

10 ANOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS DA LAGOA RODRIGO DE FREITAS

Maurício F. Soares¹, Patrícia Domingos², Fátima de Freitas Lopes Soares¹ & Leonardo Fidalgo Rodrigues Telles¹

¹ Gerência de Qualidade de Água -GEAG/Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Av. Venezuela, 110/4º andar. CEP 20081-312. Rio de Janeiro, RJ.

² LABALGAS/DBV/IBRAG/UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524 Pavilhão Haroldo Lisboa da Cunha - 511a, CEP: 20550-900. Rio de Janeiro, RJ.
E-mail: mauriciosoares@inea.rj.gov.br, patdomingos@uerj.br, fatimafreitas@inea.rj.gov.br, leofidalgo@inea.rj.gov.br

RESUMO

O monitoramento ambiental é uma ferramenta imprescindível para fornecer às autoridades um juízo de valor da qualidade ambiental dos ecossistemas, buscando-se utilizá-lo também para identificar os fatores, processos e agentes que contribuem para sua degradação. Este trabalho apresenta um diagnóstico das condições sanitárias e tróficas das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas, no período de 2000 a 2010, a partir de um monitoramento sistemático incluindo seus canais Jardim de Alah e Piraquê. Os resultados relativos a esse período representam cerca de 10 anos de monitoramento em quatro pontos de amostragem. Foram incluídas também as observações obtidas nos canais adjacentes a partir de janeiro de 2005, os quais se somam os resultados das medições dos perfis verticais (duas vezes por semana) para os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), salinidade, temperatura e transparência (Secchi). O monitoramento incluiu, também, os resultados das coletas semanais de amostras para análise de parâmetros físico-químicos, além das análises bacteriológicas e da comunidade fitoplanctônica. Os parâmetros analisados têm-se mostrado bons indicadores de qualidade de água, permitindo avaliar as condições do ecossistema aquático e propiciando estabelecer o grau de trofia do ecossistema, a intensidade da entrada de água do mar e as relações com a sucessão das populações fitoplanctônicas, assim como a atividade de produção/consumo de oxigênio ao longo da coluna d'água. Essas informações visam proporcionar o maior entendimento da lagoa, a partir da dinâmica de processos fundamentais que podem contribuir para tomadas de decisão e aumentar a possibilidade de prever acidentes com a ictiofauna e outros organismos.

Palavras-chave: qualidade de água; poluição; monitoramento; Lagoa Rodrigo de Freitas.

ABSTRACT

10 YEARS OF ENVIRONMENTAL QUALITY MONITORING IN THE RODRIGO DE FREITAS LAGOON. Environmental monitoring is an indispensable tool to provide the authorities with a value judgment about environmental quality in ecosystems, seeking to use it also to identify the factors and processes that contribute to their degradation agents. This report presents a diagnosis of sanitary conditions and food webs at the Rodrigo de Freitas lagoon waters for the period from 2000 to 2010, from its systematic monitoring and includes observations from the channels Jardim de Alah and Piraquê. The results for that period represent around 10 years of monitoring in four sampling points. There were also two additional points in the adjacent channels since January 2005, which add up to the results of the measurements of vertical profiles (biweekly) for dissolved oxygen parameters (OD), salinity, temperature and Secchi transparency. The results of weekly collections of samples for analysis of physico-chemical parameters in addition to bacteriological and phytoplankton community were also included. The parameters analyzed have been shown to be good indicators of water quality, allowing to the evaluation of the conditions of the aquatic ecosystem and helping in the establishment of the trophic state of the ecosystem, the intensity of the incoming sea water, the phytoplankton succession populations, as well as the activity of production/consumption of oxygen along the water column (refers to the vertical depth – mass – the body of water). This information aims to provide greater understanding of the

lagoon, from the fundamental dynamic processes that can contribute to decision-making and increase the possibility of predicting accidents with the ichthyofauna.

Keywords: water quality; pollution; monitoring; Lagoa Rodrigo de Freitas.

RESUMEN

10 AÑOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LAS AGUAS DE LA LAGUNA RODRIGO DE FREITAS. El monitoreo ambiental es una herramienta imprescindible para proveer a las autoridades con un juicio de valor sobre la calidad ambiental de los ecosistemas, buscando, al mismo tiempo, utilizarlo para identificar los factores, procesos y agentes que contribuyen en su degradación. Este trabajo presenta un diagnóstico de las condiciones sanitarias y tróficas de las aguas de la Laguna Rodrigo de Freitas, durante el periodo de 2000 a 2010, a partir de un monitoreo sistemático que incluyó observaciones de los canales Jardim de Alah y Piraquê. Los resultados para este periodo representan cerca de diez años de monitoreo en cuatro puntos de muestreo. También fueron incluidas las observaciones obtenidas en los canales adyacentes a partir de enero de 2005 a los cuales se suman los resultados de las mediciones de los perfiles verticales (dos veces por semana) para los parámetros oxígeno disuelto (OD), salinidad, temperatura y transparencia (Secchi). El monitoreo también incluyó los resultados de las colectas semanales de muestras para el análisis de los parámetros físico-químicos, además de los análisis bacteriológicos y del fitoplancton. Los parámetros analizados se consideraron como buenos indicadores de la calidad del agua, permitiendo evaluar las condiciones del ecosistema acuático y facilitando el establecimiento del grado de trofia del ecosistema. Estos parámetros reflejaron la intensidad de la entrada del agua marina y su relación con la sucesión de las poblaciones fitoplanctónicas, así como la actividad de producción/consumo de oxígeno a lo largo de la columna de agua. Esta información busca proporcionar un mayor entendimiento de la laguna, a partir de la dinámica de los procesos fundamentales que pueden contribuir a la toma de decisiones y aumentar la posibilidad de prever accidentes con la ictiofauna y otros organismos.

Palabras clave: calidad del agua; polución, monitoreo; Laguna Rodrigo de Freitas.

INTRODUÇÃO

HISTÓRICO

Na região às margens da atual Lagoa Rodrigo de Freitas, instalou-se no século XVI o Engenho Del Rei, que se dedicava ao plantio da cana-de-açúcar. Em 1660 essas terras foram adquiridas por Rodrigo de Freitas Castro e Mello que, ao voltar para Portugal, transferiu-a para seu filho Rodrigo de Freitas que a conservou como seu herdeiro (Rio Prefeitura – Bairros cariocas – Lagoa 2011). A lagoa era conhecida pelos portugueses como Sacopenapã, lagoa dos socós (*Nycticorax nycticorax*), em função do grande número dessas aves presentes na época. No século XIX, D. João VI providenciou a construção de uma fábrica de pólvora em terras que circundavam a lagoa, já então denominada Lagoa Rodrigo de Freitas e, para isso, indenizou a família Rodrigo de Freitas pela posse da terra. No ano de 1890 consta que a área tinha uma população de 4712 residentes

(Rio Prefeitura – Bairros cariocas – Lagoa, 2011). Em 1920, apesar dos aterros, a área da Lagoa ainda chegava às ruas Humaitá e Marquês de São Vicente, já integrando mais uma nova e extensa “área nobre” da cidade, acompanhada de crescimento demográfico.

Em censo realizado em 1966, a Região Administrativa da Lagoa aparecia como a segunda maior concentração demográfica favelada, com 26 favelas e 85.518 pessoas, distribuídas em 21.606 moradias, removidas em grande parte durante os anos de 1968 a 1975.

No início da década de 70 o bairro foi atingido de forma mais agressiva pelas especulações imobiliárias de construtoras que passaram a aterrar, mesmo sem autorização da Prefeitura, a Lagoa Rodrigo de Freitas para a construção de edifícios residenciais. Com isso, a Lagoa, que já vinha sofrendo aterros desde 1808, perdeu quase a metade de sua área original (Figuras 1 e 2). Vários foram os protestos por parte de moradores e arquitetos como Oscar Niemeyer e Lucio Costa para que a Lagoa Rodrigo de Freitas e

sua orla fossem tombadas pelo patrimônio histórico (Rio Prefeitura – Bairros cariocas – Lagoa 2011), o que só ocorreu em 1975.

Na década de 1980, as atenções foram voltadas para a despoluição da Lagoa Rodrigo de Freitas, com vários projetos apresentados e colocados em prática,

alguns com a ajuda da iniciativa privada e do capital internacional. O censo de 2000 revelou uma população de 18.221 habitantes com 6.652 domicílios, enquanto que em 2010 já se verificava 21.198 habitantes e 9361 domicílios, considerando exclusivamente a área em torno da lagoa (GeoRio 2012).



Figura 1. A Lagoa Rodrigo de Freitas em seus primórdios, antes da ocupação urbana. Fonte: [http:// www.almacarioca.com.br/lagoa.htm](http://www.almacarioca.com.br/lagoa.htm)
Figure 1. The Lagoa Rodrigo de Freitas in its early days, before human occupation. Source: <http://www.almacarioca.com.br/lagoa.htm>



Figura 2. Lagoa Rodrigo de Freitas, assoreada e ocupada pela urbanização, nos dias atuais. Fonte: [http:// www.almacarioca.com.br/lagoa.htm](http://www.almacarioca.com.br/lagoa.htm)
Figure 2. Lagoa Rodrigo de Freitas, sedimented and occupied by urbanization in present day. Source: <http://www.almacarioca.com.br/lagoa.htm>.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Localizada entre a vertente sul da Serra da Carioca e o mar, na malha urbana de uma área de alta densidade populacional na Cidade do Rio de Janeiro, a Lagoa Rodrigo de Freitas (Tabela 1) recebeu despejos domésticos por longo período, e ainda os recebe acidentalmente nos dias atuais, encontrando-se, conseqüentemente, em processo de eutrofização (enriquecimento de um ecossistema por um suprimento rico em nutrientes - nitrogênio e fósforo). Melhorias empreendidas, principalmente a partir de setembro de 2001, como a construção galeria de cintura, eliminaram parte desses despejos em tempo seco, ou seja, em períodos sem chuva. Atualmente o grupo de trabalho formado pelo INEA (ex-FEEMA), CEDAE e Rio Águas desenvolve ações visando à revitalização da vertente sul da serra da Carioca – Sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas.

O acúmulo de nutrientes contribui para alterações ecológicas que se tornam visíveis nas frequentes florações de microalgas (Esteves 1988), principalmente dinoflagelados e cianobactérias, que conferem às águas coloração desde o verde até tons de marrom acastanhado. Pode-se destacar, ainda, as alterações ecológicas que resultam em eventos de mortandades de peixes.

Tabela 1. Características Morfométricas da Lagoa Rodrigo de Freitas.
Table 1. Morphometric characteristics of Lagoa Rodrigo de Freitas.

LAGOA RODRIGO DE FREITAS	
<i>Espelho d'água (km²)</i>	2,2
<i>Perímetro (km)</i>	7,5
<i>Profundidade média (m)</i>	2,8
<i>Profundidade máxima (m)</i>	4,0
<i>Volume (m³)</i>	6.200.000

A Lagoa Rodrigo de Freitas se enquadra na categoria de lagoa sufocada, por apresentar uma única via de comunicação com o mar (canal do Jardim de Alah). Devido à baixa troca de suas águas com o mar, faz-se longo o tempo de residência de suas massas d'águas (pode chegar até 365 dias em pontos mais afastados do ponto troca, o canal Jardim de Alah), o que gera um acúmulo de materiais em suspensão e matéria orgânica que aí aportam. Há registros da ocorrência de uma tênue estratificação bem junto ao fundo que impede a mistura das diferentes massas

de água, tornando a camada salgada rapidamente anaeróbica e rica em gases como metano e sulfeto, em consequência da decomposição da matéria orgânica acumulada.

Observa-se, ainda, no interior do espelho d'água da Lagoa a existência de cerca de cinco cavas, com profundidade média de 9m, resultado da retirada de terra para aterros realizados nos anos 60 e 70 (Figura 3).

A bacia de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas abrange diversos bairros da cidade do Rio de Janeiro, como Ipanema, Lagoa, Humaitá, Jardim Botânico e Gávea, e drena as águas da vertente sul da Serra da Carioca, com uma área de aproximadamente 23km². A vertente sul da Serra da Carioca concentra cerca de 70% da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas e é composta basicamente por três calhas principais, rios dos Macacos e Cabeça, que desembocam no canal da Rua Gal. Garzon, e pelo Rio Rainha, que deságua no canal da Av. Visconde de Albuquerque (Tabela 2).

Tabela 2. Rios da Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas.
Table 2. Rivers of the Basin of Lagoa Rodrigo de Freitas

AFLUENTES	ÁREA (km ²)
<i>Rio Cabeça</i>	1,9
<i>Rio dos Macacos</i>	7,9
<i>Rio Rainha</i>	4,3

Para evitar o maior comprometimento na qualidade das águas da Lagoa, grande parte das águas escoadas pelos rios Cabeça e dos Macacos é desviada pelos canais da Av. Lineu de Paula Machado, da rua Gal. Garzon e o do Jockey Club para o canal da Av. Visconde de Albuquerque, com auxílio de um sistema de comporta. Essa comporta, instalada no canal da Gal. Garzon, permite, ainda, o extravasamento dos rios Cabeça e dos Macacos para a Lagoa Rodrigo de Freitas, quando da ocorrência de cheias. Com a mesma intenção, a maioria das águas provenientes das galerias de águas pluviais foi interceptada e desviada para o sistema de esgotamento sanitário através de uma galeria de cintura que abrange cerca da metade da orla da Lagoa (FEEMA 2005).

O Rio Rainha, por sua vez, deságua diretamente no canal da Av. Visconde de Albuquerque, sendo seu destino final, atualmente, controlado por um sistema de comporta e recalque, que permite

direcionar o escoamento dos efluentes desse corpo d'água, em tempo seco, para o sistema de esgotamento sanitário da CEDAE e, daí, para o Emissário Submarino de Ipanema. Caso contrário, a comporta é ativada (manual ou automaticamente), restabelecendo o fluxo anterior até o mar (Figura 4).

SISTEMA LAGOA/BACIA DE DRENAGEM/ PRAIAS

Com base em estudos técnicos já publicados (FEEMA 2005) e através de vistorias realizadas em

vários pontos da Lagoa Rodrigo de Freitas, e em sua bacia hidrográfica, constata-se que os problemas daquela região continuam a indicar dificuldades com relação à drenagem da bacia contribuinte, à qualidade da água da Lagoa, ao sistema formado pela embocadura do canal do Jardim de Alah/ Praias e ao transporte da areia da unidade fisiográfica das praias de Ipanema e Leblon. A avaliação deste sistema de drenagem é aqui entendido como uma unidade, uma vez que seu funcionamento é integrado, tendo ações sobre um, revelado reflexos sobre os outros componentes. Considera-se aqui que, o conjunto

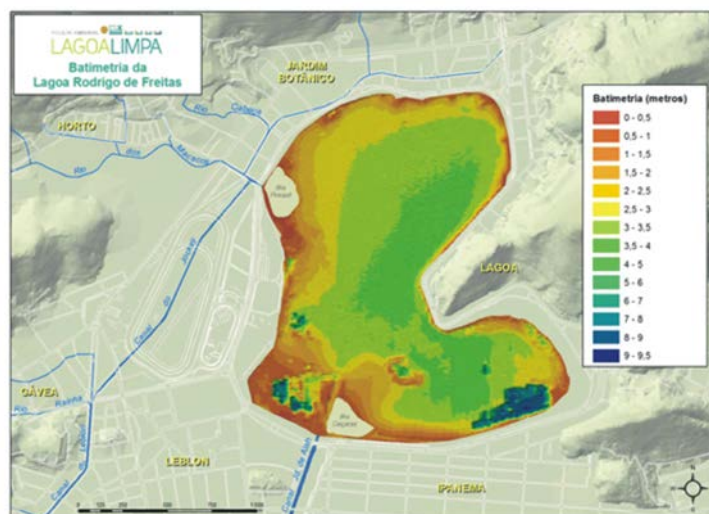


Figura 3. Mapa batimétrico da Lagoa Rodrigo de Freitas. Fonte: Projeto Lagoa Limpa. <<http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>>

Figure 3. Map of the bathymetry of the Lagoa Rodrigo de Freitas. Source: Projeto Lagoa Limpa. <<http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>>



Figura 4 - Mapa com os fluxos de escoamento predominantes nos canais da Lagoa, em função da operação das comportas – Gal. Garzon (1), Jardim de Alah (2) e Visconde de Albuquerque (3 e 4).

Figure 4. Map showing the flow prevailing in the channels of the lagoon as a function of the operation of the gates – Gal. Garzon (1), Jardim de Alah (2) and Visconde de Albuquerque (3 and 4).

dos sistemas lóticos configura-se como a Bacia de Drenagem da lagoa, sendo assim, tratado como uma unidade.

As condições de operação do sistema Lagoa/ Canal/ Praias de Ipanema e Leblon, permitem que se observe ainda a dificuldade em esgotar boa parte das águas das chuvas que ali ocorrem com frequência, até mesmo as consideradas de média intensidade. A situação tem se agravado com a deterioração do sistema de drenagem existente, causando, via de

regra, enchentes e, até mesmo, transbordamento em alguns pontos da Lagoa (Figura 5), que resultam em grandes prejuízos e interrupção da circulação viária (PCRJ 1995).

A área total da bacia é de aproximadamente 25km², incluída a Lagoa, que compulsoriamente funciona como bacia de acumulação nas precipitações mais intensas. A maior parte da bacia tem cobertura florestal (Mata Atlântica) e apenas a quarta parte é urbanizada (Figura 6).



Figura 5. Imagem da enchente ocorrida em 1988 na Rua Jardim Botânico. Fonte: O Globo Jornal 18/02/1988.
Figure 5. Image of the flooding occurred in 1988 on Rua Jardim Botânico. Source: O Globo Newspaper 2/18/1988



Figura 6. Bacia hidrográfica e unidades principais do sistema de galerias de águas pluviais da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Em vermelho as comportas e pontos de deságue das GAPs, em laranja as galerias de cintura, em amarelo as subbacias de águas pluviais. Fonte: Projeto Lagoa Limpa - <<http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>>

Figure 6. Basin and main units of rainwater galleries system of the basin of Lagoa Rodrigo de Freitas. In red the floodgates and drainage system of GAPs, Orange belt, the wastewater galleries in yellow the stormwater galleries. Source: Projeto Lagoa Limpa - <<http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>>

Os bairros do Jardim Botânico e Gávea sofrem frequentes enchentes causadas pelo extravazamento dos canais e precariedade da microdrenagem. Na Gávea, as enchentes ocorrem na Praça Santos Dumont e suas adjacências. No Jardim Botânico, as enchentes se avolumam no Parque do mesmo nome, no Prado do Jockey Club e em ruas próximas ao local conhecido como Ponte de Tábuas (cruzamento das ruas Jardim Botânico e Pacheco Leão). Os locais mais frequentemente atingidos pelas enchentes são a Praça Santos Dumont, o interior do Parque do Jardim Botânico, a circunvizinhança das ruas Pacheco Leão, Gal. Garzon, Jardim Botânico e da Av. Lineu de Paula Machado (Figura 7).

No âmbito da macrodrenagem os problemas se devem à insuficiência da calha do Rio dos Macacos, do Canal da Gal. Garzon, do Canal do Jockey e da Visconde de Albuquerque, agravados pelas travessias existentes sobre esses leitos, ocasionando “perdas de carga” localizadas, em especial a obstrução causada pela comporta da Gal. Garzon e pela a ponte da Av. Borges de Medeiros.

As inundações frequentes, observadas na área, se devem a um conjunto de fatores que podem ser resumidos pelo aumento dos volumes de água escoada

nas chuvas em função da impermeabilização do terreno; insuficiência da condução do fluxo drenante nos canais e galerias existentes e estrangulamento das seções de escoamento em diferentes locais. O estrangulamento está mais diretamente associado à instalação inadequada de dutos e tubulações de concessionárias, em especial junto às pontes, ao número excessivo de pilares em algumas pontes, interferindo na seção de vazão e ao assoreamento de canais, principalmente o da Av. Visconde de Albuquerque, próximo à praça Sibélius, e o canal da Gal. Garzon.

Os investimentos para melhoria do sistema de drenagem na bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, continuam escassos, tendo os serviços nessa área se limitado somente à execução de desassoreamento em alguns trechos dos canais e a pequenas obras pontuais na rede de microdrenagem (PCRJ 1995).

ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A rede de esgotamento sanitário da Lagoa, composta de várias bacias interligadas por um sistema de elevatórias, tem como destino final o Emissário Submarino de Ipanema (Figura 8), assim



Figura 7. Vista aérea das proximidades da Lagoa Rodrigo de Freitas com transbordamento do espelho d'água em abril de 2010. Fonte: O Globo.

Figure 7. Aerial view from the nearby Rodrigo de Freitas Lagoon whose reflecting pool overflowed in April 2010. Source: O Globo.

como o de toda a Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro, cujo esgoto é descartado “in natura” no mar, a cerca de 3600m da costa. O sistema de afastamento no entorno da Lagoa pode ser descrito como composto de dois subsistemas, aqui designados Oeste – compreendendo as elevatórias EE17, EE15, EE16 e EE12, e Leste – com as elevatórias EE14 e EE13 (Consórcio COPPTEC 2001).

O lado Oeste (lado da EE Saturnino de Brito – EE12) é o sistema mais sobrecarregado e sujeito a problemas operacionais e acidentes. No lado Oeste encontram-se não só a maior parte do sistema de esgotamento sanitário, envolvendo praticamente três quartos da área, como também as bacias dos três rios afluentes à lagoa, além do deságue do sistema de rios e canais que desemboca na Rua Gal. Garzon. Ainda neste sub-sistema encontram-se a maior parte das atividades geradoras de efluentes não domésticos, como hospitais, clubes, hipódromo, entre outras (Consórcio COPPTEC 2001).

O quadro do sub-sistema Oeste é, portanto, mais frágil, apresentando maior probabilidade de ocorrência de situações anormais, acidentes e obstruções de rede, o que pode acarretar os impactos ambientais.

O sub-sistema Leste possui bacias hidrográficas e sanitárias bem menores, sem rio ou canal em sua área, à exceção da vizinhança ao canal do Jardim de Alah. Parte de sua rede coletora foi alvo de investigação por circuito fechado de televisionamento (CFTV) ao longo do ano de 2000.

Mais recentemente, com o objetivo de identificar as ligações irregulares de esgoto nas galerias de águas pluviais que deságuam na Lagoa, o Projeto LAGOA LIMPA financiou um trabalho que utilizou um robô com câmera de vídeo acoplada, identificando um total de 52 pontos de ligações irregulares, após a vistoria de 4km de rede de águas pluviais vistoriadas. Os reparos necessários ficaram a cargo da CEDAE.

O sistema de esgotamento sanitário da região é do tipo separador absoluto, portanto, sem nenhum acréscimo de vazão devido a chuvas ou outras causas, ou seja, não deveria haver escoamento de esgotos sanitários para a Lagoa, entretanto, devido a problemas de manutenção e operação do sistema (algumas unidades datam do início do século XX), aliados ao grande crescimento populacional da área, tem ocorrido uma grande sobrecarga na rede, causando extravasamentos ocasionais, cujo destino



Figura 8. Bacia hidrográfica e unidades principais do sistema de esgotamento sanitário da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Os triângulos representam as estações elevatórias (EE), as linhas vermelhas são os sistemas de recalque. Fonte: Projeto Lagoa Limpa - <http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>

Figure 8. Catchment area and the main units of the sewerage system of the basin of Rodrigo de Freitas Lagoon. The triangles represent lifting (EE), the red line are the downstreams systems. Fonte: Projeto Lagoa Limpa - <http://www.lagoalimpa.com.br/default.aspx>

final é a rede de drenagem pluvial, os cursos d'água e, por fim, as águas da Lagoa.

Cabe ressaltar, no entanto, que a construção da galeria de cintura em parte da orla da Lagoa (setembro de 2001), a implantação de novas linhas de recalque e a reforma das oito elevatórias no entorno da Lagoa (mais recentemente), além da diminuição de ocorrência de acidentes no sistema de elevatória/recalque da CEDAE, que contribuem para o aporte de carga orgânica e de outros possíveis contaminantes, têm evitado maiores danos ao corpo d'água. A relação das principais ações desenvolvidas na bacia da Lagoa ultimamente encontra-se inserida neste relatório.

LIMPEZA DO ESPELHO D'ÁGUA

A limpeza de resíduos sólidos do espelho d'água da lagoa é realizada com constância pela Companhia de Limpeza Urbana (COMLURB), que mantém no local uma equipe adequadamente aparelhada. Esta equipe permanece disponível no local para os serviços de remoção do excesso de vegetação aquática, de lixo e, eventualmente, de retirada de alguns peixes mortos, utilizando um barco do tipo catamarã (Figura 9). O excesso de vegetação aquática que tomava o Clube Piraquê também é alvo de retirada rotineira pela mesma equipe, entretanto, ainda assim, permanece o estreitamento da seção do canal, devido ao assoreamento provocado pelo acúmulo de sedimentos depositados em um dos lados do canal.

O objetivo deste trabalho foi o de realizar o diagnóstico das condições tróficas e sanitárias das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas a partir do monitoramento sistemático do período de 2000 a 2010, no sentido de subsidiar ações de intervenção e acompanhar seus efeitos sobre o corpo d'água.

METODOLOGIA

O monitoramento da Lagoa Rodrigo de Freitas foi realizado rotineiramente em 6 pontos de amostragem indicados (Figura 10 e Tabela 3) e intensificado, se necessário, durante os períodos de verão ou sob condições indicadoras de risco para a fauna. Ao longo do período de 2000 a 2010, além das estações tradicionais RF00 (centro da Lagoa), RF02 (norte), RF04 (oeste) e RF05 (leste), foram introduzidas na rede de amostragem mais duas estações, sendo uma no canal da Ilha do Piraquê (GG002) e outra no Canal do Jardim de Alah (JA0200). Eventos de mortandades de savelhas em 2004 e 2007 e alterações na qualidade de água e demonstradas pela comunidade biológica apontaram a necessidade de considerar as regiões de enclaves, como os canais, que não eram representados pelos pontos amostrais de rotina. Além disso, é pelo Canal do Piraquê (extensão do Canal da Gal. Garzon) que deságuam cerca de 50% da drenagem da bacia da Lagoa (15km²), e é pelo Canal do Jardim de Alah que se dá a troca das águas da Lagoa com o mar.



Figura 9. Catamarã utilizado na limpeza de resíduos flutuantes na Lagoa Rodrigo de Freitas.
Figure 9. Catamaran used in waste collections in Rodrigo de Freitas Lagoon.

As amostragens foram realizadas ao longo da coluna d'água com frequência três vezes por semana para avaliação dos parâmetros OD, Salinidade e Temperatura nas 6 estações com medições na superfície (0,1m) e a cada 0,5m, até 0,2m do fundo, utilizando-se sonda multiparamétrica (sonda multiparamétrica Troll 9500), além das avaliações de transparência de secchi e profundidade da coluna d'água.

Amostragens de subsuperfície foram realizadas para as análises posteriores no laboratório do INEA

(GELAB), que incluíram avaliação quantitativa (Uthermöhl 1958) e qualitativa do fitoplâncton, avaliação da concentração de nutrientes (amônia, nitrito, nitrato, fosfato e também Nitrogênio Kjeldhal e Fósforo Total, de acordo com APHA (1998), além de DBO, RNFT e coliformes totais e fecais.

Avaliação em campo incluiu ainda observações quanto aos parâmetros cor da água, presença de óleo/lixo, condições climáticas, ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas e temperatura do ar.



Figura 10. Localização dos pontos de monitoramento na Lagoa Rodrigo de Freitas e de seus canais.

Figure 10. Locations of monitoring at Lagoa Rodrigo de Freitas and its canals.

Tabela 3. Localização das Estações de Amostragem na Lagoa Rodrigo de Freitas no período amostrado de (2000 a 2010).

Table 3. Location of sampling Stations in Lagoa Rodrigo de Freitas in the sampled period (2000 to 2010).

Estação de Amostragem	Coordenadas (UTM-SAD69 Zona 23)	Descrição da Localização das Estações de Coleta
RF00	683410 7458587	Ponto nas proximidades da bóia branca entre a sede náutica do Botafogo e a Ilha Piraquê, no centro da Lagoa.
RF02	683933 7459275	Ponto nas proximidades do cais de remo em frente à Igreja Santa Margarida Maria.
RF04	683073 7458087	Ponto em frente ao Parque dos Patins e à colônia de pescadores.
RF05	684238 7457905	Ponto em frente à Rua Vinicius de Moraes.
GG002	682850 7458879	Ponto no Canal do Piraquê, em frente ao núcleo da Gerência de Qualidade das Águas - GEAG.
JA0200	683179 7457526	Ponto no Canal do Jardim de Alah, em frente à elevatória de esgoto do Caiçaras da CEDAE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a discussão dos dados quanto à conformidade com o preconizado pela legislação vigente, foram consideradas as diretrizes elaboradas pela antiga FEEMA, atualmente INEA que toma em conta os usos preponderantes estabelecidos, especificamente a DZ 115 (INEA 2007), que estabelece as águas deste ambiente como voltadas à preservação de flora e fauna, estético, espécies destinadas à alimentação humana e recreação por contato secundário. Para fins de comparação e avaliação da qualidade de água adotou-se a CONAMA nº 357 (2005), de acordo com esta resolução a lagoa de enquadraria como água de Classe 2 (água salobra).

PLUVIOSIDADE

O índice pluviométrico constitui um parâmetro importante que interfere na qualidade de água, especialmente em uma lagoa urbana e com o solo impermeabilizado. Na Lagoa Rodrigo de Freitas, sabe-se que a hidrodinâmica dos rios e dos canais locais é alterada em função da chuva, cujo índice de intensidade ditará o destino final desses efluentes. As estruturas inseridas nos sistema de drenagem (galeria de cintura, captações de tempo seco e comportas) atuam como elementos de controle e são concebidas para operar de forma distinta com ou sem chuva. No primeiro caso o destino final dos efluentes geralmente é a Lagoa, ficando o sistema de esgotamento sanitário da Zona Sul – Emissário Submarino de Ipanema,

como corpo receptor desses efluentes nas ocasiões de tempo seco.

Os dados de chuva, representados no diagrama abaixo, englobam o período de janeiro de 2001 a 2010 e ilustram as precipitações totais mensais na Estação Jardim Botânico, operada pela Fundação GEO-RIO (Figura 11).

Os valores mensais estiveram, na maioria dos casos, abaixo de 250mm de precipitação. As exceções foram verificadas em dezembro de 2001, em janeiro e agosto de 2003, julho de 2004 e setembro de 2005, com valores um pouco acima de 250mm. Em dezembro de 2009 e março 2010, porém, os resultados foram mais expressivos, totalizando cerca de 400mm de precipitação no mês, com um pico histórico nesse período de cerca de 519mm, em abril de 2010. Nesse mês, no dia 6, ocorreu a maior precipitação diária do período com cerca de 230mm, isto é, a chuva desse dia é equivalente a quase o dobro da precipitação de um mês, considerando a média mensal do período de estudo (135mm). Os anos de 2005 e 2010 caracterizaram-se como os mais úmidos do período estudado, com uma precipitação total acima de 2000mm. Em fevereiro de 2003, por outro lado, ocorreu a menor precipitação mensal com pouco mais de 3,0mm de chuva.

A verificação da influência da precipitação sobre a variação quantitativa de Coliformes Termotolerantes na Lagoa Rodrigo de Freitas e canais adjacentes, foi realizada nos seis pontos de amostragem (Figura 10) e os dados de precipitação foram obtidos da série histórica medidos na estação Jardim Botânico, operada pela GEO RIO.

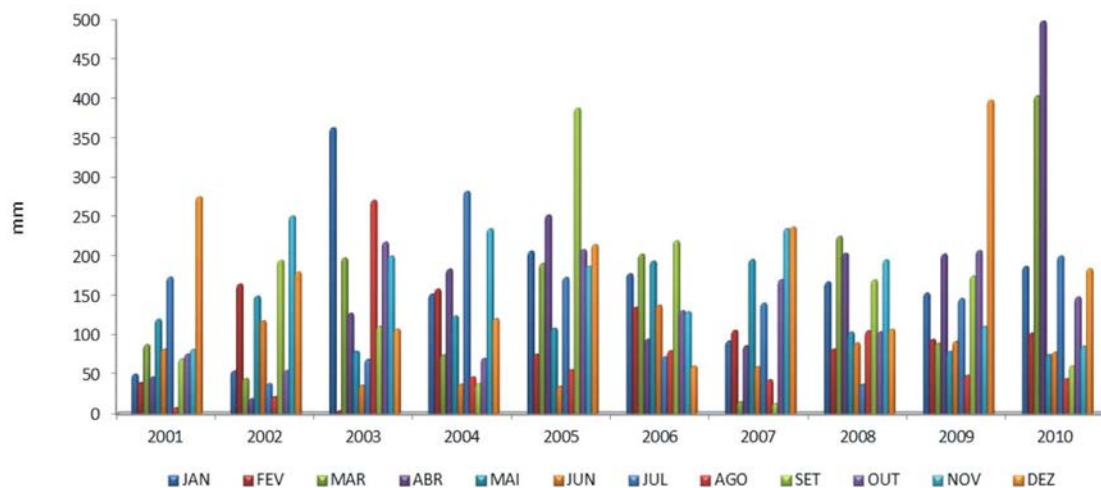


Figura 11. Precipitação acumulada mensal (mm) na Estação Jardim Botânico durante o período estudado (2001 a 2010).

Figure 11. Monthly rainfall (mm) at Botanical Garden Station during the period studied (2001 to 2010).

Para melhor elucidar a influência da precipitação sobre a alteração no número de Coliformes Termotolerantes, fez-se uma análise de correlação linear entre os dois fatores, considerando a precipitação

acumulada do dia anterior ao das coletas. Para o cálculo das correlações foram adotados três períodos: geral (de 2000 a 2010); seco (de abril a setembro) chuvoso (de março a outubro) (Tabela 4).

Tabela 4. Correlação de Pearson (p -valor $\leq 0,05$) entre Coliformes Termotolerantes e Precipitação para o período de 2000 a 2010 (geral), seco (abril a setembro) e chuvoso (março a outubro) na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Table 4. Pearson's correlation (p -value ≤ 0.05) between Termotolerants Coliforms and precipitation for the period 2000 to 2010 (General), dry (April to September) and the rainy season (March to October) at Rodrigo de Freitas Lagoon.

Estação	N	Geral	N	Período Seco	N	Período Chuvoso
RF00	186	0,41	90	0,61	95	0,35
RF02	185	0,34	89	0,27	96	0,36
RF04	185	0,44	90	0,45	91	0,43
RF05	185	0,45	90	0,29	96	0,50
GG002	60	0,16	24	-0,02	24	-0,02
JA0200	62	-0,10	24	-0,08	38	-0,15

OBS.: Os valores representados em cinza indicam as correlações com significância estatística

No geral, considerando todos os dados do período, este estudo revelou correlação positiva e significativa (há pelo menos 95% de confiança) entre a precipitação e a quantidade de Coliformes Termotolerantes nos pontos situados no espelho d'água da Lagoa (RF00, RF02, RF04 e RF05), os quais aumentam em geral linearmente acompanhando o aumento da quantidade de chuva. Nos canais (GG002 e JA0200), entretanto, o mesmo não acontece, não se verificando a existência de qualquer correlação. Neste aspecto, pode-se perceber claramente que estes dois pontos são os

de maior influência antrópica entre todos os pontos estudados, pois os fatores precipitação e coliformes não se correspondem, ou seja, as correlações não possuem significância estatística. Neste caso, pode-se ter ausência de chuva e alto índice de coliformes ou vice-versa, baixos valores de coliformes com registro de precipitações significativas.

Na comparação entre os períodos seco e chuvoso observa-se também uma correlação significativa entre todos os pontos da Lagoa. Nessa situação, na consideração somente do período seco, observa-se

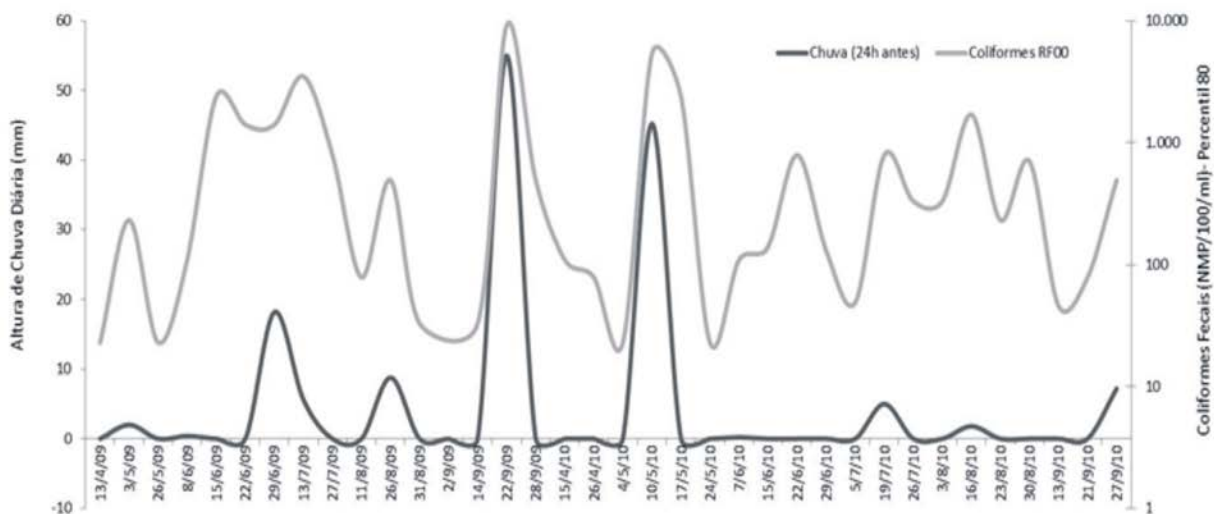


Figura 12. Correlação entre coliformes termotolerantes e precipitação no período seco no ponto RF00 na Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 2009 a 2010.

Figure 12. Correlation between termotolerantes coliformes and precipitation in the dry period in point RF00 in the Rodrigo de Freitas Lagoon in the period of 2009 the 2010.

uma melhor correlação no ponto RF00 (+0,61, 75% maior que no período chuvoso). Já no período chuvoso há uma correlação melhor no ponto RF05 (+0,50, 72% maior que no período seco). Nos outros dois pontos do espelho d'água não há diferença relevante entre as correlações nos períodos seco e chuvoso. A menor correlação estudada, (+0,27) para o ponto RF02 no período seco pode ser indicativa da menor influência das chuvas nesse local o que, em princípio, pode estar

associada às condições de maior vulnerabilidade às influências antrópicas.

As figuras 12 e 13 indicam as correlações que demonstram as condições de melhor (Figura 12) e menor aderência (Figura 13), ambos para o período seco, utilizando dados de 2009 a 2010. Os parâmetros obtidos ao longo da coluna d'água (perfis verticais) foram avaliados quanto às flutuações temporais, a partir de medianas anuais.

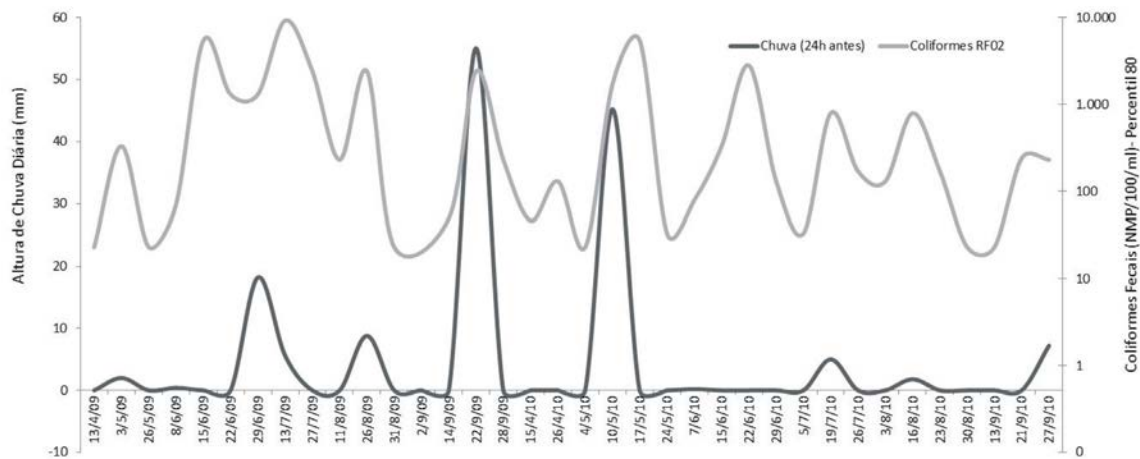


Figura 13. Correlação entre coliformes termotolerantes e precipitação em tempo seco no ponto RF02 na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Figure 13. Correlation between termotolerants coliforms and precipitation in dry weather on RF02 point in the Rodrigo de Freitas Lagoon.

TEMPERATURA

As medições de temperatura da água geralmente apresentam valores mais baixos entre maio e agosto e mais elevados entre dezembro e março, sendo a temperatura mediana durante o verão de 28°C e no inverno de 22°C. Observa-se claramente variação temporal da temperatura, quando nos períodos de inverno esse valor chega a cair em média 5°C em relação ao verão (Figura 14).

A comparação dos diagramas do período entre 2001 e 2010, nas quatro estações de monitoramento, demonstra também a ausência de uma variabilidade interanual significativa. Observa-se, por outro lado, uma variação direta e inversamente proporcional entre essas variáveis, quando se comparam os gráficos de temperatura e salinidade, sendo possível associar-se as maiores salinidades com as menores temperaturas e vice-versa, revelando um padrão associado aos períodos quente e úmido em contrapartida ao período seco-chuvoso.

TRANSPARÊNCIA (SECCHI)

A transparência pode ser associada à densidade das comunidades planctônicas, à dinâmica de circulação da coluna d'água, à presença de material particulado em suspensão, sendo considerada, em conjunto com outras variáveis, indicador do estado de trofia dos corpos d'água, segundo critérios adotados pela OEDC (1982) e Nürnberg (1996). Os critérios de Nürnberg (1996) são mais restritivos que os propostos pela OECD e estabelecem, por exemplo, que sistemas com baixa transparência, até 1,0m, caracterizam o estado hipertrófico, como verificado na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Verificou-se pouca diferença entre as estações de amostragem com relação à transparência. Em geral, a avaliação dos resultados da profundidade do disco de Secchi demonstrou valores sempre superiores a 0,3m, com a mediana se situando na faixa de 0,4m a 0,8m (Figura 15). Os valores extremos se situaram 1,0 e 3,5m, o que pode ser considerado um valor elevado, quando comparado a outras lagoas

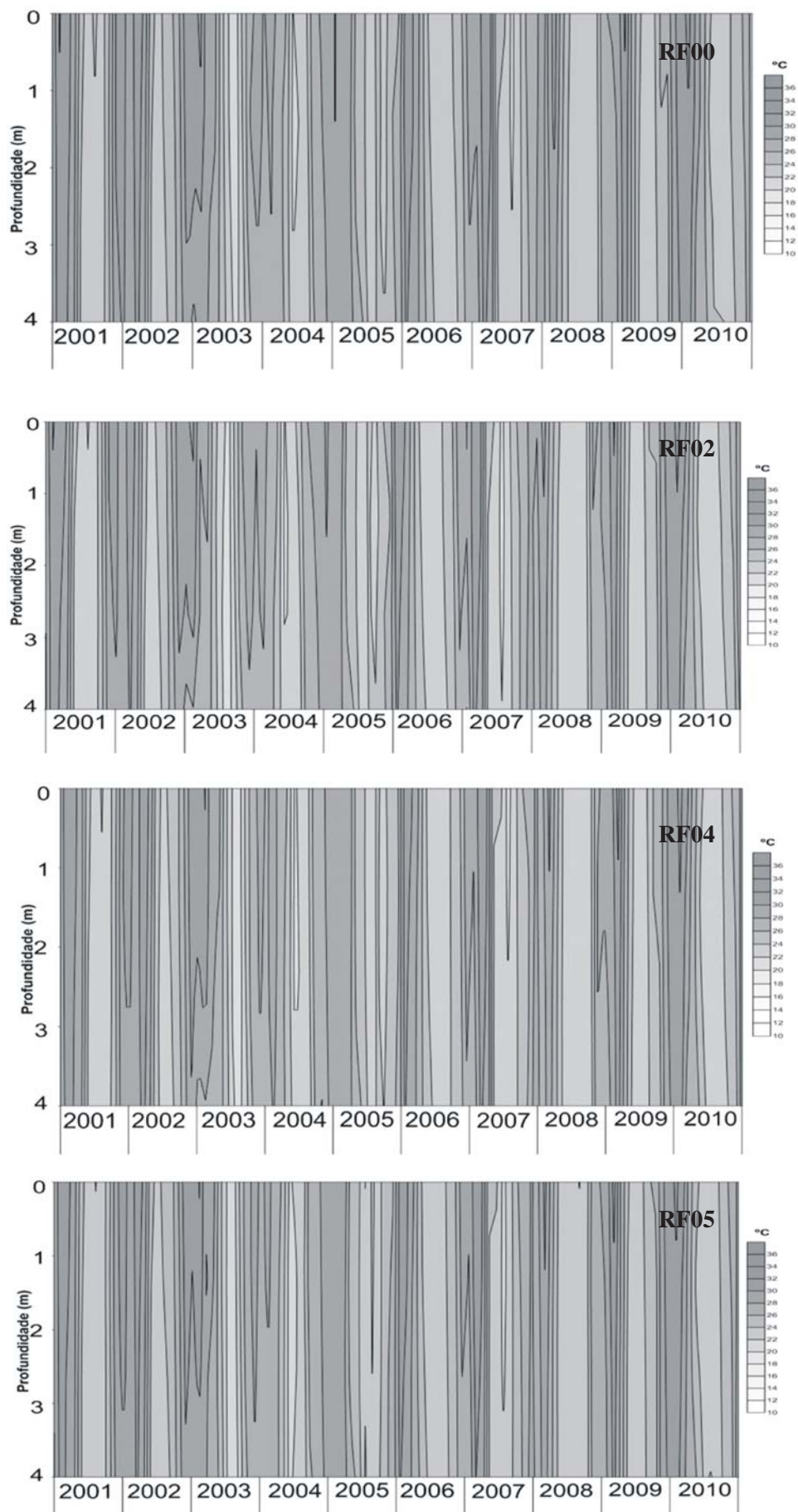


Figura 14. Variação da temperatura na coluna d'água nos pontos RF00, RF02, RF04 e RF05 na Lagoa Rodrigo de Freitas.
Figure 14. Temperature variation in the water column in points RF00, RF02, and RF05 RF04 on Rodrigo de Freitas Lagoon.

fluminenses, como as de Jacarepaguá (FEEMA 2005). Utilizando o valor proposto por Cole (1994) para avaliação da zona eufótica, conclui-se que na

maior parte do tempo houve indisponibilidade de luminosidade para a fotossíntese nas camadas mais profundas.

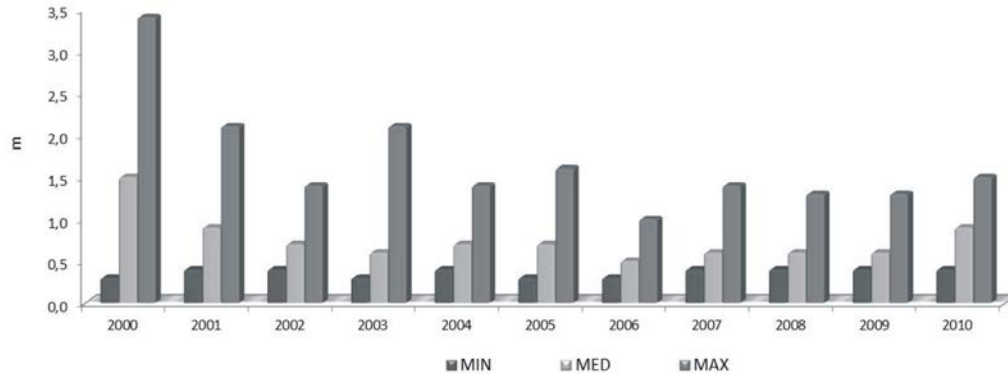


Figura 15. Máximo, mediana e mínimo da transparência da água com o disco de Secchi.

Figure 15. Maximum, medium and minimum of the Secchi disk.

SALINIDADE

De acordo com as medições realizadas no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2010, as águas da Lagoa apresentaram condições caracteristicamente salobras (águas com salinidade variando na faixa de 0,5‰ a 30‰).

As variações de salinidade se dão com a entrada de água do mar pelo Canal de Jardim de Alah, quando não há assoreamento obstruindo sua entrada, e/ou com o aumento do aporte dos rios contribuintes nos períodos chuvosos (Figuras 16).

O período analisado indica variação dos valores de salinidade relacionada, frequentemente, aos eventos de chuva. Observou-se homogeneidade dos valores de salinidade na coluna d'água em grande parte dos anos de 2001, 2002, 2008 e 2009 com valores entre 5,0 a 10‰. O padrão vertical homogêneo de salinidade foi observado mais claramente entre o final do segundo semestre de 2007 e o final do primeiro semestre de 2010, contrastando com os demais períodos, de acordo com o verificado nos diagramas de isolinhas. A ocorrência de estratificação salina, mais marcada no período seco, indica a maior dimensão das intrusões marinhas e da intensidade de troca entre as águas da bacia de drenagem e do mar, além de menor contribuição dos cursos continentais, em função da redução de pluviosidade.

Evidencia-se, ainda, que o ano de 2008, 2009 e parte de 2010 se caracterizou por menor renovação

das águas, quando comparados com os demais anos. Este fato é reforçado pelo fato do nível de água da lagoa encontrar-se mais elevado, em função do novo padrão de operação das comportas, implementado pela Fundação Rio Águas, o que dificulta a entrada de água do mar. A partir de 2010, porém, o padrão anterior foi restabelecido, com a diminuição do nível d'água operacional da Lagoa.

Observa-se, ainda, que o período de 2008/2009, de maior homogeneidade salina na coluna d'água, caracterizou-se, também, por ter a barra do Canal do Jardim de Alah assoreada ou a comporta fechada durante a maior parte do tempo. Cabe registrar que este período foi antecedido por um intervalo de dois meses (de agosto a outubro) de interrupção da dragagem da barra do Canal de Jardim de Alah. Em 2006, os órgãos gestores da Lagoa (a extinta SERLA e, posteriormente, a Rio Águas) introduziram a atividade de dragagem da barra do canal conjugada com a operação da comporta. A abertura desse canal, no entanto, ficou vinculada à manutenção constante do nível de água da Lagoa, evitando que ocorra grande diminuição da mesma e o afloramento de pontos de assoreamento.

Ao longo dos diferentes sistemas de operação de comportas apontados, entretanto, a Lagoa continua apresentando uma irregularidade nas trocas de água com o mar, cujo aporte demonstra ser insuficiente para promover uma oxidação eficiente da camada de fundo. De acordo com os resultados, a Lagoa é um

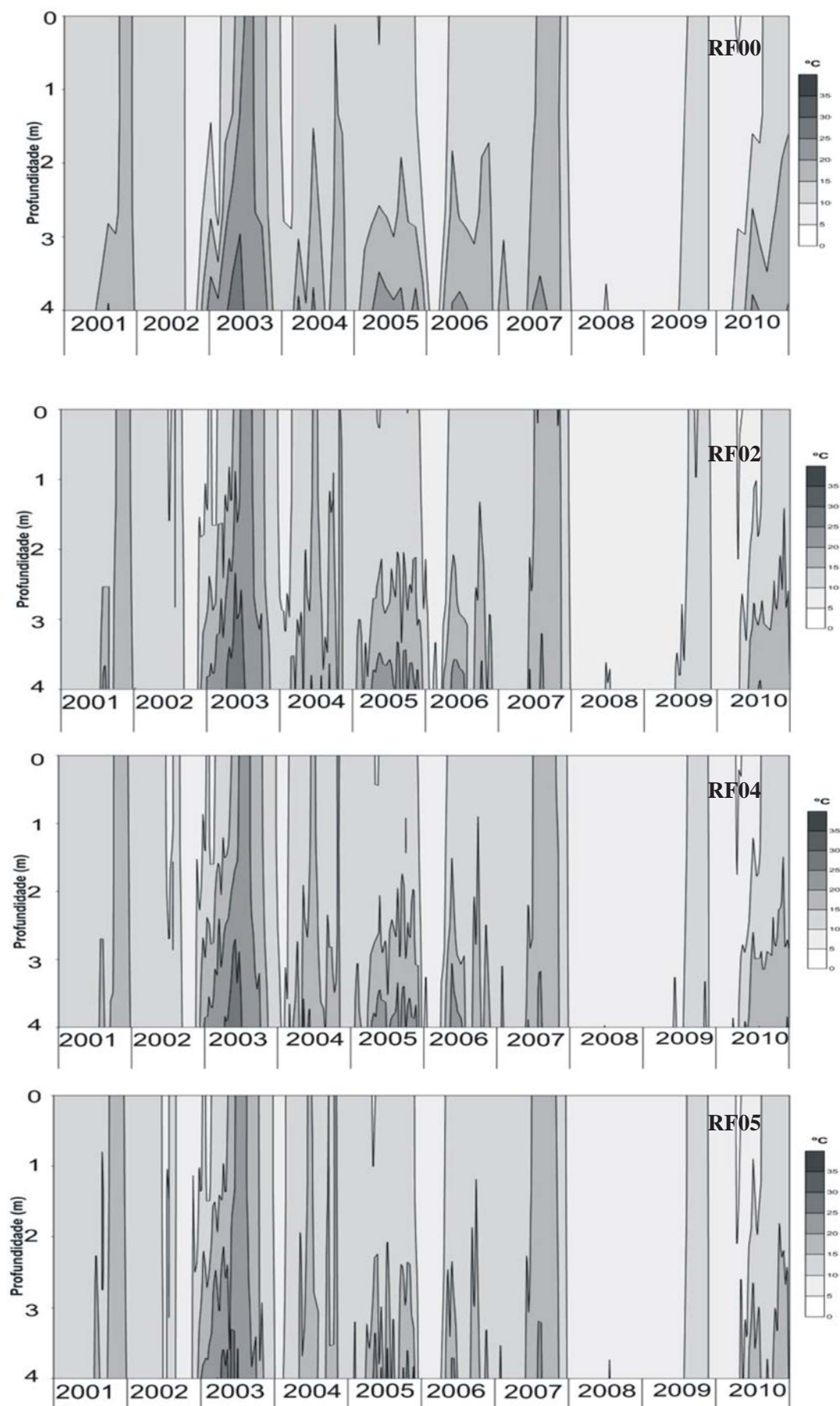


Figura 16. Variação da salinidade na coluna d'água nos pontos RF00, RF02, RF04 e RF05 na Lagoa Rodrigo de Freitas.
Figure 16. Variation of salinity in the water column in RF00, RF02, and RF05 RF04 stations on the Rodrigo de Freitas Lagoon.

ambiente de água salobra, mesohalina, estratificada na maior parte do tempo, com reduzido potencial de renovação de suas águas.

Nesse aspecto, a entrada de água do mar na Lagoa Rodrigo de Freitas termina sendo pouco significativa, em virtude da estreita largura do Canal de Jardim de Alah (mínimo 9m e máximo 18m) e do assoreamento do canal, com exceção das ocasiões em que as marés astronômicas coincidem com grandes amplitudes meteorológicas.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

A lagoa frequentemente apresenta supersaturação na superfície e hipoxia/anoxia no fundo, caracterizando a demanda de oxigênio dissolvido para a mineralização/oxidação da interface água/sedimento (Figura 17). A profundidade média da lagoa é de 4,0m e a oxiclina situou-se, geralmente, entre 2,5m ou 3,0m. O aumento da salinidade nas camadas de fundo, decorrente de maior entrada de água do mar, é responsável pela estratificação predominante neste corpo d'água. A estratificação térmica, não é prolongada, uma vez que a morfometria do corpo d'água, com pouca profundidade em relação à área, associada às condições térmicas subtropicais favoreceriam um padrão de circulação diário da coluna d'água.

A redução de oxigênio no fundo representa um risco potencial para o ambiente, pois, a ressuspensão do sedimento, pode causar rápida depleção de OD. Além disso, cabe considerar o possível acúmulo de produtos resultantes de processos anaeróbicos de decomposição como gás sulfeto – H_2S que provocam um consumo químico do oxigênio em eventos de ressuspensão do sedimento (FEEMA, 2005).

Nas camadas de fundo, os resultados variaram entre 0 e 7,5mg/l, sendo que na maior parte do tempo os valores se situaram abaixo de 5,0mg/l (CONAMA 2005), com registros de anoxia em várias épocas dos períodos avaliados.

AMOSTRAGEM DE SUBSUPERFÍCIE

Os parâmetros analisados têm-se mostrado bons indicadores de qualidade de água, permitindo avaliar as condições do ecossistema aquático e propiciando estabelecer o grau de trofia do

ecossistema. Essas informações visam proporcionar o maior entendimento da lagoa, a partir da dinâmica de processos fundamentais que podem contribuir para tomadas de decisão e aumentar a possibilidade de prever acidentes com a ictiofauna ali existente.

Os resultados de OD de superfície apresentaram ampla variação temporal, com valores entre 2,0 e 21,0mg/L (Figura 18). A visualização do diagrama de OD indica claramente que, apesar de persistir uma variabilidade no conjunto de dados, os valores medianos se mostraram relativamente estáveis ao longo do tempo, em torno de 7,0mg/L.

Para as medições de salinidade desenvolvidas no período 2000/2010, as águas da Lagoa continuam se apresentando como predominantemente salobras (águas com salinidade variando na faixa de 0,5psu a 30psu) sem estratificação e com uma concentração ainda baixa (mediana na faixa de 6 a 12psu).

As variações de salinidade se dão com entrada de água do mar pelo Canal de Jardim de Alah quando não há assoreamento obstruindo sua entrada.

O valor máximo de salinidade do período foi 25psu, enquanto que o mínimo foi de 6psu, o que caracteriza esse corpo d'água também como mesohalino (The Venice System).

O período analisado sugere uma elevação dos valores medianos de salinidade, de 2000 (9psu) até 2001 (12psu), após o que se registrou a estabilidade desses valores até 2007, quando se verifica uma queda brusca (6psu), em função da alteração no regime de operação da comporta do Jardim de Alah, o que acabou por restringir ainda mais a entrada de água do mar (Figura 19).

Os resultados de alguns parâmetros bacteriológicos e físico-químicos nesse período, considerando a mediana dos 4 pontos de monitoramento, revelaram redução em indicadores de impacto antropogênico, DBO (Figura 20) e nitrogênio amoniacal (Figura 23), demonstrando bons resultados para as medidas de controle empreendidas pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro. Dentre as intervenções e ações realizadas na área da Lagoa, destacam-se a construção da galeria de cintura em torno da Lagoa Rodrigo de Freitas, com assentamento de 4000m de tubos DN 250mm e 4 elevatórias em setembro de 2001, a dragagem e remoção de aproximadamente 275.000m³ de lodo em quatro pontos da Lagoa, iniciada em março de 2002 e concluída em outubro de 2004 e dragagem

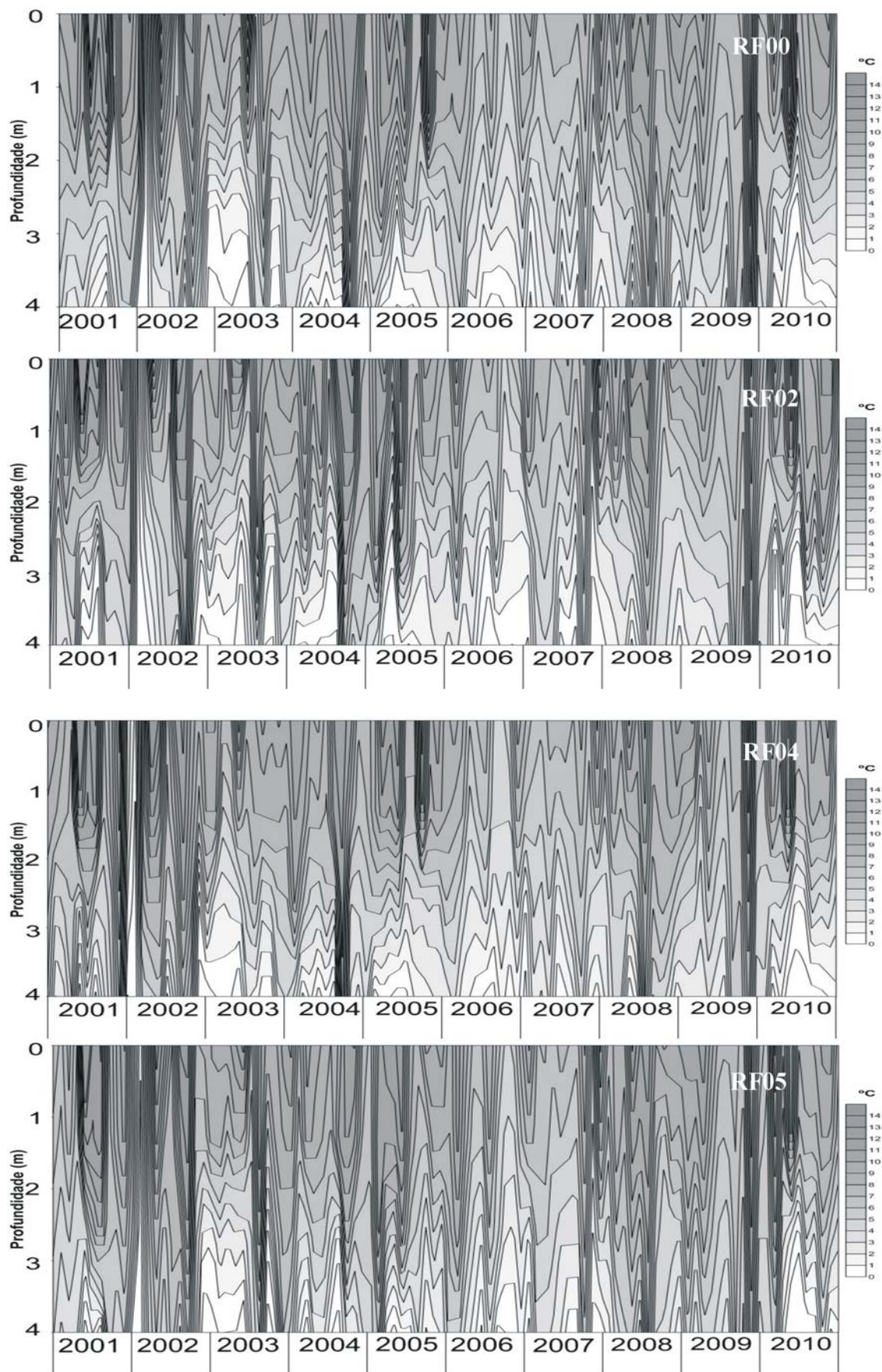


Figura 17. Variação dos teores de oxigênio dissolvido (OD) na coluna d'água nos pontos RF00, RF02, RF04 e RF05 na Lagoa Rodrigo de Freitas.
Figure 17. Dissolved oxygen (DO) in the water column in RF00, RF02, and RF05 RF04 stations on the Rodrigo de Freitas Lagoon.

de 150.000m³ para adequação da raia de remo com vista aos jogos Pan Americanos, no período de 2006 e 2007, além da reforma da comporta da Rua Gal. Garzon em setembro de 2003.

Entretanto, coliformes termotolerantes (Figura 21) e fósforo total (Figura 22) não demonstraram a mesma tendência. A redução dos níveis indicadores de carga orgânica foi mais evidente logo após a instalação da galeria de cintura, indicando a origem do lançamento dos esgotos na alteração das condições tróficas deste ecossistema.

A redução de carga orgânica observada, principalmente após 2002 (Figuras 20 e 22) provavelmente contribuiu para a ausência de registros de mortandades extensivas de peixes no período estudado na Lagoa, cujos eventos, entre 2000 e 2002, tiveram alta frequência. A única ocorrência

observada em 2004 teve uma dimensão pontual, restrita ao canal do Piraquê, atingindo somente um grupo específico da ictiofauna (Savelhas).

Apesar da tendência de melhoria mostrada pelos resultados, os valores da carga de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) na lagoa Rodrigo de Freitas ainda definem uma classificação de eutrófico (OECD 1982) para este corpo, indicando a necessidade de se manter e ampliar o controle sobre os lançamentos domésticos em suas águas. As cargas de fósforo, sabidamente são mais difíceis de reduzir em função da disponibilização interna, quando da liberação dos teores adsorvidos no sedimento em condições de baixa concentração de oxigênio, mantendo-se, dessa forma, sem alteração (Figura 23).

Dentre as principais consequências indesejáveis do processo de eutrofização observados na lagoa

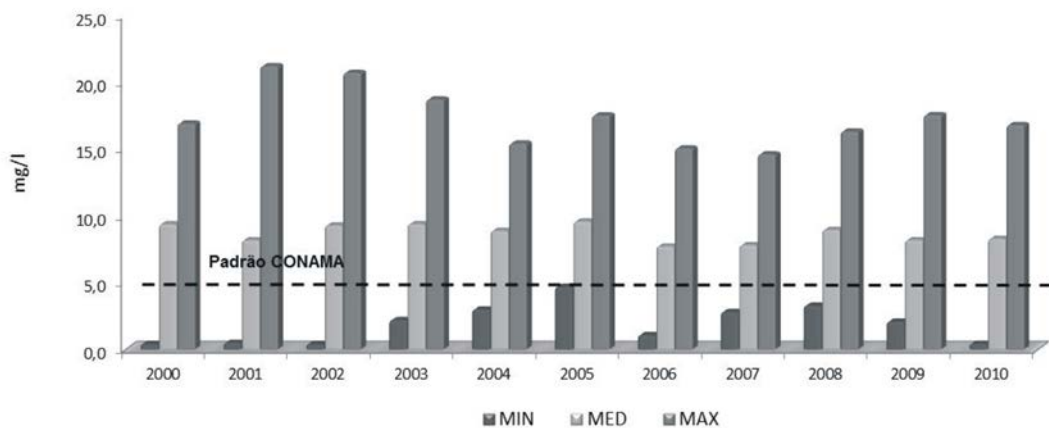


Figura 18. Máximo, mediana e mínimo das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na água de superfície no período de 2000 a 2010.
Figure 18. Maximum, medium and minimum Dissolved oxygen (DO) in the water of surface from 2000 to 2010.

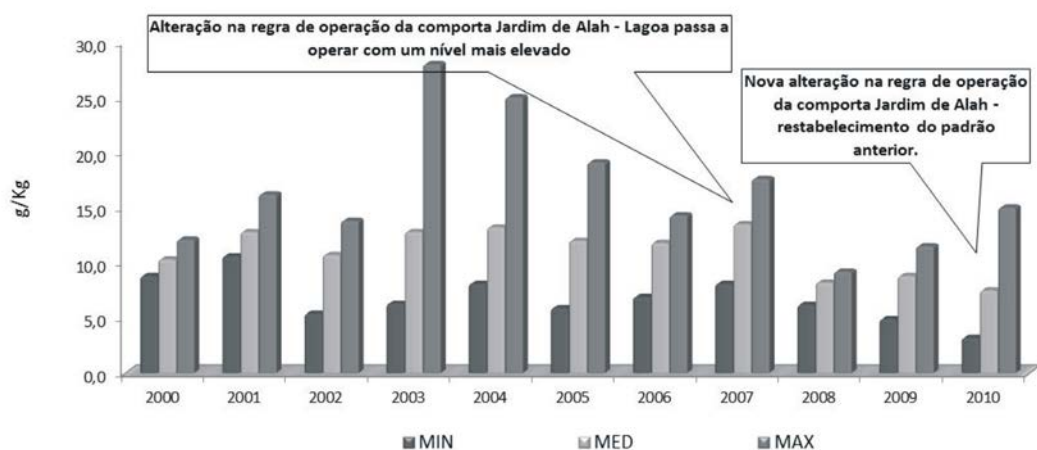


Figura 19. Máximo, mediana e mínimo de salinidade na água de superfície no período de 2000 a 2010.
Figure 19. Maximum, medium and minimum of salinity in the water of surface from 2000 the 2010.

destacam-se os eventos de mortandade extensiva de peixes, cujo risco vem sendo acompanhado por um

sistema de alerta, com caráter preditivo, assim como os eventos de floração de microalgas.

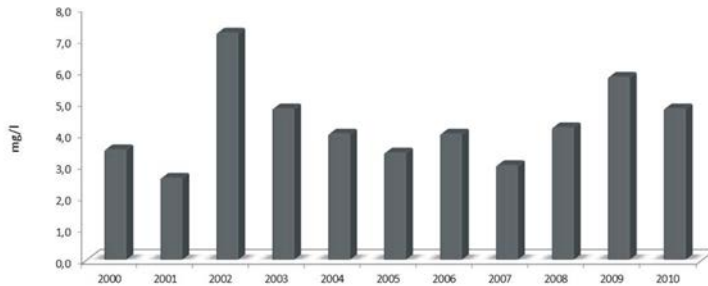
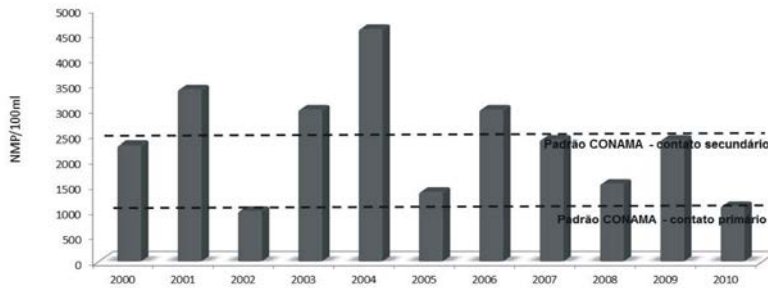


Figura 20. Medianas anuais da demanda biológica de oxigênio (DBO) no período de 2000 a 2010.
Figure 20. Medium annual of the biological demand of oxygen (BDO) from 2000 to 2010.



Obs.: Diversos parâmetros indicadores de qualidade de água que são monitorados sistematicamente pelo INEA indicam melhoria gradual das condições do ecossistema. Entretanto os resultados de colimetria não conferem condição para o contato primário na Lagoa Rodrigo de Freitas, de acordo com a resolução CONAMA 274 (2000). As condições atuais são adequadas para o contato secundário (prática de esportes de remo, vela).

Figura 21. Valores anuais dos Percentis 80 de Coliformes Termotolerantes, na Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 2000 a 2010.
Figure 21. Annual values of Percentiles 80 of Termotolerant Coliforms, in the Rodrigo de Freitas Lagoon from 2000 to 2010.

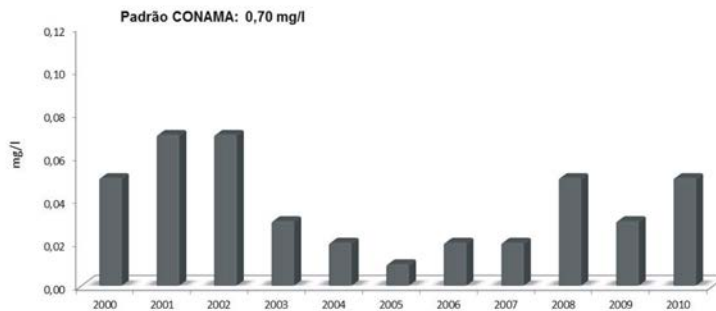


Figura 22. Variação anual das medianas de Amônia (N-NH₄⁺) na Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 200 a 2010.
Figure 22. Annual variation of medium of Amônia (N-NH₄⁺) in Rodrigo de Freitas Lagoon from 2000 to 2010.

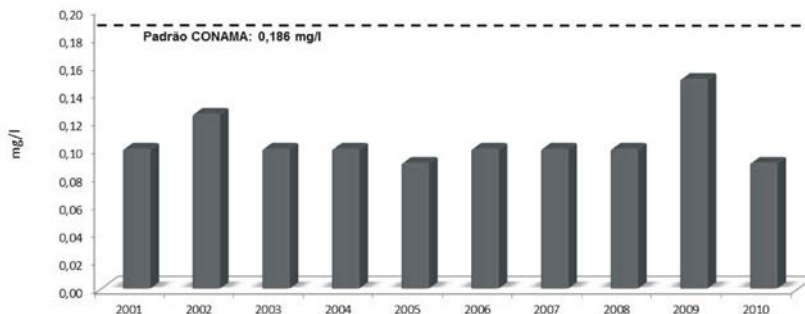


Figura 23. Variação das concentrações medianas anuais de Fósforo Total (PT) na Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 2000 a 2010.
Figure 23. Variation of the annual medium concentrations of Fósforo Total (PT) in Rodrigo de Freitas Lagoon from 2000 to 2010.

CANAIS DO PIRAQUÊ E JARDIM DE ALAH

Apresenta-se a seguir um breve relato das condições encontradas nos canais que se comunicam com a Lagoa Rodrigo de Freitas, a partir do monitoramento sistemático iniciado em 2010: Canal da Ilha do Piraquê (situado a jusante do Canal da Gal. Garzon) e Canal do Jardim de Alah.

Pelos resultados encontrados, evidencia-se um gradiente ao longo do tempo nos dois canais, tendo os parâmetros que medem os impactos de natureza orgânica, como era de se esperar, os principais indicadores de degradação nesses corpos d'água. Essa situação é claramente observada nos dois canais, onde é bastante nítido o quadro dos nutrientes (Figuras 24 e 25), DBO (Figura 26) e coliformes fecais (Figura 27), característicos da poluição doméstica nesses segmentos. No caso das concentrações de coliformes termotolerantes os resultados são negativamente expressivos, suficientes para se constatar a contaminação desses ambientes por matéria orgânica nos pontos monitorados. Na situação extrema destaca-se nesses dois canais o período inicial de 2010, quando se registraram os maiores picos de contaminação sanitária, com índices superiores a 1.600.000 (NMP/100ml). Os demais parâmetros, DBO, fósforo total e nitrogênio amoniacal, de um modo geral, não fogem a essa regra, observando-se praticamente o mesmo quadro.

Cabe salientar, ainda, que mesmo a existência da comporta no final do Canal da Gal. Garzon, que tem a função de desviar, em tempo seco, as águas oriundas das bacias dos rios dos Macacos e Cabeça para o Canal da av. Visconde de Albuquerque, não confere a necessária segurança ao sistema nem atinge seu objetivo, pois além de não ser suficientemente estanque, essa estrutura não permanece fechada durante todo o tempo (é aberta nos períodos de

chuva), sendo rotineiro o vertimento/extravasamento das águas dessas bacias para a Lagoa. Não é raro, também, haver refluxo das águas provenientes do Canal da Visconde de Albuquerque (inclui as águas do Rio Rainha) para a Lagoa.

Na visualização dos gráficos apresentados, pode-se, de certo modo, concluir que a contribuição do Canal da Gal. Garzon (extensão do Rio dos Macacos que antecede o Canal do Piraquê), apesar da melhoria apresentada a partir do início do “Programa de Revitalização da Vertente Sul da Serra da Carioca”, ainda tem um valor significativo para a Lagoa Rodrigo de Freitas. Mesmo no Rio dos Macacos, principal tributário da bacia da Lagoa, evidencia-se uma variação espacial nos níveis de carga orgânica ainda remanescente. Esta é proporcional ao grau de urbanização dos seus diversos trechos, verificando-se o seu gradual comprometimento, principalmente, nos dois segmentos finais, onde se registram as maiores alterações. Nesse aspecto, destaca-se o trecho mais baixo da Rua Pacheco Leão, onde são observados os maiores problemas na rede coletora. Também nos canais pode-se atribuir, em geral, aumento dos valores de nutrientes aos períodos mais chuvosos, particularmente mais significativos no primeiro trimestre de 2010.

Cabe destacar, porém, que se encontra em curso e em vias de efetivação parte das obras de melhoria no sistema de esgotamento sanitário inserida na bacia do Rio dos Macacos. Essas obras, especialmente a expansão da rede coletora de esgoto da Rua Pacheco Leão, incluídas como necessárias e prioritárias dentro do “Programa de Revitalização da Serra da Carioca”, desenvolvido em conjunto com o INEA (GEAG), CEDAE e Rio Águas, estão previstas para execução no Projeto Lagoa Viva (em desenvolvimento pela EBX em parceria com órgãos do Estado e do Município), quando se espera solucionar, se não todos, grande parte dos problemas de ordem sanitária no Rio dos Macacos.

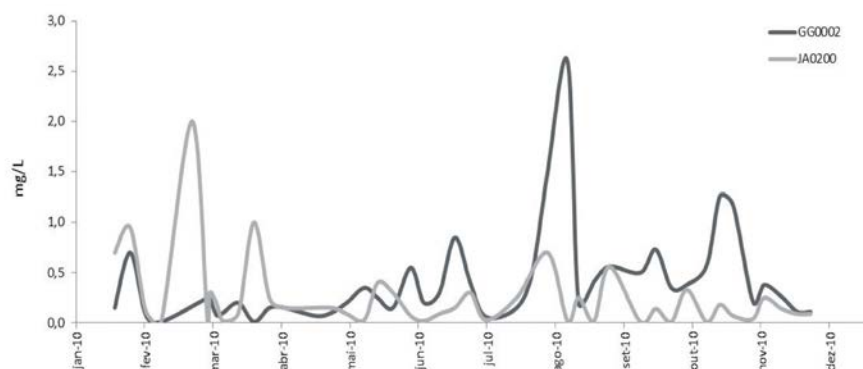


Figura 24. Nitrogênio Amoniacal nos canais do Piraquê (GG0002) e Jardim de Alah (JA0200) da Lagoa Rodrigo de Freitas em 2010.
Figure 24. Ammonia level in the canals of Piraquê (GG0002) and Jardim de Alah (JA0200) of the Rodrigo de Freitas Lagoon in 2010.

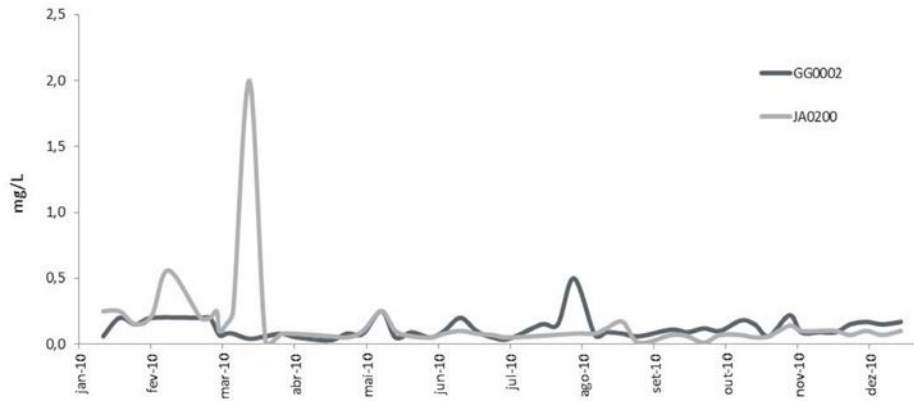


Figura 25. Fósforo Total nos canais do Piraquê (GG0002) e Jardim de Alah (JA0200) da Lagoa Rodrigo de Freitas durante o ano de 2010.
Figure 25. Total phosphorus in the canals of Piraquê (GG0002) and Jardim de Alah (JA0200) of Rodrigo de Freitas Lagoon during the year of 2010.

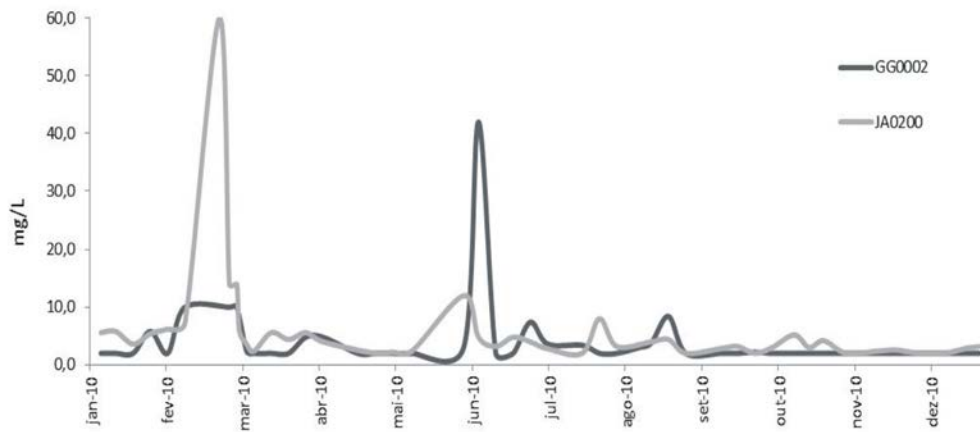


Figura 26. Concentrações da DBO nos canais do Piraquê (GG0002) e Jardim de Alah (JA0200) da Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 2010.
Figure 26. Concentrations of the DBO in the canals of Piraquê (GG0002) and Jardim de Alah (JA0200) of the Rodrigo de Freitas Lagoon in the period of 2010.

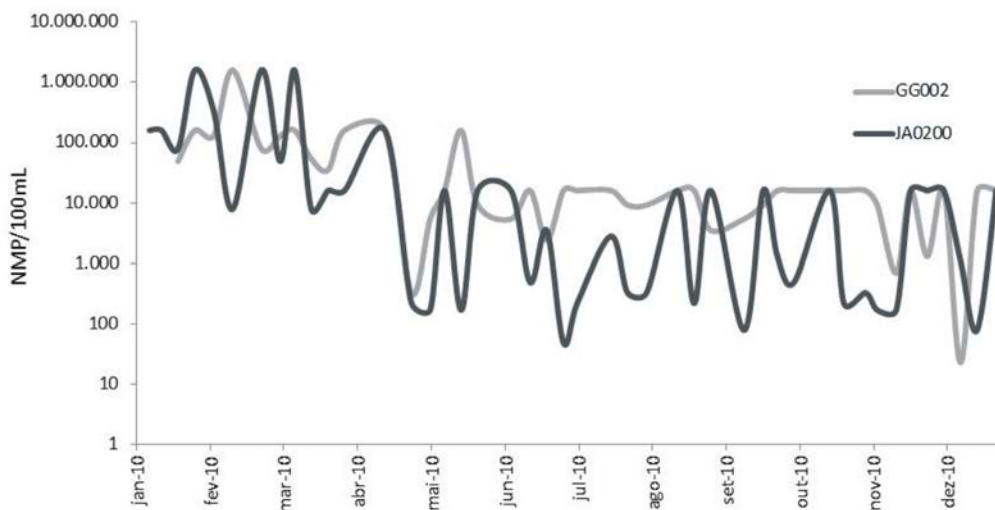


Figura 27. Coliformes Termotolerantes nos canais do Piraquê (GG0002) e Jardim de Alah (JA0200) da Lagoa Rodrigo de Freitas durante o ano de 2010.
Figure 27. Thermotolerant coliforms in the canals of Piraquê (GG0002) and Jardim de Alah (JA0200) of the Rodrigo de Freitas Lagoon during the year of 2010.

COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

Os valores de densidade do fitoplâncton foram considerados médios, da ordem de 10^4 a 10^5 indivíduos/ml, quando comparados a outras lagunas costeiras do Estado do Rio de Janeiro, sob impacto urbano (Domingos 1991; Domingos 1994; Huszar *et al.* 2000; Domingos 2001). Densidades fitoplanctônicas da médias a elevadas são tipicamente encontradas em ambientes sob influência de despejos domésticos e processo de eutrofização, como verificado na Lagoa Rodrigo de Freitas. Como principais representantes

de base da cadeia trófica (produtores primários) neste ecossistema, destacam-se a comunidade fitoplanctônica e os significativos bancos de macroalgas (Figura 28), localizados principalmente nas margens, que competem com o fitoplâncton pelos recursos nutrientes. Na realidade o crescimento das macroalgas, ao incorporar e imobilizar parte dos recursos nutrientes dissolvidos na água controla, parcialmente, os eventos de florações de microalgas nesse ecossistema, embora alguns setores da sociedade, sem a percepção da função ecológica dessas plantas, discutam sua interferência estética.



Figura 28. Banco de macroalgas registrado em 2004 no entorno da Ilha do Piraquê.

Figure 28. Seaweeds bank surrounding Piraquê island in 2004.

A partir de 2008 verificou-se redução desta vegetação, em grande parte associada à retirada constante de bancos de macroalgas e de macrófitas aquáticas, como *Ruppia maritima*, cuja ocorrência quase não é mais verificada no ecossistema. O ano de 2008 coincidiu com a elevação dos valores de densidade do fitoplâncton, em particular nos pontos RF04 e RF05 de coleta, o que poderia, em parte, estar associado à redução dos bancos da vegetação bentônica.

Outros fatores como Fósforo e Amônia também revelaram elevação, em comparação com o ano de 2007 e também têm influência sobre a resposta da comunidade fitoplanctônica (Figuras 29 e 30).

Os valores de Fósforo Total mostraram elevação no 1º semestre de 2008 em relação a 2007 e aumento no 2º semestre em relação ao primeiro semestre do mesmo ano (Figura 29), indicando aumento de nutrientes no corpo d'água como consequência do aumento do consumo do oxigênio utilizado na decomposição da matéria orgânica. As condições de maior disponibilidade de nutrientes contribuem para expansão das populações de produtores primários, representados pelo fitoplâncton.

Eventos de floração têm sido mais frequentes no Canal do Piraquê, onde se dá o deságue eventual do Rio dos Macacos e do Rio Cabeça. Este canal caracteriza-se por uma condição de confinamento de

água, cuja dinâmica está condicionada, sobretudo, aos eventos de abertura de comporta. Estudos realizados em conjunto com o Laboratório de Ficologia do Museu Nacional – UFRJ revelaram dominância de fitoflagelados como responsáveis pelas florações. *Peridinium quinquecorne*, *Heterocapsa pigmaea*, (Dinoflagelados), *Heterosigma akashiwo* (Rafidoficea), *Kephyrion ovale* (Crisofíceia) e *Telaulax* sp. (Criptofíceia), são alguns dos táxons envolvidos.

Nas ocasiões de floração observa-se nítida coloração das águas neste ponto, variando de marrom a castanho (Figura 31), mas também podendo assumir tons de verde, dependendo da espécie em desenvolvimento, assim como outros pontos da lagoa (Figura 32).

A dominância de cianobactérias em ambientes eutróficos é amplamente citada em literatura e,

frequentemente, nas lagoas fluminenses sob impacto urbano, como Jacarepaguá, Maricá e Saquarema.

Comparando-se as contribuições percentuais de cianobactérias (Figura 33) observou-se um incremento, de relevante importância, desse grupo na constituição da comunidade de microalgas na Lagoa Rodrigo de Freitas até o ano de 2007, entretanto, o ano de 2008 caracterizou-se por significativo decréscimo da contribuição percentual de cianobactérias e aumento da importância relativa de fitoflagelados em geral. O ano de 2009 também se caracteriza pela maior importância relativa de fitoflagelados. Do ponto de vista da diversidade biológica, um dos atributos que revela a estabilidade do ecossistema, considera-se que tais resultados representam aumento da riqueza de espécies e maior diversidade na composição qualitativa. Apesar de se verificar um aumento da

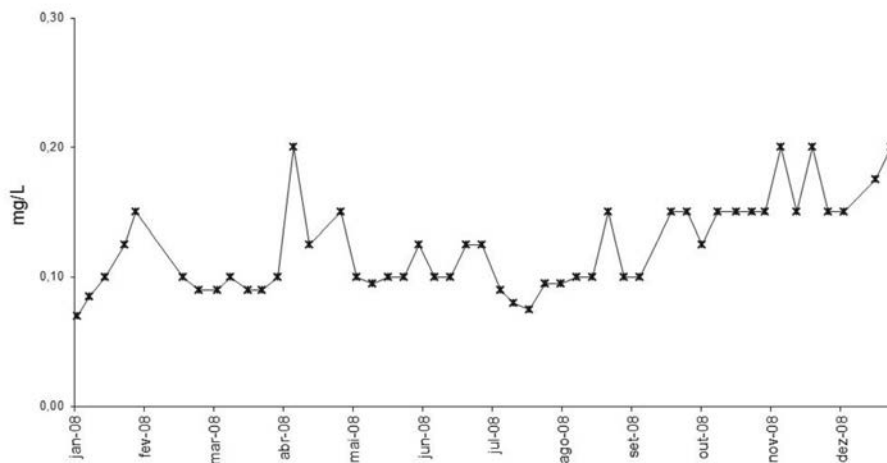


Figura 29. Valores das medianas de Fósforo Total no ano de 2008.
Figure 29. Total Phosphorus median values during the year 2008.

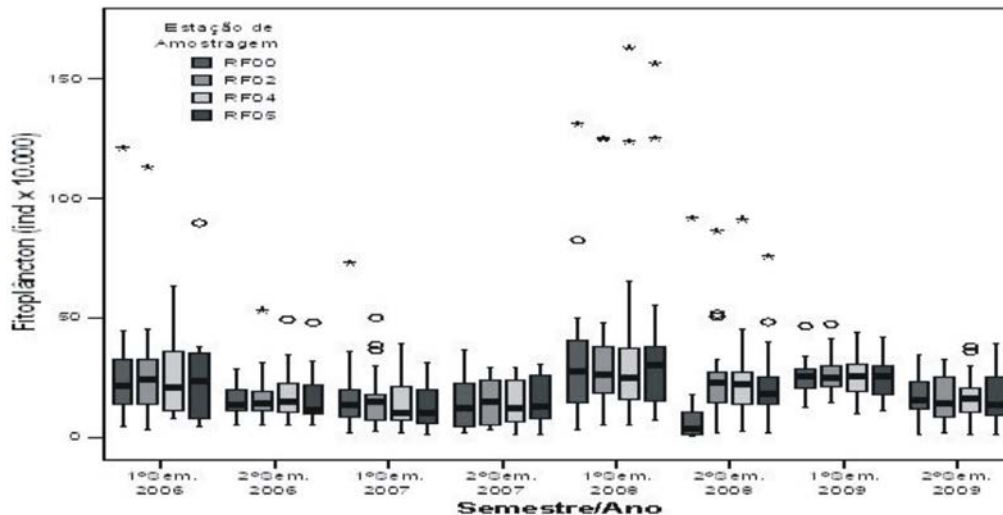


Figura 30. Box-plot com as medianas da densidade fitoplantônica no período de 2006 a 2009 na Lagoa Rodrigo de Freitas.
Figure 30. Medians of phytoplankton density box-plot from 2006 to 2009 in Rodrigo de Freitas Lagoon.

contribuição de cianobactérias em 2009, quando comparado com 2008, os valores medianos deste ano ainda não caracterizam ampla dominância como já observado em outros períodos.

Contribuição relativa de cianobactérias foi semelhante nos anos de 2006 e 2007 (Figura 33). O crescimento relativo de fitoflagelados em 2008 (Figura 34) coincidiu com elevação do desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica. A ligeira elevação de amônia e fósforo total desse período pode ter favorecido o crescimento do fitoplâncton, particularmente de fitoflagelados, demonstrando o sucesso desse grupo em ambientes eutrofizados. Cianobactérias revelam aumento de contribuição relativa em 2009, coincidindo com um período caracterizado pela elevação de vários parâmetros indicadores de

maior carga orgânica e de nutrientes em geral no corpo d'água.

Dentre as principais causas citadas na literatura para o sucesso de cianobactérias podemos apontar alta concentração de amônia, principalmente para espécies que não fixam o nitrogênio molecular, alto pH/baixo CO_2 , característico de ambientes muito produtivos, baixa razão nitrogênio/fósforo e baixa intensidade luminosa.

A dominância de cianobactérias em ambientes eutróficos é amplamente citada em literatura (Schiewer 1998) e, frequentemente, nas lagunas fluminenses sob impacto urbano (Domingos 1991; Domingos 1994; Domingos 2001).

Dentre as principais causas apontadas na literatura para o sucesso de cianobactérias podemos apontar temperaturas elevadas (Padisák 1997), alta



Figura 31. Canal do Piraquê – aspecto da floração registrada em julho de 2006.
Figure 31. Channel of the Piraquê-aspect of bloom registered in July 2006.

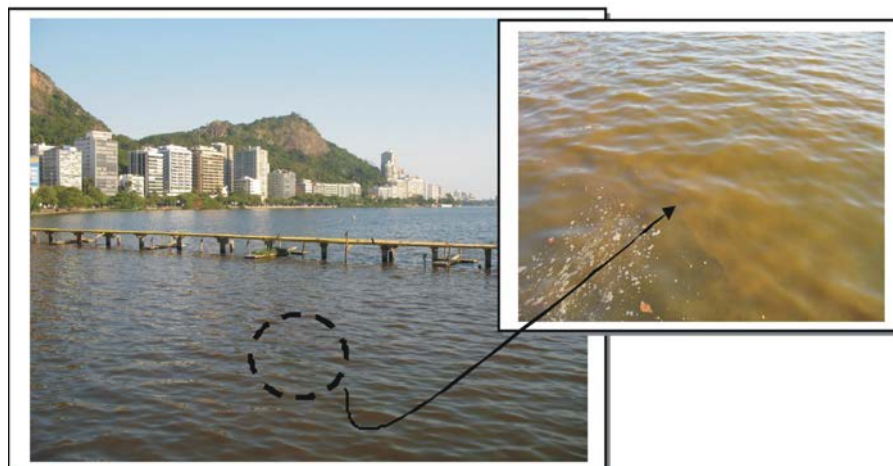


Figura 32. Evento de floração no ponto RF02 em julho de 2006.
Figure 32. Bloom event at RF02 station in July 2006.

concentração de amônia, principalmente para espécies que não fixam o nitrogênio molecular (Blomqvist *et al.* 1994), alto pH/baixo CO₂ (Caraco & Miller 1998; Shapiro 1999) característico de ambientes muito produtivos, baixas razões nitrogênio/fósforo (Smith 1983) e baixas intensidades luminosas (Smith 1986). Valores da razão N/P acima de 32 (por peso) (Jensen *et al.* 1994) ou acima de 28 (por peso) (Smith 1983) são citados como condições nas quais não se esperaria dominância de cianobactérias.

Como exemplo de ocorrência de razão NT/PT acima de 32, destacam-se três ocasiões ao longo dos estudos (17/05/01 na estação RF – 02; 05/10/00 na estação RF-02 e RF-05 e em 18/02/02 na estação RF – 05). Em quase todos não se observou domínio de cianobactérias. A exceção foi notada numa ocasião que sucedeu um evento de mortandade de peixes.

Entretanto, a esperada inibição do crescimento de cianobactérias em concentrações de NO₃⁻ acima de 20µg/l (Blomqvist *et al.* 1994) e já observada em outras lagoas fluminenses (Domingos 2001) não foi constatada nesse corpo d’água.

As principais espécies de cianobactérias presentes neste sistema lagunar, *Synechocystis aquatilis* e *Pseudoanabaena limnetica*, têm registro em outros ambientes salobros no Rio de Janeiro e, provavelmente, a salinidade elevada torna-se um fator que limita ou controla seu crescimento. Neste sistema demonstram eficiência para obter energia luminosa sob condições de baixa transparência da água ou mesmo certo grau de heterotrofia, como já registrado em literatura. Cabe comentar que *S. aquatilis* já demonstrou resultado positivo para a produção de cianotoxinas em outros ambientes fluminenses como Baía de Sepetiba

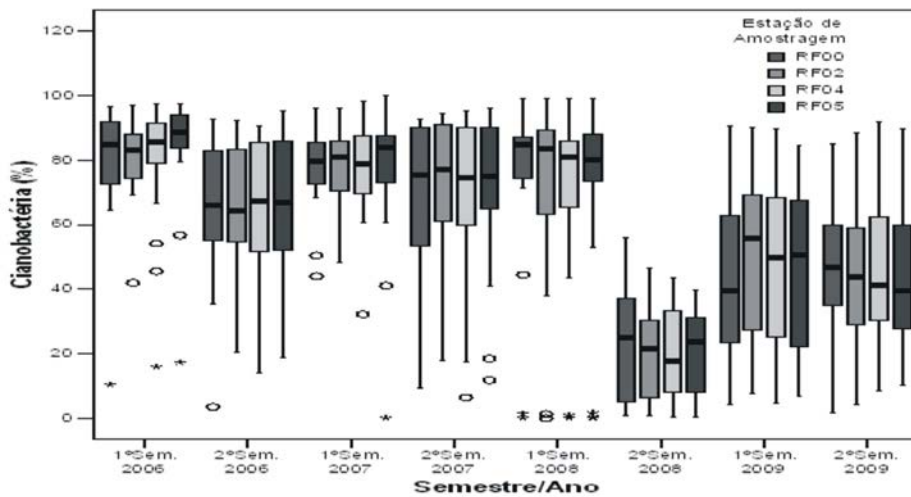


Figura 33. Diagrama de box-plot da densidade do fitoplâncton na Lagoa Rodrigo de Freitas.
 Figure 33. Density phytoplankton box-plot in Rodrigo de Freitas Lagoon.

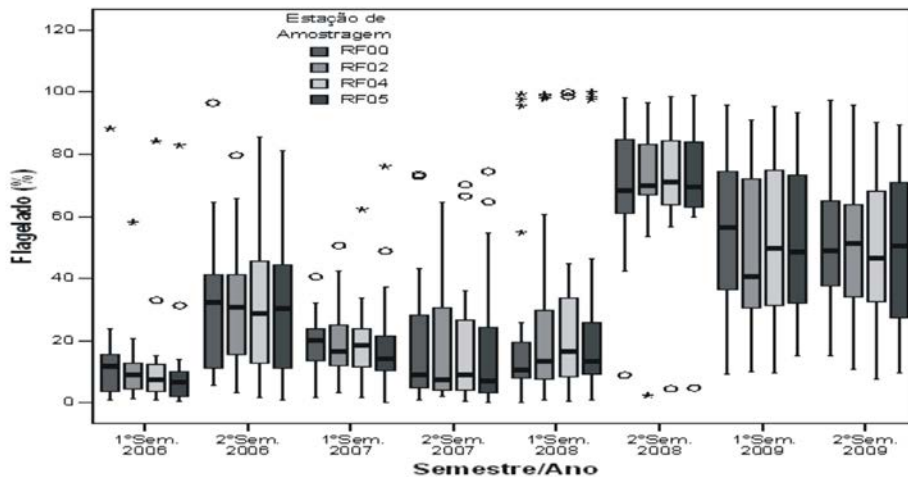


Figura 34. Diagrama de box-plot do percentual de fitoflagelados na Lagoa Rodrigo de Freitas.
 Figure 34. Box-plot of Phytoflagellates percentage in Rodrigo de Freitas Lagoon.

(Magalhães *et al.* 2003) e Lagoa de Maricá (Azevedo & Carmouze 1994).

A dominância de cianobactérias é característica de quase todo o ano, no entanto, o período de verão frequentemente é o de maior representatividade desse grupo, de acordo com o observado ao longo dos anos de monitoramento.

Os fitoflagelados da Lagoa Rodrigo de Freitas (prasinofíceas, crisofíceas, dinoflagelados e criptofíceas) são caracteristicamente frequentes e abundantes em lagoas costeiras. Os resultados demonstram favorecimento do desenvolvimento de flagelados, provavelmente em função da concentração de nutrientes disponíveis, particularmente Fósforo Total e Amônia. É possível que o aumento de fósforo, principalmente POD (Fósforo Orgânico Dissolvido) contribua para o sucesso de organismos flagelados, conhecidos pelo alto grau de mixotrofia. Já foram observadas, em vários anos, condições nas quais a maior variabilidade do fosfato dissolvido e fósforo total coincidiu com a redução da contribuição percentual de cianobactérias e aumento da densidade relativa de dinoflagelados, diatomáceas e outros flagelados.

A estratégia mixotrófica de assimilar diretamente matéria orgânica dissolvida (MOD) é característica de flagelados e favorável para o sucesso desse grupo em ambientes que recebem lançamentos domésticos, demonstrando a influência dos processos de enriquecimento do corpo d'água na instalação das populações flageladas.

ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA

A análise de tendência apresentada a seguir visa aplicar o índice de Tendência Geral (W) – Índice Geral de Tendência por método de Mann-Kendall, já utilizado na Baía de Guanabara. “Qualidade Avaliação de Tendência da Qualidade de Água da Baía de Guanabara Período 1980 a 1997”, FEEMA (1998). O objetivo foi mensurar a evolução da qualidade da água dessa lagoa nos últimos anos, decorrente de um processo de monitoramento sistemático realizado pelo INEA. Para tanto, foram utilizadas as tendências individuais de cada parâmetro para cada estação de amostragem. Essas tendências foram obtidas pelo método de *Mann-Kendall* (Kendall & Gibbons 1990) para o período compreendido entre 2000 e 2010.

Este método não-paramétrico é ideal para avaliação de tendências de médio e longo prazo. Basicamente qualitativo, sua aplicação é particularmente útil para detectar tendências monotônicas (que ao longo do tempo se mantém constantes em crescimento ou declínio) em dados coletados de fontes pontuais ou outros tipos de poluição, devido ao caráter de robustez dos dados inerente a este método de ordenação.

Mann-Kendall fornece indicação sobre uma tendência da série em estudo, qualificando-a como ascendente (aumento), declinante (queda), ou sem tendência observada (inalterada). No caso de séries de parâmetros sobre qualidade de água, sejam eles físico-químicos ou biológicos, se o aumento ou a diminuição de determinado parâmetro pode ser claramente caracterizado como indicador de melhoria ou não das condições do corpo hídrico, a tendência qualitativa é suficiente para essa caracterização.

Cada parâmetro selecionado teve definido um peso associado à sua importância com relação à poluição, enfatizando a eutrofização (fenômeno causado pelo excesso de nutrientes - compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio, normalmente causado pela descarga de efluentes agrícolas, urbanos ou industriais num corpo de água mais ou menos fechado, o que leva à proliferação excessiva de algas, que, ao entrarem em decomposição, levam ao aumento do número de microorganismos e à conseqüente deterioração da qualidade do corpo de água) das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Parâmetros Selecionados

A escolha dos parâmetros, dentre os vários realizados pelo INEA, passou por discussão do corpo técnico da Gerência de Qualidade Ambiental/Água (responsável pelo monitoramento e avaliação do conjunto de dados) desta instituição. Esta seleção de parâmetros é exclusiva deste corpo d'água e foi idealizado levando-se em conta a série histórica deste Instituto.

Priorizou-se os parâmetros com maior grau de importância com relação à eutrofização desses corpos d'água.

Após a escolha dos parâmetros adotados no índice, o segundo passo foi o de dar pesos para cada parâmetro. O ordenamento dos parâmetros se deu em função do grau de importância de cada um para a eutrofização na Lagoa Rodrigo de Freitas (Tabela 5).

Tabela 5. Pesos para os parâmetros conforme seu grau de importância como indicador de eutrofização para a Lagoa Rodrigo de Freitas no período de 2000 a 2010.

Table 5. Parameters weights according with their degree of importance as an indicator of eutrophication for Rodrigo de Freitas Lagoon from 2000 to 2010.

Parâmetros	Peso
Coliformes Fecais	0,84
DBO	0,84
OD Qualitativo	2,11
Fósforo Total	1,68
Nitrogênio Amoniacal Solúvel	1,26
Fitoplâncton Total	0,42
Cianobacteria (%)	0,42
Transparência	-0,42

Obs.1: O peso negativo da Transparência se justifica pelo fato de sua redução estar associada à perda da qualidade da água, ao contrário dos demais parâmetros indicadores.

Obs.2: Não foram utilizados pesos para Temperatura da amostra e Salinidade porque estes parâmetros não acrescentam informações sobre a avaliação da tendência da qualidade de água. Clorofila também não foi utilizada, pois a partir de maio de 1992 o método de análise foi alterado.

Obs.3: OD (Qualitativo) é devido a presença de dados super-saturados e tem uma avaliação qualitativa apresentada anteriormente.

Método de Mann-Kendall

O método não-paramétrico, utilizado para análise de tendências de longo prazo, foi o teste de Mann-Kendall (Kendall & Gibbons 1990). Este teste é particularmente útil para detectar tendências monotônicas em dados coletados de fontes pontuais ou outros tipos de poluição (Hipel & Mcleod 1989).

Neste teste, a hipótese nula H_0 é a de que os dados das amostras coletadas de um determinado parâmetro de qualidade de água provêm de populações descritas por variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas. A hipótese alternativa, H_A , é a de que os dados apresentam tendência crescente ou decrescente com o tempo (Hipel & Mcleod 1989; Kendall & Gibbons 1990).

Seja z_i , $i = 1, 2, \dots, n$, uma série histórica consistindo de n observações, z_1, z_2, \dots, z_n , de um determinado parâmetro de qualidade de água. A estatística S para o teste de Mann-Kendall é definida como

$$\text{onde, } s = \begin{cases} +1, & z > 0 \\ 0, & z = 0 \\ -1, & z < 0 \end{cases} \quad (1)$$

O valor da estatística S do teste de Mann-Kendall calculado pela equação (1) indica, quando positivo, uma tendência ascendente da série histórica dos dados, e quando negativo, uma tendência declinante.

É possível demonstrar (Kendall & Gibbons 1990) que a estatística S é assintoticamente normalmente distribuída, com média zero e desvio padrão σ , onde o valor de σ é dado pela equação (2) a seguir. Ou seja, $S \sim N(0, \sigma)$, quando o número de observações $n \rightarrow \infty$. Na realidade, Kendall & Gibbons (1990) mostram que para $n > 10$, a aproximação da distribuição de S por uma normal com média zero e desvio padrão σ fornece resultados satisfatórios.

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) \quad (2)$$

A partir desse resultado, pode-se calcular o nível de significância (ou, equivalentemente, o p-valor) da estatística S — calculada pela equação (1) — para uma série histórica de observações obtidas por intermédio de amostras coletadas de determinado parâmetro de qualidade de água.

Finalmente, cabe observar que os valores da estatística S , calculados a partir da equação (1) são inteiros. Portanto, para obter maior precisão nos cálculos dos níveis de significância (ou p-valores) é necessário utilizar o procedimento de correção de continuidade da aproximação normal. Segundo Kendall & Gibbons (1990), esse procedimento consiste em subtrair uma unidade de S , quando este é positivo ou nulo, e acrescentar uma unidade, quando o valor da estatística S é negativo. Ou seja,

$$\begin{cases} S \geq 0 \Rightarrow \underline{S} = S - 1 \\ S < 0 \Rightarrow \underline{S} = S + 1 \end{cases}$$

onde \underline{S} é o valor da estatística S com correção de continuidade.

Índice de Tendência Geral (W)

O cálculo da Estatística W , índice que resume as tendências dos diversos parâmetros de qualidade de água foi feito uma ponderação dos possíveis resultados de tendência, com pesos associados à importância desses parâmetros em relação à poluição, com ênfase na eutrofização das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Foram feitos os seguintes cálculos:

$\sum X_i * P_i$ onde $i=1, \dots, N$ e N é o número de parâmetros considerados.

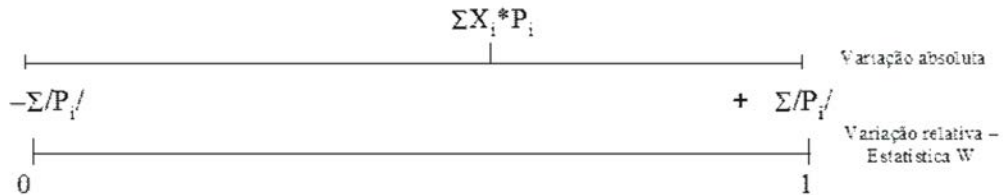
$X_i \rightarrow$ Tendência quantificada (+1, 0 e -1) para o i -ésimo parâmetro.

$P_i \rightarrow$ Peso do i -ésimo parâmetro.

$W = (\sum (X_i * P_i) + \sum /P_i/) / (2 * \sum /P_i/)$, onde $/P_i/$ é o módulo de P_i .

W reflete a posição relativa da soma ponderada ($\sum (X_i * P_i)$) na escala de variações possíveis ($-\sum /P_i/ ; +\sum /P_i/$) dessa soma. Portanto, normaliza essas possíveis variações, dentro do intervalo $[0,1]$.

Esquema da Estatística W



O critério qualitativo adotado foi o seguinte; Se $W < 0,4$ o ponto de coleta apresenta uma tendência de melhora; Se $0,4 \leq W \leq 0,6$ a qualidade permanece inalterada e se $W > 0,6$ há uma piora na qualidade da água do ponto de coleta.

Por exemplo, supondo que em determinado ponto de coleta o W resultante tenha sido igual a 0,37, então qualitativamente, como $W = 0,37 < 0,4$, conclui-se que houve uma melhora na qualidade da água coletada neste ponto.

É importante salientar que, na interpretação qualitativa, quando $0,4 \leq W \leq 0,6$, há uma “área de inalteração”. Na Tabela 6, pode-se visualizar o critério qualitativo adotado para decisão quanto à estatística W .

Tabela 6. Critério para a Estatística W .
Table 6. Criterion for the statistic W .

<i>Estatística W</i>	<i>Critério</i>
$W < 0,4$	Melhora
$0,4 \leq W \leq 0,6$	Inalterado
$W > 0,6$	Piora

Análise dos resultados da análise de tendência

A tabela 7 apresenta o resumo das tendências resultantes da aplicação do método de Mann-Kendall. Os resultados da avaliação de tendência (queda, inalterado e aumento), correspondem ao conjunto de dados de qualidade de água de superfície válidos, nas quatro estações de amostragem da Lagoa

Rodrigo de Freitas para os parâmetros já descritos, que possuem dados em todo o período considerado, de 2000 a 2010. O nível de confiança adotado é de 95%.

Na avaliação de tendência dos dados de oxigênio dissolvido (OD) levou-se em conta a concentração de saturação de oxigênio na água, função da temperatura e da salinidade da água e da pressão atmosférica. As concentrações de saturação podem ser calculadas através de equações, estando disponíveis em figuras e tabelas. No caso dos dados da Lagoa Rodrigo de Freitas o valor de saturação está em torno de 8,0mg/l, considerando a pressão atmosférica de 1.0 atm e temperatura média da água da Lagoa de 25°C.

O aumento das concentrações até o valor de saturação pode ser considerado como uma melhora na qualidade da água da Lagoa. Valores acima da concentração de saturação de OD, entretanto, indicam um desequilíbrio das condições do ecossistema, através do fenômeno da eutrofização, sinalizando para uma degradação da qualidade de água, tornando o cálculo da tendência de Mann-Kendall inadequado para o oxigênio dissolvido.

Para o parâmetro OD, criou-se um método qualitativo, que compreende uma análise dos diagramas de barra, de cada ponto com seus dados de superfície sendo divididos ano a ano. No caso em que 50% dos dados estivessem acima do valor de saturação, os dados deste determinado ano estariam supersaturados (S), caso contrário não saturados (NS) (Tabela 8).

Tabela 7. Parâmetros utilizados e resultados obtidos na Análise de Tendência (método Mann-Kendall) considerando o período de 2000 a 2010 para a Lagoa Rodrigo de Freitas.

Table 7. Parameters and results of Trend detection (Mann-Kendall test) from 2000 to 2010 for Rodrigo de Freitas Lagoon.

Parâmetros	Estações de Amostragem			
	RF00	RF02	RF04	RF05
<i>Coliformes Fecais</i>	Inalterado	Queda	Inalterado	Inalterado
<i>OD (qualitativo)</i>	Inalterado	Queda	Queda	Inalterado
<i>DBO</i>	Inalterado	Inalterado	Queda	Inalterado
<i>Amônia</i>	Queda	Inalterado	Inalterado	Inalterado
<i>Fósforo Total</i>	Queda	Queda	Queda	Queda
<i>Transparência</i>	Queda	Queda	Queda	Queda
<i>Fitoplâncton</i>	Aumento	Aumento	Aumento	Aumento
<i>Cianobactéria (%)</i>	Inalterado	Inalterado	Inalterado	Inalterado

Tabela 8. Resultados das análises referentes à saturação de OD em cada ponto para a Lagoa Rodrigo de Freitas.

Table 8. Results of the DO saturation analyses regarding the at each point for Rodrigo de Freitas Lagoon.

Estação	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
RF00 - OD	S	S	S	S	S	S	NS	S	S	S
RF02 - OD	S	S	S	S	S	NS	NS	S	NS	S
RF04 - OD	S	S	S	S	S	NS	NS	S	S	NS
RF05 - OD	S	S	S	S	S	NS	NS	S	S	S

OBS.: (S) Supersaturado; (NS) Não saturado

De modo geral, a variação ao longo do tempo dos valores de OD de super-saturados para não saturados comparada com o método de Mann-Kendall indicaria uma tendência de queda (melhora), de não saturados para super-saturados ao longo do tempo indicaria uma tendência de aumento (piora) e super-saturados ou não saturados ao longo de todo o período indicaria uma tendência de inalteração. Esta avaliação foi denominada de tendência qualitativa para OD. Esses resultados são apresentados a seguir na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados da análise de saturação do oxigênio dissolvido (OD) comparada ao teste de Mann-Kendall.

Table 9. Saturation analysis results of dissolved oxygen (DO) compared to the test of Mann-Kendall.

PONTO	OD (Qualitativo)
	2001/2010
RF00	Inalterado
RF02	Queda
RF04	Queda
RF05	Inalterado

Cálculo

Na tabela 10, pode-se visualizar a estatística W e a indicação quantitativa e a qualitativa de água inerente a essa estatística em cada estação de coleta. Conforme mencionado, esse índice foi obtido a partir dos resultados da aplicação do método de Mann-Kendall e dos pesos relativos a esses parâmetros no período de 2000/2010 na Lagoa Rodrigo de Freitas para as quatro (4) estações de coleta que possuem dados em todo o período considerado.

Pode-se constatar condições de melhoria nas estações RF00, RF02 e RF04 de amostragem da Lagoa Rodrigo de Freitas (Figura 35), sendo a estação RF05 a única a apresentar situação diferente das demais, revelando condição inalterada. As condições de melhoria foram influenciadas pelos resultados de OD, Coliformes Termotolerantes, Amônia e Fósforo Total, cujos valores demonstraram essa tendência. A análise de tendência revelou também o decréscimo das concentrações dos parâmetros destacados, o que indica claramente a diminuição do aporte de carga orgânica no interior do sistema lêntico.

Tabela 10. Aplicação do índice de Tendência Geral (W) no período de 2000 a 2010 para a Lagoa Rodrigo de Freitas.
Table 10. General Trend Index (W) application from 2000 to 2010 for Rodrigo de Freitas Lagoon.

PARÂMETROS	PESO	RF00		RF02		RF04		RF05	
	P_i	X_i	$P_i \cdot X_i$	X_i	$P_i \cdot X_i$	X_i	$P_i \cdot X_i$	X_i	$P_i \cdot X_i$
Coliformes Fecais	0,84	0	0,00	-1	-0,84	0	0,00	0	0,00
DBO	0,84	0	0,00	0	0,00	-1	-0,84	0	0,00
OD (qualitativo)	2,11	0	0,00	-1	-2,11	-1	-2,11	0	0,00
Fósforo Total	1,68	-1	-1,68	-1	-1,68	-1	-1,68	-1	-1,68
Nitrogênio Amoniacal	1,26	-1	-1,26	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Cianobacteria (%)	0,42	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Fitoplancton	0,42	1	0,42	1	0,42	1	0,42	1	0,42
Transparência	-0,42	-1	0,42	-1	0,42	-1	0,42	-1	0,42
Somatórios	8	-2,11		-3,79		-3,79		-0,84	
Estatística W		0,37		0,26		0,26		0,45	
Critério qualitativo		Melhora		Melhora		Melhora		Inalterado	
Critério quantitativo		-26,32%		-47,37%		-47,37%		-10,53%	

X_i	Valor quantitativo resultante à aplicação do Método Não-Paramétrico de Mann-Kendall, ferramenta para avaliação de tendências. Legenda de quantificação do método a seguir:	
	-1	Queda
	0	Inalterado
	1	Aumento
P_i	Peso relativo de cada parâmetro	

Quantitative value resulting for the application of non-parametric Mann-Kendall, tool for assessment of trends.
 Legend of quantification of the following method:

-1 Fall
 0 Unchanged
 1 Increase

Relative weight of each parameter

A figura 35 apresenta o desenho esquematizado para as quatro (4) estações de coleta que possuem dados em todo o período considerado na Lagoa

Rodrigo de Freitas, relativo aos valores de W calculados e contidos na tabela 10 para o período 2000/2010.

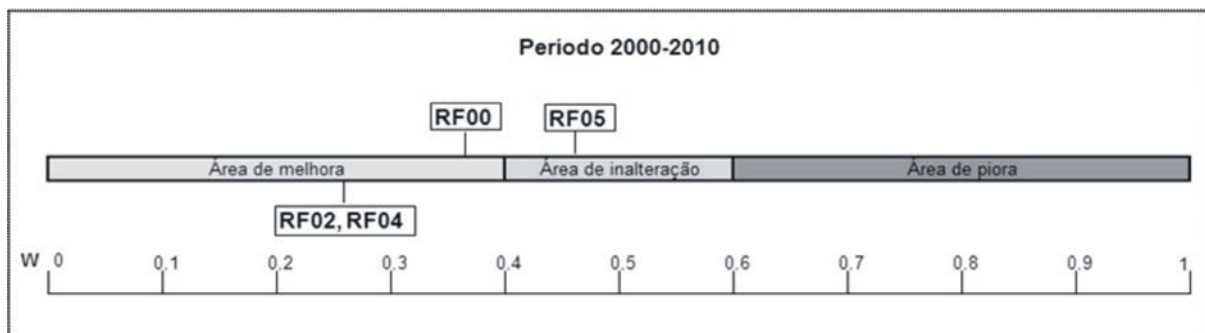


Figura 35. Pontos ordenados a partir dos valores de W da tabela 7.

Figure 35. Items ordered from the values of W of Table 7.

MORTANDADE DE PEIXES

Na Lagoa Rodrigo de Freitas há registros de mortandade de peixes desde o século XVII, tendo se

intensificado a partir de 1960 com o crescimento da urbanização. Os dados abaixo mostram os registros de mortandades ocorridas na Lagoa a partir dessa data (Tabela 11).

Tabela 11. Números das Mortandades de Peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Table 11. Weight of dead fish at each event of fish mortality in Rodrigo de Freitas Lagoon.

DATA	QUANTIDADE (ton.)
2000	140
2001	56
2002	94
2003	0
2004	0,14
2005	0
2006	0
2007	0,30
2008	0
2009	0
2010	86

A partir dos anos 60 e até o início dos anos 2000, a ocorrência de mortandades tem um regime cíclico bem definido e quase anual. Entretanto, a partir de 2002, essa frequência é alterada de forma significativa, com uma redução drástica dos eventos de mortandade. Foram cerca de oito (8) anos sem episódios dessa natureza.

Cabe salientar, ainda, excetuando-se 2010, que em todas as ocasiões de mortandade de peixes, pelo menos nas mais recentes, registrou-se a anoxia da coluna d'água como causa mais direta da morte da ictiofauna. A partir de 2010 um novo cenário sobre os eventos de mortandade de peixes teve registro na lagoa. Este foi o primeiro evento de mortandade a partir de 2000, no qual as concentrações de OD se mostraram adequadas para a vida aquática. A identificação de *Chrysocromulina* sp. em elevada densidade, realizada pela Prof^{ta}. Mariângela Menezes (Museu Nacional – UFRJ) coincidindo com o evento de mortandade, sugere sua relação com o evento.

Mortandades de Peixes, Variação da DBO e as Principais Intervenções na Lagoa

Apresenta-se, a seguir, uma sobreposição que considera as intervenções realizadas na área da Lagoa, associadas à variação da demanda de oxigênio observada em suas águas, relacionando-as ainda aos eventos de mortandades de peixes (Figura 36).

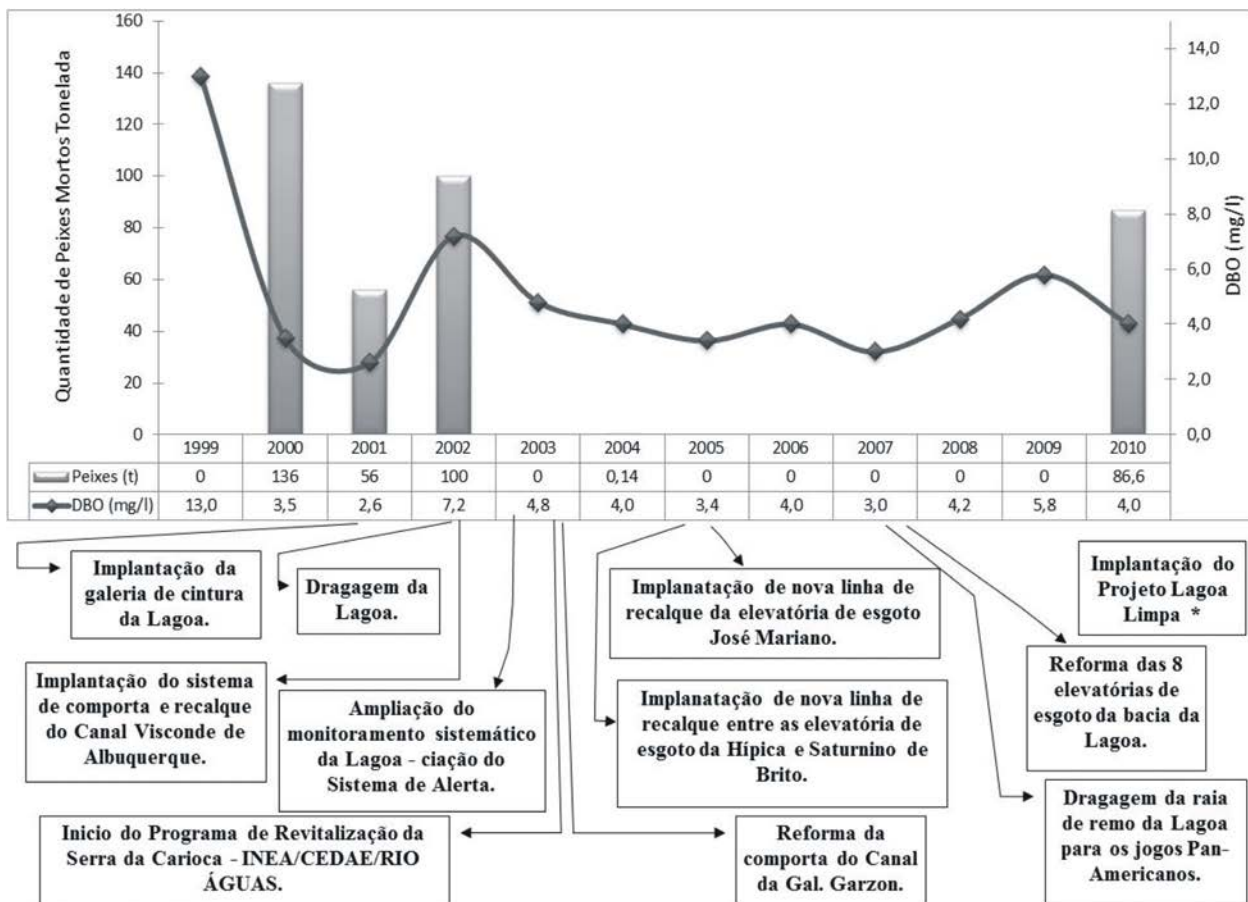


Figura 36. Quadro comparativo de Mortandade de Peixes e DBO – período 2000 a 2010 na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Figure 36. Comparative table of Fish Mortalities and BOD – from 2000 to 2010 in Rodrigo de Freitas Lagoon.

CONCLUSÃO

A análise de tendência da maioria dos parâmetros analisados revelou um quadro de melhora na qualidade da água da Lagoa, considerando a série de dados da Lagoa desde 2000. Inserem-se nessa condição os parâmetros Coliformes Termotolerantes (fecais), OD, DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo total cujos resultados apresentaram um padrão de queda entre 2000 e 2010. Para o disco de Secchi (transparência) verificou-se também uma tendência de queda em todos os pontos de monitoramento, porém associada à perda de qualidade, ao contrário dos demais parâmetros indicadores.

Apesar das melhorias na qualidade de água, o conjunto dos resultados apresentados revela a permanência da classificação na categoria eutrófico ou hipertrófico, de acordo com o sistema adotado, já aplicado à Lagoa Rodrigo de Freitas. Os resultados também demonstram que este ambiente ainda se encontra sob influência de águas residuárias, ricas em matéria orgânica.

Os resultados de colimetria não conferem condição para o contato primário na Lagoa Rodrigo de Freitas, de acordo com a resolução CONAMA n. 274 (2000). As condições atuais são adequadas para o contato secundário (prática de esportes de remo, vela).

Foram observados progressos quanto à questão sanitária, em comparação a períodos anteriormente estudados, com redução dos lançamentos de esgoto, que representa grande fonte de nutrientes. Contribuíram para essa melhora as reformas realizadas nas elevatórias de esgoto operadas pela CEDAE e a diminuição da contaminação por esgoto dos cursos d'água que demandam à Lagoa, especialmente dos rios Cabeça e dos Macacos. No entanto, os resultados ainda indicam que o problema sanitário continua sendo uma das fontes de desequilíbrio ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas, sendo necessárias ainda intervenções preventivas e corretivas que possam minimizar os efeitos dos aportes de esgoto. Entretanto, ainda que sejam promovidas ações que mantenham livres de lançamentos de origem orgânica, tanto os tributários quanto o espelho d'água da Lagoa Rodrigo de Freitas, estoques de nutrientes acumulados ao longo do tempo, ainda poderão estar em permanente troca nos compartimentos aquáticos (sedimento e coluna d'água), mantendo condições de eutrofização.

A operação de controle das trocas de água através dos canais continua sendo um problema ainda não resolvido, principalmente com relação ao Canal do Jardim de Alah, constantemente poluído e assoreado. A obstrução da barra e a restrição de suas dimensões dificultam e restringem a renovação das águas da Lagoa.

Permanece o risco de mortandade extensiva de peixes no verão, associada à elevação dos índices de pluviosidade e sua carga orgânica nessa época, uma vez que a captação da galeria de cintura só é eficiente em tempo seco. Cabe considerar, também, que a questão sanitária dos canais e afluentes da Lagoa, ainda não completamente equacionada, contribui com o aporte de matéria orgânica que pode fluir para a Lagoa nessas ocasiões.

REFERÊNCIAS

- APHA. 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. American Public Health Associations, American Water Works Association. Water Environmental Federation. Washington, DC. 361p.
- AZEVEDO, S.M.F.O. & CARMOUZE, J.P. 1994. Une Mortalité de Poissons Dans Une Lagune Tropicale (Brésil) Durant Une Période de Dominance de Cyanophycées, Coïncidence Ou Conséquence? *Hydrobiologia Tropical*, 25: 265-272.
- BLOMQUIST, P.; PETTERSSON, A. & HYENSTRAND, P. 1994. Ammonium-nitrogen: A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Archives of Hydrobiology*, 132: 141-164.
- CARACO, N.F. & MILLER, R. 1998. Effects of CO₂ on competition between a cyanobacterium and eukaryotic phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 55: 54-62, <http://dx.doi.org/10.1139/f97-202>
- COLE, G.A. 1994. *Textbook of Limnology*. Waveland Press Inc, Illinois, IL. 491p.
- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2000. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 274, de 29 de novembro de 2000. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF.
- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF.

- DOMINGOS, P. 1991. Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica e Produção Primária na Lagoa de Saquarema, RJ. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil. 156p.
- DOMINGOS, P., HUSZAR, V.L. & CARMOUZE, J.-P. 1994. Composition et biomasse de phytoplancton d'une lagune tropical (Brésil) marquée par une mortalité de poisson. *Hydrobiologia Tropical*, 27: 235-250.
- DOMINGOS, P., 2001. Dominância de Cianobactérias Produtoras de Microcistinas na Lagoa de Jacarepaguá (RJ). *Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 108p.
- ESTEVES, F.A. 1988. *Introdução à Limnologia*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 575p.
- FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. 1998. *Qualidade de Água da Baía de Guanabara (1990/1997)*. Programa de Despoluição da Baía de Guanabara/Programas Ambientais Complementares. Rio de Janeiro, RJ.
- FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. 2005. *Lagoa Rodrigo de Freitas/Relatório de Qualidade de Água 2002/2004*. Rio de Janeiro, RJ.
- GEO-RIO. 2012. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro: Dados pluviométricos 2000/2010. <<http://www.rio.rj.gov.br/georio/site/principal.htm>>. (Acesso em 09 dez. 2011).
- HIPPEL, K.W. & McLEOD, A.I. 1989. Environmental Monitoring and Assessment. *Intervention Analysis in Environmental Engineering*, 13: 185-201.
- HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P. & SANT'ANNA, C.L. 2000. Cyanoprokaryote Assemblages in Eight Productive Tropical Brazilian Waters. *Hydrobiologia*, 424: 67-77, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1003996710416>
- INEA. 2007. DZ 215. <<http://200.20.53.7/Ineaportal/Legislacao.aspx?ID=EC2F0291-AA60-4D29-B059-B6FC7BEDEA4A>>. (Acesso em 09 dez. 2011)
- JENSEN, J.P., JEPPESEN, E., OLRİK, K. & KRISTENSEN, P. 1994. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 51: 1692-1699, <http://dx.doi.org/10.1139/f94-170>
- KENDALL, M. & GIBBONS, J.D. 1990. *Rank correlation methods*. 5th edition. Edward Arnold, London, GL. 260p.
- MAGALHÃES, V.F.; MARINHO, M.M.; DOMINGOS, P.; OLIVEIRA, A.C.P.; COSTA, S.M.; AZEVEDO, L.O. & AZEVEDO, S.M.F.O. 2003. Microcystins (cyanobacteria hepatotoxins) bioaccumulation in fish and crustaceans from Sepetiba Bay (Brasil, RJ). *Toxicon*, 42: 289-295, [http://dx.doi.org/10.1016/S0041-0101\(03\)00144-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0041-0101(03)00144-2)
- NÜRNBERG, G.K. 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12: 432-447, <http://dx.doi.org/10.1080/07438149609354283>
- OECD. 1992. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD, Paris, IF. 154p.
- PADISÁK, J. 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Archives of Hydrobiology*, 107(Suppl.): 563-593.
- PCRJ. 1995. Decreto Municipal nº5289, de 1995 - Relatório Final do GT. Ações Propostas para Melhoria da Bacia.
- RIO PREFEITURA – BAIRROS CARIOCAS – LAGOA. 2011. <<http://www.historiadorio.com.br/bairros/lagoa>>. (Acesso em 09 dez. 2011).
- SCHIEWER, U. 1998. 30 Years' eutrophication in shallow brackish waters – lessons to be learned. *Hydrobiologia*, 363: 73-79, <http://dx.doi.org/10.1023/A:1003194226294>
- SHAPIRO, J. 1997. The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue-green dominance in lakes. *Freshwater Biology*, 37: 307-323, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00164.x>
- SMITH, V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221: 669-671, <http://dx.doi.org/10.1126/science.221.4611.669>
- SMITH, V.H. 1986. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 43:148-153, <http://dx.doi.org/10.1139/f86-016>
- UTHERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativem Phytoplankton Methodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen*, 9: 1-38.

Submetido em: 23/12/2011

Aceito em: 13/7/2012