

EVENTOS DE MORTANDADE DE PEIXES ASSOCIADOS A FLORAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS: PROGRAMA DE 10 ANOS DE MONITORAMENTO

Patrícia Domingos¹, Gisele Alves Gômará², Glaucia Freitas Sampaio³, Mauricio Francisco Soares⁴
e Fátima de Freitas Lopes Soares⁵

¹ LABALGAS/DBV/IBRAG/UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524 Pavilhão Haroldo Lisboa da Cunha - 511a, CEP 20550-900. Rio de Janeiro, RJ.

² GELAB – Gerência do Complexo de Laboratórios - Av. Salvador Allende, nº 5500 – CEP 22780-160. Rio de Janeiro, RJ.

³ GEAGUA – Gerência de Gestão Participativa das Águas, Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Av. Venezuela, nº 110 - CEP: 20081-312. Rio de Janeiro, RJ.

⁴ GEAG – Gerência de Avaliação e Qualidade das Águas, Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Av. Venezuela, nº 110 - CEP: 20081-312. Rio de Janeiro, RJ.

⁵ GEAG – Gerência de Avaliação e Qualidade das Águas, Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Av. Venezuela, nº 110 - CEP: 20081-312. Rio de Janeiro, RJ.

E-mail: patdomingos@uerj.br; gisele.alves@inea.rj.gov.br; glaucia.freitas@inea.rj.gov.br; mauriciosoares@inea.rj.gov.br; fatimafreitas@inea.rj.gov.br

RESUMO

A Lagoa Rodrigo de Freitas (área 2.2km², profundidade média 2.8m) possui uma Bacia Hidrográfica de 32km² e é formada pelos rios Cabeças, dos Macacos e Rainha, que drenam áreas de Mata Atlântica e de ocupação urbana, estando localizada numa área de alta densidade populacional na cidade do Rio de Janeiro. A lagoa é isolada do mar pelas praias de Ipanema e Leblon e reflete antigos problemas de saneamento, encontrando-se atualmente em estado eutrófico. Em consequência, registram-se mortandades periódicas de peixes. O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) monitora o fitoplâncton da lagoa semanalmente e variáveis abióticas duas vezes por semana em toda a coluna de água. Esse monitoramento periódico (02/2000 a 12/2010) tem buscado fornecer subsídios para a proposição de medidas que permitam uma melhor gestão desse ambiente. Para tanto tem-se utilizado os dados da comunidade do fitoplâncton como descritor biológico, além dos parâmetros abióticos que foram associados aos eventos de mortandade. O fitoplâncton ($0.1 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$ a $186 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$) foi quase todo o tempo dominado por Cianobacteria. Os eventos de mortandade de peixes revelaram dois padrões distintos de resposta, associados à estrutura do fitoplâncton: um relacionado à ocorrência de chuvas (dominância de *Pseudoanabaena limnetica* foi substituída por *Prorocentrum cordatum* (ex-minimum)) e outro com ausência de chuvas (dominância de *Synechocystis aquatilis*). O conjunto desses dados subsidiou a implantação de um sistema de alerta, de forma preliminar, desde janeiro de 2003. O sistema de alerta proposto é aplicado semanalmente tornando-se uma ferramenta capaz de contribuir para a predição dos eventos de mortandade e para intervenções sobre o ecossistema, no sentido de garantir melhor qualidade de água.

Palavras-chave: Lagoa Rodrigo de Freitas; comunidade fitoplanctônica; florações de cianobactérias; mortandade de peixes.

ABSTRACT

PHYTOPLANKTON AS BIOINDICATOR OF FISH MORTALITY: 10 YEARS OF MONITORING.

The Rodrigo de Freitas Lagoon (area 2.2km², mean depth 2.8m) has a Basin of 32km² and is formed by the rivers Cabeças, dos Macacos and Rainha, which drain areas of Tropical Rain Forest (Mata Atlântica) and urban occupation located in a high density area in the city of Rio de Janeiro. Isolated of the sea for beaches of Ipanema and Leblon, it reflects old problems of sanitation and is in eutrophic state. In consequence, periodic fish kill are registered. The Environmental State Institute (INEA) has been monitoring the phytoplankton community weekly and the abiotic variables twice a week in the entire water column. This periodic monitoring (02/2000 to 12/2010) has searched to supply the measures that allow one better management of this environment. For

in such a way one has used the data of the community of phytoplankton as describing biological, beyond the abiotic parameters that had been associated to the fish kill events. Phytoplankton ($0.1 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$ to $186 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$) was almost always dominated by Cyanobacteria. The mortality instances shows two response standards regarding phytoplankton structure: one related to rainfall (*Pseudoanabaena limnetica* was replaced by *Prorocentrum cordatum* (ex-minimum) dominance), and the other to lack of rain (*Synechocystis aquatilis* dominance). The set of these data subsidized the implantation of a system of alert, of preliminary form, since January of 2003. The considered system of alert is applied weekly and contributes for of predictability of mortality events and for interventions on the ecosystem.

Keywords: Rodrigo de Freitas lagoon; phytoplankton bioindicador; fish mortality.

RESUMEN

EVENTOS DE MORTANDAD DE PECES ASOCIADOS A FLORECIMIENTOS FITOPLANCTÓNICOS EN LA LAGUNA RODRIGO DE FREITAS: PROGRAMA DE 10 AÑOS DE MONITOREO – La Laguna Rodrigo de Freitas (área 2.2 km^2 , profundidad media 2.8 m) posee una Cuenca Hidrográfica de 32 km^2 , formada por los ríos Cabeças, de los Macacos y Rainha, que drenan áreas de Bosque Atlántico y de ocupación urbana, y está localizada en un área de alta densidad poblacional de la ciudad de Río de Janeiro. La laguna está separada del mar por las playas de Ipanema y Leblon y refleja antiguos problemas sanitarios, encontrándose actualmente en estado eutrófico. En consecuencia, se registran mortandades periódicas de peces. El Instituto Estatal de Ambiente (INEA) monitorea el fitoplancton de la laguna semanalmente y variables abióticas dos veces por semana en toda la columna de agua. Este monitoreo periódico (02/2000 a 12/2010) ha buscado ofrecer subsidios para proponer medidas que permitan una gestión mejor de este ambiente. Para esto se han utilizado datos de comunidad de fitoplancton como descriptor biológico, además de los parámetros abióticos que fueron asociados a los eventos de mortandad. El fitoplancton ($0.1 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$ a $186 \times 10^4 \text{ ind.mL}^{-1}$) fue casi todo el tiempo dominado por cianobacterias. Los eventos de mortandad de peces revelaron dos patrones distintos de respuesta asociados a la estructura del fitoplancton: el primero, relacionado a la ocurrencia de lluvias (donde la dominancia de *Pseudoanabaena limnetica* fue sustituida por *Prorocentrum cordatum* (ex-minimum)) y el segundo con ausencia de lluvias y dominancia de *Synechocystis aquatilis*. El conjunto de estos datos subsidió la implantación de un sistema de alerta, de forma preliminar, desde enero de 2003. El sistema de alerta propuesto es aplicado semanalmente, y constituye una herramienta capaz de contribuir a la predicción de los eventos de mortandad y para intervenciones sobre el ecosistema, que buscan garantizar una mejor calidad de agua.

Palabras clave: Laguna Rodrigo de Freitas; comunidad fitoplanctónica; florecimientos de cianobacterias; mortandad de peces.

INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são ambientes aquáticos encontrados ao longo da linha da costa, localizados na interface entre ambientes costeiros adjacentes e o meio marinho. Mantêm comunicação permanente ou intermitente com o mar em função da dinâmica de deposição de sedimentos marinhos que controlam a abertura da barra de comunicação com o meio marinho (Kjerfve 1994) e podem revelar gradiente crescente de salinidade desde a porção mais continental em direção à comunicação com o mar que interfere na

distribuição horizontal de representantes de fauna e flora.

Lagoas costeiras constituem de 13 a 15% da faixa litorânea em todo o mundo, de acordo com De Marco (2005), Lamptey (2011). De modo geral, sistemas lagunares são caracterizados pela rápida sedimentação de matéria orgânica, comportando elevada biomassa, tanto de origem autotrófica como heterotrófica e produtividade primária (Barnes 1980), com alta contribuição da produção regenerada que pode suportar até 69% do fósforo requerido pelos seres produtores (Machado 1989). As lagoas

costeiras são sistemas rasos, vulneráveis aos ventos comuns nas áreas litorâneas, que promovem a homogeneidade da coluna d'água (Petruccio 1998). Apesar de rasas, estratificação pode ser percebida em algumas lagoas costeiras do mundo (Bernardo *et al.* 2006) e, na Lagoa Rodrigo de Freitas (Marques 2009), podendo ser persistente quando associada à gradiente vertical de salinidade. Por estarem situados em áreas densamente habitadas na faixa litorânea, esses sistemas podem ser colocados, indiscutivelmente, entre os mais impactados pelas atividades antrópicas, destacando-se o lançamento de efluentes domésticos e industriais *in natura*, que aceleram o processo de eutrofização artificial que, em última instância resulta, muitas das vezes, em eventos de mortalidade de peixes (Willemsen 1980, Smith 1983, Esteves 2008). Lagoas costeiras neotropicais representam ambientes particularmente ameaçados em função da forte pressão da ocupação desordenada de seu entorno, tipicamente observada nos países em desenvolvimento (Esteves *et al.* 2008).

A lagoa Rodrigo de Freitas, assim como outras lagoas neotropicais, provavelmente teve sua origem associada à inundação da planície costeiras devido ao aumento do nível do mar durante a transgressão marinha do quaternário (Esteves 2008). Segundo Amador (1997) a Lagoa Rodrigo de Freitas, assim como outras formações na costa do litoral circunvizinho, se originou aproximadamente a 6.000 anos atrás, pelo desenvolvimento de cordões arenosos regressivos que terminaram por isolar essa massa de água. A laguna experimenta recorrentes ocasiões nas quais a barra se encontra assoreada, impedindo as trocas de massa d'água continental e marinha, características que influenciam fortemente o balanço hidrológico de sistemas lagunares (Esteves *et al.* 2008).

Isolada do mar pelas praias de Ipanema e Leblon, a Lagoa Rodrigo de Freitas reflete antigos problemas de saneamento, registrando mortalidades periódicas de peixes. Dentre as lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro, a Lagoa Rodrigo de Freitas atualmente pode ser enquadrada, segundo os critérios da OECD (1992) na categoria de eutrófica. O aporte constante de nutrientes neste corpo d'água contribui para a ocorrência de frequentes florações de microalgas, principalmente cianobactérias, criptofíceas e dinoflagelados. Processo similar vem sendo observado

em outras lagoas fluminenses, como por exemplos nas lagoas de Juturnaíba e Araruama (Huszar 1989, Melo & Suzuki 1998), de Guarapina (Knoppers & Moreira 1990), de Saquarema (Domingos 1991), da Barra-Complexo Maricá (Domingos *et al.* 1994), de Jacarepaguá-Complexo de Jacarepaguá (Domingos 2001, Sampaio 2008).

Não raro o fitoplâncton lagunar é representado por organismos de pequeno tamanho (Becker 2002), principalmente nanoflagelados, dinoflagelados, criptofíceas e crisofíceas (Padilha 2001), com pequena biomassa, mas alta produtividade (Barnes 1980, Domingos 1991). Florações de cianobactérias em lagoas costeiras brasileiras são eventos amplamente registrados em literatura (Konrath *et al.* 1997, Huszar & Silva 1999, Yunes 2009) e, particularmente do Estado do Rio de Janeiro, nas lagoas de Saquarema (Domingos 1991), Guarapina (Knoppers & Moreira 1990), Barra – Complexo de Maricá (Domingos *et al.* 1994), Juturnaíba (Marinho 2000), Imboassica (Melo & Suzuki 1998) e Lagoa de Jacarepaguá (Gomes *et al.* 2009, Domingos 2001). Fitoflagelados também são frequentes e abundantes (Menezes & Domingos 1994, Domingos & Menezes 1998, Alves-de-Souza *et al.* 2006).

Muitas das vezes as ocorrências de floração nestes sistemas lagunares são seguidos por repentina desoxigenação da coluna d'água, causando a morte de vários representantes da fauna aquática, particularmente de peixes (Domingos *et al.* 1994), Rodrigo de Freitas (FEEMA 2003), Sistema Lagunar de Jacarepaguá (INEA 2010), Araruama (Oliveira *et al.* 2011), o que permite associar as flutuações quantitativas e qualitativas da comunidade fitoplanctônica como descritores de tais eventos de mortalidade. Vários são os fatores que influenciam a distribuição das populações fitoplanctônicas na coluna d'água, incluindo fatores físicos e químicos (Reynolds 2006), mas também biológicos como taxas de crescimento, herbivoria (Huszar & Giani 2004). Ainda que variações na estrutura da comunidade fitoplanctônica não estejam diretamente relacionadas aos eventos de mortalidade, deve-se considerar que condições ambientais associadas aos eventos de mortalidade interferem sobre as respostas da dinâmica espaço-temporal destas populações que se caracterizam por apresentar curto tempo de geração, na ordem de horas a dias; responder rapidamente

às alterações ambientais locais; possuir ampla plasticidade fenotípica em nível de comunidade e contribuir com o fluxo de energia em sistemas aquáticos continentais (Padisák *et al.* 2003), o que lhes confere valor descritor e indicador para o ambiente.

A comunidade fitoplanctônica é a principal representante da base da cadeia trófica neste ecossistema, uma vez que macrófitas aquáticas e macroalgas são sistematicamente removidas pela COMLURB. Os bancos de macroalgas, ao incorporar e imobilizar parte dos nutrientes dissolvidos na água, poderiam exercer um papel de controlar parcialmente os eventos de florações de microalgas nesse ecossistema. Salienta-se que alguns setores da sociedade, sem a percepção da função ecológica dessas plantas, discutam sua interferência estética na paisagem da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Este trabalho buscou relacionar as possíveis causas das mortalidade de peixes registradas durante o período tratado nesse estudo às alterações identificadas na comunidade fitoplanctônica, associadas às respostas de algumas variáveis correlatas.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa Rodrigo de Freitas possui um espelho d'água de 2,2km², volume de aproximadamente 6.200.000m³, com profundidade média de 2,8m e máxima em torno de 4,0m (Tabela 1), situa-se na base da face sul da Serra da Carioca, que integra o Maciço da Tijuca. O clima dos bairros situados na base do Maciço da Tijuca é tropical chuvoso, com chuva durante todo o ano, por influência do remanescente de Mata Atlântica.

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

Lagoa Rodrigo de Freitas	
Espelho d'água (km ²)	2,2
Profundidade média (m)	2,8
Profundidade máxima (m)	4,0
Volume (m ³)	6.200.000

Com uma bacia hidrográfica de 32km² e perímetro de 7,8m, a lagoa liga-se ao mar pelo canal artificial do Jardim de Alah, com 800m de comprimento, largura entre 10 e 18 metros e cota de fundo de - 0,7m. A

dinâmica de drenagem das águas da bacia e de trocas de água do mar com a lagoa (Figura 1) é controlada por comportas, cuja operação é realizada pela Prefeitura da Cidade, através da Fundação Rio-Águas. A bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas é formada pelos rios dos Macacos, Rainha e Cabeça. Essas bacias são relativamente pequenas, possuindo trechos bem distintos. O trecho superior (alto curso) apresenta forte declividade e vegetação mais densa, o trecho mediano demonstra o começo de alterações da qualidade da água, principalmente na bacia do rio Rainha, maior e mais impactada. O trecho final (baixo curso) é bastante plano e densamente urbanizado, o que explica a frequente ocorrência de inundações, apesar da retificação observada nas três sub-bacias (Figura 1).

Cada vez mais rasa, um terço da lagoa registrava um século atrás a profundidade de 5,0m (Rio Prefeitura – Bairros cariocas – Lagoa 2011).

Segundo a classificação de Kjerfve (1986), essa lagoa se inclui na categoria de lagoa sufocada, por apresentar longo tempo de residência de água (atualmente superior a 365 dias) e pouca troca de água com o mar, o que acentua o processo de eutrofização. Apesar dos despejos clandestinos de esgoto, sobrevive nessa lagoa uma ictiofauna variada, que inclui tainha, parati, bagre dentre outras, de certa importância comercial (Andreatta *et al.* 1999, 2000 e 2001).

METODOLOGIA

As amostragens efetuadas para este trabalho se inserem no Programa de Monitoramento sistemático da Lagoa Rodrigo de Freitas que é realizado pelo INEA em seis (06) estações de amostragem (quatro no corpo d'água, uma no Canal do Piraquê e mais uma no Canal do Jardim de Alah) (Tabela 2), duas vezes por semana (Figura 2), incluindo medições no campo dos perfis verticais de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água (sonda multiparamétrica Troll 9500), bem como a transparência de Secchi, em cada um dos seis pontos de coleta.

As amostras dos perfis verticais têm medições efetuadas a cada 0,5m ao longo da coluna d'água, sendo a medida inicial em sub-superfície a uma profundidade de 0,20m. Nos diagramas de isolinhas, entretanto,

a medida superior (superfície) foi considerada como zero. As isolinhas plotadas sobre o mapa da lagoa são representativas da distribuição espacial/temporal dos parâmetros a partir da integração dos dados semanais de superfície de sete pontos de monitoramento da Lagoa (quatro no corpo principal, dois no Canal do Piraquê e mais um no Canal do Jardim de Alah). O resultado em cada mapa é representado pelas medianas dos pontos do período de estudo, sendo que os dados de OD, salinidade e temperatura foram extraídos das medições “in situ” do perfil vertical (duas vezes por semana), e para os demais a partir de coletas semanais.

Semanalmente, às segundas-feiras, são coletadas amostras de água para determinação em laboratório dos parâmetros Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo

Solúvel Reativo (PSR), Fósforo Total (PT), Nitrato (NO_3^-), Amônia (NH_4^+) e o Nitrogênio Total (NT), temperatura da água, salinidade, concentração do Oxigênio Dissolvido e a transparência da água, através do disco de Secchi. A razão entre profundidade da zona eufótica e profundidade máxima ($Z_{eu}/Z_{m\acute{a}x}$) foi estabelecida a partir do cálculo da profundidade da zona eufótica, utilizando o fator proposto por Cole (1994):

$$d.S. \times 3,0 = Z_{eu} \quad (1)$$

onde: d.S. = medida do disco de Secchi

O fitoplâncton foi avaliado semanalmente através de amostragem quantitativa com garrafa e qualitativa com rede de 20 μm de malha. As amostras

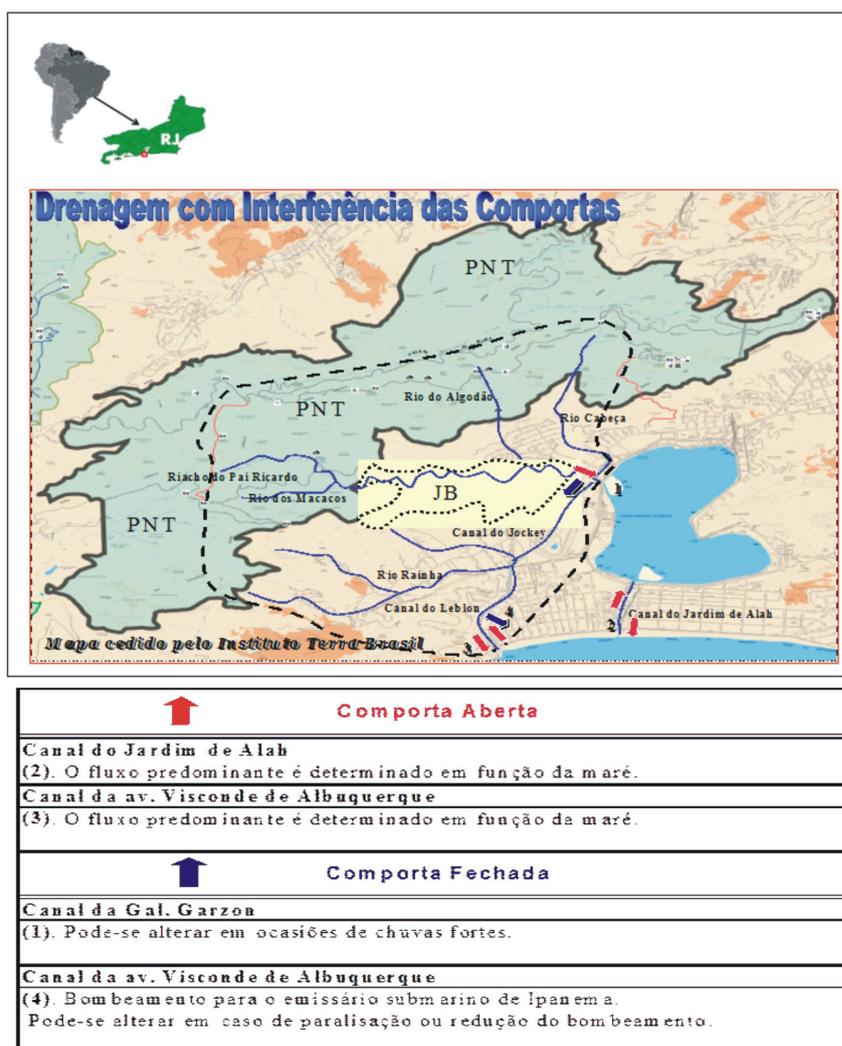


Figura 1. Sistema de rios e canais da bacia hidrográfica com as condições de escoamento predominantes nos canais, em função da Operação das Comportas – Gal. Garzon (1), Jardim de Alah (2) e Visconde de Albuquerque (3 e 4).

Figure 1. River and channels system of catchment basin with drainage conditions prevalent in the channels depending on the operation of gates – Gal. Garzon (1), Jardim de Alah (2) e Visconde de Albuquerque (3 e 4).

de fitoplâncton foram fixadas com solução de Lugol e a identificação foi feita a partir de organismos vivos e fixados, sempre que possível até o nível de espécie. O sistema de classificação seguiu Round *et al.* (1990) para diatomáceas e Hoek *et al.* (1995) para as outras divisões de algas. A quantificação seguiu o proposto por Utermöhl (1958) e foi feita em microscópio invertido Nikon Eclipse TS100. As células foram

quantificadas em campos aleatórios como proposto por Uhelinger (1964). Pelo menos cem espécimes da espécie dominante foram enumeradas (Lund *et al.* 1958) para obtenção da densidade populacional. Ressalta-se que esse monitoramento é intensificado, especialmente durante o verão e/ou frente a condições adversas. Para a avaliação das classes de tamanho seguiu-se Sieburth *et al.* (1978).

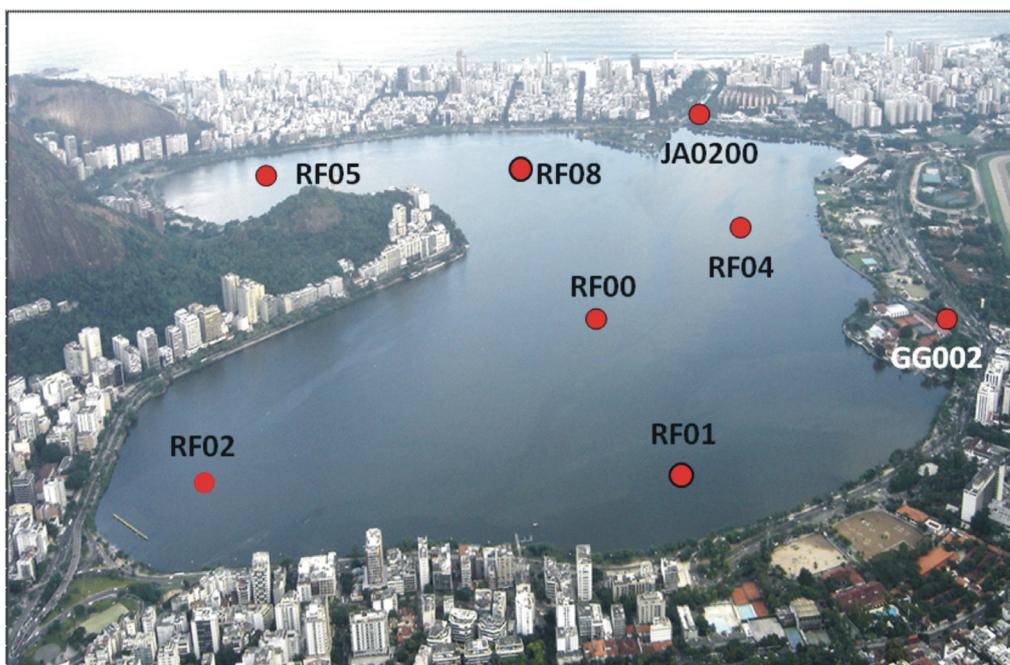


Figura 2. Localização das estações amostrais na lagoa e nos canais.

Figure 2. Sampling stations at lagoon and channels.

Tabela 2. Localização das Estações de Amostragem.

Table 2. Coordinates of sampling stations.

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

Os dados apresentados no presente trabalho referem-se a quatro estações de amostragem (RF00, RF02, RF04 e RF05), obtidos durante o período de 2000 a 2010. As quatro estações foram selecionadas por serem as que possuem dados em todo o período tratado (de fevereiro de 2000 a dezembro de 2010) (Figura 2).

Considerando o grande conjunto de dados e sua flutuação no tempo, optou-se por utilizar os valores medianos uma vez que a mediana é uma medida de localização do centro da distribuição dos dados, definida como aquela que divide o conjunto dos dados ao meio, isto é, 50% dos elementos da amostra são menores ou iguais à mediana e os outros 50% são maiores ou iguais à mediana. Como medida de localização, a mediana é mais robusta do que a média, pois não é tão sensível aos dados extremos, que são atenuados para a obtenção do resultado final (Magalhães & Lima 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelaram que o fitoplâncton funcionou como excelente descritor de condições antecedentes aos eventos de mortalidade de peixes neste ambiente aquático, sendo um dos parâmetros utilizados posteriormente para a construção de um sistema de alerta para o risco de acidentes com a ictiofauna, juntamente com outras variáveis descritoras da qualidade da água.

VARIABILIDADE LIMNOLÓGICA

Os diagramas de OD demonstraram supersaturação na superfície e hipoxia ou anoxia no fundo, na maior parte do tempo, caracterizando a demanda de oxigênio dissolvido para a mineralização/oxidação da matéria orgânica na interface água/sedimento (Figura 3). A profundidade média da lagoa é de 4,0m e a oxiclina situou-se, geralmente, entre 2,5m e 3,0m.

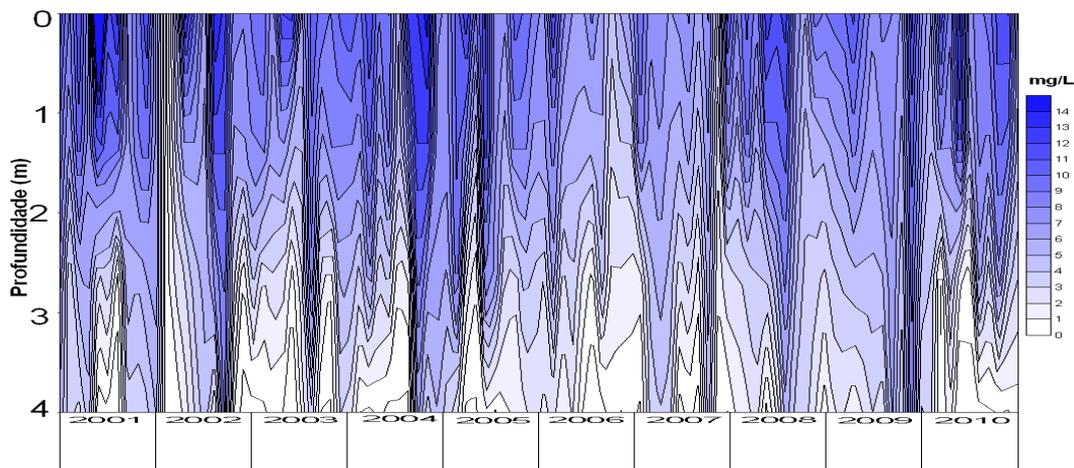


Figura 3. Perfil da distribuição de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na coluna d'água, da estação RF02.

Figure 3. Vertical distribution of dissolved oxygen (mg.L^{-1}) in RF02 station.

O aumento da salinidade nas camadas de fundo, decorrente de maior entrada de água do mar, é responsável pela estratificação predominante neste corpo de água (Figura 4). A estratificação térmica, não é prolongada, uma vez que a morfometria do local (pouca profundidade em relação à área), associada às condições térmicas subtropicais, favoreceriam um padrão de circulação diário e noturno da coluna d'água. A redução de OD nas camadas de fundo é amplamente descrito nos ambientes tropicais, associada às temperaturas elevadas (Esteves 1988).

Além disso, cabe considerar a estratificação salina que pode se instalar por alguns meses e o possível acúmulo de produtos resultantes de processos anaeróbicos de decomposição, como gás sulfeto – H_2S , que sob ação de ressuspensão do sedimento, pode provocar consumo químico do oxigênio neste ambiente. Nas camadas de fundo, os resultados variaram entre 0 e $7,5\text{mg.L}^{-1}$, sendo que na maior parte do tempo os valores se situaram abaixo de $5,0\text{mg.L}^{-1}$ (CONAMA 2005), com registros de anoxia em várias épocas do período avaliado.

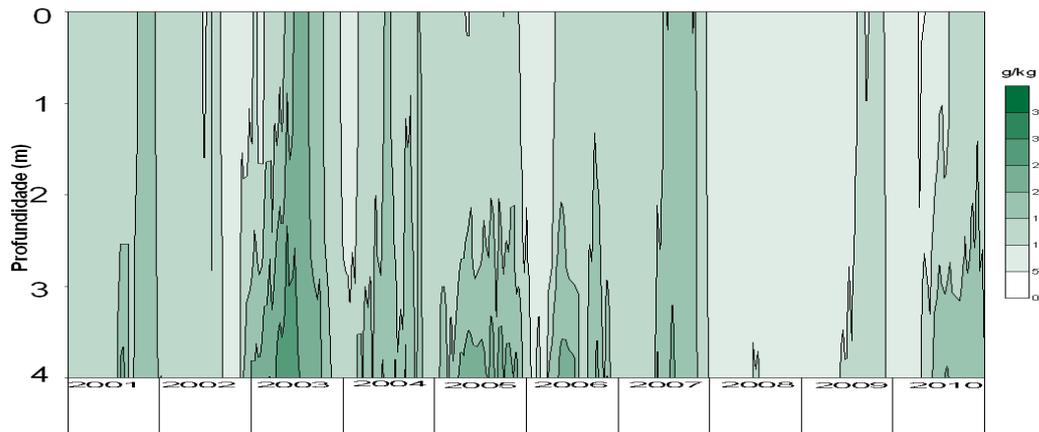


Figura 4. Perfil de salinidade ao longo da coluna d'água na estação RF02.

Figure 4. Vertical distribution of salinity in RF02 station.

De acordo com as medições realizadas no período tratado a Lagoa apresentou-se caracteristicamente salobra, mesohalina, estratificada na maior parte do tempo, com reduzido potencial de renovação de suas águas.

As variações de salinidade estão relacionadas 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 (Figura 4). O período analisado indica variação dos valores de salinidade relacionada, frequentemente, aos eventos de chuva. Os valores medianos oscilaram entre 10,0‰ e 15,0‰.

O padrão vertical de salinidade demonstrou clara relação com o regime de chuvas. Entre o final do segundo semestre e o meio do primeiro semestre seguinte (período de chuva), o perfil é predominantemente homogêneo, 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 redução da contribuição das águas da bacia de drenagem, em função da redução de pluviosidade.

Destaca-se ainda que, a partir do ano de 2006, a lagoa caracterizou-se por menor renovação das águas, em função do novo padrão de operação das comportas, implementado pela Fundação Rio Águas, o que dificulta a entrada de água do mar.

O período de 2008, de maior homogeneidade salina na coluna d'água, caracterizou-se por ter a barra do Canal do Jardim de Alah assoreada ou a

comporta fechada durante a maior parte do tempo. Cabe registrar que neste período, por um intervalo de dois meses (de agosto a outubro), houve interrupção da dragagem da barra do Canal de Jardim de Alah.

No decorrer do período estudado, diferentes sistemas de operação de comportas foram sucedidos, entretanto, permanece uma irregularidade nas trocas de água com o mar, ainda insuficiente para promover uma oxidação eficiente da camada de fundo.

Nesse aspecto, a entrada de água do mar na Lagoa Rodrigo de Freitas termina sendo pouco significativa, não só em virtude da estreita largura do Canal de Jardim de Alah e do assoreamento do canal, mas também pelo nível da lagoa, mais elevado que o mar. As exceções são as ocasiões em que as marés astronômicas coincidem com grandes amplitudes meteorológicas e o canal encontra-se desassoreado.

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 23°C.

Observou-se uma variação direta e inversamente proporcional entre salinidade e temperatura, sendo possível associar-se as maiores salinidades com as menores temperaturas e vice-versa.

A transparência da água 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 de água, segundo critérios adotados pela OECD (1992) e

Nürnberg (1996). Segundo Nürnberg (1996) sistemas com baixa transparência (até 1m), como verificado na Lagoa Rodrigo de Freitas, caracterizam o estado hipertrófico. Entretanto, utilizando-se os critérios da OECD (1992) este corpo de água enquadra-se como eutrófico, evidenciando caráter menos restritivo deste último sistema mais utilizado em geral nos ambientes continentais, enquanto o primeiro é mais usado em ambientes marinhos/costeiros.

Verificou-se pouca diferença entre as estações de amostragem com relação à transparência. Em geral, a avaliação dos resultados do disco de Secchi demonstrou valores sempre superiores a 0,4m, com a mediana se situando na faixa de 0,5m a 0,6m. O valor extremo atingiu 1,4m, considerado elevado, quando comparado a outras lagoas fluminenses, como as de Jacarepaguá. Utilizando o valor proposto por Cole (1994) para avaliação da zona eufótica, conclui-se que, na maior parte do tempo, houve indisponibilidade da luminosidade para a fotossíntese nas camadas mais profundas.

COMPOSIÇÃO ESPACIAL

Os canais da bacia de drenagem e de Jardim de Alah contribuem com maior concentração de nutrientes como Nitrogênio Amoniacal Solúvel (Figura 6) e Fósforo Total (Figura 5). A distribuição espacial demonstrou um padrão indicativo de lançamentos domésticos a partir dos canais do Piraquê e Jardim de Alah. A influência dos dois canais é marcante no padrão espacial verificado neste ambiente, elevando também os teores de DBO e Nitrato (INEA 2010).

Em geral verifica-se gradiente da margem leste e em relação oeste, decrescente. A margem oeste caracteriza-se pela maior influência continental, com o deságue dos rios dos Macacos e Cabeça. Efeito de diluição pela influência do fluxo das águas continentais foi observado nos resultados de OD, Salinidade e Temperatura, cujas maiores concentrações se situaram entre o centro da Lagoa e a área leste. O Nitrogênio Total revelou concentrações mais elevadas em duas áreas bem definidas, ao Norte e à Leste, áreas de menor circulação de água, enquanto que os Coliformes Termotolerantes, revelaram os valores mais elevados na área próxima ao Canal do Jardim de Alah (INEA 2010).



Figura 5. Isolinhas das medianas de Fósforo Total (mg.L^{-1}) do período de 2000 a 2010.

Figure 5. Isolines of Total Phosphorous median (mg.L^{-1}) in the period of 2000 to 2010.



Figura 6. Isolinhas das medianas de Amônia (mg.L^{-1}) do período de 2000 a 2010.

Figure 6. Isolines of Ammonium median (mg.L^{-1}) in the period of 2000 to 2010.

COMUNIDADES BIOLÓGICAS

Comunidade Fitoplanctônica

1. Densidade

Os valores medianos do fitoplâncton total do período de 2000 a 2010 são apresentados para cada estação amostral (Tabela 3). Os resultados representam um montante médio de 500 dados de cada estação amostrada. Os valores estiveram entre $0,01 \times 10^4$ ind./mL (RF 02) em 05/06/06 e $505,1 \times 10^4$ ind./mL (RF04) em 02/02/09 ao longo do período tratado. Os valores, em geral, são considerados de

baixos a medianos, quando comparados a outras lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro, sob impacto urbano (Domingos 1991, 2001, Domingos *et al.* 1994).

Tabela 3. Valores mínimos (min), máximos (max) e medianos (med) de densidade total (ind. $\times 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$) a cada ano em 4 estações de amostragem.
Table 3. Minimum (min), maximum (max) and medians (med) of total density (ind. $\times 10^4 \cdot \text{ml}^{-1}$) in each year of 4 sample station).

	RF00			RF02			RF04			RF05		
	min	med	max									
2000	0,2	2,68	27,7	0,1	2,32	21,2	0,2	2,59	26,4	0,3	2,96	25,9
2001	1,7	8,51	75,7	1,4	10,08	113,4	1,1	10,99	68,0	0,7	9,48	47,2
2002	2,0	9,41	83,8	1,8	9,18	57,8	1,2	9,92	95,5	1,3	9,11	59,3
2003	0,5	20,10	167,4	0,2	8,84	131,5	0,4	9,56	139,7	0,3	17,66	186,1
2004	2,0	11,99	71,6	1,5	10,02	52,6	1,3	9,92	64,9	1,3	10,79	36,4
2005	1,2	15,68	62,4	1,5	16,95	63,0	1,8	14,87	89,0	1,8	13,40	89,0
2006	4,6	15,21	121,1	3,4	16,35	113,0	4,9	16,68	63,0	4,5	15,08	89,7
2007	1,6	12,65	73,0	2,3	14,52	50,1	1,4	11,32	39,1	1,1	12,76	31,3
2008	0,5	24,36	131,1	1,9	24,99	125,2	2,1	23,69	163,0	1,9	22,98	156,4
2009	1,1	20,23	46,5	1,5	21,64	47,3	1,2	20,03	44,2	0,8	19,70	41,7
2010	2,0	14,3	49,0	2,1	13,4	53,1	1,5	13,3	45,2	2,7	14,6	47,8

Os valores de densidade mediana observados ao longo do período de 2000 a 2010 revelam importante flutuação (Figura 7), tipicamente observadas na comunidade fitoplanctônica de ambientes tropicais eutróficos. Elevada densidade do fitoplâncton é esperada em ambientes sob influência de despejos domésticos

e processo de eutrofização. A concentração mediana máxima de PT foi observada em 2008 ($0,16 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), quando comparada à média dos 10 anos de estudo ($0,075 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e os teores de amônia foram elevados em 2008 e 2009 ($0,043 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), quando comparados com a média do período ($0,032 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (INEA 2010).

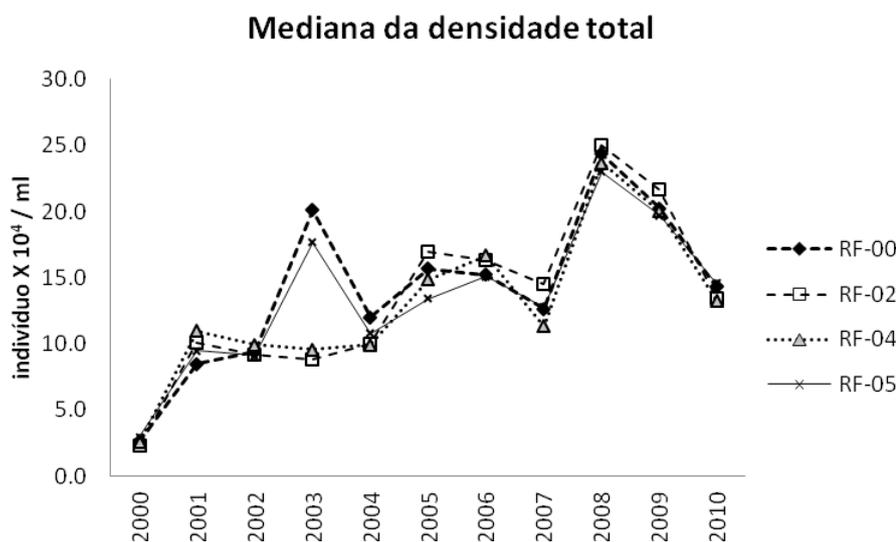


Figura 7. Mediana das densidades totais do fitoplâncton a cada ano de estudo.
Figure 7. Total density medians of phytoplankton in each year of study.

Os valores medianos de densidade foram, na maior parte do tempo, semelhantes nos 4 pontos monitorados a cada ano, com exceção do ano de 2003, quando RF00 e RF05 revelaram valores mais elevados em relação aos demais. Neste ano,

a mediana máxima foi observada na estação RF-00, enquanto que a densidade máxima do ano foi registrada na RF-05. O verão do ano de 2003 foi marcado por extensiva mortandade de peixes, tendo sido também registrada a inauguração das obras da

Galeria de Cintura no entorno da lagoa, que passou a controlar parcialmente os lançamentos domésticos em tempo seco. A evolução dos valores medianos no período tratado aponta para aumento na densidade fitoplanctônica (Figura 7), em particular nos anos de 2008 e 2009.

De forma geral a densidade total do fitoplâncton neste ambiente caracteriza-se por ampla oscilação de valores. Eventos repentinos como chuvas, após o que pode se verificar rápido declínio do fitoplâncton, ou os ventos que as precedem, causando ressuspensão, ou uma sequência de alguns dias com forte insolação, interferem nos resultados quantitativos e qualitativos desta comunidade (Lewis 1986). As chuvas nos ambientes tropicais podem alcançar volume considerável, sobretudo no verão. Sua ocorrência pode vir acompanhada de turbidez da água, provocada por aporte de resultante do escoamento horizontal “run off” (Esteves e Furtado 2011).

Em ambientes eutrofizados a dinâmica das comunidades fitoplanctônicas está sujeita a eventos abruptos e imprevisíveis que podem trazer crescimento ou declínio da densidade de várias ordens de grandeza (Alvarez Cobelas & Jacobsen 1992, Smayda 1996), principalmente nos trópicos (Lewis 1986).

II. Composição Taxonômica

Foram identificados 114 taxons, representados por diferentes grupos taxonômicos, sendo 44 Bacillariophyceae, 25 Cyanobacteria, 19

Chlorophyceae, 12 Dinophyceae, 6 Cryptophyceae, 3 Prasinophyceae, 3 Euglenophyceae, 1 Chrysophyceae, e 1 Prymnesiophyceae durante o estudo, que serão chamados de diatomácea, cianobactéria, cloroficea, dinoflagelado, criptoficea, prasinoficea, euglenoficea, crisoficea e prymnesioficea, respectivamente. A maior parte do período estudado apresentou maior contribuição de cianobactéria cuja densidade relativa (percentual) mediana no período foi de 56,6% (Figura 8), enquanto que a de diatomáceas foi de 0,7% e a de flagelados foi de 36%.

A ampla dominância no fitoplâncton é de espécies nanoplânctônicas (<20µm), o que vem sendo observado, não apenas em lagunas do Estado do Rio de Janeiro e do Brasil (Becker 2002), como também tem tido registro em lagunas de outras partes do mundo (Barnes 1980, Comín 1984).

O percentual de cianobactérias teve um máximo no ano de 2003 (99,46 em 14/07) (Figura 8), a partir de quando os valores tiveram ligeira redução. Resultado semelhante também é observado quando se analisa a densidade absoluta de cianobactéria (Figura 9).

Observa-se uma semelhança entre os diferentes pontos amostrados na lagoa e, embora esteja representado o referente ao ponto RF 00, os demais comportaram-se de forma semelhante. A partir de 2008 a contribuição de cianobactérias demonstrou redução dos valores percentuais, na medida em que outros grupos tornaram-se mais representativos, principalmente criptoficea que atingiu o valor mediano de contribuição de até 51% (Figura 9).

Contribuição relativa - RF00

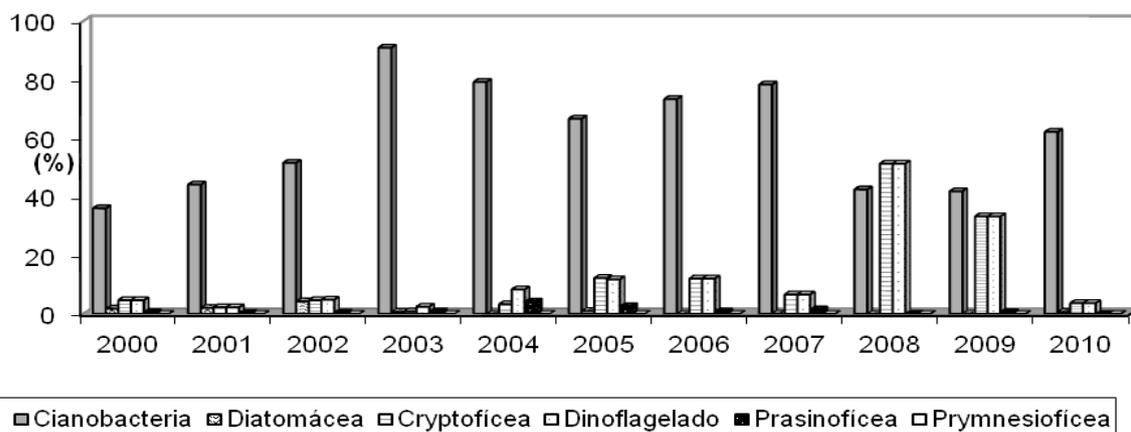


Figura 8. Densidade relativa percentual dos principais grupos taxonômicos na estação RF00, durante o período de estudo.

Figure 8. Percentual relative density of main taxonomic groups in RF00 station during the period of study.

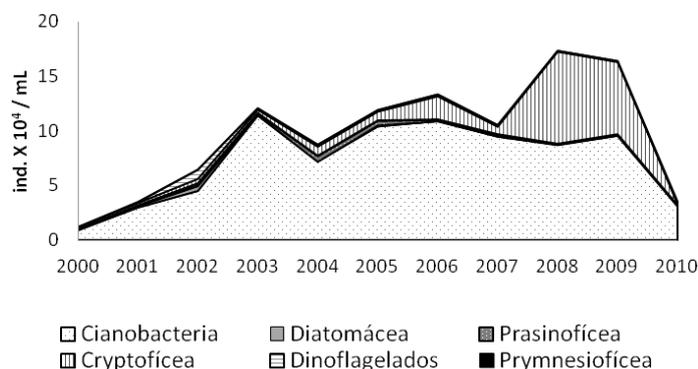


Figura 9. Medianas da densidade dos principais grupos taxonômicos no período estudado. Valores empilhados.

Figure 9. Median of main taxonomic groups density in the period of the study. The values are stacked.

Ecologia do Fitoplâncton

A dominância de cianobactéria em ambientes eutróficos é amplamente citada em literatura (Dokulil & Teubne 2000, Huszar *et al.* 2000) e, frequentemente observada nas lagoas fluminenses sob impacto urbano (Tabelas 4 e 5). Lagoas urbanas fluminenses, inseridas na conceituação de Esteves *et al.* (2008) de Lagoas Costeiras Neotropicais (LCN), revelam estado de eutrofização de médio a criticamente avançado. Nesta categoria se inserem

diferentes lagoas fluminenses, cujas concentrações de nutrientes biogênicos (Tabela 5) e a densidade fitoplanctônica (Tabela 4) demonstram uma condição ainda mais grave do que a verificada atualmente na Lagoa Rodrigo de Freitas. Em todas estas lagoas consideradas, cianobactérias foram o grupo dominante, indicando uma substituição gradual da ficoflórula nestes ambientes costeiros ao longo do tempo, gerando, frequentemente uma redução da contribuição de outros grupos, principalmente diatomáceas.

Tabela 4. Média da densidade total e das contribuições % de alguns grupos do fitoplâncton em diferentes lagoas fluminenses, incluindo a mediana (*) dos mesmos grupos na Lagoa Rodrigo de Freitas, durante o período de 2000 a 2010.

Table 4. Average of total density and percentual contribution of some phytoplankton groups in diferents lagoons of Rio de Janeiro state, with median of these groups in Rodrigo de Freitas lagoon during the period of 2000 to 2010.

	Indivíduos X 10 ⁴ / ml	% Cianobactéria	% Diatomáceas	% Fitoflagelados	Fonte
Lagoa Rodrigo de Freitas	18	56,6	0,7	42	INEA 2010
Lagoa de Saquarema	107	80	1	20	Domingos 1991
Lagoa de Jacarepaguá		75	8	7	Domingos 2001
Lagoa da Barra (Maricá)	73	65	5	20	Domingos <i>et al.</i> 1994
Lagoa Rodrigo de Freitas *	13	56,6	0,7	37	

As médias e medianas reúnem os dados das 4 estações de amostragem de todo o período tratado.

Tabela 5. Média de algumas variáveis abióticas de três lagoas fluminenses, a saber: disco de Secchi (d.S.), salinidade (S); nitrato (NO₃⁻); amônia (NH₄⁺); fósforo solúvel reativo (PSR); fósforo total (PT); nitrogênio total (NT); nitrogênio inorgânico dissolvido (NID).

Table 5. Average of some abiotic variables of three lagoons of Rio de Janeiro state: Secchi disk (S.d.). Salinity (S), Nitrate (NO₃⁻); Ammonium (NH₄⁺); Soluble Reactive Phosphorus (SRP); Total Phosphorous (TP); Total Nitrogen (TN); Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN).

	Lagoa de Saquarema	Lagoa de Maricá	Complexo lagunar de Jacarepaguá
d.S. (m)	0,4		0,5
salinidade (S)	9,1	4,0	5,0
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,03	0,04	0,06
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	0,03	0,09	0,25
PSR (mg.L ⁻¹)	0,04	0,04	0,14
PT (mg.L ⁻¹)		0,39	—
NT (mg.L ⁻¹)		1,79	—
NID (mg.L ⁻¹)		0,08	0,31

Comparando-se as contribuições percentuais de cianobactérias (valores medianos anuais), 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 cianobactéria e aumento da importância relativa de fitoflagelados, principalmente criptofíceas e dinoflagelados. O ano de 2009 caracterizou-se por ausência de dominância, com importância relativa de cianobactérias e de fitoflagelados semelhantes. 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. No ano de 2010 verificou-se um aumento da contribuição de cianobactérias, que voltaram a ser dominantes, acompanhado de redução relativa de flagelados.

Contribuição relativa de cianobactérias foi semelhante nos anos de 2006 e 2007. O crescimento relativo de fitoflagelados em 2008 coincidiu com maior desenvolvimento quantitativo da comunidade fitoplanctônica. A ligeira elevação de amônia e fósforo total em 2008 pode ter favorecido o crescimento do fitoplâncton, particularmente de fitoflagelados, enquanto que o aumento da contribuição relativa de cianobactérias em 2009 coincidiu com um período de elevação de vários parâmetros indicadores de maior carga orgânica e de nutrientes em geral no corpo d'água.

A dominância de cianobactérias é característica de quase todo o ano, sendo que em geral, o verão foi o período de maior representatividade desse grupo, de acordo com o observado ao longo dos anos de monitoramento. A constância das condições ambientais verificadas em ambientes aquáticos tropicais, em função da ausência de sazonalidade, contribuem para longos períodos de dominância de cianobactérias (Huszar *et al.* 2000). Condição oposta foi observada em 2010, ano de mortalidade com o surgimento de nova espécie neste ecossistema.

Dentre as principais causas apontadas na literatura para o sucesso de cianobactérias podemos apontar alta concentração de amônia, principalmente para espécies que não fixam o nitrogênio molecular (Blomqvist *et al.* 1994), alto pH/baixo CO_2 (Shapiro 1997, Caraco & Miller 1998), característico de ambientes muito produtivos, baixas razões nitrogênio/fósforo (Smith 1983) e baixas intensidades luminosas (Smith 1986).

Valores da razão nitrogênio inorgânico dissolvido/fósforo solúvel reativo (DIN/PSR) abaixo de dez são condições nas quais pode-se prever a ocorrência da dominância de cianobactéria (Havens *et al.* 2003).

Durante o período de 2000 a 2010, as medianas de Fósforo Dissolvido (PSR – Fósforo Solúvel Reativo) e de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (DIN, que corresponde ao somatório das concentrações de Amônia, Nitrito e Nitrato) estiveram quase sempre abaixo de 10 (Figura 10).

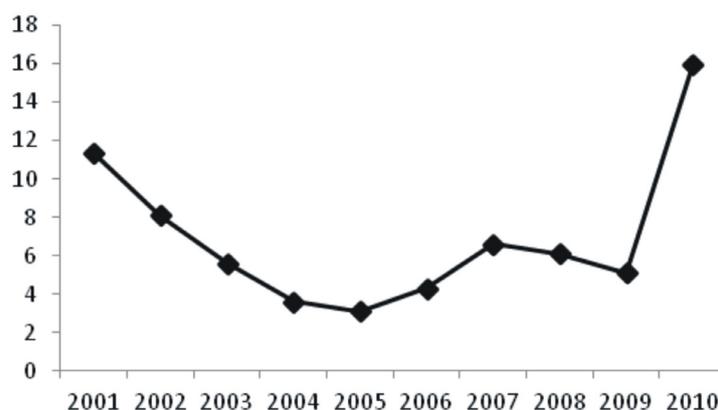


Figura 10. Razão DIN/PSR. Abaixo de dez pode-se prever a ocorrência da dominância de cianobactéria (Havens *et al.*, 2003).

Figure 10. NID/SRP ratio. Cyanobacterial dominance is predicted with NID/SRP ratio below 10 (Havens *et al.* 2003).

A dominância de cianobactérias teve maior expressão nos anos de menor razão DIN/PSR (Figura 11), que correspondem aos anos de 2003 a 2007, entretanto, a esperada inibição do crescimento de

cianobactérias em concentrações de NO_3^- acima de 20g.L^{-1} (Blomqvist *et al.* 1994) e já observada em outras lagoas fluminenses (Domingos 2001) não foi constatada nesse corpo d'água.

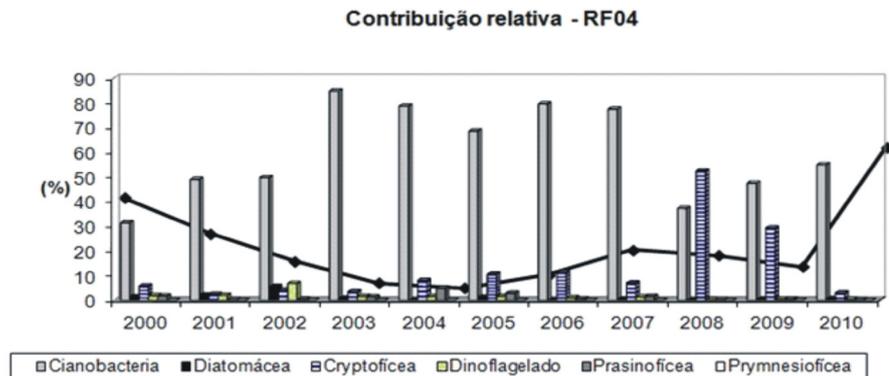


Figura 11. Medianas da contribuição relativa de cianobactéria (%) na estação RF 04 em relação aos valores da razão DIN/PSR.
Figure 11. Medians of cyanobacteria relative contribution (%) in RF04 station in relation to NID/SRP ratio.

Na Lagoa Rodrigo de Freitas foi observada correlação direta ($r= 0,23$; $p < 0,05$) (Tabela 6) entre cianobactéria e temperatura.

Tabela 6. Resultado da análise de correlação entre variáveis abióticas e bióticas no período de 2000 a 2010 ($N= 1180$), considerando todas as estações de amostragens.

Table 6. Correlation analyse of abiotic and biotic variables at the period of 2000 to 2010 ($N=1180$), with all stations sample.

São significantes a $p < 0,05$ N=1180	NT	SALINIDADE (G/1000 G)	Zeu/Zmax	Cianobactérias	Criptofíceas	Dinoflagelados	<i>Synechocystis</i> sp	<i>P. minimum</i>
PROF.(m)	0,17	-0,11	-0,38		0,14			
TEMP. Agua(C)		-0,26		*0,23	-0,12		0,22	
NT		*-0,24	-0,10		0,17			
OD (mg.L ⁻¹)						0,27		*0,32
FOSFORO TOTAL(mg P/L)		-0,13	-0,19			*0,26		*0,26
SALINIDADE(G/1000 G)	-0,24		0,18	-0,11	*-0,36	-0,06	-0,15	-0,11
Zeu/Zmax	-0,10	0,18		-0,17	*-0,20	-0,13	-0,14	-0,12
<i>Pseudoanabaena limnetica</i>	-0,10	0,14		0,25				-0,15

(*) correlações significantes

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 é um fator que limita ou controla seu crescimento, como revelado pela correlação inversa entre densidade de *S. aquatilis* e a salinidade ($r=-0,15$; $p < 0,05$) (Tabela 6). Neste sistema demonstram eficiência para obter energia luminosa sob condições de baixa transparência da água, comum em ambientes raros, além de provavelmente possuírem certo grau

de heterotrofia, como já registrado em literatura. Muitas cianobactérias são capazes de crescimento heterotrófico facultativo (Bold & Wayne 1985), utilizando-se de matéria orgânica dissolvida (MOD) diretamente por absorção (Moore *et al.* 2002, Zubkov *et al.* 2003), principalmente as de organização filamentosa (Flores & Wold 1985).

Os fitoflagelados da Lagoa Rodrigo de Freitas (prasinofíceas, crisofíceas, dinoflagelados e criptofíceas) são caracteristicamente frequentes e abundantes em lagoas costeiras (Caljon 1983, Comín 1984). O favorecimento ao desenvolvimento de

flagelados, provavelmente se dá em função do aumento 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 alguns anos, condições nas quais a maior variabilidade do fosfato dissolvido e fósforo total coincidiram com a redução da contribuição percentual de cianobactérias e aumento da densidade relativa de dinoflagelados, diatomáceas e outros flagelados. Dinoflagelados, particularmente *Prorocentrum cordatum* (ex-*Prorocentrum minimum*) demonstraram correlação positiva com PT ($r=0,26$; $p<0,05$) (Tabela 6) 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 de água na instalação das populações flageladas.

As Criptofíceas, geralmente frequentes em ambientes sob impacto orgânico, estiveram associados com Nitrogênio Total ($r=0,17$; $p<0,05$) (Tabela 7) sobretudo com elevados teores de amônia, comportando-se, nesse ambiente, como indicadores de alta oferta de N, e geralmente de condições adversas para o maior crescimento de cianobactéria. Cabe salientar que diversas ocasiões nas quais se verificaram mais de 20% de abundância relativa de criptofíceas coincidiram com ausência de cianobactérias, revelando a importância desse grupo como indicador de baixa densidade de cianobactérias nesse ambiente. Criptofíceas demonstraram ainda correlação inversa com salinidade ($r=-0,36$; $p<0,05$) (Tabela 6) e $Z_{eu}/Z_{máx}$ ($r=-0,20$; $p<0,05$) (Tabela 6). A correlação inversa com transparência é mais um indicador da estratégia mixotrófica dominante entre flagelados em ambientes eutróficos.

Diatomáceas não foram significativamente correlacionadas com a transparência da água ($Z_{eu}/Z_{máx}$) nem com a salinidade. Esses resultados demonstraram a importância da sedimentação para esses organismos como fator de efeito negativo, por causar sua retirada da camada de zona eufótica. Ao mesmo tempo a correlação positiva com salinidade

demonstra a influência das intrusões marinhas como origem de novo aporte das populações desse grupo.

Clorofíceas, mais especificamente clorococcales (formas cocóides), são típicos de ambientes eutróficos e hipereutróficos, sendo considerado o mais diverso grupo do fitoplâncton hipereutrótico (Alvarez Cobelas & Jacobsen 1992). Elevado teor de nutrientes essenciais é uma condição favorável ao desenvolvimento de clorofíceas, desde que haja boas condições de luz (Happpy-Wood 1988). Cabe ainda considerar que os resultados esperados, de acordo com a literatura, ou seja, maior crescimento de células eucariontes em meios enriquecidos por nitrato (Jensen *et al.* 1994), bem como o maior desenvolvimento de cianobactérias em épocas de alta concentração de amônia (Blomqvist *et al.* 1994) não foi verificado durante o período tratado.

MORTANDADE DE PEIXES

Os eventos de mortandade de peixes ocorridos no período monitorado contribuem para buscar identificar condições ambientais que podem definir condutas preventivas de manejo ou de intervenção na Lagoa Rodrigo de Freitas, no sentido de evitar tais acidentes.

Eventos de mortandade maciça de peixes em lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro são citados em literatura com alguma frequência (Oliveira *et al.* 1957, FEEMA 1993, Azevedo & Carmouze 1994). O trabalho de Oliveira *et al.* (1957) relata um evento ocorrido na Lagoa Rodrigo de Freitas, que teve como causa direta a redução da disponibilidade de OD.

Na Lagoa Rodrigo de Freitas há registros de mortandade de peixes desde 1844 (FEEMA 1993). Durante o período estudado foram registrados, comprovadamente, 6 eventos de mortandade maciça de peixes (Tabela 7).

Os anos de 2004 e 2007 registraram pequeno incidente, atingindo unicamente savelhas com expressão localizada e pouco significativa quantitativamente. O acompanhamento semanal da comunidade fitoplanctônica permitiu evidenciar dois padrões de respostas na composição qualitativa, um associado à pluviosidade e outro a ocasiões de ausência de chuvas. Ocasões de chuvas representam

mudanças ambientais que são acompanhadas de alterações nos padrões de ventos, temperatura, ressuspensão do sedimento, insolação, etc.

As ocasiões de mortandade, com ausência de chuvas relevantes estiveram relacionadas à dominância de *Synechocystis aquatilis* f. *salina* (cianobactéria). Foram ocasiões de verão com ampla dominância (+90%) dessa espécie, tendo registro de mortandades em 5 e 6 de março de 2000 e de 20 a 24/02/2001 (Tabela 8).

Nos eventos acompanhados de pluviosidade intensa observou-se um padrão diferente. Nessas ocasiões havia dominância de *Pseudanabaena*

limnetica (cianobactéria) que, em consequência das chuvas, sofreu drástica diminuição, o que foi demonstrado pela correlação inversa ($r = -0,24$; $p < 0,05$) nos dados do período de 2000 a 2002 entre pluviosidade e a densidade desse organismo (FEEMA 2003). Com o declínio de *Pseudanabaena limnetica*, a dominância foi substituída por *Prorocentrum cordatum* (dinoflagelado). Esse padrão na composição qualitativa da comunidade fitoplanctônica foi observado nas mortandades de 11/01/01 e de 09/02/02. As mortandades ocorreram de 4 a 2 dias após a floração de *Prorocentrum cordatum*.

Tabela 7. Eventos de mortandade de peixes durante o período estudado.

Table 7. Fish mortality events during the studied period.

Data	Observações
04 a 08/01/2000	associado a fortes chuvas em 03/01 (54,8mm)
05/02/2000	sem chuvas fortes
05 e 06/03/2000	Sem chuvas. 100 toneladas de peixes mortos
11 e 12/01/2001	associado à máxima mensal no dia 10/01 (35,6mm)
20 a 24/02/2001	Sem chuvas - 3 toneladas de peixes mortos
09/02/2002	associado a fortes chuvas em 02 e 03/02 (72,6mm) - 100t
26/02/2010	Chuvas de 42,6mm em 25/02 - 86t

Tabela 8. Padrões da composição qualitativa do fitoplâncton por ocasião dos eventos de mortandade de peixes nos anos do estudo. Em algumas das ocasiões de acidentes não dispomos dos dados completos.

Table 8. Pattern of qualitative phytoplankton composition at the fish mortality events in the years of study. In some of the occasions of accidents do not have the full data.

Data	Observações
04 a 08/01/2000	Não dispomos de dados biológicos
05/02/2000	Não dispomos de dados biológicos
05 e 06/03/2000	Dominância de <i>Synechocystis aquatilis</i> f. <i>salina</i> (+ de 80%)
11 e 12/01/2001	Dominância de <i>Pseudanabaena limnetica</i> (+ de 80%), seguida por <i>Prorocentrum cordatum</i> (ex <i>P. minimum</i>)
20 a 24/02/2001	Dominância de <i>Synechocystis aquatilis</i> f. <i>salina</i>
09/02/2002	Dominância de <i>Pseudanabaena limnetica</i> (+ de 80%), seguida por <i>Prorocentrum cordatum</i> (ex <i>P. minimum</i>)
26/02/2010	Dominância de <i>Chrysocromulina</i> sp.

Os períodos de verão com mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas, associados à dominância de *Synechocystis aquatilis* f. *salina* caracterizaram-se por situações de baixa razão N/P, principalmente no ano de 2000, quando essa razão no esteve entre 4,8 (RF02) e 1,9 (RF05) (FEEMA 2003). Provavelmente essa baixa razão provocou mudanças na população, cuja dominância era superior a 90%, causando sua

senescência, com conseqüente redução de oxigênio, como resultado da respiração da matéria orgânica. Cabe ainda salientar que os frequentes eventos de florações observados nessa lagoa conferem uma fragilidade ao ecossistema, na medida em que uma função trófica essencial para o ecossistema, a de produção primária e a atividade de produção de oxigênio ficam restritas a uma ou duas espécies

apenas, ou seja, alterações que afetem essas poucas espécies, de fato poderão afetar a todo o ecossistema.

Dominância de *Synechocystis aquatilis* f. *salina* associada a evento de mortandade de peixes já foi registrada em um estudo realizado na Lagoa da Barra, do Complexo Lagunar de Maricá. Naquela ocasião a senescência da então população dominante de *Synechocystis aquatilis* f. *salina* esteve associada à carência do meio em nitrogênio (baixa razão N/P) (Domingos *et al.* 1994). Testes realizados com o fitoplâncton da Lagoa da Barra comprovaram a produção de microcistinas (heptapeptídeo hepatotóxico) por *S. aquatilis* (Azevedo & Carmouze 1994).

Exames com as savelhas (*Brevoortia tyrannus*), principal organismo morto naquela época, levaram os pesquisadores a concluir que provavelmente os peixes foram intoxicados pela ingestão de *Synechocystis aquatilis* f. *salina*, cuja toxina possui efeitos hemolíticos (Azevedo & Carmouze 1994).

A floração de *Prorocentrum cordatum* após ocorrência de chuvas sugere que esse fenômeno foi associado à ressuspensão de sedimento, resultando no recrutamento de cistos dessa espécie. Cabe salientar a correlação inversa, embora fraca, entre Z_{eu}/Z_{max} e *P. cordatum* ($r = -0,12$; $p < 0,05$).

Geralmente dinoflagelados formam cistos de dormência no ciclo reprodutivo (hipnozigoto), assim como formam cistos temporários de resistência devido à condições externas desfavoráveis (Lee 1980). Muitas espécies tóxicas de dinoflagelados têm tido seus cistos e ciclos reprodutivos bastante estudados, uma vez que muitos aspectos de localização, duração e formação de florações tóxicas estão associados ao encistamento e posterior eclosão desses cistos (Lee & Matsouka 1996).

O desenvolvimento de florações (maré vermelha) em estuários envolvendo *P. cordatum* (*ex P. minimum*) é conhecido no Japão, causando envenenamento, resultante de consumo de moluscos (Nakajima 1968). Florações anuais de *P. cordatum* também foram registradas em Chesapeake Bay (EUA), associados a fatores climáticos e de circulação da coluna d'água (Tyler & Seliger 1978).

É provável que a eclosão de cistos de *P. cordatum* na Lagoa Rodrigo de Freitas, causando florações após eventos de chuvas fortes, seja uma das causas de mortandade de peixes, uma vez que a ampla flexibilidade trófica dos fitoflagelados lhes permite

a incorporação direta da matéria orgânica por outras vias biossintéticas, que não a fotossíntese. Ou seja, sua densidade pode crescer sem liberar oxigênio, entretanto a atividade de respiração, assim como a decomposição da matéria orgânica que foi produzida continua gerando seu consumo.

O crescimento desses organismos pode se dar de forma rápida. A taxa máxima de crescimento de duas cepas de *P. cordatum* (*ex-Prorocentrum minimum*), encontrada por Smayda (1996), foi $2,84.d^{-1}$ e $3,84.d^{-1}$, bem foi maior do que é geralmente citado na literatura (tempo de desdobraimento de 36h), segundo o autor.

Estudos com o sedimento da lagoa, para identificação de cistos de *P. cordatum* resultaram negativos. Entretanto floração dessa espécie esteve associada à mortandade de peixes em diferentes ambientes (Brownlee *et al.* 2005, Tango *et al.* 2005) e demonstra expansão em termos mundiais (Heil *et al.* 2005). Os estudos desses autores revelam que a floração de *P. cordatum* (*ex- Prorocentrum minimum*) (“Mahogany tides” como é chamado na região de Chesapeake Bay, EUA) promove um aumento de matéria orgânica dissolvida na água. Esse aumento é consequência da intensa produção de exudatos extracelulares. Atribui-se o excesso de matéria orgânica dissolvida ao desenvolvimento de bactérias que, pela decomposição da matéria orgânica dissolvida (MOD) causam redução do oxigênio dissolvido na água, levando à hipoxia e anoxia do meio. O evento tem ocorrência alguns dias após o desenvolvimento da floração. Processo semelhante parece explicar os eventos de mortandade de peixes na lagoa Rodrigo de Freitas, associado à floração de *P. cordatum*.

As ocorrências de mortandade de peixes encontram-se detalhadas abaixo:

Janeiro/ 2000 – dos dias 4 a 11.

Fortes chuvas em 03/01 (54,8mm).

Ainda não estava instalado o monitoramento sistemático semanal. Dispõem-se de alguns dados de perfil e do fitoplâncton.

Fevereiro/2000 – dia 5.

Mortandade sem chuvas.

Não se dispõem de dados do fitoplâncton

Razão N/P (por peso) de 14/2 foi de 9,6 (média das 4 estações).

Março/2000 – dias 5 e 6.

Mortandade sem chuvas

Baixa razão N/P (por peso) de 2,1 (média) pode ter provocado senescência da população dominante.

Dominância de *Synechocystis aquatilis* f. *salina* (cianobactéria).

Janeiro/2001 – 11 a 12 e 17.

Chuvas (35,6 mm em 10/01).

Queda gradual de *Pseudoanabaena limnetica* desde 28/12/00; em dois dias (9 para 11) floração de *Prorocentrum* cf. *minimum*, depois *Thalassiosira* (diatomácea).

Fevereiro /2001 – dias 20 a 24.

Mortandade sem chuvas.

Último registro de pluviosidade em 12/02.

Dominância de *Synechocystis aquatilis*.

Fevereiro/2002 – dia 9.

Fortes chuvas (72,6mm em 2 e 3/2).

Diminuição de *Pseudoanabaena limnetica* e floração de *Prorocentrum cordatum* em 04/02.

No pós-mortandade (14/2) surge *Chaetoceros* (diatomácea).

Fevereiro/2010 – 26

Chuvas (42,6mm em 25/2)

Dominância de *Chrysocromulina* sp.

Associado a produção de ictiotoxinas

Apesar dos dois organismos envolvidos nos eventos de mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas, durante o período tratado, possuem registro de produção de substâncias tóxicas, segundo a literatura, cabe salientar que até 2010, em todas as ocasiões de mortandade de peixes observou-se anoxia da coluna d'água como causa mais direta da morte da ictiofauna. Entretanto o evento de 2010 demonstrou um padrão distinto, com níveis de oxigênio adequados para a vida aquática.

Mortandade de 2010

O evento de mortandade de peixes observado em 2010 inaugurou a ocorrência de floração tóxica como causa mais provável.

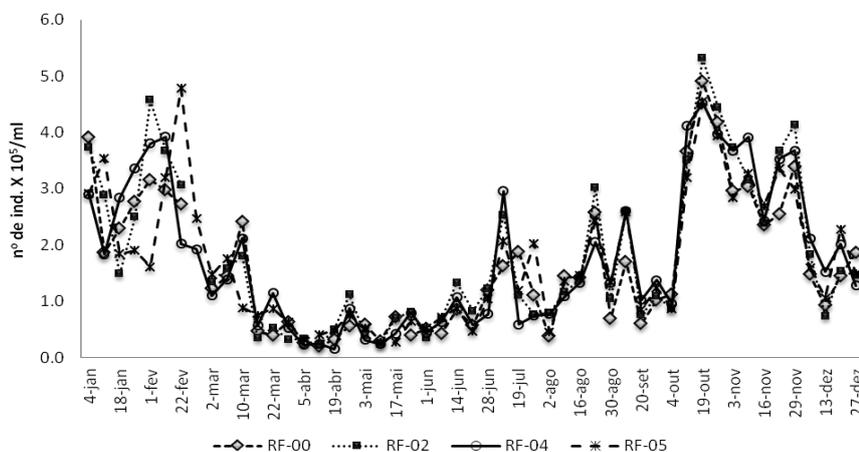


Figura 12. Densidade total do fitoplâncton (nº de indivíduos X 10⁵/mL) nas estações RF00, RF02, RF04 e RF05 no ano de 2010.

Figure 12. Total density of phytoplankton (individuals X 10⁵. mL⁻¹) in RF00, RF02, RF04 and RF05 stations in the year of 2010.

O ano de 2010 demonstrou um máximo de densidade do fitoplâncton mais elevado do que o do ano de 2009 o que poderia, em parte, estar associado à redução dos bancos da vegetação bentônica. No ano de 2010 observou-se uma elevação dos máximos de densidade no 2º semestre. Tal situação possivelmente esteve relacionada à maior pluviosidade atípica no 2º semestre.

Os elevados valores de densidade populacional coincidiram com os períodos de aumento de Fósforo Total e Amônia que, sabidamente têm influência sobre a resposta da comunidade fitoplanctônica. Já desde o 2º semestre de 2009 verificava-se, tanto na lagoa quanto nos canais, forte incremento de amônia.

Os valores extremos verificados neste ano foram nos meses de fevereiro, no período de verão e em

outubro (Soares *et al.* 2012). As condições de maior disponibilidade de nutrientes contribuem para expansão das populações de produtores primários, representados pelo fitoplâncton.

Eventos de floração foram recorrentes e registrados no Canal do Piraquê desde 2008, onde o Rio dos Macacos e o Rio Cabeça deságuam eventualmente. 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 em 2008 revelaram dominância de fitoflagelados como responsáveis pelas florações. *Peridinium quinquecorne*, *Heterocapsa pigmaea*, (Dinoflagelados), *Heterosigma akashiwo* (Rafidofíceas), *Kephyrion ovale* (Crisofíceas) e *Telaulax* sp. (Criptofíceas), foram alguns dos táxons envolvidos.

Nas ocasiões de floração o canal e outros pontos da lagoa (Figura 14) assumiram uma coloração variando de marrom a castanho (Figura 13), mas também podendo assumir tons de verde, dependendo da espécie em desenvolvimento.



Figura 13. Aspecto de floração no Canal do Piraquê.

Figure 13. Bloom in the Piraquê Channel.



Figura 14. Evento de floração no ponto RF02 em 2006.

Figure 14. Bloom event at the sampling station RF02 in 2006.

O ano de 2010 pode ter inaugurado um novo cenário sobre os eventos de mortandade de peixes na lagoa. Cabe esclarecer que o fitoplâncton é utilizado como um dos descritores de situações antecedentes

às mortandades de peixes e que em todas as ocasiões de mortandade a partir do ano de 2000, a causa de morte direta de peixes neste ambiente tem sido a anoxia. Este foi o primeiro evento de mortandade a

partir de 2000, no qual as concentrações de OD se mostraram adequadas para a vida aquática (Figura 15). A identificação de *Chrysocromulina* sp. em elevada densidade ($2,92 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ em 01/02/2010),

associada ao evento de mortandade sugere sua relação com o evento. Até então não havia registro de espécies produtoras de toxinas na lagoa Rodrigo de Freitas.

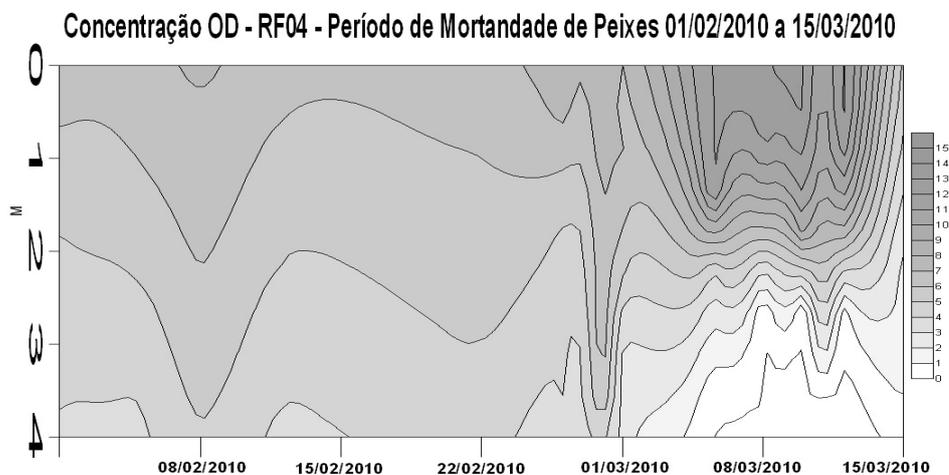


Figura 15. Perfil de OD na coluna d'água no período de mortandade de 2010, na estação RF04.

Figure 15. Vertical distribution of dissolved oxygen (mg.L^{-1}) in RF04 station during the period of fish mortality in 2010.

A constatação da presença da toxina não foi realizada, uma vez que não havia capacidade para a detecção analítica desta toxina no Brasil, por ausência de padrão da toxina produzida por este organismo, para realizar análises comparativas nas curvas de cromatografia, o que inviabiliza análises de necropsia ou qualquer outra que dependa de um padrão para confirmação.

Outras hipóteses também foram consideradas como causas a serem investigadas. A hipótese de contaminação por compostos orgânicos foi descartada após a realização de um experimento simples que transferiu peixes para um tanque com água de boa qualidade, a hipótese de contaminação por vírus foi descartada pelo fato de haver uma diversidade muito grande de espécies atingidas, a hipótese de protozoários parasitas foi descartada após análise de zooplâncton (colaboração Profª. Christina Castelo Branco – UNIRIO) que mostrou a presença das espécies características da lagoa.

A elevada densidade de *Chrysocromulina* sp., gênero de alga produtora de ictiotoxina, parece ser a explicação mais provável, até aqui.

A ocorrência de florações nem sempre é necessária para eventos de mortandades massivas de peixes por ictiotoxinas. A ocorrência de algumas espécies de

microalgas, mesmo em baixas densidades, até bem menores do que o registrado nesse evento, já se torna grave e justifica, em algumas partes do mundo, ações de controle e suspensão de atividades de rotina, como extração de moluscos bivalves, por exemplo. É o caso, por exemplo, da ocorrência de *Dinophysis* spp. (dinoflagelado) que em densidade de 10^3 ind./ml já deflagra alerta (Reguera 2011). No caso das condições da lagoa Rodrigo de Freitas, não há informação suficiente que permita afirmar qual densidade pode tornar-se efetivamente um risco ao ambiente.

Em outras partes do mundo se verifica a mesma falta de condições para informações conclusivas, relativas às florações de *Chrysocromulina*. Lekvre *et al.* (2006) afirmaram que na Noruega ocorreu em 1988 uma floração de *Chrysocromulina* spp., provocando extensiva mortandade de peixes, ainda não bem entendida, sem evento similar dentre os registros subsequentes de floração da mesma alga, no mesmo local. Os autores afirmam que ainda não se conseguiu, até o momento de publicação do trabalho (2006), reproduzir sob condições de laboratório esta grande toxicidade verificada em 1988. Nos anos de 1994 e 1995, na mesma época do ano do evento de 1988, foi reportada a mesma elevada densidade de *Chrysocromulina* observada na floração de 1988.

Embora o evento tenha sido no mesmo local, não foi verificado nenhum efeito tóxico para a biota na ocasião. A densidade celular relativa ao evento de 1988 foi de 1×10^3 células/ml.

Johansson & Granéli (1999) identificaram, a partir de estudos realizados em cultivo, que a maior produção de toxina em *Chrysocromulina* foi verificada sob condições de limitação de Nitrogênio e Fósforo no meio de crescimento. Sob esta condição a densidade celular foi a menor de todas as condições testadas, ou seja, $21,8 \times 10^3$ células/ml. Os autores concluíram que a toxicidade da espécie foi considerada altamente variável e que só se expressa sob certas condições ambientais.

As toxinas produzidas por *Chrysocromulina* não demonstram efeitos tóxicos para seres humanos, embora causem mortalidade de peixes (Uronem *et al.* 2005).

SISTEMA DE ALERTA PREDITIVO PARA ACIDENTES COM A ICTIOFAUNA NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS

Um sistema de alerta para acidentes com a ictiofauna foi desenvolvido a partir de 2003, com resultados positivos até o evento de 2010 (Tabela 9). As novas evidências demonstradas pelos resultados, associando florações tóxicas à mortalidade de peixes é uma fenômeno não incorporado no sistema.

Para tal torna-se necessário destacar-se espécies-chaves potenciais produtoras de toxinas neste sistema. Até aqui *Chrysocromulina* torna-se indicadora de risco para a ictiofauna. Ainda não é conhecido, de forma consistente, os critérios quantitativos para estabelecer classes de alerta e orientação de condutas de gestão.

Tabela 9. Sistema de Alerta para acidentes com a ictiofauna.
Table 9. Alert system for fish mortality.

Indicadores	Valores		Índice de Risco (Ir)
OD superficial	> 5 mg.L ⁻¹		0
	≤ 5 mg.L ⁻¹		4
OD fundo	≤ 1 mg.L ⁻¹	< 3camadas	0
	≤ 1 mg.L ⁻¹	≥ 3camadas	3
Disco de Secchi	> 50cm		0
	≤ 50cm		1
Temperatura	< 30°C		0
	≥ 30°C		1
Fitoplâncton	< 70%	Dominância	0
	≥ 70%	Dominância	1
			10
Categorias incluídas			Intervalos de referência
VIGILÂNCIA			Ir < 2
ATENÇÃO			2 ≤ Ir < 4
ALERTA			4 ≤ Ir < 6
CRÍTICA			Ir ≥ 6

O resultado de fitoplâncton é componente adicional deste sistema de alerta, em conjunto com demais variáveis descritoras. O peso dessas variáveis tomou em conta fatores como a relação direta com os eventos de mortalidade, predominantemente anoxia e a rapidez na obtenção do resultado. Nesse caso, amostras do

fitoplâncton são amostradas semanalmente e analisadas com essa frequência, enquanto que outras variáveis de campo, são amostradas de duas a três vezes por semana e os resultados são obtidos na mesma hora, contribuindo com a agilidade requisitada para a gestão de tais eventos.

Este sistema de alerta integra o boletim semanal sobre qualidade de água da Lagoa Rodrigo de Freitas e se encontra disponível, semanalmente, no site do INEA: www.inea.rj.gov.br, através do link: <http://200.20.53.6/meioambiente/arquivos/geag/lagoas/rodrigo_de_freitas.pdf>

A apresentação final do boletim inclui outros aspectos indicadores da qualidade (Figura 16) além do fitoplâncton.

CONCLUSÕES

Observou-se dois padrões na composição qualitativa da comunidade fitoplanctônica, associados aos eventos de mortandade; um padrão com presença de chuvas e outro com ausência de chuvas. A composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica revelou ainda a importância de criptofíceas, cuja contribuição acima de 20% de abundância relativa indicou ausência de cianobactérias. Utilizando comunidades biológicas como indicadores buscamos nos aproximar de uma boa capacidade de predição dos eventos de mortandade de peixes, evitando assim futuros acidentes.

Como esperado as concentrações de Fósforo e Nitrogênio interferiram nas expressões quantitativas e qualitativas do fitoplâncton. A razão DIN/PSR acima de 10 foi relacionada aos períodos de maior contribuição relativa de cianobactérias. O maior aporte de matéria orgânica, observado em 2010, provavelmente deveu-se aos aportes de lançamentos em vários pontos do Canal de Jardim de Alah, agravados pelas paralisações recorrentes das bombas dos sistemas de elevatória da CEDAE, em virtude dos eventos de queda de energia ocorridos na Zona Sul, principalmente ao no início de 2010 e foi, provavelmente, o fator relacionado ao maior incremento do Fitoplâncton Total. 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. Constatou-se até o momento, um único evento de mortandade de peixes que não esteve associada à anoxia. No verão de 2010 uma floração de *Chrysocromulina* sp., espécie ictiotóxica parece ser a causa mais provável. Não foi possível realizar testes conclusivos que confirmassem a produção de

toxina. Floração semelhante foi também associada à mortandade em outras partes do mundo. Este evento indicou a necessidade de aprimoramento do Sistema de Alerta para a vida aquática na Lagoa Rodrigo de Freitas, no sentido de incorporar maior peso de decisão para a composição qualitativa do fitoplâncton, identificando espécies alvo que confirmam risco para o ecossistema.

Os parâmetros analisados têm-se mostrado bons indicadores das condições do ecossistema aquático associados ao maior entendimento da dinâmica de processos fundamentais que podem contribuir para tomadas de decisão e aumentar a possibilidade de prever acidentes com a ictiofauna. Os resultados do monitoramento de qualidade de água e das inspeções nos canais de drenagem da bacia, são emitidos e atualizados em boletins semanais e disponibilizados através do site do INEA (<<http://www.inea.rj.gov.br>>) pela equipe da Gerência de Qualidade Ambiental do INEA – GEAG.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ COBELAS, M. & JACOBSEN, B.A. 1992. Hypertrophic phytoplankton: an overview. *Freshwater Forum*, 2: 184-199.
- ALVES-DE-SOUZA, C., MENEZES, M. & HUSZAR, V. 2006. Phytoplankton composition and functional groups in a tropical humic coastal lagoon, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 20: 701-708, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062006000300019>
- AMADOR, E.S. 1997. Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos. Homem e natureza. Rio de Janeiro. 539p.
- ANDREATTA, J.V.; PINET, J.A.; MARCA, A.G.; GUIMARÃES, G.A.P.; MENDONÇA NETO, J.P.; OLIVEIRA, L.O.V.; DUARTE, G.A.S.; PEREIRA, R.C. & CAVALCANTE JÚNIOR, A. 1999. Composição e distribuição espacial dos peixes da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. no período de março de 1991 a outubro de 1998. Pp. 620. *In: Resumos XIII Encontro Nacional de Ictiologia*. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, SP, Brasil.
- ANDREATTA, J.V.; BAPTISTA, M.G.S.; RESENDE, F.A.; MANZANO, F.V.; TEIXEIRA, D.E.; DUARTE, G.A.S.; MARCA, A.G.; MENDONÇA NETO, J.P.; SOARES, P.A.C. & PEREIRA, R.C. 2000. Distribuição espacial de peixes da L.R.F., R.J. Pp. 340. *In: XXIII Congresso Brasileiro de Zoologia*, Cuiabá, MT, Brasil.

- ANDREATA, J.V.; MANZANO, F.V.; MENDONÇA NETO, J.P.; VARELA, L.O.; TEIXEIRA, D.E.; PEREIRA, R.C.; MARCA, A.G.; SOARES, P.A.C.; MELLO, F.B.; LONGO, M.M.; CURCI, P.B. 2001. Composição da ictiofauna e distribuição espacial dos peixes da Laguna Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. In: XIV Encontro Brasileiro de Ictiologia, São Leopoldo, RS, Brasil. CD-ROM.
- AZEVEDO, S.M.F.O. & CARMOUZE, J.-P. 1994. Une mortalité de poissons dans une lagune tropicale (Brésil) durant une période de dominance de Cyanophyceae. Coïncidando ou conséquence? *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 27: 265-272.
- BARNES, R.S.R. 1980. *Coastal Lagoons*. The natural history of a neglected habitat. Cambridge University Press, Cambridge, CA. 100p.
- BECKER, V. 2002. Variação da estrutura e da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva (litoral norte do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 125p.
- BERNARDO, J.M., COSTA, A.M. & CANCELADA FONSECA, L. 2006. Ocorrência e implicações dos fenômenos de estratificação em Lagoas Costeiras Fechadas - Estudos de caso. Actas do 1º Seminário sobre Sistemas Lagunares Costeiros. Lisboa, Portugal. <http://w3.ualg.pt/~j dias/GESTLIT/papers/06_%20Bernardo.pdf> (Acesso em 03/07/2012).
- BLOMQUIST, P., PETTERSSON, A. & HYENSTRAND, P. 1994. Ammonium-nitrogen: A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Archiv für Hydrobiologie*, 132: 141-164.
- BOLD, H.C. & WAYNE, J.W. 1985. *Introduction to the algae*. 2ed. Prentice Hill, Englewood Cliffs, NJ. 707p.
- BROWNLEE, E.F., SELLNER, S.G. & SELLNER, K.G. 2005. *Prorocentrum minimum* blooms: potencial impacts on dissolved oxygen and Chesapeake Bay oyster settlement and growth. *Harmful Algae*, 4: 593-602, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.009>
- CALJON, A.G. 1983. Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland. *Developments in Hydrobiology*, 48: 1-272.
- CARACO, N.F. & MILLER, R. 1998. Effects of CO₂ on competition between a cyanobacterium and eukaryotic phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55: 54-62.
- COLE, G.A. 1994. *Textbook of Limnology*. Waveland Press Inc, Illinois, IL. 491p.
- COMÍN, F. A. 1984. Características físicas y químicas y fitopláncton de las lagunas costeras, Encañizada, Tancada y Buda (Delta del Ebro). *Oecologia Aquatica*, 7: 79-162.
- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF.
- DOKULIL, M.T. & TEUBNER, K. 2000. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438: 1-12.
- 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. 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, Brasil. 108p.
- DOMINGOS, P.; MENEZES, M. 1998. Taxonomic remarks on planktonic phytoflagellates in a hypertrophic tropical lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 369/370: 297-313.
- DOMINGOS, P.; HUSZAR, V.L. & CARMOUZE, J.-P. 1994. Composition et biomasse de phytoplankton d'une lagune tropicale (Brésil) marqué par une mortalité de poisson. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 27: 235-250.
- ESTEVEES, F.A. & FURTADO, A.L. S. 2011. Oxigênio dissolvido. In: ESTEVEES, F.A. (ed.). *Fundamentos de Limnologia*. 3ª Ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p.
- ESTEVEES, F.A., CALIMAM, A. SANTANGELO, J.M., GUARIENTO, R.D., FARJALLA, V.F. & BOZELLI, R.L. 2008. Lagoas costeiras neotropicais: Uma apreciação sobre sua biodiversidade, funcionamento, principais ameaças e estratégias de conservação. *Brazilian Journal of Biology*, 68: 967-981, 2008.
- FEEMA. 1993. Vida supera a morte na Lagoa Rodrigo de Freitas. *FEEMA*, 2: 26-35.
- FEEMA. 2003. Relatório de Qualidade de Água da Lagoa Rodrigo de Freitas. *Relatório Técnico*. Departamento de Planejamento Ambiental - DIAG/FEEMA, Rio de Janeiro. 134.
- FLORES, E. & WOLK, C.P. 1985. Identification of facultatively heterotrophic, N₂-fixing cyanobacteria able to receive plasmid vectors from *Escherichia coli* by conjugation. *Journal of Bacteriology*, 161: 1339-1341.
- GOMES, A.M.C.; SAMPAIO, P.L.; FERRÃO-FILHO, A, S.; MAGALHÃES, V.F.; MARINHO, M.M.; OLIVEIRA,

- A.C.PIMENTEL; SANTOS V.B.; DOMINGOS, P. E AZEVEDO S.M.F.O. 2009. Florações de cianobactérias tóxicas em uma lagoa costeira hipereutrificada do Rio de Janeiro/RJ (Brasil) e suas consequências para a saúde humana. *Oecologia Brasiliensis*, 13: 329-345.
- HAPPEY-WOOD, C. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. *In*: C.D. Sandgren (ed.). Growth and Survival Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, CB. 443p.
- HAVENS, K.E.; JAMES, R.T.; EAST, T.L. & SMITH, V.H. 2003. N:P ratios, light limitation and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environmental Pollution*, 122: 379-390, [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00304-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00304-4)
- HOECK, C. van den; MANN, D.G. E JAHNS, H.M. 1995. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, CB. 625p.
- HEIL, C.A.; GILBERT, P.M. & FAN, C.2005. *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller a review of a harmful algal bloom species of growing worldwide importance. *Harmful algae*, 4: 449-470, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.003>
- HUSZAR, V.L. 1989. Considerações sobre o fitoplâncton da Lagoa de Juturnaíba, Araruama, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 49: 107-123.
- HUSZAR, V.L.M. & SILVA, L.H.S. 1999. A estrutura da comunidade fitoplanctônica no Brasil: cinco décadas de estudos. *Limnotemas*. 2: 1-21.
- 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>
- HUSZAR, V.L.M. & GIANI, A. 2004. Amostragem fitoplanctônica em águas continentais: Reconhecimento de padrões espaciais e temporais. Pp. 133-147. *In*: BICUDO, C.E.M. & BICUDO, D.C. (Orgs.). *Amostragem em Limnologia*. Ed. Rima, São Carlos, SP. 351p.
- INEA. 2010. Relatório de Qualidade de Água da Lagoa Rodrigo de Freitas. Diretoria de Informação e Monitoramento Ambiental. Gerência de Qualidade de Água DIMAM/GEAG, Rio de Janeiro. 151p.
- 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>
- JOHANSSON, N. & GRANÉLI, E. 1999. Cell density, chemical composition and toxicity of *Crhysocromulina polylepis* (Haptophyta) in relation to different N:P supply ratios. *Marine Biology*, 135: 209-217.
- KJERFVE, B. 1994. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Science Publishers, London, GL. 577p.
- KJERFVE, B., 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. Pp. 63-81. *In*: WOLFE, D.A. (Ed.). Estuarine Variability. Academic Press, New York, NY. 509p.
- KNOPPERS, B.A. & MOREIRA, P.F. 1990. Material em suspensão e sucessão fitoplanctônica na Lagoa de Guarapina, RJ. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 3: 291-317.
- KONRATH, J. TEDESCO, C. D.; SCHWARZBOLD, A. 1998. Structural interchanges of phytoplanktonic and periphytic microalgae communities of a Southern Brazilian coastal lake. *Verhandlungen - Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 26: 1483-1486.
- LAMPTEY, E. 2011. Environmental Effects of Eco-Innovative Coastal Lagoon Dredging For Shoreline Restoration Project In Ghana, West Africa. Nova Science Publishers Inc Ed. 58p.
- LEE, R.E. 1980. *Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, CB. 478p.
- LEE, J.B. & MATSOUKA, K., 1996. Dinoflagellate cysts in surface sediments of southern Korean waters. Pp. 173-176. *In*: T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (Eds.). Harmful and toxic algal blooms. IOC UNESCO, Paris, IL. 586p.
- LEKVE, K.; BAGØIEN, E.; DAHL, E.; EDVARDBSEN, B.; SKOGEN, M. & STENSETH, N.C. 2006. Environmental forcing as a main determinant of bloom dynamics of the *Chrysochromulina* algae. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273: 3047-3055, <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3656> 1471-2954
- LEWIS Jr, W. 1986. Phytoplankton succession in Lake Valencia, Venezuela. *Hydrobiologia*, 138: 189-203.
- LUND, J.W.G.; KIPLING, C. & LECREN, E.D. 1958. The invert microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.
- MACHADO, E.C. 1989. Desoxigenação e Regeneração de nutrientes pelo sedimento na Lagoa de Guarapina, RJ. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil. 104p.
- MAGALHÃES M.N. & LIMA A.C.P. 2004. *Noções de probabilidade e estatística*. 6ª ed. Edusp, São Paulo, SP. 392p.

- MARINHO, M. M. 2000. Ecologia do fitoplâncton do reservatório de Juturnaíba, Araruama – RJ, Brasil: estrutura e dinâmica da comunidade, aspectos ecofisiológicos e metodológicos. *Tese de doutorado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 104p.
- MARQUES, D.O. 2009. Investigação sobre a estratificação na lagoa Rodrigo de Freitas-RJ e seus efeitos no comportamento do oxigênio dissolvido. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil. 118p.
- MELO, S. & SUZUKI, M.S. 1998. Variações temporais e espaciais do fitoplâncton das lagoas Imboassica, Cabiúnas e Comprida. Pp. 177-203. *In*: F.A. Esteves (Ed.). Ecologia de lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 442p.
- MENEZES, M. & DOMINGOS, P. 1994. La flore plactonique d'une lagune tropicale (Brésil). *Revue D'Hydrobiologie tropicale*, 26: 273-297.
- MOORE, L.R.; POST, A.F.; ROCAP, G. & CHISHOLM, S.W. 2002. Utilization of different nitrogen sources by the marine cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Limnology and Oceanography*, 47:989-996, <http://dx.doi.org/104319/lo.2002.47.4.0989>
- NAKAJIMA, M. 1968. Studies on the source of shelfish poison in Lake Hamana. IV. Identification and collection of the noxious dinoflagellate. *The Japanese Society of Fisheries Science*, 34: 130-131.
- 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.
- OECD, 1992. *Eutrophication of waters*. Monitoring, assessment and control. OECD, Paris, IL. 154p.
- OLIVEIRA, L.P.; NASCIMENTO, R.; KRAU, L. & MIRANDA, A. 1957. Observações hidrológicas e mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas. *Memórias do Instituto. Oswaldo Cruz*, 55: 211-271.
- OLIVEIRA, M.M.; BAETA-NEVES, M.H.C.; ALBANO, R.M., BASTOS, J.C. & SILVA-FILHO, M.V.S. 2011. Presença de microcistina durante eventos de florações de microalgas na Lagoa de Araruama. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 5: 35-45.
- PADILHA R. dos S. 2001. Tipologia de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, com ênfase na comunidade fitoplanctônica. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. 104p.
- PADISÁK, J. SORÓCZKI-PINTÉR, É & REZNER, Z. 2003. Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton-An experimental study. *Hydrobiologia*, 500: 243-257.
- PETRUCCIO, M. M. 1998. Caracterização das lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus a partir da temperatura, salinidade, condutividade, alcalinidade, O₂ dissolvido, pH, transparência e material em suspensão. Pp. 91-105. *In*: ESTEVES, F. A. (Ed.). Ecologia de lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 464p.
- REGUERA, B. 2011. *Dinophysis*. Conferência inaugural IX reunión ibérica sobre microalgas nocivas e biotoxinas. Universidad Del Pais Basco, Bilbao, España. <http://www.redibal.org/BASES_DATOS/C-IBERICO/resumenes2011.pdf> (Acesso em 02/07/2012).
- REYNOLDS, C.S. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, CB. 564p.
- RIO PREFEITURA – BAIROS CARIOCAS – LAGOA. 2011. <<http://www.historiadorio.com.br/bairros/lagoa>>. (Acesso em 09 dez. 2011).
- ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. 1990. The diatoms: biology and morphology of genera. Cambridge University Press. Cambridge, CB. 747p.
- SAMPAIO, G.F. 2008. Cianobactérias como parâmetro de qualidade ambiental: um estudo no Complexo Lagunar de Jacarepaguá. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 169p.
- SHAPIRO, J. 1997. The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue-green dominance in lakes. *Freshwater Biology*, 37: 307-323.
- SIEBURTH, J.M.C.N.; SMETACEK, V. & LENZ, J. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23: 1256-1263, <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1978.23.6.1256>
- SMAYDA, T.J. 1996. Dinoflagellate bloom cycles: what is the role of cellular growth rate and bacteria? Pp. 331-334. *In*: T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (Eds.). Harmful and toxic algal blooms. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO, Paris, IL. 163p.
- 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, doi: 10.1139/f86-016

SOARES, M.F.; DOMINGOS, P.; SOARES, F.F.L. & TELLES, L.F.R. 2012. 10 anos de monitoramento da qualidade ambiental das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas. *Oecol. Aust.*, 16(3): 625-658, <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1603.15>

TANGO, P.J.; MAGNIEN, R.; BUTLER, W.; LUCKETT, C.; LUCKENBACH, M.; LACOURTURE, R. & POUKISH, C. 2005. Impacts and potencial effects due to *Prorocentrum minimum* blooms in Chesapeake Bay. *Harmful Algae*, 4: 525-531, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.014>

TYLER, M.A. & SELIGER, H.H. 1978. Annual subsurface transport of a red tide dinoflagellate to its bloom area: water circulation patterns and organism distribution in the Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography*, 23: 227-246.

UHELINGER, V. 1964. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des Sciences*, 17: 121-223.

URONEN, P.; LEHTINEN, S.; LEGRAND, C.; KUUPPO, P. & TAMMINEN, T. 2005. Haemolytic activity and allelopathy of the haptophyte *Prymnesium parvum* in nutrient-limited and balanced growth conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 299: 137-148, doi:10.3354/meps299137

UTHERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativem Phytoplankton Methodik. *Mitteilungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1-38.

WILLEMSEM, J. 1980. Fishery-aspects of eutrophication. *Aquatic Ecology*, 14: 12-21, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02260268>

YUNES, J.S. 2009. Florações de *Microcystis* na Lagoa dos Patos e o seu estuário: 20 anos de estudos. *Oecologia Brasiliensis*, 13: 313-318.

ZURBKOV, M.V.; FUCHS, B.M.; TARRAN, G.A.; BURKILL, P.H. & AMANN, R. 2003. High rate of uptake of organic nitrogen compounds by *Prochlorococcus* cyanobacteria as a key to their dominance in oligotrophic oceanic waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 69: 1299-1304, <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.69.2.1299-1304.2003>

Submetido em 23/12/2011

Aceito em 16/07/2012