

# ECOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS: FATORES PROMOTORES E CONSEQUÊNCIAS DAS FLORAÇÕES

*Valéria de Oliveira Fernandes<sup>1\*</sup>, Bruna Cavati<sup>1</sup>, Larissa Bassani de Oliveira<sup>1</sup> & Bruna D'Ángela de Souza<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais (LATEAC) – CCHN – DCBio, Setor Botânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, nº514, Bairro Goiabeiras, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil.

\*E-mail: valerias@uol.com.br

## RESUMO

Cyanobacteria constitui um grupo de microorganismos procarióticos presentes nos ecossistemas aquáticos, sendo importantes produtores primários e responsáveis por grande parte das florações em ambientes dulcícolas. Desta forma, o presente estudo objetiva apresentar uma revisão da literatura disponível sobre os principais fatores promotores e as consequências das florações de cianobactérias. A ocorrência e manutenção das florações estão relacionadas à luz, temperatura, estabilidade da coluna d'água, pH, disponibilidade de nutrientes e herbivoria. Cianobactérias apresentam eficiente absorção de luz pela presença de ficobiliproteínas e melhor desenvolvimento em águas neutras a alcalinas. Temperaturas elevadas favorecem a estratificação térmica, aumentando a estabilidade da coluna d'água e estimulando a formação de florações. Nitrogênio e fósforo, principais nutrientes requeridos pelas cianobactérias, são responsáveis pela eutrofização, influenciando na magnitude, duração e composição das florações. Muitas espécies de cianobactérias apresentam baixa palatabilidade, sofrendo menor pressão por herbivoria, seja pelo grande tamanho, presença de mucilagem e potencial produção de toxinas. Florações de cianobactérias, as quais frequentemente culminam em má aparência e odor desagradável da água, podem também causar danos ecológicos, tais como alterações nas cadeias alimentares com potenciais efeitos na ciclagem de nutrientes, na biodiversidade e na saúde humana. Diversos fatores naturais e antropogênicos estão associados ao controle de florações, como sedimentação, hidrologia e concentração de nutrientes. Além destes, aplicação de algicidas, misturas verticais, redução do tempo de retenção e biomanipulação têm sido utilizadas objetivando minimizar ou eliminar as florações. No entanto, investigações mais detalhadas devem ser realizadas no sentido de manejar adequadamente os ecossistemas visando à prevenção e/ou controle efetivo das florações.

**Palavras-chave:** Cianobactérias, florações, ecologia.

## ABSTRACT

**ECOLOGY OF CYANOBACTERIA: CAUSES AND CONSEQUENCES OF BLOOMS.** Cyanobacteria form a group of prokaryotic microorganisms of aquatic ecosystems that are important primary producers and are usually responsible for blooms in freshwater habitats. This manuscript reviews the available literature on the factors promoting cyanobacterial blooms and their consequences. Such factors include light, temperature, stability of the water column, pH, nutrients, and grazing. Cyanobacteria can efficiently absorb light using phycobiliproteins, and develop better in neutral to alkaline water. Elevated temperatures can promote thermal stratification, stabilising the water column and triggering bloom formation. Nitrogen and phosphorus are the main nutrients required by cyanobacteria, which are also responsible for eutrophication, thus influencing the magnitude, duration and composition of blooms. Many species of cyanobacteria are unpalatable and grazing pressure can be reduced because of their large size, mucilage and even toxins. Cyanobacterial blooms, which often culminate in unsightly foul-smelling water, may harm the environment, affecting local food webs, nutrient cycling, biodiversity and human health. Several natural and anthropogenic factors can control the blooms, such as sedimentation, hydrology and nutrient balance. Furthermore, blooms can be minimized or eliminated by application of algacides, vertical mixing, reduction in water retention and biomanipulation. Further detailed investigations must be carried out in order to properly manage aquatic ecosystems and prevent and/or effectively control cyanobacterial blooms.

**Keywords:** Cyanobacteria, cyanobacterial blooms, ecology.

## RESUMEN

**ECOLOGÍA DE CIANOBACTERIAS: FACTORES PROMOTORES Y CONSECUENCIAS DE LAS FLORACIONES.** Cyanobacteria es un grupo de microorganismos procarióticos presentes en ecosistemas acuáticos. Son importantes productores primarios responsables de gran parte de las floraciones en ambientes dulceacuícolas. El presente estudio pretende presentar una revisión de la literatura disponible sobre los principales factores promotores y las consecuencias de las floraciones de cianobacterias. La ocurrencia y persistencia de las floraciones están relacionadas con la luz, la temperatura, la estabilidad de la columna de agua, el pH, la disponibilidad de nutrientes y la herbivoría. Las cianobacterias son muy eficientes absorbiendo la luz gracias a la presencia de ficobiliproteínas y tienen un mejor desarrollo en aguas neutras a alcalinas. Las temperaturas elevadas favorecen la estratificación térmica, aumentando la estabilidad de la columna de agua y estimulando la formación de floraciones. El nitrógeno y el fósforo, los principales nutrientes requeridos por las cianobacterias, son responsables de la eutrofización, influenciando la magnitud, la duración y la composición de las floraciones. Muchas especies de cianobacterias presentan baja palatabilidad, por lo que sufren menor presión de herbivoría, debido a que tienen un gran tamaño, presencia de mucílago y potencial producción de toxinas. Las floraciones de cianobacterias, que normalmente terminan en una mala apariencia y olor desagradable del agua, pueden también causar daños ecológicos, como alteraciones de las cadenas alimentarias con efectos potenciales en el ciclo de nutrientes, en la biodiversidad y en la salud humana. Diversos factores naturales y antropogénicos, están asociados al control de las floraciones, tales como la sedimentación, la hidrología y la concentración de nutrientes. Además de estos, la aplicación de alguicidas, las mezclas verticales, la reducción del tiempo de retención y la biomanipulación han sido utilizadas con el objetivo de minimizar o eliminar las floraciones. Sin embargo, investigaciones más detalladas se deben realizar para manejar adecuadamente los ecosistemas acuáticos para evitar y/o controlar de manera efectiva las floraciones.

**Palabras clave:** Cianobacterias, floraciones, ecología.

## INTRODUÇÃO

Cianobactérias, também conhecidas como cianoprocaríotas, cianófitas, mixofíceas ou algas azuis, constitui um grupo de microorganismos procarióticos com dependência do CO<sub>2</sub> para produzir oxigênio via fotossíntese, datados do Pré-Cambriano. Durante este longo período de existência têm habitado facilmente uma grande variedade de ambientes (dulceacuícolas, salobros, marinhos e terrestres) (Sant'Anna *et al.* 2006) e estão presentes em todos os biótopos dos ecossistemas aquáticos, como na interface água/ar, toda coluna d'água, sedimento, sobre macrófitas aquáticas, etc. (Esteves 1998), sendo importantes membros das comunidades fitoplanctônica e perifítica (Oliver & Granf 2000). Ainda, muitas espécies ocorrem em habitats extremos, como fontes termais, lagos hipersalinos e desertos (Wehr & Sheath 2003).

São importantes produtores primários, formam estromatólitos e são simbioses com vários organismos. Apresentam ficobiliproteínas como pigmentos fotossintéticos acessórios responsáveis pela cor vermelha ou verde-azulada e são relacionadas

à maior mudança na atmosfera da Terra devido à sua capacidade de produzir oxigênio molecular (Farquahr *et al.* 2000). São fototróficas obrigatórias e muitas são diazotróficas, ou seja, capazes de reduzir nitrogênio molecular a amônia para seu crescimento, sendo capazes de ampliar a baixa razão N:P, frequente em águas doces (Smith 1983).

Sua ampla distribuição deve-se ao seu metabolismo versátil e às adaptações estruturais e enzimáticas, tais quais: ficobiliproteínas, que compõem um sistema antena que auxilia na captação de luz para fotossíntese, possibilitando sua sobrevivência em ambientes com pouca luz; fixação de nitrogênio atmosférico por algumas espécies, através de estruturas especializadas denominadas heterocitos, que favorece seu desenvolvimento em ambientes com baixa concentração de compostos nitrogenados; capacidade de produzir células diferenciadas (acinetos) que funcionam como esporos de resistência em condições adversas, permitindo a sobrevivência da célula por longos períodos; podem formar vacúolos gasosos (aerótopos), que permitem migração vertical na coluna d'água, podendo buscar

a profundidade em que tanto a intensidade luminosa quanto a concentração de nutrientes são favoráveis; toleram grandes variações de temperatura; são capazes de armazenar fósforo na forma de grãos de polifosfatos em seu citoplasma; e podem ser tóxicas a outros organismos (Sant'Anna *et al.* 2006).

Gêneros como *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena* e *Nodularia* são planctônicos, migradores verticais e 'flutuantes' devido à presença de estruturas denominadas aerótopos. Cianobactérias destes gêneros podem, muitas vezes, dominar e até mesmo formar florações em águas doces e salobras quando a coluna d'água se estabiliza. Estes táxons, além de outros, geralmente são tóxicos graças ao acúmulo de metabólitos secundários específicos, tais como peptídeos cíclicos, os quais têm sido largamente registrados como impactantes sobre outras algas, zooplâncton herbívoro e também aos outros animais, incluindo o homem (Codd 2000), afetando assim a qualidade da água.

Cianobactérias perifíticas ocorrem largamente em ecossistemas lênticos, lóticos e marinhos, em habitats epipélicos, episâmicos, epilíticos ou epifíticos, sendo que muitas são especializadas em relação ao substrato e habitat. Massas perifíticas podem se desenvolver nos sedimentos em águas paradas e, posteriormente, formar densas massas flutuantes (*Aphanothece*, *Oscillatoria* e *Phormidium*) (Komárek *et al.* 2003). Dentre os gêneros comumente registrados encontram-se *Chamaesiphon*, *Stichosiphon*, *Cyanocystis*, *Xenococcus*, *Leptolyngbya*, *Heteroleibleinia*, *Hapalosiphon*, *Cylindrospermum*, *Lynngbya* e *Oscillatoria*, muitos dos quais com linhagens comprovadamente tóxicas.

As cianobactérias geralmente estão associadas às condições eutróficas, porém proliferações destas microalgas também têm sido registradas em ambientes oligotróficos e mesotróficos. O termo *bloom* é mal definido, mas geralmente é descrito como sendo uma biomassa fitoplanctônica significativamente mais elevada que a média do lago (Zohary & Roberts 1990). Ainda segundo estes autores, florações usualmente compreendem somente uma ou duas espécies e são avaliados através da análise de espécies presentes (qualitativa) e de medidas de biomassa (usualmente clorofila *a*); valores de clorofila *a* para um lago oligotrófico são de aproximadamente 1 a 10 µg.l<sup>-1</sup>, enquanto que em lagos eutróficos estes valores podem chegar a 300 µg.l<sup>-1</sup>; em casos de hipereutrofia, a concentração de clorofila *a* pode ser tão alta

quanto 3000 µg.l<sup>-1</sup>. No Brasil, em águas potáveis ou recreacionais, o registro de aproximadamente 10 mg.m<sup>-3</sup> de clorofila *a* e cerca de 20.000 células.mL<sup>-1</sup> denota elevada densidade e exige o monitoramento semanal de cianobactérias e cianotoxinas, devido à possibilidade de transtornos aos humanos (FUNASA 2004).

Florações de cianobactérias são globalmente distribuídas e reguladas por diversas variáveis ambientais interligadas geográfica e ecologicamente. A longa história evolutiva dos táxons que formam floração promoveu maior adaptabilidade às mudanças ambientais em curto prazo (diária, sazonal, em décadas) e longo prazo (geológico), tornando estes procarióticos fotossintetizantes um 'grupo para todas as estações' (Paerl 2008).

A urbanização e o desenvolvimento industrial e agrícola têm levado ao aumento do lançamento de nitrogênio e fósforo, os quais afetam as florações de cianobactérias planctônicas e bênticas, desde ambientes costeiros até rios. A distribuição e a proliferação das cianobactérias são comumente influenciadas por diversos fatores, tais como concentração de fósforo e nitrogênio, razão N:P, luz, temperatura, oxigênio, pH, herbivoria e estabilidade da coluna d'água, podendo estes parâmetros agirem sinérgica e antagonicamente (Paerl 2008). Condições climáticas (aquecimento global, *El Niño*, *La Niña*) também devem favorecer a ocorrência de florações; no entanto, a carência de experimentos em larga escala tem limitado as predições sobre os efeitos destes fatores.

O presente estudo objetiva apresentar uma revisão da literatura disponível sobre os fatores promotores de florações de cianobactérias e suas consequências, de maneira sucinta e com bases teóricas, de modo a contribuir para o conhecimento ecológico destes microrganismos e permitir reflexões acerca da problemática das florações, despertando o interesse de novos pesquisadores para a busca de soluções de tal questão.

## FATORES PROMOTORES DE FLORAÇÕES

### FATORES FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Nas cianobactérias, assim como nas demais algas, a clorofila *a* assume o papel de principal pigmento para absorção de luz e realização da fotossíntese (Chorus & Bartram 1999). Estes autores enfatizaram

que, como pigmentos acessórios, estas algas possuem ficobiliproteínas, as quais absorvem luz eficientemente no espectro entre o pico de absorção da clorofila *a* e dos carotenóides, sendo suas sínteses suscetíveis às variações ambientais, especialmente quantidade e qualidade de luz. Tais características possibilitam absorção mais eficiente de luz e, conseqüentemente, exploração de uma grande variedade de nichos ecológicos.

De acordo com Paerl *et al.* (1983), as cianobactérias que frequentemente formam florações superficiais são aquelas que possuem densa mucilagem, como as do gênero *Microcystis*, as quais apresentam alta tolerância a elevadas intensidades luminosas em função da aclimação por aumento na produção de carotenóides, pigmentos fotoprotetores. As densas florações de colônias de *Microcystis* proporcionam grande sombreamento para as demais espécies fitoplanctônicas, dificultando seu desenvolvimento e, assim, reduzindo a competição. Conseqüentemente, há diminuição significativa da riqueza e da diversidade (Tucci & Sant'Anna 2003). Entretanto, gêneros como *Oscillatoria*, *Lyngbya* e *Cylindrospermopsis* (*Cylindrospermopsis raciborskii*) têm habilidades para se adaptar à baixa intensidade luminosa, sendo capazes de coexistir com gêneros 'flutuantes' como *Anabaena*, *Aphanizomenon* e *Microcystis*, formando florações em maiores profundidades (Paerl 2008).

As cianobactérias são caracterizadas por requererem menos energia que as outras algas para manutenção da estrutura e função celular e, como conseqüência, podem apresentar alta taxa de crescimento quando a intensidade luminosa é baixa (Chorus & Bartram 1999). Tal característica lhes confere vantagens competitivas em ambientes turbidos e com desenvolvimento de outras algas nas camadas superficiais. Em ambientes com fitoplâncton bem desenvolvido, é comum a coexistência de floração de cianobactérias com outras algas, desde que a floração seja de cianobactérias filamentosas, como as do gênero *Cylindrospermopsis*, que são adaptadas a pouca luz e possuem tricomas finos e alongados, não promovendo sombreamento para as demais algas (Tucci & Sant'Anna 2003).

As cianobactérias possuem taxa de crescimento máximo em temperaturas superiores a 25°C, o que justifica a ocorrência da maioria das florações no verão, principalmente em regiões temperadas (Chorus

& Bartram 1999). No entanto, as mudanças climáticas em decorrência do aquecimento global têm merecido devida atenção por parte dos pesquisadores, uma vez que causam aumento da temperatura da água, inclusive nos períodos de temperaturas mais brandas, o que pode acarretar um desenvolvimento acelerado das algas, principalmente das cianobactérias, em qualquer época do ano (Nicklisch *et al.* 2008).

Jöhnk *et al.* (2008) compararam a taxa de crescimento de populações de *Microcystis*, algas verdes e diatomáceas e observaram que, em baixas temperaturas (abaixo de 23°C), *Microcystis* apresentou taxa de crescimento menor que as demais algas. Entretanto, a taxa de crescimento de *Microcystis* mostrou relação direta com a temperatura, ou seja, maior crescimento com aumento da temperatura, e temperatura ótima (acima de 23°C) maior que de algas verdes e de diatomáceas. Estes resultados mostram que *Microcystis* é forte competidora em temperaturas elevadas, assim como as demais cianobactérias.

As elevadas temperaturas, além de promoverem diretamente as florações de cianobactérias, também podem apresentar efeito indireto, promovendo estratificação térmica e tornando a coluna d'água mais estável, estimulando a formação de floração.

Ambientes de águas calmas, em que a velocidade do vento é baixa e insuficiente para misturar toda a coluna d'água, com elevado tempo de residência e estratificação térmica, são favoráveis à formação superficial de florações. No entanto, repentinas mudanças na velocidade e direção dos ventos bem como a passagem de frentes-frias (Tundisi *et al.* 2004), podem atuar negativamente para ocorrência e intensidade de florações. Eventos de mistura homogêizam a distribuição vertical das populações fitoplanctônicas, conferindo desvantagem àquelas espécies flutuantes (Jöhnk *et al.* 2008). De acordo com Webster & Hutchinson (1994), velocidades dos ventos de até 2m.s<sup>-1</sup> são capazes de manter uma camada de cerca de 4mm contendo grandes colônias de cianobactérias em floração. Estes autores estimaram que velocidades do vento maiores que 2 a 3m.s<sup>-1</sup> são suficientes para promover a mistura desta camada superficial.

Entretanto, florações de cianobactérias têm sido observadas precedidas de mistura vertical, a qual pode acarretar ressuspensão do sedimento, tornando os nutrientes armazenados no sedimento, disponíveis

na coluna d'água (Tundisi *et al.* 2004). Becker *et al.* (2004) registraram floração de espécies de *Anabaena* na lagoa Itapeva (Rio Grande do Sul) após mudança de direção dos ventos, que promoveu forte turbulência no sistema, disponibilizando nutrientes e dispersando os acinetos armazenados no sedimento.

Outro fator ambiental que coordena o desenvolvimento das cianobactérias é o pH. Seu crescimento máximo ocorre em habitats com pH variando de 7,5 a 10 (Giraldez-Ruiz *et al.* 1999), sendo inibido em valores de pH abaixo de 5 (Brock 1973). A preferência das cianobactérias por ambientes neutros a alcalinos é decorrente de sua aptidão em utilizar bicarbonato como forma de assimilação de carbono inorgânico e de sua limitada habilidade em regular e manter o pH interno neutro em ecossistemas ácidos (Giraldez-Ruiz *et al.* 1999). No entanto, assim como outros autótrofos, devido ao fato de assimilarem gás carbônico livre na água para o processo fotossintético, reduzem naturalmente a formação de ácido carbônico, mantendo elevado o pH do meio (Esteves 1998).

Havens & Heath (1991) desenvolveram estudos em um lago alpino de águas ácidas na Itália e verificaram que cianobactérias picoplantônicas eram registradas em baixas densidades, porém, quando os valores de pH se elevaram em experimentos com mesocosmos, a representatividade numérica destas algas aumentou. Pesquisas realizadas em uma lagoa artificial do *campus* da Universidade Federal do Espírito Santo relacionaram as maiores densidades de cianobactérias aos maiores valores de pH (de 8 a 9,5) (Camargo-Santos 2005, Bassani 2006). O mesmo foi verificado em uma lagoa costeira na região sul do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá), onde relação direta foi verificada entre pH e densidade de cianobactérias (Souza 2008). Tucci & Sant'Anna (2003) relacionaram a floração de *C. raciborskii* no lago das Garças em São Paulo a elevados valores de pH, temperatura, turbidez (pouca penetração de luz) e à baixa profundidade de mistura da coluna d'água (coluna d'água estável).

### FATORES QUÍMICOS

Florações de cianobactérias são comumente relacionadas ao enriquecimento de nutrientes ou eutrofização dos ecossistemas aquáticos. Dentre os nutrientes essenciais a este grupo de algas, nitrogênio e fósforo se constituem como principais, devido ao

elevado requerimento, uma vez que participam da síntese e das funções básicas de muitos componentes celulares. Além destes nutrientes e dos elementos traço, a vitamina B<sub>12</sub> é o único fator de crescimento conhecido, requerido por algumas espécies de cianobactérias (Chorus & Bartram 1999).

Diversos fatores como urbanização, agricultura e desenvolvimento industrial têm incrementado as concentrações de N e P nos corpos d'água, sendo que a quantidade, a proporção e a composição química das fontes de tais nutrientes podem influenciar a magnitude, a duração e a composição das florações (Paerl 2008). Segundo este mesmo autor, a entrada de nutrientes pode interagir sinérgica ou antagonicamente com outros fatores como sedimentação, descarga de água e estabilidade da coluna d'água, determinando várias características das florações formadas por cianobactérias.

O fósforo é frequentemente citado como limitante ao crescimento de cianobactérias e, ao mesmo tempo, como o principal causador de florações, quando em excesso (Paerl 2008). Ambientes com razão molar N:P menor que 15 são mais suscetíveis à dominância de cianobactérias, especialmente as fixadoras de nitrogênio e águas apresentando razão N:P maior que 20 favorecem a dominância de algas eucarióticas (Paerl 2008). No entanto, alguns experimentos têm mostrado que a afinidade das cianobactérias tanto por fósforo quanto por nitrogênio é maior se comparada a outros grupos de algas (Chorus & Bartram 1999).

O sucesso das cianobactérias, e consequente floração em ambientes com disponibilidade de fósforo, resultam da habilidade destes organismos em estocar fósforo internamente como corpos polifosfatados, permitindo a sobrevivência e a manutenção do seu crescimento durante períodos subsequentes de deficiência externa deste nutriente. Segundo Chorus & Bartram (1999) este estoque de P em cianobactérias pode ser suficiente para realizar duas a quatro divisões celulares, correspondendo a um aumento de biomassa de 4-32 vezes. Além disso, cianobactérias capazes de movimentos verticais rápidos na coluna d'água apresentam uma vantagem adicional de migrarem para zonas afóticas, próximas ao sedimento e ricas em fosfato, durante períodos de estratificação e depleção deste nutriente (Paerl 1988).

De acordo com Olrik (1994), a limitação real de nitrogênio em ambientes aquáticos pode levar ao

crescimento das cianobactérias, que através da fixação de nitrogênio se tornam amplamente favorecidas frente a outros grupos de algas. Portanto, outra vantagem adicional das cianobactérias é a fixação atmosférica de nitrogênio, um processo metabólico fundamental, onde o  $N_2$  é convertido diretamente em  $NH_4^+$ , através da enzima nitrogenase. Várias adaptações morfológicas e fisiológicas permitiram alguns gêneros de cianobactérias fixar nitrogênio atmosférico em águas com deficiência deste nutriente, sendo este um processo consumidor de energia, que requer elevada intensidade luminosa e presença de micronutrientes como molibdênio e ferro (Padisák 2004). Ainda segundo esta autora, embora a fixação de nitrogênio seja típica das Nostocales, pode ser induzida em alguns gêneros não-heterocitados (ex. *Trichodesmium*) através de uma variedade de adaptações para criar um ambiente celular deficiente em oxigênio.

Uma vez que espécies fixadoras de nitrogênio se estabelecem, espécies não-diazotróficas podem constituir uma fração significativa do fitoplâncton, devido à sua habilidade em utilizar nitrogênio fixado produzido e liberado pelas espécies diazotróficas. Geralmente, a ocorrência de assembléias mistas de espécies diazotróficas e não diazotróficas está relacionada a ambientes moderadamente enriquecidos de fósforo e nitrogênio. Em contrapartida, ambientes enriquecidos com nitrogênio orgânico ou amoniacal também podem favorecer a proliferação de cianobactérias e de gêneros potencialmente tóxicos formadores de florações (Paerl 2008).

Dentre as diferentes fontes de fósforo para os ambientes aquáticos, podem-se destacar fontes não-pontuais, através do escoamento superficial; e pontuais como descargas de efluentes domésticos e industriais. Entre estas, as fontes pontuais têm sido o foco de reduções de fósforo por serem facilmente identificáveis e acessíveis (Paerl 2008). Este autor ainda destaca a importância de se considerar as formas particuladas e dissolvidas de fósforo em programas de controle deste nutriente. Lagos da Europa, Ásia e América do Norte têm sido citados como exemplos onde a redução exclusiva de fósforo levou ao declínio acentuado da dominância de cianobactérias e ao controle de florações. No entanto, em outros casos, reduções paralelas de nitrogênio e fósforo têm sido necessárias para minimizar a ocorrência de florações. As diversas fontes pontuais e

não pontuais de nitrogênio contribuem com diferentes formas particuladas e dissolvidas deste elemento, que incluem nitrogênio inorgânico dissolvido, nitrogênio orgânico dissolvido e nitrogênio orgânico particulado, todos representando um papel crítico no processo de eutrofização. Em contraste ao fósforo, o nitrogênio tem sido relacionado à ocorrência de florações em ambientes costeiros e estuarinos (Ryther & Dunstan 1971, Nixon 1995).

O manejo do fósforo e do nitrogênio, resultando em alterações na razão N:P, impactam comunidades de microalgas, reduzindo a produtividade e a biomassa, além de modificar a composição das espécies e selecionar aquelas melhor adaptadas às novas condições, geralmente representadas pelas cianobactérias devido às adaptações ecofisiológicas observadas neste grupo (Paerl 2008).

#### FATORES BIOLÓGICOS

Produtos naturais do metabolismo secundário das cianobactérias podem servir como defesa química destes organismos contra herbívoros e competidores (Landsberg 2002). Cianotoxinas, tais como microcistinas, possuem efeito negativo sobre a fisiologia e integridade de espécies zooplânctônicas herbívoras (Gustafsson *et al.* 2005). Ferrão-Filho *et al.* (2007) registraram sensibilidade de uma espécie de *Daphnia* à presença de filamentos de *C. raciborskii* na água, tendo sua capacidade de natação reduzida com o aumento na concentração dos filamentos e de saxitoxina. Ainda, outras características destas algas como tamanho, morfologia e baixo conteúdo nutricional podem levar a uma redução na ingestão pelos herbívoros, além da síntese de substâncias que as tornam impalatáveis (DeMott & Moxter 1991, Haney *et al.* 1995). Assim, a limitação, pelas cianobactérias, da atividade dos herbívoros como potenciais consumidores exerce papel crítico na formação e manutenção das florações.

A produção de compostos inibidores do crescimento de outras algas (alelopáticos) também tem sido mencionada como característica que confere vantagem competitiva às cianobactérias com relação aos demais grupos do fitoplâncton quanto a espaço, nutrientes e luz, levando à sua dominância em diferentes ecossistemas aquáticos (Paerl 1988, Leflaive & Ten-Hage 2007).

Alterações na cadeia trófica, como diminuição do controle descendente, ou seja, menor pressão de herbivoria resultante da predação seletiva do zooplâncton herbívoro pelo carnívoro, também podem favorecer as florações (Pinel-Alloul 1995), aumentando a turbidez e o sombreamento para espécies planctônicas que tentem coexistir com as cianobactérias.

### CONSEQUÊNCIAS DAS FLORAÇÕES

Florações de cianobactérias culminam alterações nos aspectos organolépticos da água, como em má aparência e odor desagradável, causando danos ecológicos e para a saúde humana. Ecologicamente, florações podem ser não palatáveis ou tóxicas às espécies consumidoras, causando alterações nas cadeias alimentares com potenciais efeitos na ciclagem de nutrientes e biodiversidade (Paerl *et al.* 2001). Por não serem consumidas, florações podem formar densas espumas e massas, as quais, ao se decomporem, causam excessivo consumo de oxigênio (hipoxia), principal fator responsável pelo declínio ou eliminação dos peixes, moluscos e outros organismos (Paerl 2008). Muitas linhagens de cianobactérias, como *Microcystis*, que chegam a representar mais de 50% da biomassa total de algas em alguns lagos (Zohary & Breen 1989), produzem hepatotoxinas (Chorus & Bartram 1999) que podem inibir o zooplâncton herbívoro, alterando o controle descendente e retroalimentando as florações.

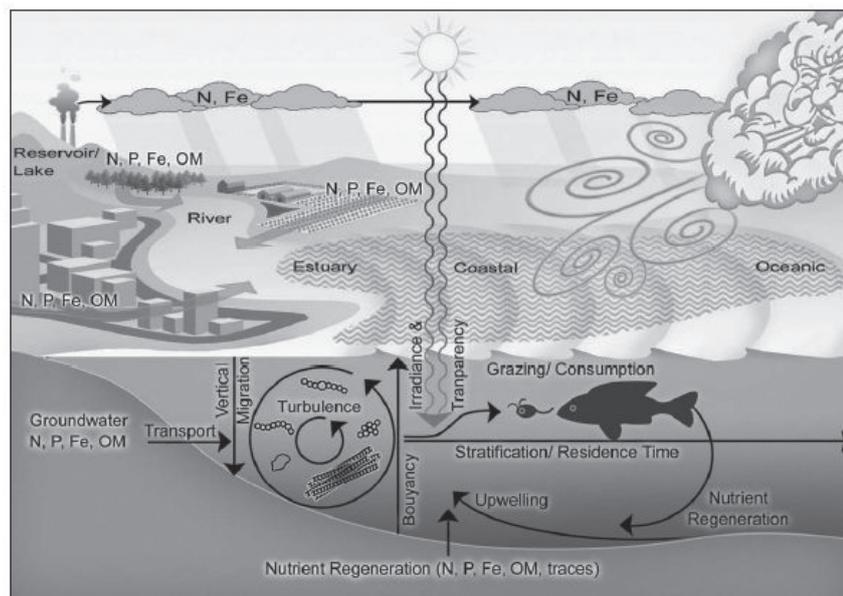
Florações de cianobactérias fixadoras de nitrogênio podem constituir significativas fontes 'de novo' de nitrogênio, promovendo potencialmente a eutrofização e ciclagem deste elemento (Paerl 1988). Da perspectiva de saúde pública, florações podem provocar uma variedade de odores e componentes de sabor (geosminas, 2-metil-isoborneol), tornando águas impróprias para consumo e recreação. Cianobactérias podem, ainda, produzir alcalóides, peptídeos e outros compostos que podem ser tóxicos pela ingestão ou contato com estas águas (Charmichael 1997, Chorus & Bartram 1999), promovendo inúmeros impactos econômicos e à saúde. Em lagos eutróficos, podem levar à maciça mortalidade de peixes e aves e provocarem sérios problemas de saúde ao gado, outros animais e humanos, afetando o valor recreacional e a harmonia paisagística do ecossistema.

A presença de florações nocivas, como de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*, em águas de abastecimento público, caracteriza um sério problema às estações de tratamento, pois se configuram em uma situação de risco à Saúde Pública em decorrência da produção de compostos neurotóxicos, hepatotóxicos ou irritantes à pele (Yunes *et al.* 2005). Segundo estes autores, florações de cianobactérias potencialmente tóxicas têm sido registradas em vários ecossistemas aquáticos no Brasil, geralmente em épocas de maior consumo de água, nos meses de verão, causando entupimento de filtros e problemas estéticos, levando à impossibilidade de uso do ecossistema aquático para qualquer fim.

### FORMAS DE CONTROLE DE FLORAÇÕES

Segundo Paerl (2008), embora N e P sejam considerados os principais causadores de eutrofização, não são os únicos fatores ambientais controladores da formação, duração e magnitude das florações. Como mostrado na Figura 1, outros fatores naturais ou antropogênicos podem influenciar no controle de florações, incluindo: sedimentação, a qual pode alterar os nutrientes e a luz; e hidrologia, especificamente descarga de água e tempo de residência, o qual afeta a chegada de nutrientes e sua ciclagem. Fontes e liberação de nutrientes podem interagir sinérgica e antagonicamente com a sedimentação, descarga de água e estabilidade da coluna d'água (mistura vertical) para determinar: se o corpo d'água é suscetível à formação de florações; a extensão (magnitude e duração) das florações no plâncton ou no habitat bêntico; e se o corpo d'água afetado é passível de etapas de manejo objetivando minimizar ou eliminar as florações.

Medidas para controle de florações incluem: (1) aplicação de algicidas, sendo mais comum o sulfato de cobre – no entanto, esta medida tem sido usada em pequenos lagos e reservatórios e não deve ser aplicada em ecossistemas de maior extensão ou em águas usadas para abastecimento, pesca, irrigação ou outros usos humanos, devido à produção de toxinas, as quais serão liberadas na água com a lise das células; (2) redução e manipulação da entrada de nutrientes (razão N:P); (3) quebra da estratificação térmica através de mecanismos que promovam mecanicamente ou hidrológicamente



**Figura 1.** Esquema conceitual, mostrando as interações físicas, químicas e bióticas dos fatores controladores de ‘florações’ ao longo de um *continuum* de ecossistemas aquáticos dulcícolas-marinho. Retirado de Paerl (2008).

**Figure 1.** Schematic representation of the physical, chemical and biotic interactions of the factors promoting cyanobacterial blooms over a range of fresh and salt water aquatic ecosystems. Obtained from Paerl (2008).

misturas verticais da coluna d’água, especialmente em reservatórios; (4) redução do tempo de retenção das águas e (5) biomanipulação (Paerl 2008).

Um exemplo de forma de controle referente ao item (3) é a pesquisa desenvolvida no lago Nieuwe Meer, um lago hipereutrófico de Amsterdam, onde se faz o controle artificial de florações de *Microcystis* desde 1993, quando todo o lago é misturado verticalmente através de aeração, a partir de tubos que saem do sedimento liberando bolhas de ar, obtendo-se resultados satisfatórios quanto à ‘desestruturação’ da floração (Jöhnk *et al.* 2008).

Quanto à biomanipulação (item 5), um grande número de pesquisas têm sido realizadas para modificar as cadeias alimentares e aumentar a pressão de herbivoria sobre as cianobactérias ou para reduzir a ciclagem de nutrientes. Pode ser feita introduzindo-se peixes e consumidores bênticos filtradores capazes de consumir cianobactérias ou introdução de bactérias e vírus (cianofagos); no entanto, as pesquisas mais comuns de biomanipulação objetivam aumentar a abundância de zooplâncton pela remoção de peixes zooplânctófagos ou pela introdução de peixes que se alimentam de outros peixes menores. Alternativamente, a remoção de peixes bentônicos pode reduzir a ressuspensão de nutrientes do sedimento. Uma questão a ser considerada é o tempo de eficácia da diminuição das florações pelo aumento da

pressão de herbivoria porque pode levar ao domínio de cianobactérias impalatáveis ou tóxicas ao zooplâncton.

Recentes estudos têm apontado para a atividade de vírus (cianofagos) como controladores de florações de cianobactérias (Hewson *et al.* 2001) e/ou controle por herbivoria (Capper *et al.* 2005). Estimativas recentes sugerem que os cianofagos sejam responsáveis por removerem aproximadamente 3% de *Synechococcus* marinho numa base diária (Suttle 2000). Este mesmo autor ressalta que há potencial uso de cianofagos como agentes biológicos controladores para eliminar ou reduzir florações desagradáveis de cianobactérias. Porém, a mortalidade das cianobactérias pelos cianofagos é seletiva e afeta a estrutura da comunidade fitoplanctônica. Fatores ambientais e estado fisiológico das cianobactérias claramente afetam as interações cianofagos-cianobactérias, mas permanecem ainda pouco entendidos.

## CONSIDERAÇÕES RELEVANTES

### CIANOACTÉRIAS PICOPLANCTÔNICAS

Segundo Stockner *et al.* (2000), estudos com picocianobactérias, o grande grupo não formador de floração, têm aumentado nas últimas décadas. Estas cianobactérias são células solitárias ou menos

frequentemente formam colônias. Ocorrem em todo o mundo e em todos os tipos de ambientes aquáticos de diversas condições tróficas. As populações de picocianobactérias unicelulares tendem a predominar em lagos extensos, profundos e oligo-mesotróficos, enquanto que as formas coloniais requerem como condições ótimas lagos de águas quentes, rasos e meso-eutróficos.

Apesar de pequenas, apresentam alta taxa de crescimento e têm sido constantemente registradas em elevadas densidades tanto no fitoplâncton quanto no perifíton em ecossistemas aquáticos continentais, por exemplo, no estado do Espírito Santo (Camargo-Santos 2005 e Bassani 2006 para a lagoa do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo; Cavati 2006 para a lagoa Juparanã; Figueiredo 2008, para o rio Jucu; Souza 2008 e Machado 2008 para a lagoa Mãe-Bá).

O desenvolvimento acelerado destas algas contribui substancialmente para a produção primária dentro da zona eufótica, mais significativamente em lagos ultraoligotróficos, mas também em lagos meso ou eutróficos, mostrando ótimo crescimento em alta razão N:P (maior que 20). Porém, a proliferação destas algas acarreta na formação de florações não visíveis, o que pode causar sérios danos ao próprio ecossistema aquático e às populações que dele dependem. Linhagens tóxicas de cianobactérias picoplânctônicas, como as do gênero unicelular *Synechococcus* que é um dos mais estudados e geograficamente mais distribuídos, têm sido registradas por diversos pesquisadores (Skulberg *et al.* 1993).

Por serem pequenos e de difícil visualização, durante muito tempo estes organismos passaram despercebidos na maioria dos estudos. No entanto, a partir da década de 1970, com o advento do microscópio com epifluorescência, a visualização e a enumeração do picoplâncton se tornaram mais precisas e a elevada densidade e contribuição destas algas para a produção de carbono na zona pelágica de oceanos e de lagos começaram a ser evidenciadas nas pesquisas.

### CIANOBACTÉRIAS PERIFÍTICAS

Muitas cianobactérias podem formar densas massas sobre diversos substratos, principalmente sobre sedimento e rochas, constituindo o perifíton. Conforme Komárek *et al.* (2003), as formas filamentosas de

cianobactérias constituem um importante grupo de organismos que compõem comunidades aderidas a substratos submersos. Em ecossistemas com águas mais transparentes, onde há maior incidência de luz sobre os substratos, e com grande disponibilidade de substratos, as cianobactérias perifíticas, inclusive as potencialmente tóxicas, apresentam desenvolvimento expressivo e, ao se desprenderem, formam densas massas flutuantes na coluna d'água. Estas massas, flutuantes ou aderidas, podem acarretar sérios problemas ambientais, econômicos e de saúde pública.

Cianobactérias perifíticas têm causado a morte de animais na Escócia (Chorus & Bartram 1999) e na Suíça onde populações perifíticas de *Oscillatoria limosa* foram ingeridas por gado que bebia água em lagos de montanha (Metz *et al.* 1997). No entanto, as cianobactérias perifíticas não têm recebido merecida atenção por parte dos pesquisadores, sendo negligenciadas em comparação com as cianobactérias fitoplanctônicas, as quais chamam mais atenção pela formação de florações.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Florações de cianobactérias são distribuídas globalmente e reguladas por diversos fatores ambientais, os quais podem agir sinérgica ou antagonicamente. A longa história evolutiva deste grupo mostra a elevada tolerância e adaptabilidade que apresentam em curto e longo prazo, fazendo destes organismos um verdadeiro sucesso ao longo dos milhares de anos em todos os ecossistemas. Disponibilidade de luz, altas temperaturas, estabilidade da coluna d'água, alto tempo de residência das águas, herbivoria dificultada pela presença de toxinas e morfologia das cianobactérias, além da disponibilidade dos nutrientes (basicamente N, P e razão N:P) favorecem a formação das florações em todas as partes do mundo.

As formas de controle das florações mais indicadas são a indução mecânica de misturas verticais na coluna d'água, aplicação de algicidas e controle biológico, através de biomanipulação com zooplâncton, peixes, bactérias e vírus, com precisas avaliações prévias nos ecossistemas em questão.

No entanto, muitas investigações ainda precisam ser feitas no sentido de elucidar os mecanismos básicos de respostas de diferentes espécies de cianobactérias aos fatores estimuladores de florações, e mais experi-

mentos precisam ser realizados com perspectivas de aplicações em larga escala quanto ao efetivo controle das florações. Além disto, avaliar a potencialidade de produção de metabólitos secundários, em especial das cianotoxinas, na dinâmica das florações deve ser prioridade nas pesquisas.

## REFERÊNCIAS

- BASSANI, L. 2006. *Avaliação da estrutura e produtividade primária do fitoplâncton na lagoa da UFES (Vitória, ES)*. Monografia de Bacharelado. UFES, Vitória, Brasil. 127p.
- BECKER, V.; CARDOSO, L.de S. & MOTTA MARQUES, D.D.A. 2004. Development of *Anabaena* Bory (Cyanobacteria) florações in a subtropical shallow lake, south Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16: 1-10.
- BROCK, T.D. 1973. Lower pH limit for the existence of blue-green algae: evolutionary and ecological implications. *Science*, 197: 480-483.
- CAMARGO-SANTOS, D. 2005. *Distribuição vertical da comunidade fitoplanctônica em uma lagoa artificial no estado do Espírito Santo (lagoa da UFES, Vitória, ES)*. Monografia de Bacharelado. UFES, Vitória, Brasil. 79p.
- CAPPER, A.; TIBBETTIS, I.R.; O'NEIL, J.M. & SHAW, G.R. 2005. The fate of *Lyngbya majuscula* toxins in three potential consumers. *Journal of Chemistry Ecology*, 31: 1595-1606.
- CARMICHAEL, W.W. 1997. The cyanotoxins. *Advances in Botanical Research*, 27: 211-256.
- CAVATI, B. 2006. *Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno, Linhares-ES): variação espacial e temporal da comunidade*. Monografia de Bacharelado. UFES, Vitória, Brasil. 96p.
- CHORUS, I. & BARTRAM, J. 1999. *Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon, London. 416p.
- CODD, G.A. 2000. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritization of eutrophication control. *Ecological Engineering*, 16: 51-60.
- DeMOTT, W.R. & MOXTER, F. 1991. Foraging on Cyanobacteria by copepods: responses to chemical defenses and resource abundance. *Ecology*, 72: 1820-1834.
- ESTEVES, F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia* (Segunda edição). Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 602p.
- FARQUAHR, J.; BAO, H.M. & THIEMENS, M. 2000. Atmospheric influence of Earth's earliest sulfur cycle. *Science*, 289: 756-758.
- FERRÃO-FILHO, A.S.; CUNHA, R.; MAGALHÃES, V.F.; SOARES, M.C.S. & BAPTISTA, D.F. 2007. Evaluation of sub-lethal toxicity of Cyanobacteria on the swimming activity of aquatic organisms by image analysis. *Journal Brazilian Society of Ecotoxicology*, 2: 1-8.
- FIGUEIREDO, C.C. 2008. *Variações da comunidade fitoplanctônica em uma área de captação de água do rio Jucu (Vila Velha-ES) e ocorrência de cianobactérias*. Dissertação de Mestrado. UFES, Vitória, Brasil. 167p.
- FUNASA (Fundação Nacional da Saúde). 2004. *Portaria n° 518*, 25 de março de 2004. Ministério da Saúde, Brasil.
- GIRALDEZ-RUIZ, N.; BONILLA, I. & FERNANDEZ-PIÑAS, F. 1999. Role of external calcium in homeostasis of intracellular pH in the cyanobacterium *Anabaena* sp. Strain PCC7120 exposed to low pH. *New Phytologist*, 141: 225-230.
- GUSTAFSSON, S.; RENGEFORS, K. & HANSSON, L-A. 2005. Increased consumer fitness following transfer of toxin tolerance to offspring via maternal effects. *Ecology*, 86: 2561-2567.
- HANEY, J.F.; SASNER, J.J. & IKAWA, M. 1995. Effects of products released by *Aphanizomenon flos-aquae* and purified saxitoxin on the movements of *Daphnia carinata* feeding appendages. *Limnology and Oceanography*, 40: 263-272.
- HAVENS, K.E. & HEATH, R.T. 1991. Increased transparency due to changes in the algal size spectrum during experimental acidification in mesocosms. *Journal of Plankton Research*, 13: 673-679.
- HEWSON, I.; O'NEIL, J.M. & DENNISON, W.C. 2001. Virus-like particles associated with *Lyngbya majuscula* (Cyanophyta, Oscillatoriaceae) floração decline in Moreton Bay, Australia. *Aquatic Microbial Ecology*, 25: 207-213.
- JÖHNK, K.D.; HUISMAN, J.; SHARPLES, J.; SOMMEIJER, B.; VISSER, P.M. & STROOM, J.M. 2008. Summer heatwaves promote florações of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*, 14: 495-512.
- KOMÁREK, J.; KLING, H. & KOMÁRKOVÁ, J. 2003. Filamentous Cyanobacteria. Pp. 117-196. In: J.D. Wehr & R.G. Sheath (eds.). *Freshwater algae of North America*. Academic Press, London. 900p.
- LANDSBERG, J.H. 2002. The effects of harmful algal florações on aquatic organisms. *Reviews in Fisheries Science*, 10: 113-390.

- LEFLAIVE, J. & TEN-HAGE, L. 2007. Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. *Freshwater Biology*, 52: 199-214.
- MACHADO, R.G. 2008. *Dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais como base para estimativa da qualidade ecológica da lagoa Mãe-Bá (Guarapari, ES)*. Monografia de Bacharelado. UFES, Vitória, Brasil. 120 p.
- METZ, K.; BEATTIE, K.A.; CODD, G.A.; HANSELMANN, K.; HAUSER, B.; NAEGELI, H.P. & PREISIG, H.R. 1997. Identification of a microcystin in benthic cyanobacteria linked to cattle deaths on alpine pastures in Switzerland. *European Journal of Phycology*, 32: 111-117.
- NIXON, S.W. 1995. Coastal eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-220.
- NICKLISCH, A.; SHATWELL, T. & KÖLLER, J. 2008. Analysis and modeling of the interactive effects of temperature and light on phytoplankton growth and relevance for the spring bloom. *Journal of Plankton Research*, 30(1): 75-91.
- OLIVER, R.L. & GRANF, G.G. 2000. Freshwater Florações. Pp. 150-189. In: B.A. Whitton & M. Potts (eds.). The ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, Boston. 669p.
- OLRIK, K. 1994. *Phytoplankton ecology*. Danish Environmental Protection Agency, Denmark. 183 p.
- PADISÁK, J. 2004. Phytoplankton. Pp. 251-308. In: P. O'Sullivan & C.S. Reynolds (eds.). The lakes handbook: limnology and limnetic ecology. Volume 1. Blackwell Publishing, USA. 871p.
- PAERL, H.W.; TUCKER, J. & BLAND, P.T. 1983. Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green (*Microcystis aeruginosa*) surface florações. *Oceanography*, 28: 847- 857.
- PAERL, H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae. Pp. 261-315. In: C.D. Sandgren (ed.). Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. 442p.
- PAERL, H.W. 2008. Nutrient and Other Environmental Controls of Harmful Cyanobacterial Florações along the freshwater-marine continuum. Pp. 217-237. In: H.K. Hudnell (ed.). Cyanobacterial Harmful Algal Florações: state of Science and Research Needs. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 619: 217-213.
- PAERL, H.W.; FULTON, R.S.; MOSAINDER, P.H. & DYBLE, J. 2001. Harmful Freshwater Algal Florações, with enfasis on Cyanobacteria. *The Scientific World*, 1: 76-113.
- PINEL-ALLOUL, B. 1995. Impact de la prédation des invertébrés sur les communautés aquatiques. Pp. 628-647. In: Pourriot, R. & Meybeck, M. (eds.). Limnologie Générale. Collection Écologie 25, Masson. 976p.
- RYTHER, J.H. & DUNSTAN, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171: 1008-1112.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R. & SOUZA, R.C.R. 2006. *Identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 58p.
- SKULBERG, O.M.; CARMICHAEL, W.W.; CODD, G.A. & SKULBERG, R. 1993. Taxonomy of toxic Cyanophyceae (Cyanobacteria). Pp. 145-164. In: I.R. Falconer (ed.). Algal toxins in seafood and drinking water. Academic Press, London. 224p.
- SMITH, V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratio favors dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221: 669-671.
- SOUZA, B.D. 2008. *Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari)*. Dissertação de Mestrado. UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil. 163p.
- STOCKNER, J.G.; CALLIERI, C. & CRONBERG, G. 2000. Picoplankton and other non-floração forming cyanobacteria in lakes. Pp. 195-231. In: B.A. Whitton & M. Potts (eds.). The ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, Boston. 669p.
- SUTTLE, C.A. 2000. Cyanophages and their role in the ecology of Cyanobacteria. Pp. 563-589. In: B.A. Whitton & M. Potts (eds.). The ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, Boston. 669p.
- TUCCI, A. & SANT'ANNA, C.L. 2003. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & SubaRaju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 26: 97-112.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ARANTES JÚNIOR, J.D.; TUNDISI, J.E.M.; MANZINI, N.F. & DUCROT, R. 2004. The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passag of cold front as reflected by physical, chemical and biological variables. *Brazilian Journal of Biology*, 64: 177-186.

WEBSTER, I.T. & HUTCHINSON, P.A. 1994. Effect of wind on the distribution of phytoplankton cells in lakes revisited. *Limnology and Oceanography*, 39: 365-373.

WEHR, J.D. & SHEATH, R.G. 2003. Freshwater habitats for Algae. Pp. 11-58. *In*: J.D. Wehr & R.G. Sheath (eds.). Freshwater algae of North America. Academic Press, London. 900p.

YUNES, J.; MATTHIENSEN, A.; CARNEIRO, C.; OROSKI, F.; BECKER, V. & CARVALHO, M.C. 2005. Florações de Cianobactérias tóxicas: Mãos à obra ao problema. Pp. 299-323. *In*: F. Roland, D. César & M. Marinho (eds.). Lições de Limnologia. RiMa, São Carlos. 517p.

ZOHARY, T. & BREEN, C.M. 1989. Environmental factors favoring the formation of *Microcystis aeruginosa* hyperscums in a hypertrophic lake. *Hidrobiologia*, 178: 179-192.

ZOHARY, T. & ROBERTS, R.D. 1990. Hyperscums and the population dynamics of *Myrocystis aeruginosa*. *Journal Plankton Research*, 12: 423-423.

*Submetido em 30/10/2008.*

*Aceito em 12/01/2009.*