

Importância do Monitoramento de Cianobactérias e Suas Toxinas em Águas Para Consumo Humano

D.G. Gradíssimo ^{a,*}, M.M. Mourão ^a, A.V. Santos ^a

^a Laboratório de Biotecnologia de Enzimas e Biotransformações, Universidade Federal do Pará, Belém (PA), Brasil

*Endereço de e-mail para correspondência: dianagradissimo@gmail.com

Recebido em 26/04/2018; Revisado em 05/04/2019; Aceito em 12/05/2020

Resumo

Cianobactérias são microrganismos de importante papel evolutivo, na base de cadeias alimentares de diversos ecossistemas e desempenham ainda um papel chave na ciclagem de nutrientes. No entanto o seu crescimento exacerbado, muitas vezes propiciado pelo acúmulo de matéria orgânica advinda de efluentes industriais ou de esgoto doméstico sem o tratamento adequado, pode resultar na produção de cianotoxinas por estas bactérias. As cianotoxinas produzidas por vários gêneros de cianobactérias apresentam potencial tóxico para mamíferos, ocasionando lesão hepática, danos neurológicos e podendo até levar a óbito, como o ocorrido em uma clínica de diálise em Caruaru/PE. Levando em consideração essas informações é importante que as medidas adequadas de tratamento sejam aplicadas à água utilizada para consumo humano, e que seja realizada fiscalização em estações de captação e tratamento de água, de forma a minimizar os riscos de contaminação humana por cianotoxinas.

Palavras-Chave: Cianotoxinas, Microbiologia ambiental, Água de consumo

Abstract

Cyanobacteria are microorganisms of evolutionary importance, as the base of food chains in various ecosystems and playing a key role in the cycling of nutrients. However, its exacerbated growth, often caused by the accumulation of organic matter from industrial effluents or domestic sewage without adequate treatment, can result in the production of cyanotoxins by these bacteria. Cyanotoxins produced by several genera of cyanobacteria present toxic potential for mammals, causing hepatic damage, neurological damage and even leading to death, such as occurred in a dialysis clinic in Caruaru/PE. It is of the utmost importance that appropriate treatment measures are applied to water used for human consumption and that surveillance be carried out at water collection and treatment stations in order to minimize the risk of human contamination by cyanotoxins.

Keywords: Cyanotoxins, Environmental microbiology, Drinking water

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são um grande patrimônio do Brasil, sendo o país com maior quantidade de água doce do mundo, possuindo 12% de toda a água doce do planeta. Sendo assim, é um grande contrassenso que 34 milhões de brasileiros, em 2017, não tenham ainda acesso a água potável. Outro problema grave é a qualidade da água utilizada para consumo, uma vez que apesar de existirem legislações e diretrizes específicas para nortear o tratamento de água, percebe-se uma falta de fiscalização

palpável, podendo levar a casos graves como o que levou à morte 80 pacientes de diálise no nordeste brasileiro, por contaminação por cianotoxinas.

Estas toxinas são produzidas por cianobactérias: microrganismos de importante papel evolutivo, pela manutenção de cadeias alimentares e a regulação a ciclagem de nutrientes através dos ciclos biogeoquímicos. Além disso, quando na presença de grande quantidade de nutrientes, advindos de matéria orgânica, estes organismos podem apresentar um alto crescimento em ambientes aquáticos, dificultando a entrada de luz no

ambiente e assim prejudicando outros organismos presentes nesse habitat.

É também nestas condições de grande floração, que alguns gêneros de cianobactérias encontram os parâmetros ideais para síntese de compostos que apresentam de leve a alta toxicidade para mamíferos. As cianotoxinas podem afetar uma gama de órgãos e sistemas do organismo humano, e bem descritas na literatura, toxinas de ação no fígado e perigosas neurotoxinas que podem levar à morte em pequenas concentrações.

Sabendo-se do potencial tóxico e letal destes compostos, é essencial que seja feita um monitoramento em mananciais de água utilizados para captação deste recurso para consumo humano, além de água utilizada para recreação.

Nesta breve revisão serão citadas as principais cianotoxinas de importância médica, com ação em mamíferos, principalmente em humanos, relatando também um histórico dos principais casos de intoxicação por cianotoxinas decorrentes de exposição aguda e crônica, por fim tratando das legislações que regem os parâmetros de qualidade de água potável e ainda algumas das metodologias mais adequadas para detecção e remoção de cianotoxinas de ambientes aquáticos.

Este trabalho intenciona alavancar o debate acerca da importância não só do monitoramento e subsequente fiscalização, mas ainda alertando dos perigos do despejo de esgoto doméstico e efluentes industriais em rio e águas em geral, já que estas ações humanas têm relação direta com o crescimento cianobactérias em níveis suficientes para a produção de cianotoxinas.

2. CIANOBACTÉRIAS

2.1. Histórico

Conhecidas comumente como algas azuis ou algas cianofíceas, as cianobactérias são microrganismos gram-negativos fotossintetizantes, com diversas morfologias, apresentando-se na forma unicelular, em colônias ou não, ou filamentosas, e mais ainda na sua dispersão geográfica, sendo encontradas em uma miríade de habitats, dos gêiseres escaldantes de Yellowstone ao gelo da Antártica [1, 2].

Estes organismos têm uma inegável importância evolutiva e ecológica: as cianobactérias são os seres mais antigos do planeta Terra, tendo sua origem estimada em 3,5 bilhões de anos, responsáveis pela oxigenação da nossa atmosfera e pelo surgimento dos cloroplastos, hoje presentes em plantas superiores [3].

Segundo a taxonomia mais atual, as cianobactérias estão dispersas em 150 gêneros, com número de espécies variando entre 2000 e 8000, das quais se estima que ao menos 40 apresentem algum tipo de composto tóxico - sejam as cianotoxinas ou

lipossacarídeos (LPS) de suas membranas e mucilagens. Destas 40 espécies, já foram identificadas 20 em ambientes aquáticos brasileiros, sendo a *Microcystis aeruginosa* a espécie com maior dispersão no país, e o gênero *Anabaena* o que engloba maior número de espécies potencialmente tóxicas [4, 5].

As cianobactérias são as maiores produtoras de biomassa primária na maioria das cadeias alimentares em diversos ambientes, e apesar de tolerarem grandes estresses físico-químicos como temperatura e níveis de pH extremos, a maioria das espécies deste filo apresenta predileção por ambientes de água doce, como lagos, rios e reservatórios que servem de fonte de água potável ou de recreação [1].

2.2. Eutrofização e Blooms de Cianobactérias

O crescimento destas bactérias é favorecido em ambientes neutro-alcalinos, com pH entre 6 e 9, temperaturas variando de 15 a 30° e com presença abundante de nutrientes como nitrogênio e fósforo - amplamente encontrados em rejeitos industriais e domésticos [6].

A alta concentração de nutrientes e matéria orgânica, seja de origem natural - como ocorre em águas lenticas como lagoas, , pequenos rios e igarapés - mas principalmente por ação antropogênica, é denominado de eutrofização, ou eutrofização, a qual é caracterizado por um crescimento acentuado de algas e cianobactérias na superfície da água, prejudicando a livre circulação de gases e a entrada de luz solar e a dispersão de fótons, afetando todo o ecossistema aquático [2, 4]

O crescimento urbano quando não é aliado a um planejamento adequado, principalmente na questão de esgoto e saneamento - um problema latente no país, no qual apenas 30% dos municípios tem saneamento básico - , assim como os rejeitos industriais não tratados, com despejo direto em mananciais, estão diretamente relacionados a esta floração ou *bloom* de cianobactérias, caracterizada por concentrações acima de 10⁶ células de cianobactérias por litro de água. Este acúmulo de biomassa está relacionada à maior produção de cianotoxinas que apresentam ação especialmente tóxica em mamíferos [7].

2.3. Cianotoxinas

As toxinas produzidas por cianobactérias podem ser classificadas de acordo com sua estrutura química e atuação no organismo. Encontramos cianotoxinas de origem proteica como os peptídeos cíclicos, em sua maioria hepatotoxinas, alcaloides de ação neurológica, e os lipopolissacarídeos, formados por açúcares e ácidos graxos. Portanto, este artigo dará destaque aos alcaloides

e ciclo peptídeos por apresentarem maior risco à saúde humana [3].

A microcistina e a nodularina são as cianotoxinas mais difundidas e envolvidas na maioria dos casos de intoxicação, apresentando-se como pequenas moléculas de peptídeos. A microcistina é produzida por diversos gêneros de cianobactérias, como *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Nostoc* e *Anabaenopsis*, enquanto que a nodularina é apenas encontrada no gênero *Nodularia*, do qual recebeu o nome. Sua ação é majoritariamente no fígado, já que estas cianotoxinas são extremamente hidrofílicas e não conseguem transpor a barreira física das membranas lipofílicas de células humanas a menos que por ação de uma enzima transportadora que as carregue até o interior celular, só conseguindo, portanto, afetar as células que sintetizam esta enzima, como ocorre no fígado [7].

Das cianotoxinas que pertencem a classe dos alcaloides temos como exemplo mais uma toxina de ação citotóxica e hepatotóxica, a cilindrospermopsina, produzida por algumas espécies de *Cylindrospermopsis* e *Aphanizomenon* e cianotoxinas neurotóxicas a exemplo das anatoxinas e saxitoxinas [8].

As anatoxinas dividem-se em anatoxina-a e homoanatoxina-a, estruturalmente relacionadas, anatoxina-a(s) e saxitoxinas. Já foram descritas na literatura a produção de anatoxina-a por cianobactérias do gênero *Anabaena*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum* e *Microcystis*, todos organismos que fazem parte do ecossistema do litoral brasileiro. A anatoxina-a(s) merece destaque por ser o único organofosforado - largamente utilizados em defensivos agrícolas - de origem biológica, sendo sintetizado por *Anabaena lemmermannii* e *Aphanizomenon flos-aquae*. É imprescindível o monitoramento adequado desta toxina por conta de sua letalidade. Em estudos *in vivo* utilizando ratos, verificaram-se que a dose necessária para levar a morte 50% das cobaias (LD50) foi de apenas 20 µg/mL, dez vezes mais letal que a anatoxina-a, que apresenta LD50 de 200 a 250 µg/mL [9, 10, 11].

As saxitoxinas são mais conhecidas como produto de dinoflagelados marinhos, sendo também produzidas em quantidades significativas por cianobactérias como *Aph. flos-aquae*, *A. circinalis*, *C. raciborskii* e *Lyngbya wollei*. Apresentam ação ainda mais tóxica e letal que as anatoxinas, com LD50 de apenas 10 µg/mL [12].

Com o mesmo mecanismo de ação das saxitoxinas, as neurotoxinas produzidas por cianobactérias agem nos canais de sódio dependentes de voltagem de células neurais e musculares, seja bloqueando estes canais, impedindo a passagem de impulsos nervosos e levando a óbito por asfixia, ou ainda atuando nos mesmos canais porém mantendo-os sempre

ativos, ocorrendo expressiva descarga de impulsos nervosos, provocando tremores musculares, convulsões e por fim levando à asfixia [4].

3. RISCOS À SAÚDE HUMANA

3.1. Casos Internacionais

Casos de intoxicação humana ou de gado e animais domésticos por cianotoxinas têm seus primeiros relatos em 1878, como descrito por Francis, o caso ocorreu no lago Alexandria, no sul da Austrália, onde um *bloom* de florescência de *Nodularia spumigena* teria surgido neste lago de pouca profundidade. O volume reduzido de água favoreceu o acúmulo de nodularina, levando à morte de gado por estupor, em que os animais passaram por um estado de inconsciência seguindo-se de convulsões [13].

Ainda que águas lânticas favoreçam a formação de *blooms*, encontramos na literatura casos de intoxicação em rios, como ocorrido em Ohio nos Estados Unidos em 1931, no qual uma cianobactéria não identificada causou um surto de gastroenterite em humanos. Um surto similar, atingindo principalmente crianças, foi registrado em 1966 no Zimbábue após o crescimento de *Microcystis aeruginosa* em um reservatório de água para consumo [14, 15].

Em 1983 foram registrados dois casos de intoxicação em humanos na Austrália, sendo o primeiro em Armidale, onde foi detectada lesão hepática numa população que consumia água de um reservatório, e, assim como no caso africano, apresentou grande floração de *Microcystis aeruginosa*, porém a cianotoxina específica que causou o surto não foi identificada [16].

O outro caso australiano ocorreu a partir de 1979 - sendo elucidado apenas em 1983 - ficou conhecido como o mistério de Palm Island, caracterizado por um surto de hepato-enterite em uma comunidade aborígene de mesmo nome, tendo como causa o acúmulo de cilindrospermopsina - produzida por *Cylindrospermopsis raciborskii* - na barragem Solomon, única fonte de água potável da região [17].

A neurotoxina anatoxin-a(s) foi responsável pela mortandade de gado e cães domésticos, além de peixes e aves do ecossistema, no lago Richmond na Dakota do Sul, o caso ocorreu entre 1985 e 1988 e apesar da maior prevalência de *Anabaena flos-aquae*, outras duas espécies foram identificadas como produtoras de cianotoxinas no local: *Aphanizomenon flos-aquae* e *Microcystis aeruginosa* [10].

O primeiro caso relatado no Reino Unido ocorreu em 1989, um *bloom* de *Microcystis aeruginosa*, desta vez com a produção acentuada da cianotoxina Microcystin-LR, que apesar da ação majoritariamente hepatotóxica, causou pneumonia e diarreia em dois

recrutas de 16 anos do exército que praticavam canoagem na reserva Rudyard, em Staffordshire, Inglaterra, alertando para os riscos envolvidos também no uso recreativo de águas contaminadas. Este foi também o primeiro caso registrado associando cianotoxinas à pneumonia, relacionando-se principalmente à aspiração de água contaminada [18].

No início da década de 1990 houveram relatos de contaminação por três diferentes neurotoxinas. No primeiro caso, saxitoxina e neosaxitoxina causaram a morte de gado pelo consumo de água devido a uma acentuada florescência de *Anabaena circinalis* no rio Darling, novamente na Austrália. Este caso tem como característica importante a extensão do *bloom* de *A. circinalis* que chegou a cobrir cerca de 1.000 quilômetros do rio. A neurotoxina anatoxina-a, produzida neste caso por cianobactérias do gênero *Oscillatoria* sp., também provocou a morte de cães em Loch Insh na Escócia em 1992. Ainda na Escócia, em 1994 houve mortandade maciça de peixes em Loch Leven por conta de uma *bloom* de *Anabaena flos-aquae* produtora de microcistinas [19, 20].

O perigo da contaminação por exposição crônica a cianotoxinas pode ser observada na China, no distrito de Nandong, em um acompanhamento feito em 1994 e 1995, onde verificou-se o aumento considerável da incidência de câncer de fígado primário na população que consumia água de fossos e poços da região - resultando em 100,13 casos de câncer primário por 100.000 habitantes. Para comparação, a faixa para o consumo de água de poços é de apenas 4,28 por 100.000 habitantes. Testes para microcistina foram positivos para 60% das amostras analisadas, com concentração média de 160 picogramas de microcistina por mL de água [7, 21].

3.2. Casos Nacionais

Os únicos registros de contaminação por cianotoxinas que levaram à morte de humanos ocorreram no Brasil, denotando a necessidade palpável de maior monitoramento de tratamento das águas utilizadas para consumo humano em nosso país. Em 1993 analisou-se a forte correlação de uma grande florescência dos gêneros *Anabaena* sp. e *Microcystis* sp. na represa de Itaparica, Bahia com o acúmulo de uma cianotoxina não identificada, que resultou em mais de 2.000 casos de gastroenterite em uma população que consumiu água do reservatório entre março e abril de 1988, afetando principalmente crianças e resultando em 88 mortes [22].

O nordeste é a região do país que mais apresenta eventos de grande floração de cianobactérias e algas, pois os fatores ambientais como a temperatura amena das águas e pouca incidência de ventos que façam a dispersão dos *blooms*, colaboram para este quadro, mas a ineficiência do monitoramento e tratamento de águas de

consumo e recreação são importantes agravantes como emblemático no caso de Caruaru em Pernambuco [23].

3.2.1 Contaminação de Água para Tratamento de Diálise

À época da tragédia de Caruaru, Pernambuco representava 5% dos quase 25.000 pacientes que necessitam de hemodiálise no país. Estes 1.260 pacientes contavam com 12 clínicas operando serviços de diálise no estado, sendo duas em Caruaru, o INUC e IDR (Instituto de Doenças Renais) que no período do evento de contaminação atendia cerca de 126 pacientes. Cada um desses pacientes consumia por sessão - sendo usualmente necessárias 3 sessões de diálise por semana - 120 litros de água, com cerca de 1.440 litros por mês de água por paciente, totalizando 181.440 litros por mês de água só para os serviços de diálise [24].

Após investigações, puderam ser verificadas falhas substanciais nos protocolos de tratamento da água para diálise. O método padrão para a limpeza da água, obtida do reservatório Tabocas e tratada na estação municipal, consistia na sedimentação de partículas com alumínio, filtração e cloração da água previamente antes do transporte por caminhão pipa. Chegando à clínica, a água passava pela etapa de filtração em areia, carvão ativado, resina de troca-iônica e membrana de nitrocelulose, porém os filtros da clínica não eram trocados a mais de três meses, o que prejudicava sua eficiência. Além disso, antecedendo a ocorrência, verão de 1996, a região passava período de estiagem, o que prejudicou o abastecimento de água, com a mesma chegando visivelmente turva à clínica de diálise [25].

Após as sessões rotineiras de diálise entre 13 e 20 de fevereiro de 1996, 86% dos pacientes apresentaram alterações visuais, náuseas e vômito. Como consequência, 100 pacientes desenvolveram falência hepática e 76 chegaram a óbito, sendo que 23 pacientes faleceram nas primeiras 2 semanas após a diálise, apresentando sintomas neurológicos ou falência hepática. Nas 5 semanas posteriores, cerca de 37 outros pacientes foram a óbito em consequência de problemas hepáticos graves, sepse, hemorragia gastrointestinal ou problemas cardiovasculares. Das fatalidades associadas ao evento, 52 mortes foram de fato atribuídas à “Síndrome de Caruaru”, como ficou conhecida a intoxicação por cianotoxinas na região [9].

As lesões hepáticas nestes casos apresentavam similaridades ao observado em casos de hepatotoxinas de cianobactérias em animais, dando indícios da causa desta tragédia. No mês posterior, março de 1996, foram realizadas análises da água do reservatório de Tabocas pela companhia de fornecimento de água do estado de Pernambuco (COPENSA), revelando que em certas regiões do reservatório as cianobactérias representavam quase 40% do fitoplâncton, sendo os gêneros mais

abundantes *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, e *Spirulina*, sendo que os dois primeiros são gêneros conhecidamente produtores de cianotoxinas [2]

O grupo de pesquisa de Carmichael, em 2001, realizou estudos sobre o caso, encontrando similaridades sintomáticas e patológicas com casos de intoxicação por microcistinas em animais, especificamente as do tipo microcistina YR, -LR, e -AR. O mesmo grupo analisou através de ensaio enzimático (ELISA) a concentração de toxinas encontradas no fígado dos pacientes e estimou que a quantidade de microcistinas na água utilizada na diálise seria de 19,5 µg/L, quase 20 vezes acima do limite seguro estipulado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) [26].

4. Legislação e Diretrizes de Qualidade da Água

Ainda que a normas que regem os parâmetros de qualidade de água variem conforme a legislação de cada país, grande parte dos países ocidentais, incluindo o Brasil, tendem a se guiar pelas diretrizes da Organização Mundial de Saúde. A OMS faz menção a cianotoxinas em dois momentos: primeiramente, tratando-se especificamente da microcistina, considera esta, uma toxina química, orgânica, de ocorrência natural, juntando aos compostos inorgânicos como arsênico, boro, bário e flúor. Estipula-se o limite para esta cianotoxina de 0,001 mg por litro [26].

As concentrações máximas das demais toxinas e das próprias cianobactérias, encontram-se descritas nos parâmetros de qualidade microbiológica da água. Listam-se todas as cianotoxinas conhecidas produzidas por estes micro-organismos, não englobando-se os lipossacarídeos de membrana, que apresentam menor importância médica [3], destacando-se também que só são apresentados limites de detecção para microcistina.

No Brasil, o Ministério da Saúde, adotando normas da OMS, da International Standardization Organization (ISO), além de órgãos americanos como American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), estipulou não só as concentrações máximas de cianobactérias e suas toxinas em águas para consumo humano, mas também os parâmetros utilizados nos testes para detecção das mesmas, além de determinar obrigações legais, principalmente às estações de tratamento de água, quanto à comunicação da presença de cianobactérias nas clínicas de diálise e na produção de injetáveis abastecidos por elas (Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Art. 41, § 4º e Portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011). As duas cianotoxinas para as quais temos legislação em nosso país são a microcistina, cuja concentração deve estar abaixo de 1 µg/L, e saxitoxina, que deve estar abaixo de 3 µg equivalente STX/L. Já os *blooms* de devem ser

controlados a partir de análise periódica com base na densidade de cianobactérias, semanalmente caso a densidade de células por mL seja ≤ 10.000 ou mensal para valores menores [23, 27].

Diferentemente da OMS, a qual postula apenas o limite para a concentração de microcistina e apresentando mais de 80 estruturas distintas descritas em literatura a legislação brasileira determina também a concentração máxima para presença da neurotoxina saxitoxina, sendo esta na ordem de 3 µg por litro de água [7].

Um dado importante destacado tanto nas “Diretrizes de Qualidade de água para Consumo Humano” da OMS quanto na legislação brasileira, é que na baixa concentração de células de cianobactérias em reservatórios de água e em águas potáveis no geral, de modo que a quantidade de biomassa de micro-organismos necessária para produzir níveis perigosos de cianotoxinas só é alcançado na formação de *blooms*, sendo mandatório o monitoramento semanal de mananciais que apresentarem concentração maior do que 20.000 células/mL, e mensal quando menor que 10.000 células/mL [27].

Sendo assim, os métodos de tratamento de água como cloração, floculação, filtração e carvão ativado devem ser usados posteriormente a um controle físico na fonte de água, através de barreiras e cuidados na captação de água, tendo-se mais atenção com a ruptura das células e proibindo-se o tratamento de águas com componentes algicidas (Lei nº 11.445, Art. 40, § 6º), já que as cianotoxinas são compostos produzidos intracelularmente.

5. Métodos de Identificação de Toxinas e Tratamento de Água

Podemos destacar três metodologias para a identificação de cianotoxinas em ambiente aquático, duas baseadas na separação de compostos: a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e eletroforese capilar, e o terceiro método por ensaio imunológico (ELISA).

O método de análise por HPLC, consiste na separação e detecção de compostos distintos de acordo com suas propriedades físico-químicas e sua afinidade com a fase estacionária contida em uma coluna, gerando no detector - cujo tipo mais comumente utilizado é por absorção no espectro ultravioleta (UV) - um espectro característico do composto de interesse, comparando-se com um padrão comercial de microcistina, por exemplo. Com esta técnica, consegue-se identificar com grande especificidade e sensibilidade a presença da toxina na amostra, mesmo em quantidade ínfimas. Outra vantagem é a possibilidade de detecção de mais de uma cianotoxina por vez, permitindo a análise de microcistina e saxitoxina, como rege a legislação atual, de forma simultânea [27, 29].

Esta metodologia vem se tornando mais barata e acessível, já sendo encontrada em vários laboratório e

centros de pesquisa e análises no país. É interessante o seu uso no monitoramento de água para consumo e recreação por apresentar tempo de análise mais curto, viabilizando testes com grande número de amostras [28].

A eletroforese capilar funciona de modo semelhante à cromatografia, porém é mais barato e dispensa a necessidade de equipamentos mais sofisticados ou uso de bombas de pressão. É utilizada principalmente para detecção de hepatotoxinas que têm estrutura de peptídeos cíclicos. Apresenta menor sensibilidade que o método por HPLC, não detectando quantidades tão pequenas, o que pode gerar falsos negativos, não sendo o método mais adequado para a vigilância de água potável [29]

Por fim, o método de ELISA, consiste na imunoabsorção enzimática, ou seja, é uma metodologia baseada em ensaio imunológico, permitindo a análise de uma ampla gama de diferentes amostras, fazendo-se adequações metodológicas. É relativamente barato e permite a análise qualitativa, atestando a presença ou não da cianotoxina e ainda a quantificação da toxina na amostra. Trata-se de uma metodologia mais ágil, que permite o teste de 96 amostras por vez. É um teste muito importante principalmente para fornecimento de água para estações de diálise, com limite de detecção de zero segundo a portaria 518 do Ministério da Saúde [28, 30].

Uma vez detectada a presença de *bloom* de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas, ou as próprias cianotoxinas pelos métodos citados, é necessário que se faça o tratamento adequado da água para consumo, removendo os contaminantes tóxicos a um nível aceito pelas diretrizes vigentes. A OMS estipula as principais metodologias empregadas no saneamento de água potável e sua eficácia frente a retenção de cianobactérias e suas toxinas. Para a remoção de células de cianobactérias é interessante que se priorizem métodos físicos como uso de membranas, principalmente de nitrocelulose, já que o uso de processos como o uso de ozônio e cloro - metodologias bastantes eficientes no tratamento de águas inclusive para retirada de cianotoxinas - podem provocar a ruptura celular, logo não são recomendados [26, 27].

Para a eliminação de cianotoxinas, além da ozonização e cloração da água, também é recomendado o uso de carvão ativado ou ainda tratamento biológico como a utilização de filtros de areia. Todas estas metodologias garantem uma retirada de 80% ou mais dos contaminantes. O método de coagulação - ou floculação - apesar de ser indicado para remoção de cianobactérias pela OMS, vem sendo utilizado majoritariamente para remoção de cianotoxinas solúveis, uma vez que este método pode também causar lise celular, liberando as toxinas para o meio ambiente [7, 26].

Os procedimentos aqui exemplificados para o tratamento de água estão disponíveis às estações de

tratamento, e seus custos vêm decaindo, tornando-as mais acessíveis. No entanto, é indispensável uma fiscalização adequada, como exemplificado no caso de Caruaru, onde todos os equipamentos necessários às metodologias de saneamento de água estavam disponíveis para os pacientes que iriam fazer diálise, havendo indícios de falha humana e quebra de protocolos vigentes [7].

6. CONCLUSÕES

De posse das informações acerca dos reais perigos da cianotoxinas, seja na ocorrência de uma exposição aguda, ou pela acumulação destes compostos no organismo com uma exposição crônica às mesmas, fica clara a necessidade de um monitoramento adequado da água utilizada não só para consumo humano, mas também para recreação, com este último caso dá-se especial atenção às neurotoxinas que podem causar graves problemas de saúde, podendo levar a óbito, mesmo em baixíssimas concentrações.

Além da fiscalização das cianotoxinas, é imprescindível que se realizem políticas públicas voltadas ao tratamento de esgoto doméstico, entrando aqui o ponto do saneamento básico, escasso em nosso país, e ainda medidas que fiscalizem empresas e indústrias quanto ao despejo de efluentes químicos e orgânicos em mananciais de água, já que as cianobactérias são um importante componente da maioria dos ecossistemas e apresentam risco à saúde humana apenas quando crescem desordenadamente em excesso de nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.W. Castenholz; J.B. Waterbury. Oxygenic photosynthetic bacteria. Group 1. Cyanobacteria. Berge's Manual of Systematic Bacteriology, 3:1710-1806 (1989).
- [2] B. Whitton. Diversity, ecology and taxonomy of the cyanobacteria. Photosynthetic Prokaryotes. New York: Plenum Press 1-51 (1992).
- [3] W.W. Carmichael. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. J of Appl Bact 72:445-59 (1992).
- [4] J.C. Nabout; F. Carneiro; C.L. Sant'anna. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. Biodiversity and Conservation, v. 22, n. 12, p. 2907–2918, nov. 2013..
- [5] C.L. Sant'anna; M.T.P. Azevedo. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. Nova Hedwigia 71(3-4):359-85 (2000).
- [6] T.A. Villareal; E.J. Carpenter. Buoyancy regulation and potential for vertical migration in the oceanic Cyanobacterium *trichodesmium*. Microb Ecol 45(1):1-10 (2003).
- [7] B.C. Hitzfeld; S.J. Hoger; D.R. Dietrich. Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water

- Treatment, and Human Risk Assessment. *Environ Health Perspect* 108 (2000).
- [8] I. Ohtani; R. Moore; M. Runnegar. Cylindrospermopsin, a potent hepatotoxin from the blue-green alga *Cylindrospermopsis raciborskii*. *J Chem Soc* 114:7941-7942 (1992).
- [9] W.W. Carmichael; S.M.R.O. AZEVEDO; J.S. AN; R.J.R. MOLICA; E.M. Jochimsen; S. LAU; K.R. RINEHART; G.R. SHAW; G.K. EAGLESHAM. Human Fatalities from Cyanobacteria: Chemical and Biological Evidence for Cyanotoxins. *Environ Health Perspect* 109, n. 7 (2001).
- [10] N.A. Mahmood; W.W. Carmichael; D. Pfahler. Anticholinesterase poisonings in dogs from a cyanobacterial (blue-green algae) bloom dominated by *Anabaena flos-aquae*. *Am J Vet Res* 49:500-503 (1988).
- [11] K.J. James; I.R. Sherlock; M.A. Stack. Anatoxin-a in Irish freshwater and cyanobacteria, determined using a new fluorimetric liquid chromatographic method. *Toxicon* 35:963-971 (1997).
- [12] A. Humpage; J. Rositano; A. Bretag; R. Brown; P. Baker; B. Nicholson; D. Steffensen. Paralytic shellfish poisons from Australian cyanobacterial blooms. *Aust J Mar Freshwater Res* 45:761-771 (1994).
- [13] G. Francis. Poisonous Australian lake. *Nature* 18:11-12 (1878).
- [14] E.S. Tisdale. Epidemic of intestinal disorders in Charleston, W. VA., occurring simultaneously with unprecedented water supply conditions. *Am J Public Health* 21:198-200 (1931).
- [15] B. Zilberg. Gastroenteritis in Salisbury European children-a five-year study. *Cent Afr J Med* 12:164-168 (1966).
- [16] I.R. Falconer; A.M. Beresford; M.T.C. Runnegar. Evidence of liver damage by toxin from a bloom of the blue-green algae, *Microcystis aeruginosa*. *Med J Aust* 1:511-514 (1983).
- [17] A.T.C. Bourke; R.B. Hawes; A. Neilson; N.D. Stallman. An outbreak of hepato-enteritis (the Palm Island Mystery Disease) possibly caused by algal intoxication. *Toxicon* 3:45-48 (1983).
- [18] P. Turner; A. Gammie; K. Hollinrake; G. Codd. Pneumonia associated with contact with cyanobacteria. *Brit Med J* 300:1440-1441 (1990).
- [19] R.J. Andersen; H.A. Luu; D.Z.K. Chen; C.F.B. Holmes; M.L. Kent; M. Le Blanc; F.J.R. Taylor; D.E. Williams. Chemical and biological evidence links microcystins to salmon 'net pen liver disease'. *Toxicon* 31:1315-1323 (1993).
- [20] C. Edwards; K. Beattie; C. Scrimgeour; G. Codd. Identification of anatoxin-a in benthic cyanobacteria (blue-green algae) and in associated dog poisonings at Loch Insh, Scotland. *Toxicon* 30:1165-1175 (1992).
- [21] Y. Ueno; S. Nagata; T. Tsutsumi; A. Hasegawa; M.F. Watanabe; H.D. Park; G.C. Chen; G. Chen; S.Z. Yu. Detection of microcystins, a blue green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinog* 17:1317-1321 (1996).
- [22] M.G.L.C. Teixeira; M.C.N. Costa; V.L.P. Carvalho; M.S. Pereira; E. Hage. Gastroenteritis epidemic in the area of Itaparica, Bahia, Brazil. *Bull PAHO* 27(3):244-53 (1993).
- [23] Agência Nacional de Águas (ANA). Panorama das Qualidade das Águas Superficiais do Brasil. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, Brasil (2000).
- [24] H.F. Câmara-Neto. A "Tragédia da Hemodiálise" 12 anos depois: Poderia ela ser evitada? Tese de Doutorado. Fundação Oswaldo Cruz. Recife (2011).
- [25] E.M. Jochimsen; W.W. Carmichael; J.S. An; D.M. Cardo; S.T. Cookson; C.E. Holmes; M.B. Antunes; D.A. de Melo Filho; T.M. Lyra; V.S. Barreto. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *N Engl J Med* 338:873-878 (1998).
- [26] Organização Mundial da Saúde (OMS). Guidelines for Drinking-water Quality. 4ª Ed. (2011).
- [27] Ministério da Saúde, Brasil. Portaria n. 2.914, de 12 de dez. de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Brasília, DF, dez 2011.
- [28] S.M. Sanches; E.L. Prado; I.M. Ferreira; H.F. Braga; E.M. Vieira. Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle. *Rev Ciênc Farm Básica Apl* 33(2):181-187 (2012).
- [29] T. Msagati; B.A. Siane; D.D. Shushu. Evaluation of methods for isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. *Aquat Toxicol* 78:382-97 (2006).
- [30] K.I. Harada; K. Ogawa; K. Matsuura; H. Murata; M. Suzuki; M.F. Watanabe; Y. Itezono; N. Nakayama. Structural determination of geometrical-isomers of microcystins LR and RR from cyanobacteria by two-dimensional NMR spectroscopic techniques. *Chem Res Toxicol* 3(5):473-81 (1990).