

# ECOLOGIA, ECOFISIOLOGIA E TOXICOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS

*Aloysio da Silva Ferrão-Filho<sup>1\*</sup>, Renato Molica<sup>2</sup> & Sandra M.F.O. Azevedo<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Departamento de Biologia – Instituto Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Av. Brasil 4365, Mangueiras. CEP 21045-900. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Cianobactérias, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Bom Pastor s/n, Boa Vista. CEP 55.292-270. Garanhuns, PE, Brasil.

<sup>3</sup> Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, CCS, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão. CEP 21949-900. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\*E-mail: aloysio@ioc.fiocruz.br

## APRESENTAÇÃO

Um dos desafios atuais da humanidade neste século será, sem dúvida, a obtenção de água potável em quantidade e qualidade suficientes para o abastecimento humano (Tundisi 2003). O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) avalia que 40% da população mundial já enfrentam sérias dificuldades para manter a disponibilidade de água e que um terço da população mundial vive em países onde a falta de água vai de moderada a altamente impactante. Além disto, mais de 1 bilhão de pessoas têm problemas de acesso à água potável e 2,4 bilhões não têm acesso a saneamento básico; cerca de 37% da população mundial vive nas regiões costeiras, onde o esgoto doméstico é a maior fonte de contaminação. Junto a isso, a eutrofização marinha e costeira pelo nitrogênio é uma das principais fontes de poluição, contaminação e degradação dos recursos costeiros e marinhos (PNUMA, IETEC 2001, UNESCO 2003, citado em Tundisi 2003).

A eutrofização das águas continentais, entretanto, é ainda mais preocupante, pois tem resultado na mudança da estrutura das comunidades aquáticas, com a conseqüente dominância das cianobactérias, gerando efeitos ao longo de toda a cadeia alimentar. Não existe no Brasil uma estimativa do grau de eutrofização dos ecossistemas aquáticos continentais. Entretanto, de acordo com o Atlas de Saneamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), levando-se em conta as estimativas da produção média de esgoto por habitante determinado pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), é possível verificar que, na grande maioria das bacias hidrográficas, o volume de esgoto coletado é baixo (cerca de 50%) em relação ao produzido pelos municípios ali situados. A situação é mais

grave quando se considera que, nas grandes bacias hidrográficas, menos de 50% do esgoto coletado recebe tratamento (IBGE 2007).

As cianobactérias são organismos procarióticos capazes de fixar carbono através da fotossíntese, fazendo parte da comunidade fitoplanctônica e contribuindo, deste modo, com grande parte da produtividade primária e do fluxo de energia em ecossistemas eutrofizados. Estes organismos, entretanto, são também capazes de sintetizar uma série de compostos secundários, com efeitos biológicos tóxicos, chamados de cianotoxinas (Carmichael 1992). As cianotoxinas mais conhecidas são divididas basicamente em duas categorias, de acordo com seu mecanismo de ação: as hepatotoxinas e as neurotoxinas (ver os artigos de Molica & Azevedo, pp. 229-246 e Soares, pp. 259-271, para maiores detalhes). Estas toxinas tem sido responsáveis por casos de intoxicação de animais tanto da fauna silvestre quanto domésticos em todo o mundo (Freeman 2000, Briand *et al.* 2002), e também do homem (Jochimsem *et al.* 1998, Carmichael *et al.* 2001).

À medida que as pesquisas e programas de monitoramento mostravam que a ocorrência de florações de cianobactérias nos ecossistemas aquáticos continentais estava se intensificando no mundo todo, principalmente em razão do acelerado processo de eutrofização destes ecossistemas, e que a produção de toxinas por esses microrganismos era bastante freqüente, novos grupos de pesquisa foram sendo formados. Isto vem gerando mais informações sobre diferentes aspectos relacionados às cianobactérias e cianotoxinas, num claro processo de retroalimentação positiva. Pode-se ter como marco a década de 80, quando a publicação de trabalhos sobre as cianobactérias produtoras de toxinas se intensificou. Inicialmente, os objetivos eram identificar as espécies

toxigênicas, caracterizar e desenvolver técnicas analíticas para quantificação de cianotoxinas, os efeitos farmacológicos em vertebrados, além de estudos direcionados à compreensão de como os fatores ambientais regulavam a formação de florações e a produção de toxinas. Mais recentemente, a biologia molecular vem se mostrando uma importante ferramenta na identificação de espécies produtoras de toxinas, além de possibilitar, a partir da identificação dos genes responsáveis pela síntese das cianotoxinas, um melhor entendimento de como os fatores ambientais influenciam na expressão desses genes.

No Brasil, o primeiro artigo sobre produção de cianotoxinas por cepas de cianobactérias brasileiras foi publicado há 15 anos (Azevedo *et al.* 1994). Desde então, novos grupos se formaram. Entretanto, inegavelmente, a tragédia de Caruaru, onde cerca de 130 pacientes de uma clínica de hemodiálise foram contaminados com hepatotoxinas contidas na água utilizada nas sessões de diálise (Jochimsem *et al.* 1998, Carmichael *et al.* 2001), foi o grande impulsionador para o aumento do número de pesquisas realizadas com cianobactérias no país. Os focos principais destas pesquisas buscam a compreensão de aspectos sobre a ecofisiologia e ecotoxicologia, o desenvolvimento de novas tecnologias para identificação de espécies tóxicas, a remoção de cianotoxinas dissolvidas na água, dentre outros. Além disso, com o episódio de Caruaru, as florações de cianobactérias tóxicas foram reconhecidas como um problema de saúde pública e foram estabelecidos limites máximos permitidos para estas toxinas em água de abastecimento (Portaria MS 518/04, Ministério da Saúde 2004) e de usos múltiplos (Resolução CONAMA 357/05, CONAMA 2005).

O objetivo deste número especial de *Oecologia Brasiliensis* foi reunir um conjunto de revisões sobre os principais aspectos da pesquisa em cianobactérias, elaboradas por pesquisadores de reconhecida competência na área no país, visando elevar não só o grau e conhecimento do 'estado-da-arte' neste campo, bem como de divulgar as pesquisas realizadas no âmbito dos programas de pós-graduação e centros de pesquisa nacionais. Além disso, a apresentação de estudos de caso de ecossistemas representados pelas diferentes regiões do país, reunindo aspectos multidisciplinares que vão desde a análise de dados físico-químicos até a estrutura das comunidades bióticas, servirá como um banco de dados que permitirá

não só a comparação entre estes ecossistemas, mas também a análise de padrões sazonais que possam ajudar a entender os fatores que levam a formação de florações de cianobactérias em ecossistemas tropicais e sub-tropicais.

O artigo de Molica & Azevedo (pp.229-246) é uma revisão que aborda a ecofisiologia de cianobactérias, tendo como objetivo relatar os avanços no entendimento da influência de parâmetros ambientais no controle da produção de cianotoxinas e quais seriam as funções das cianotoxinas, principalmente das microcistinas.

O artigo de Fernandes *et al.* (pp. 247-258) trata da ecologia de cianobactérias e tem como objetivo descrever os principais processos e fatores ecológicos que levam a formação de florações de cianobactérias, assim como as principais associações ecológicas do fitoplâncton em lagos tropicais e sub-tropicais. A revisão trata ainda das consequências das florações para a qualidade da água e para a saúde humana, além de discutir algumas formas de controle das florações. Outro aspecto importante aqui abordado, muitas vezes negligenciado, é a presença das cianobactérias picoplânctônicas, que são de difícil identificação e das quais se conhece pouco sobre seu potencial tóxico, e também as cianobactérias perifíticas, que formam densas massas aderidas ao substrato em alguns ecossistemas, principalmente lóticos, e que podem representar sério risco para o gado que se abastece desta água.

O artigo de Soares (pp. 259-271) aborda os efeitos das cianotoxinas, principalmente das microcistinas, no nível bioquímico, celular e tecidual. O objetivo deste artigo foi descrever os principais mecanismos de ação das cianotoxinas a nível sub-organísmico e relatar os principais avanços nos métodos de estudo nesta área. A revisão trata ainda das vias de metabolização e detoxificação destas toxinas através da glutathione-S-transferase, enzima que faz parte da fase II deste processo. O autor destaca ainda que estudos toxicológicos experimentais são uma importante ferramenta na avaliação dos riscos dessas toxinas para a população humana. No entanto, a grande maioria dos dados sobre cianotoxinas ainda é obtida em estudos de intoxicação aguda, enquanto que a intoxicação crônica e subletal é, certamente, mais frequente, representando sérios riscos à população e deveria, portanto, merecer uma maior atenção das pesquisas científicas neste campo.

O artigo de Ferrão-Filho (pp. 272-312) faz uma ampla revisão dos estudos de bioacumulação de cianotoxinas e seus efeitos em organismos aquáticos. Aborda os efeitos das principais cianotoxinas em vários taxa de organismos aquáticos e avalia criticamente os estudos de bioacumulação destas toxinas nestes organismos. O artigo aponta, inclusive, alguns erros conceituais que têm sido cometidos em alguns trabalhos, com relação ao cálculo do fator de bioacumulação.

Os estudos de caso destinaram-se a apresentação de trabalhos em ecossistemas que apresentam florações recorrentes de cianobactérias e que tenham sido monitorados com relação a aspectos limnológicos e ecotoxicológicos. O objetivo inicial era contemplar cada uma das cinco regiões do país onde houvesse estudos de longa duração em ambientes contaminados por cianobactérias tóxicas.

Para a região sul dois artigos são apresentados: Yunes (pp. 313-318) faz uma síntese dos 20 anos de estudo na Lagoa dos Patos (RS). Este é o segundo maior sistema lagunar do Brasil, com elevada importância turística e econômica na região, além de servir como manancial de abastecimento para diversos municípios. Este ecossistema vem apresentando intensas florações tóxicas de cianobactérias, principalmente da espécie *Microcystis aeruginosa*. O autor destaca a influência da temperatura, do fluxo de enchente e das razões N:P na sazonalidade das florações e como o efeito do sal marinho interfere na composição intra e extracelular de microcistinas nas células. O artigo de Chaves *et al.* (pp. 319-328) apresenta dados do monitoramento do Rio dos Sinos (RS), no ponto de captação do reservatório da REFAP, entre os anos de 2005 a 2008. Os autores reportam a ocorrência de florações de cianobactérias e cianotoxinas na Bacia do Rio dos Sinos e a jusante do reservatório, ao longo de todo o período de amostragem, e discutem a importância do represamento das suas águas como fator importante na promoção das florações.

Três artigos envolvem atividades de pesquisa para a região sudeste. A Lagoa de Jacarepaguá (RJ) faz parte de um importante complexo lagunar da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, o qual é utilizado para pesca, recreação e como reservatório de esgotos domésticos da região de Jacarepaguá, Cidade de Deus e Barra da Tijuca. No trabalho de Gomes *et al.* (pp. 329-345) são apresentados dados referentes aos

estudos realizados entre 1996 e 2007, nesta lagoa. Os dados mostram que esta região vem apresentando intensas florações de cianobactérias, principalmente da espécie *Microcystis aeruginosa*, e que há presença de microcistinas no seston, zooplâncton e no pescado. Os valores encontrados no pescado excederam, em até cinco vezes, o limite máximo recomendado pela Organização Mundial de Saúde. Estes dados levaram à tomada de decisão da Secretaria Estadual de Meio Ambiente em proibir a pesca e a comercialização de peixes oriundos do Complexo Lagunar de Jacarepaguá no início do ano de 2007, devido aos riscos potenciais das microcistinas para a saúde da população.

O Reservatório do Funil (RJ), situado no município de Resende, é formado pelo represamento das águas do Rio Paraíba do Sul, recebendo grande aporte de nutrientes provenientes do esgoto doméstico e industrial dos municípios localizados na bacia do Rio Paraíba do Sul, tendo se tornado, portanto, um sistema eutrofizado, com dominância constante de cianobactérias e florações intensas durante os meses mais quentes e chuvosos. Ferrão-Filho *et al.* (pp. 346-365) apresentam os dados de um período amostral de quatro anos (2002 a 2006), em que é reportada a ocorrência de três espécies de cianobactérias dominantes: *Anabaena circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*, todas potencialmente produtoras de cianotoxinas. As análises revelaram a presença de microcistinas e saxitoxinas em várias amostras de água bruta (seston) e pelo menos uma cepa isolada da cianobactéria *C. raciborskii* (CYRF01) foi comprovada como produtora de saxitoxinas. Estudos mostraram que as microcistinas se acumularam no zooplâncton e testes de toxicidade com cladóceros nativos e de origem temperada demonstraram a toxicidade de amostras de água bruta para estes organismos.

O terceiro artigo da região sudeste, de Fernandes *et al.* (pp. 366-381), apresenta dados de vários estudos realizados na Lagoa Mãe-Bá (ES), ao longo de um período amostral de três anos (2005-2007). A estrutura e dinâmica das comunidades de cianobactérias fitoplanctônicas e perifíticas foram analisadas, identificando as cianobactérias com possibilidade de produção de toxinas e avaliando se a lagoa representa um ecossistema com potencial de floração de cianobactérias. Foram realizadas coletas em quatro pontos de amostragem e analisadas

as variáveis limnológicas e a composição das comunidades fitoplanctônica e perifítica, densidade, riqueza de espécies e diversidade de táxons.

Na região nordeste, Costa *et al.* (pp. 382-401) analisam a dinâmica espacial e temporal do fitoplâncton, em seis reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte entre setembro de 2002 e março de 2004, abrangendo períodos de estiagem e chuva. A composição de espécies da comunidade fitoplanctônica foi analisada com base na associação de espécies e sua biomassa foi correlacionada com as variáveis ambientais (temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, Secchi, nutrientes e clorofila-a). O bacterioplâncton e o zooplâncton também foram analisados. Densas populações de cianobactérias potencialmente tóxicas, tais como *Microcystis* spp., *C. raciborskii*, *Anabaena* spp., *Planktothrix agardhii*, *Aphanocapsa* spp. e *Anabaena circinallis* foram registradas nos reservatórios investigados. Bioensaios com camundongos, utilizando extratos liofilizados de amostras planctônicas, revelaram a presença de compostos hepatotóxicos em cinco dos seis reservatórios estudados.

No último artigo, Gomes *et al.* (pp. 402-412) apresentam dados de experimentos realizados para se testar o efeito da flora microbiana local e isolada do ambiente (Lagoa de Jacarepaguá, RJ) na degradação de microcistinas, em diferentes concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD). Os resultados destacam a importância da atividade bacteriana e da presença de COD nesse processo.

Esperamos que este número da *Oecologia Brasiliensis* preencha uma lacuna no tocante a estudos sobre cianobactérias no Brasil e que sirva também como estímulo para novos projetos, com uma visão mais integrativa e multidisciplinar, exigência cada vez maior nos estudos ecológicos. Esperamos contribuir também para despertar o interesse público nestes estudos e influenciar novas iniciativas de investimento em pesquisa nesta área.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S.M.F.O.; EVANS, W.R.; CARMICHAEL, W.W. & NAMIKOSHI, M. 1994. First report of microcystins from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Journal of Applied Phycology*, 6: 261-265.

BRIAND, J-F.; JACQUET, S.; BERNARD, C. & HUMBERT,

J.F. 2003. Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Veterinary Research*, 34: 361-377.

CARMICHAEL, W.W. 1992. Cyanobacteria secondary metabolites: the cyanotoxins. *Applied Bacteriology*, 72: 445-454.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.F.O.; NA, J.S.; MOLICA, R.J.R.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.I.; SHAW, G.R. & EAGLESHAM, G.K. 2001. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives*, 109: 663-668.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2005. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, CONAMA.

FREEMAN, K. 2000. Psychic networks: training computers to predict algal blooms. *Environmental Health Perspectives*, 108: 465-467.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). 2007. Atlas de Saneamento. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/22032004/atlassaneamentohtml.shtm>>. Acesso em 19/02/2009.

IETEC (INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE). 2001. *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*. IETEC/UNEP/PNUMA, Série de Publicações Técnicas, J. G. Tundisi (Ed.). Vol. 11, 385p.

JOCHIMSEN, E.M.; CARMICHAEL, W.W.; AN, J.; CARDO, D.M.; COOKSON, S.T.; HOLMES, C.E.M.; ANTUNES, B.C.; FILHO, D.A.M.; LYRA, T.M.; BARRETO, V.S. T.; AZEVEDO, S.M.F.O. & JARVIS, W.R. 1998. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *New England Journal of Medicine*, 338: 873-878.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2004. Portaria nº 518, 26 de março de 2004.

TUNDISI, J.G. 2003. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. Editora Rima, São Carlos. 248p.

*Artigo de apresentação do Número Especial Oecologia Brasiliensis 13(2), 2009.*