFVE, B. (ed.). **Coastal Lagoons Processes**. Berlin: Elsevier, 1994. p. 41-68. (Oceanography Series).

MELLO, T.B.M. **Caracterização Biogeoquímica da Lagoa de Araruama, RJ**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

MELO, S.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A. Temporal and spatial fuctuations of phytoplankton in a tropical coastal lagoon, southeast Brazil. **Brazilian Jornal of Biology**, São Carlos, v. 67, n.3, p. 475-483, ago. 2007.

MELO, S.; SUZUKI, M.S. Variações temporais e espaciais do fitoplâncton das lagoas Imboassica, Cabiúnas e Comprida. *In*: ESTEVES, F.A. (ed.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ, 1998. p. 177-203.

MERCANTE, C.T.; TUCCI-MOURA, A. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes subtropicais, São Paulo, SP. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.12, p.1-14, 1999.

MOLISANI, M.M. *et al.* Emissões e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do Rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n.1, p.27-33, 2013.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to linear regression analysis**, 50. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 660 p.

MOREIRA-TURCQ, P.F. Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil). **Hidrobiologia**, Londres, v. 429, n. 1, p.133-140, jun. 2000.

OECD. **Eutrophication of water: Monitoring, assessment and control**. Paris: OECD, 1982. 154p.

PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E.F.; ESTEVES, F.A. Charophytes as um nutrient and energy reservoir in a tropical coastal lagoon impacted by humans (RJ, Brazil). **Brazilian Jornal of Biology**, São Carlos, v. 64, n. 3a, p. 479-487, ago. 2004.

PANOSSO, R.; ESTEVES, F. A. Effects of disturbance on phosphorus turnover and plankton dynamics. **Journal of Plankton Research**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 589–595, 2000.

- PANOSSO, R.F.; ATTAYDE, J.L.; MUEHE, D. Morfometria das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: Implicações para o seu funcionamento e manejo. *In*: ESTEVES, F.A. (ed.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. NUPEM/UFRJ: Rio de Janeiro, 1998. p. 91-108.
- PAZ, J. **Hidrófitas vasculares nas lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brasil**. 2007. 243 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- PESSANHA, C.M.D. **Modelagem computacional aplica a gestão sanitário-ambiental da lagoa de Imboassica – RJ**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.
- PETRUCIO, M.M.; FURADO, A.L.S. Concentração de nitrogênio e fósforo na coluna d'água da Lagoa Imboassica. *In*: ESTEVES, F.A. (ed.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ, 1998. p. 123-133.
- RABALAIS, N. N. *et al.* Dynamics and distribution of natural and human-caused coastal hypoxia. **Biogeosciences**, Munique, v. 7, p. 585-619, 2010.
- RAST, W.; HOLLAND, M. Eutrophication in lakes and reservoirs: a framework for making management decisions. **Ambio**, Londres, v. 17, n. 1, p. 1-12, 1988.
- REYNOLDS, CS. *et al.* Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of plankton research**, Oxford, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.
- RIGUETTI, A.L. **Avaliação espaço-temporal do grau de trofia em lagoas costeiras da cidade do Rio de Janeiro: Aplicação de índices de estado trófico**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Química Ambiental) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- RIO DE JANEIRO (Estado). **Decreto Estadual nº 11556, de 18 de julho de 1988**, PAO n. 10. Aprova o Projeto de Alinhamento de Orla (PAO) da Lagoa de Imboassica, nos municípios de Macaé e Casimiro de Abreu e dá outras providências. Rio de Janeiro, 1988.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Conselho Estadual de Recurso Hídricos (CERHI). Resolução nº 107, de 2013. Aprova nova definição das regiões hidrográficas

do Estado do Rio de Janeiro e revoga a Resolução CERHI n. 18, de 08 de nov. de 2006. In: **Base legal para gestão das águas do estado do Rio de Janeiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, maio 2013. p. 409-415

RIO DE JANEIRO (Estado). Decreto n. 42694, de 11 de novembro de 2010. Aprova o projeto de alinhamento de orla (PAO) e a faixa marginal de proteção (FMP) da Lagoa de Araruama, na região dos Lagos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, RJ, 12 nov. 2010. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/23114797/pg-1-poder-executivo-diario-oficial-do-estado-do-rio-de-janeiro-doerj-de-12-11-2010>. Acesso em: 11 abr. 2015.

RIO DE JANEIRO (Município). Prefeitura Municipal. **Boletins da Gestão Ambiental do Sistema da Lagoa Rodrigo de Freitas**. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/gestao-da-lagoa-rodrigo-de-freitas>. Acesso em: 28 fev. 2016a.

RIO DE JANEIRO (Município). Prefeitura Municipal. **Censos 1991 – 2000**. IBGE: módulo de recuperação de informações. Disponível em: <http://portalgeo.rio.rj.gov.br/morei9100/default.htm>. Acesso em: 28 fev. 2016b.

SAAD, A.M.; BEAUMORD, AC.; CARAMASCHI, E.P. Effects of artificial canal openings on fish community structure of Imboassica coastal lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Miami, v. 36, p. 634-639, 2002.

SALAS, H.; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Lima: Programa Regional CEPIS/HPE/IOPS, 2001. 63 p.

SAMPAIO, G.F. **Cianobactérias como parâmetro de qualidade ambiental: um estudo do Complexo Lagunar de Jacarepaguá**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTORO, A.L.; RICCI, R. M. P; PRAST, A. E. Lagoa Rodrigo de Freitas: Passado e Presente. **Oecologia Australis**, v.16, n.3, p. 334-338, 2012.

SANTOS, M.R. **Evolução temporal da eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá**. 2014. 126 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SCHEFFER, M. **Ecology of Shallow Lakes**. BV: Springer-Science+Bussines Media, 2004. 346p.

- SCHIAVETTI, A. *et al.* Marine Protected Areas in Brazil: An ecological approach regarding the large marine ecosystems. **Ocean & Coastal Management**, Oxford, v. 76, p. 96 – 104, 2013.
- SEMADS. **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses: Síntese Informativa** por Macrorregião Ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001, 73 p.
- SETUBAL, R.B. *et al.* Effects of sandbar openings on the zooplankton community of coastal lagoons with different conservation status. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 246-256, 2013.
- SILVA, L.S.L. **Análise multitemporal do crescimento urbano com suporte de imagens históricas e SIG: estudo de caso de Macaé-RJ**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- SMITH, V.H. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. **Environmental Science and Pollution Research**, Londres, v. 10, n. 2, p. 126-139, May 2003.
- SMITH, V.H.; TILMAN, G.D.; NEKOLA, J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 100, p. 179-196, mar. 1999.
- SOUZA, M.F.L. **Distribuição espacial sazonal e fontes fluviais de nutrientes para lagoa de Araruama - RJ**. 1993. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.
- SOUZA, M.F.L. *et al.* Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Oxford, v. 57, p. 843–858, 2003.
- SOUZA, W.F.L. **Dinâmica de Nutrientes na Lagoa Hipersalina de Araruama**. 1997. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1997.
- SUZUKI, M.S.; OVALLE, A.R.C.; PEREIRA, E.A. Effects of sand bar openings on some limnological variables in a hypertrophic tropical coastal lagoon of Brazil. **Hidrobiologia**, Londres, v. 368, p. 111-122, 1998.
- TEIXEIRA, M.G.L.C. *et al.* Gastroenteritis epidemic in the area of Itaparica Dam, Bahia, Brazil. **Bulletin of the Pan American Health Organization**, Washington, v. 27, n. 3, p. 244-253, 1993.

TOLEDO Jr., A.P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12.; 1983, Comboriú. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1983. p. 1-34.

TURCQ, B. *et al.* Origin and evolution of the quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, state of Rio de Janeiro, Brazil. *In*: KNOPPERS, B.; BIDONE, E.D.; ABRÃO, J.J. (eds.). **Environmental Geochemistry of coastal lagoon systems, Rio de Janeiro, Brasil**. Niterói: UFF, Programa de Geoquímica Ambiental, 1999. p. 25-46.



# APÊNDICE

**Tabela 21 - Análise de variância para Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa Rodrigo de Freitas**

	Clorofila a	P dissolvido	P total
Estatística de teste (F)	5,77	24,72	41,15
Valor-p	0,000	0,000	0,000

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$  entre os parâmetros.

**Tabela 22 - Valor de *p* das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila *a*, *P* dissolvido, *P* total na Lagoa Rodrigo de Freitas**

<b>Clorofila <i>a</i></b>	Jan a Dez 1982	Jan a Out 1983	Abr a Dez 1984	Jan a Dez 1985	Fev a Out 1998	Jan a Nov 1999	Fev a Dez 2000	Jan a Out 2008	Mar 2013
Jan a Out 1983	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Dez 1984	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1985	<b>0,015</b>	<b>0,011</b>	0,627	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 1998	0,393	1,000	1,000	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-
Jan a Nov 1999	0,850	1,000	1,000	<b>0,005</b>	1,000	-	-	-	-
Fev a Dez 2000	1,000	1,000	1,000	0,639	0,850	0,851	-	-	-
Jan a Out 2008	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,022</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	-	-
Mar 2013	<b>0,001</b>	<b>0,004</b>	0,380	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	0,319	<b>0,001</b>	-
Jan a Ago 2014	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,056	0,334	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,022</b>	1,000	0,627
<b>P dissolvido</b>	Jan a Dez 1982	Jan a Out 1983	Abr a Dez 1984	Jan a Dez 1985	Fev a Dez 2000	Jan a Out 2008			
Jan a Out 1983	0,343	-	-	-	-	-			
Abr a Dez 1984	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	-	-	-	-			
Jan a Dez 1985	0,000	0,000	1,000	-	-	-			
Fev a Dez 2000	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	1,000	0,284	-	-			
Jan a Out 2008	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,395	1,000	<b>0,000</b>	-			
Mar 2013	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	1,000	0,343	1,000	<b>0,012</b>			
<b>P total</b>	Jan a Dez 1982	Jan a Out 1983	Abr a Dez 1984	Jan a Dez 1985	Fev a Out 1998	Jan a Nov 1999	Fev a Dez 2000		
Jan a Out 1983	0,236	-	-	-	-	-	-		
Abr a Dez 1984	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-		
Jan a Dez 1985	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,054	-	-	-	-		
Fev a Out 1998	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	0,554	-	-	-		
Jan a Nov 1999	0,091	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-		
Fev a Dez 2000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	0,236	<b>0,007</b>	<b>0,000</b>	-		
Jan a Out 2008	0,000	0,000	0,003	1,000	1,000	<b>0,000</b>	-		

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**Tabela 23 - Análise de variância para as variáveis Clorofila *a*, *P* dissolvido, *P* total na Lagoa do Camorim**

	<b>Clorofila <i>a</i></b>	<b>P dissolvido</b>	<b>P total</b>
Estatística de teste (F)	2,02	7,59	5,68
Valor - p	<b>0,038</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

**Tabela 24 - Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa do Camorim (continua)**

Clorofila a	Abr a Dez 1981	Jan a Nov 1982	Mar a Nov 1983	Maio a Dez 1984	Abr a Out 1986	Maio a Out 1986	Fev a Dez 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Fev a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Jan a Nov 1982	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Out 1986	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Out 2004	1,000	0,869	1,000	0,953	0,893	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2006	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2007	1,000	0,219	0,561	<b>0,003</b>	<b>0,011</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,228	-	-	-
Jan 2009 a Dez 2010	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,869	1,000	1,000	1,000	0,219	1,000	1,000	-
Jan 2013 a Dez 2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,561	1,000	1,000	1,000
<b>P dissolvido</b>	<b>Abr a Dez 1981</b>	<b>Jan a Nov 1982</b>	<b>Mar a Nov 1983</b>	<b>Maio a Dez 1984</b>	<b>Abr a Out 1986</b>	<b>Maio a Out 1986</b>	<b>Fev a Dez 2004</b>	<b>Fev a Dez 2005</b>	<b>Mar a Dez 2006</b>	<b>Fev a Dez 2007</b>	<b>Fev a Out 2008</b>	<b>Jan 2009 a Dez 2010</b>	<b>Jan 2011 a Dez 2012</b>
Jan a Nov 1982	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Dez 1984	1,000	1,000	0,814	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Out 1986	1,000	1,000	1,000	<b>0,004</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Out 2004	1,000	1,000	0,166	0,722	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	1,000	1,000	0,560	1,000	0,269	1,000	-	-	-	-	-	-	-

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

Tabela 24 - Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa do Camorim (conclusão)

P dissolvido	Abr a Dez 1981	Jan a Nov 1982	Mar a Nov 1983	Maio a Dez 1984	Abr a Out 1986	Maio a Out 1986	Fev a Dez 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Fev a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Mar a Dez 2006	1,000	1,000	0,425	1,000	0,115	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2007	0,425	0,437	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	1,000	1,000	1,000	0,437	-	-	-	-
Fev a Out 2008	1,000	1,000	0,052	0,527	<b>0,016</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	0,128	-	-	-
Jan 2009 a Dez 2010	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,425	1,000	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,437	1,000	1,000	-
Jan 2013 a Dez 2014	1,000	1,000	1,000	0,814	1,000	1,000	0,166	0,560	0,425	<b>0,000</b>	0,052	1,000	1,000
<b>P Total</b>	<b>Abr a Dez 1981</b>	<b>Jan a Nov 1982</b>	<b>Mar a Nov 1983</b>	<b>Maio a Dez 1984</b>	<b>Abr a Out 1986</b>	<b>Maio a Out 1986</b>	<b>Fev a Dez 2004</b>	<b>Fev a Dez 2005</b>	<b>Mar a Dez 2006</b>	<b>Fev a Dez 2007</b>	<b>Fev a Out 2008</b>	<b>Jan 2009 a Dez 2010</b>	<b>Jan 2011 a Dez 2012</b>
Jan a Nov 1982	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Out 1986	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Out 2004	1,000	0,238	0,647	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2006	1,000	0,062	0,261	0,608	0,978	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2007	0,689	<b>0,048</b>	0,125	0,574	0,428	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	1,000	0,261	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-
Jan 2009 a Dez 2010	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,689	1,000	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,238	1,000	0,062	<b>0,048</b>	0,261	1,000	-
Jan 2013 a Dez 2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,647	1,000	0,261	0,125	0,978	1,000	1,000

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

Tabela 25 - Análise de variância para as variáveis Clorofla a, P dissolvido, P total na Lagoa da Tijuca

	Clorofla a	P dissolvido	P total
Estatística de teste (F)	17,84	8,64	3,64
Valor-p	0,000	0,000	0,000

Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

Tabela 26: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofla a, P dissolvido, P total na Lagoa da Tijuca. Em negrito estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

Clorofila <i>a</i>	Maio a Out 1986	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012	
Fev a Out 2004	0,183	-	-	-	-	-	-	-	
Fev a Dez 2005	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	
Mar a Dez 2006	1,000	0,358	1,000	-	-	-	-	-	
Jan a Dez 2007	<b>0,000</b>	1,000	0,981	<b>0,001</b>	-	-	-	-	
Fev a Out 2008	<b>0,000</b>	1,000	1,000	<b>0,006</b>	1,000	-	-	-	
Jan 2009 a Dez 2010	1,000	0,358	1,000	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	-	-	
Jan 2011 a Dez 2012	1,000	0,407	1,000	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	1,000	-	
Jan 2013 a Dez 2014	1,000	0,358	1,000	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	1,000	1,000	
<b>P dissolvido</b>	Maio a Out 1986	Jun a Nov 2003	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Jun a Nov 2003	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	0,085	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	0,250	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-



Tabela 27: Análise de variância para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa de Jacarepaguá. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

	Clorofila a	P dissolvido	P total
Estatística de teste (F)	8,72	14,98	8,96
Valor-p	0,000	0,000	0,000

Tabela 28: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa de Jacarepaguá. Em negrito estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

Clorofila a	Mar a Out 1980	Fev a Dez 1981	Jan a Nov 1982	Mar a Dez 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Out 1986	Maio a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Mar a Dez 2001	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Nov 2006	Fev a Dez 2007	Jan a Out 2008	Jan a Dez 2010	Jan a Dez 2012
Fev a Dez 1981	0,973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Nov 1982	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1983	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1984	<b>0,003</b>	0,973	0,067	<b>0,006</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Out 1986	0,458	1,000	1,000	1,000	<b>0,010</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maio a Dez 1990	0,456	1,000	1,000	1,000	<b>0,016</b>	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1991	0,299	1,000	1,000	1,000	<b>0,050</b>	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2001	0,000	1,000	1,000	<b>0,000</b>	0,308	<b>0,015</b>	0,100	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	<b>0,006</b>	1,000	1,000	<b>0,028</b>	1,000	0,102	0,150	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	0,088	1,000	1,000	1,000	0,090	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 2006	0,056	1,000	1,000	1,000	<b>0,025</b>	1,000	1,000	1,000	0,159	0,337	1,000	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2007	<b>0,000</b>	1,000	1,000	1,000	<b>0,022</b>	1,000	1,000	1,000	<b>0,002</b>	0,165	1,000	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	0,159	1,000	1,000	1,000	<b>0,025</b>	1,000	1,000	1,000	0,217	0,307	1,000	1,000	1,000	-	-	-



**Tabela 28: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa de Jacarepaguá. Em negrito estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

Clorofila a	Mar a Out 1980	Fev a Dez 1981	Jan a Nov 1982	Mar a Dez 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Out 1986	Mai a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Mar a Dez 2001	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Nov 2006	Fev a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Jan 2009 a Dez 2010	0,000	1,000	1,000	1,000	0,021	1,000	1,000	1,000	0,002	0,133	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	0,000	1,000	1,000	0,889	0,025	1,000	1,000	1,000	0,010	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-
Jan 2013 a Dez 2014	0,000	1,000	1,000	0,725	0,026	1,000	1,000	1,000	0,004	0,201	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
P dissolvido	Mar a Out 1980	Fev a Dez 1981	Jan a Nov 1982	Mar a Dez 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Out 1986	Mai a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Mar a Dez 2001	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Nov 2006	Fev a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2009 a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Fev a Dez 1981	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Nov 1982	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1983	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	0,268	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Out 1986	1,000	1,000	1,000	1,000	0,250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mai a Dez 1990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1991	0,692	1,000	1,000	0,137	1,000	0,125	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2001	0,000	0,000	0,222	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	0,004	0,060	1,000	0,001	0,118	0,000	1,000	0,246	0,001	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	0,000	0,003	1,000	0,000	0,006	0,000	0,112	0,011	0,056	1,000	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 2006	0,046	0,089	1,000	0,043	0,193	0,031	0,298	0,246	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2007	0,031	0,049	0,499	0,030	0,112	0,023	0,144	0,137	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	0,144	0,218	1,000	0,140	0,450	0,111	0,606	0,558	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-
Jan 2009 a Dez 2010	0,000	0,003	1,000	0,000	0,004	0,000	0,218	0,009	0,006	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-



*Tabela 29: Análise de variância para as variáveis Clorofla a, P dissolvido, P total na Lagoa de Marapendi. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .*

	Clo a		PD		PT
Estatística de teste (F)	12,61		30,67		15,57
Valor-p	0,000		0,000		0,000

*Tabela 30: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofla a, P dissolvido, P total na Lagoa de Marapendi. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .*

Clorofila a	Mar a Nov 1980	Mar a Dez 1981	Jan a Out 1982	Mar a Nov 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Nov 1986	Mar a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan a Dez 2010	Jan 2011 a Dez 2012
Mar a Dez 1981	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Out 1982	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	<b>0,046</b>	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Nov 1986	1,000	0,132	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1990	0,894	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,590	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1991	0,590	0,177	0,293	0,814	1,000	0,638	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	0,175	<b>0,016</b>	<b>0,032</b>	0,154	0,357	0,110	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	0,159	<b>0,019</b>	<b>0,034</b>	0,150	0,333	0,109	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2006	1,000	0,708	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Jan a Dez 2007	1,000	<b>0,002</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,000</b>	0,354	<b>0,045</b>	<b>0,047</b>	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	1,000	<b>0,000</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,000</b>	0,533	0,078	0,080	1,000	0,564	-	-	-

**Tabela 30: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa de Marapendi. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

Clorofila a	Mar a Nov 1980	Mar a Dez 1981	Jan a Out 1982	Mar a Nov 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Nov 1986	Mar a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan a Dez 2010	Jan a Dez 2011
Jan 2009 a Dez 2010	1,000	<b>0,000</b>	0,142	1,000	1,000	1,000	<b>0,000</b>	1,000	0,333	0,320	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	1,000	<b>0,000</b>	0,159	1,000	1,000	1,000	<b>0,001</b>	1,000	0,334	0,321	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	-
Jan 2013 a Dez 2014	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,041</b>	0,590	1,000	0,285	<b>0,003</b>	1,000	0,590	0,542	1,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	1,000
P dissolvido	Mar a Nov 1980	Mar a Dez 1981	Jan a Out 1982	Mar a Nov 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Nov 1986	Mar a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan a Dez 2010	Jan a Dez 2011
Mar a Dez 1981	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Out 1982	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Nov 1986	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1991	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	1,000	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2006	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	1,000	1,000	-	-	-	-	-
Jan a Dez 2007	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,254	1,000	1,000	-	-	-	-
Fev a Out 2008	0,000	0,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,239	1,000	1,000	1,000	-	-	-
Jan 2011 a Dez 2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	0,549	0,149	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	-	-

**Tabela 30: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa de Marapendi. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

<b>P dissolvido</b>	Mar a Nov 1980	Mar a Dez 1981	Jan a Out 1982	Mar a Nov 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Nov 1986	Mar a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2011 a Dez 2012
Jan 2013 a Dez 2014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,296	0,184	0,041	0,000	0,000	1,000
<b>P total</b>	Mar a Nov 1980	Mar a Dez 1981	Jan a Out 1982	Mar a Nov 1983	Mar a Dez 1984	Abr a Nov 1986	Mar a Dez 1990	Jan a Dez 1991	Fev a Out 2004	Fev a Dez 2005	Mar a Dez 2006	Jan a Dez 2007	Fev a Out 2008	Jan 2011 a Dez 2012
Mar a Dez 1981	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Out 1982	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Nov 1983	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1984	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr a Nov 1986	0,026	0,000	0,000	1,000	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar a Dez 1990	0,000	0,000	0,000	1,000	0,302	0,156	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1991	0,000	0,000	0,000	1,000	0,471	0,044	1,000	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Out 2004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-
Fev a Dez 2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	-	-	-	-	-
Mar a Dez 2006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	-	-	-	-
Jan a Dez 2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,302	1,000	-	-	-
Fev a Out 2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-
Jan 2009 a Dez 2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,302	1,000	1,000	1,000	-
Jan 2011 a Dez 2012	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,894	0,051	0,000	0,066	0,001
Jan 2013 a Dez 2014	0,032	0,027	0,027	0,472	0,210	0,330	1,000	1,000	1,000	1,000	0,071	0,036	0,078	1,000

**Tabela 31: Comparação das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa de Piratininga. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clorofila <i>a</i>	P dissolvido	P total
Estatística de teste	10,42	13,85	1,62
Valor-p	<b>0,000<sup>1</sup></b>	<b>0,000<sup>2</sup></b>	0,121 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teste t; <sup>2</sup> Anova

**Tabela 32: Valor de *p* das comparações múltiplas para a variável P dissolvido na Lagoa de Piratininga. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

P dissolvido	Jan 1989 a Dez 1990	Jul 2005 a Nov 2006
Jul 2005 a Nov 2006	<b>0,037</b>	-
Abr 2009 a Mar 2011	<b>0,000</b>	<b>0,037</b>

**Tabela 33: Comparação das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa de Itaipu. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clorofila <i>a</i>	P dissolvido	P total
Estatística de teste	3,15	0,73	4,34
Valor-p	<b>0,003<sup>1</sup></b>	0,486 <sup>2</sup>	<b>0,000<sup>1</sup></b>

<sup>1</sup> Teste t; <sup>2</sup> Anova

**Tabela 34: Comparação das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa de Maricá. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clorofila <i>a</i>	P dissolvido	P total
Estatística de teste (T)	-	15,36	26,21
Valor-p	-	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

**Tabela 35: Comparação das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa da Barra.**

	Clorofila <i>a</i>	P dissolvido	P total
Estatística de teste	0,63	141,08	53,62
Valor-p	<b>0,533<sup>1</sup></b>	<b>0,000<sup>2</sup></b>	<b>0,000<sup>2</sup></b>

<sup>1</sup> Teste t; <sup>2</sup> Anova.

**Tabela 36: Valor de  $p$  das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total na Lagoa da Barra. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

<b>P dissolvido</b>	Out 1990 a Abril 1991	Mai 1991 a Abril 1992
Mai 1991 a Abril 1992	<b>0,108</b>	-
Mar 2014 a Nov 2014	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
<b>P total</b>	Out 1990 a Abril 1991	Mai 1991 a Abril 1992
Mai 1991 a Abril 1992	<b>0,000</b>	-
Mar 2014 a Nov 2014	0,347	<b>0,000</b>

**Tabela 37: Comparação das variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total na Lagoa de Guarapina. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clorofila $a$	<b>P dissolvido</b>	<b>P Total</b>
Estatística de teste	0,06	19,16	1,60
Valor- $p$	0,955 <sup>1</sup>	<b>0,000<sup>2</sup></b>	0,183 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teste  $t$ ; <sup>2</sup> Anova.

**Tabela 38: Valor de  $p$  das comparações múltiplas para a variável  $P$  dissolvido na Lagoa de Guarapina. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

<b>P dissolvido</b>	Jun 1985 a Jun 1986	Nov 1986 a Ago 1987
Nov 1986 a Ago 1987	0,138	-
Mar a Nov 2014	0,156	0,156

**Tabela 39: Análise de variância das variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total na Lagoa de Urussanga. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clorofila $a$	<b>P dissolvido</b>	<b>P total</b>
Estatística de teste (F)	0,50	17,84	0,16
Valor- $p$	0,683	<b>0,000</b>	0,921

**Tabela 40: Valor de  $p$  das comparações múltiplas para a variável  $P$  dissolvido na Lagoa de Urussanga. Em negrito, estão as diferenças significativas.**

<b>P dissolvido</b>	Jun 1988 a Jun 1989	Jul 2003 a Jun 2004
Jul 2003 a Jun 2004	<b>0,012</b>	-
Mai a Dez 2011	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

**Tabela 41: Análise de variância das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa de Saquarema. Em negrito, estão as diferenças significativas.**

	Clo <i>a</i>	PD	PT
Estatística de teste (F)	21,63	26,14	0,96
Valor-p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,415

**Tabela 42: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila *a* e P dissolvido na Lagoa de Saquarema. Em negrito, estão as diferenças significativas.**

Clorofila <i>a</i>	Jun 1988 a Jun 1989	Mai a Dez 2011	Jan a Nov 2013
Mai a Dez 2011	0,201	-	-
Jan a Nov 2013	<b>0,000</b>	<b>0,009</b>	-
Fev a Abril 2014	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>	0,598
P dissolvido	Jun 1988 a Jun 1989	Jul 2003 a Jun 2004	
Jul 2003 a Jun 2004	0,400	-	
Mai a Dez 2011	<b>0,000</b>	0,083	

**Tabela 43: Análise de variância das variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total na Lagoa de Araruama. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	Clo <i>a</i>	PD	PT
Estatística de teste (F)	906,26	16,57	62,29
Valor-p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

**Tabela 44: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila *a*, P dissolvido, P total do na Lagoa de Araruama. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ . (continua)**

Clorofila <i>a</i>	Abr 1991 a Mar 1992	Jan a Dez 1994	Set 2005 a Jan 2006	Jan a Dez 2011	Jan a Dez 2013
Jan a Dez 1994	<b>0,014</b>	-	-	-	-
Set 2005 a Jan 2006	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-	-
Jan a Dez 2011	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-
Jan a Dez 2013	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-
Jan a Abril 2014	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,014</b>	0,641
P dissolvido	Abr 1991 a Mar 1992	Jan a Dez 1994			
Jan a Dez 1994	<b>0,000</b>	-			
Set 2005 a Jan 2006	0,147	<b>0,042</b>			



**Tabela 44: Valor de  $p$  das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total do na Lagoa de Araruama. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ . (conclusão)**

<b>P total</b>	1979	Abr 1991 a Mar 1992	Jan a Dez 1994	Set 2005 a Jan 2006	Jan a Dez 2011	Jan a Dez 2013
Abr 1991 a Mar 1992	<b>0,002</b>	-	-	-	-	-
Jan a Dez 1994	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-	-	-
Set 2005 a Jan 2006	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-	-
Jan a Dez 2011	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,101</b>	<b>0,000</b>	-	-
Jan a Dez 2013	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,035</b>	-
Jan a Abril 2014	<b>0,002</b>	<b>0,101</b>	0,067	<b>0,000</b>	<b>0,018</b>	<b>0,000</b>

**Tabela 45: Análise de variância das variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total na Lagoa de Imboassica. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

	<b>Clo <math>a</math></b>	<b>PD</b>	<b>PT</b>
Estatística de teste (F)	28,99	28,83	115,88
Valor-p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

**Tabela 46: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total do na Lagoa de Imboassica. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .** (continua)

Clorofila a	Out 1980	1983 a 1984	Out 1989	Mar 1992 a Jan 1994	Jan 1995 a Jan 1996	Mar 2000 a Fev 2002	Jun 2002 a Jul 2003	Nov 2002 a Nov 2003	Nov 2004 a Nov 2006
1983 a 1984	0,262	-	-	-	-	-	-	-	-
Out 1989	0,171	0,205	-	-	-	-	-	-	-
Mar 1992 a Jan 1994	0,126	0,171	0,824	-	-	-	-	-	-
Jan 1995 a Jan 1996	0,000	0,000	0,020	0,068	-	-	-	-	-
Mar 2000 a Fev 2002	0,004	0,004	0,006	0,007	0,013	-	-	-	-
Jun 2002 a Jul 2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,205	-	-	-
Nov 2002 a Nov 2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,093	0,126	-	-
Nov 2004 a Nov 2006	0,006	0,008	0,125	0,171	0,824	0,019	0,001	0,154	-
Jan 2014 a Fev 2015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,171	0,007	0,002	0,000
P dissolvido	Out 1980	1983 a 1984	Out 1989	Mar 1992 a Jan 1994	Fev a Ago 1994	Jan 1995 a Jan 1996	Jun 2002 a Jul 2003		
1983 a 1984	1,000	-	-	-	-	-	-		
Out 1989	1,000	0,867	-	-	-	-	-		
Mar 1992 a Jan 1994	1,000	1,000	0,346	-	-	-	-		
Fev a Ago 1994	1,000	1,000	0,041	1,000	-	-	-		
Jan 1995 a Jan 1996	0,598	0,041	0,557	0,020	0,005	-	-		
Nov 1996 a Mai 1998	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-		
Jun 2002 a Jul 2003	0,006	0,005	0,009	0,005	0,005	0,025	-		
Nov 2002 a Nov 2003	0,006	0,005	0,009	0,004	0,004	0,027	1,000		

Tabela 46: Valor de p das comparações múltiplas para as variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total do na Lagoa de Imboassica. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ . (conclusão)

P total	Out 1980	1983 a 1984	Out 1989	Mar a Jan 1992	Fev a Ago 1994	Jan 1995 a Jan 1996	Nov 1996 a Mai 1998	Mar 2000 a Fev 2002	Nov 2002 a Nov 2003	Nov 2004 a Nov 2006
1983 a 1984	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out 1989	0,150	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar 1992 a Jan 1994	<b>0,000</b>	0,170	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-	-	-
Fev a Ago 1994	1,000	1,000	0,780	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-	-
Jan 1995 a Jan 1996	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-
Nov 1996 a Mai 1998	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	-	-	-	-
Mar 2000 a Fev 2002	<b>0,038</b>	<b>0,038</b>	<b>0,050</b>	0,120	<b>0,041</b>	0,352	0,352	-	-	-
Nov 2002 a Nov 2003	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,009</b>	<b>0,001</b>	0,233	0,182	1,000	-	-
Nov 2004 a Nov 2006	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	1,000	1,000	0,386	0,338	-
Jan 2014 a Fev 2015	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Tabela 47: Análise de variância das variáveis Clorofila a, P dissolvido, P total na Lagoa Feia. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .

	Clo a	PD	PT
Estatística de teste (Kruska-Wallis)	31,48	46,21	28,27
Valor-p	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>

**Tabela 48: Valor de  $p$  das comparações múltiplas pelo teste de Nemenyi para as variáveis Clorofila  $a$ ,  $P$  dissolvido,  $P$  total do na Lagoa Feia. Em negrito, estão as diferenças significativas de  $p < 0,05$ .**

<b>Clorofila <math>a</math></b>	Jul a Dez 1978	Abril a Out 1979	Mai a Out 1980	Fev a Jul 1981	Mar a Dez 2012	Jan a Ago 2013	Fev a Dez 2014
Abril a Out 1979	<b>0,016</b>	-	-	-	-	-	-
Mai a Out 1980	1,000	<b>0,009</b>	-	-	-	-	-
Fev a Jul 1981	0,906	1,000	0,735	-	-	-	-
Mar a Dez 2012	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-	-
Jan a Ago 2013	1,000	0,651	1,000	1,000	1,000	-	-
Fev a Dez 2014	0,072	1,000	<b>0,047</b>	1,000	1,000	1,000	-
Abril a Set 2015	1,000	<b>0,013</b>	1,000	0,641	1,000	1,000	0,051
<b><math>P</math> dissolvido</b>	Jul a Dez 1978	Abril a Out 1979	Mai a Out 1980	Fev a Jul 1981	Mar a Dez 2012	Jan a Ago 2013	Fev a Dez 2014
Abril a Out 1979	1,000	-	-	-	-	-	-
Mai a Out 1980	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	-	-	-	-	-
Fev a Jul 1981	1,000	1,000	<b>0,007</b>	-	-	-	-
Mar a Dez 2012	1,000	<b>0,023</b>	0,137	1,000	-	-	-
Jan a Ago 2013	0,756	<b>0,008</b>	1,000	1,000	1,000	-	-
Fev a Dez 2014	1,000	0,611	<b>0,001</b>	1,000	1,000	1,000	-
Abril a Set 2015	1,000	1,000	<b>0,000</b>	1,000	0,605	0,235	1,000
<b><math>P</math> total</b>	Jul a Dez 1978	Abril a Out 1979	Mai a Out 1980	Fev a Jul 1981	Mar a Dez 2012	Jan a Ago 2013	Fev a Dez 2014
Abril a Out 1979	<b>0,008</b>	-	-	-	-	-	-
Mai a Out 1980	1,000	<b>0,005</b>	-	-	-	-	-
Fev a Jul 1981	1,000	1,000	1,000	-	-	-	-
Mar a Dez 2012	1,000	<b>0,000</b>	1,000	1,000	-	-	-
Jan a Ago 2013	1,000	<b>0,005</b>	1,000	1,000	1,000	-	-
Fev a Dez 2014	1,000	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	-
Abril a Set 2015	1,000	0,138	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000







**Papel:** Supremo 250 gm<sup>2</sup>, com laminação fosca (Capa) | Offset 90 gm<sup>2</sup> (Miolo)  
**Tipologia:** Aller (Capa e Miolo)  
**Formato:** 17 x 24 cm (com orelhas de 7 cm)  
**Tiragem:** 500  
**Impressão:** Editora e Papeis Nova Aliança Eireli | Tel.: (21) 3105-5087/ 3105-6262