

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ELIÚDE SOUSA LIPPE

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: RISCOS À SAÚDE HUMANA E AO AMBIENTE DA
PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE CIANOTOXINAS EM
RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

São Paulo

2022

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: RISCOS À SAÚDE HUMANA E AO AMBIENTE DA PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE CIANOTOXINAS EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Netto Moreno

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Lippe, Eliúde Sousa

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: RISCOS À SAÚDE HUMANA E AO AMBIENTE DA PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE CIANOTOXINAS EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO / E. S. Lippe -- São Paulo, 2022.

33 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Cianobactérias 2.Cianotoxinas 3.Saúde 4.Abastecimento Público
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

LIPPE, Eliúde Sousa. Revisão Bibliográfica: Riscos à saúde humana e ao meio ambiente da presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas em reservatórios de abastecimento público. 2022. 33 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O presente estudo consistiu em um levantamento bibliográfico referente às causas e riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente das florações de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. As cianobactérias são organismos procariontes, com estruturas muito semelhantes às bactérias, necessitando apenas de água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz para a funcionalidade de seus processos vitais, entretanto, seus tamanhos são similares as algas e possuindo também pigmentos que as tornam capazes de realizar fotossíntese. A principal causa das florações desses organismos está relacionada ao aumento da eutrofização dos corpos d'água, que vem aumentando cada vez mais devido as atividades antrópicas, causando grandes prejuízos aos usos dos recursos hídricos, em razão do potencial tóxico desses organismos, que podem prejudicar a saúde humana e vida aquática. O objetivo deste estudo foi descrever as principais causas de florações de cianobactérias e os principais riscos à saúde pública e ao meio ambiente pela presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas, assim como exemplificar medidas de prevenção e controle de proliferação de algas em ambientes aquáticos, incluindo estudo de caso em reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo. A partir deste estudo concluiu-se que as cianobactérias são organismos causadores de diversos problemas para o abastecimento público, sendo a presença deles cada vez mais comum nos reservatórios, motivo este para maiores estudos que levem a compreensão dos fatores que envolvem este tema, visando o monitoramento e controle das florações das cianobactérias, para uma distribuição de água com qualidade evitando assim novos casos de intoxicação da população.

Palavra-chave: Cianobactérias. Cianotoxinas. Saúde. Abastecimento Público.

ABSTRACT

Lippe, Revisão Bibliográfica: Eliúde Sousa. Riscos à saúde humana e ao meio ambiente da presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas em reservatórios de abastecimento público. 2022. 33 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The present study was carried out from the bibliographic survey regarding the potential risks that cyanobacterial blooms and their toxins may cause to public health and to the environment. Cyanobacteria are prokaryotic organisms, with very similar structures to bacteria, requiring only water, carbon dioxide, inorganic substances and light for the functionality of their vital processes. However, their sizes are similar to algal and They have pigments that make them able to carry out photosynthesis. The main cause of the blooms of these organisms is related to the increase in eutrophication of water bodies, which has been increasing more and more due to anthropic activities, causing great damage to the uses of water resources, due to the toxic potential of these organisms, which can harm human health and aquatic life. The objective of this study was to describe the main causes of cyanobacterial blooms and the main risks to public health and the environment due to the presence of cyanotoxin-producing cyanobacteria, as well as to exemplify measures for the prevention and control of algal blooms in aquatic environments, including a study of case in reservoirs in the Metropolitan Region of São Paulo. Based on this study, it was concluded that cyanobacteria are organisms that cause several problems for public supply, and their presence is increasingly common in reservoirs, which is the reason for further studies that lead to the understanding of the factors that involve this theme, aiming at the monitoring and control of cyanobacterial blooms, for the distribution of quality water, thus avoiding new cases of intoxication in the population.

Keywords: Cyanobacteria. Cyanotoxins. Health. Public supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de eutrofização de um lago	12
Figura 2 - Tipos de morfologias das cianobactérias - Unicelular, filamentosa e colonial	14
Figura 3 - Floração de Cianobactérias suspensas na água.....	15
Figura 4 - Países onde florações aquáticas de cianobactérias produzindo cianotoxinas foram documentadas.	16
Figura 5 - Principais gêneros e espécies de cianobactérias: (A) <i>Anabaenopsis</i> sp.; (B) <i>Anabaena</i> sp.; (C) <i>Pseudoanabaena</i> sp.; (D) <i>Planktothrix agardhii</i> ; (E) <i>Aphanizomenon</i> sp.; (F) <i>Raphidiopsis curvata</i> ; (G) <i>Pseudoanabaena</i> sp.; (H) <i>Geitlerinema amphibium</i> ; (I) <i>Raphidiopsis mediterranea</i> ; (J) <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> ; (K) e (L) <i>Microcystis wesenbergii</i>	17
Figura 6 - Variação espacial e temporal do número de células de cianobactérias, microcistinas e coliformes termotolerantes.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas e gêneros produtores	18
Tabela 2 - Classificação dos corpos d'água e padrões para a água doce	21
Tabela 3 - Padrão de cianotoxinas na água para consumo humano	22
Tabela 4 - Reservatórios do Estado de São Paulo, selecionados para o estudo.	25
Tabela 5 - Médias e desvios padrão das variáveis de qualidade da água nos reservatórios estudados (Período de 2011 a 2015).....	26

LISTA DE SIGLAS

BA - Bahia

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento da Água

GM/MS – Ministério da Saúde Gabinete do Ministro

IET – Índice de Estado Trófico

LECT – IBCCF – UFRJ – Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro

MCYST – LR – Microcistina Variante – LR

PE - Pernambuco

OMS – Organização Mundial de Saúde

STX - Saxitoxinas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1 Eutrofização	12
4.1.1 Consequências da Eutrofização	13
4.1.2 Formas de controle de eutrofização.....	13
4.2 – Cianobactérias	13
4.2.1 Causas das florações de cianobactérias e principais espécies de cianobactérias.....	15
4.2.2 Cianobactérias produtoras de cianotoxinas	15
4.2.3 - Cianotoxinas	17
4.3 Riscos à Saúde Pública e ao Ambiente	19
4.4 – Aspectos legais	20
4.5 Medidas de Prevenção e Controle de Proliferação de Algas	22
4.5.1 Medidas Preventivas.....	22
4.5.2 Monitoramento Preventivo	23
4.5.3 Planos de Contingência.....	23
4.5.4 Medidas Corretivas.....	24
5. ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ASPECTOS SANITÁRIOS DE RESERVATÓRIOS COM CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO EM SÃO PAULO COM ÊNFASE EM CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS.	24
5.1 Objetivo do estudo	24
5.2 Metodologia utilizada	25
5.3 Resultados e discussões	26
5.4 Conclusões do estudo	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O crescimento populacional e da produção agrícola em algumas regiões do Brasil, bem como o descompasso entre os índices de saneamento e as taxas de urbanização, são considerados fatores cruciais para a eutrofização de rios, lagos e reservatórios. Estes fatores promovem o aporte de fósforo associado ao lançamento de esgotos domésticos dos centros urbanos, além do escoamento superficial e subterrâneo de áreas agricultáveis (Azevedo, 1998; Brasil, 2003).

O Acelerado processo de eutrofização dos corpos d'água, inclusive dos reservatórios destinados ao abastecimento público, ocasiona diversas mudanças na qualidade da água (Azevedo e Vasconcelos, 2006), como a redução de oxigênio dissolvido, morte dos peixes, alteração na diversidade das espécies, mudança no pH (Calijuri et al ,2006) e como principal consequência, o aumento excessivo da comunidade fitoplanctônica, representadas pelas florações ou “blooms” das microalgas e cianobactérias, potencialmente tóxicas (Azevedo et al., 1994).

Nos últimos anos as cianobactérias vêm ganhando destaque em nível mundial devido seus potenciais impactos econômicos, ecológicos e sanitários, nos ecossistemas aquáticos (Takenaka, 2007). A proliferação em massa desses organismos pode resultar na produção de compostos que resultam em gosto e odor desagradáveis e de toxinas (Persson, 1996 in Takenaka, 2007) com impactos diretos nos usos desses mananciais para o abastecimento públicos e recreação, principalmente quando as concentrações de cianotoxinas estão acima dos níveis aceitáveis, podendo causar risco à saúde humana.

A presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas também pode ocasionar riscos para os organismos potencialmente expostos a essas toxinas em ambientes aquáticos.

Portanto, é de grande importância a observação e monitoramento desses organismos e a caracterização das causas dessas proliferações para levantamento dos potenciais riscos e consequências à saúde pública e ao meio ambiente, bem como para o desenvolvimento de medidas de prevenção, remediação e controle da proliferação de cianobactérias em reservatórios destinados ao abastecimento público, assegurando deste modo também os usos múltiplos da água.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre a ocorrência de cianobactérias produtoras de cianotoxinas em corpos d'água superficiais de água doce, buscando descrever as principais causas das florações desses organismos e os principais riscos à saúde humana e ao meio ambiente, assim como exemplificar medidas de prevenção e controle de proliferação de algas em ambientes aquáticos.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar conceitos básicos de eutrofização dos corpos d'água e suas principais consequências;
- Descrever a origem, as causas das florações de cianobactérias em diversos ambientes aquáticos e as principais espécies de cianobactérias produtoras de cianotoxinas;
- Citar os principais riscos à saúde humana e ao ambiente pela presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas;
- Apresentar aspectos legais dos reservatórios destinados ao abastecimento público e atividades de recreação;
- Exemplificar medidas de prevenção e controle de proliferação de algas em ambientes aquáticos de água doce;
- Apresentar um estudo de caso envolvendo a aplicação de medidas de controle da proliferação de algas e cianobactérias em mananciais da Região Metropolitana de São Paulo;

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração deste trabalho foram realizadas buscas nas plataformas Google Acadêmico e Scielo, assim como em sites de órgãos do governo, universidades e entidades de pesquisa para obtenção de manuais técnicos e publicações científicas (dissertações acadêmicas, livros, capítulos de livros e artigos científicos nacionais e internacionais). Todas as referências utilizadas encontram-se listadas em ordem alfabética no item Referências.

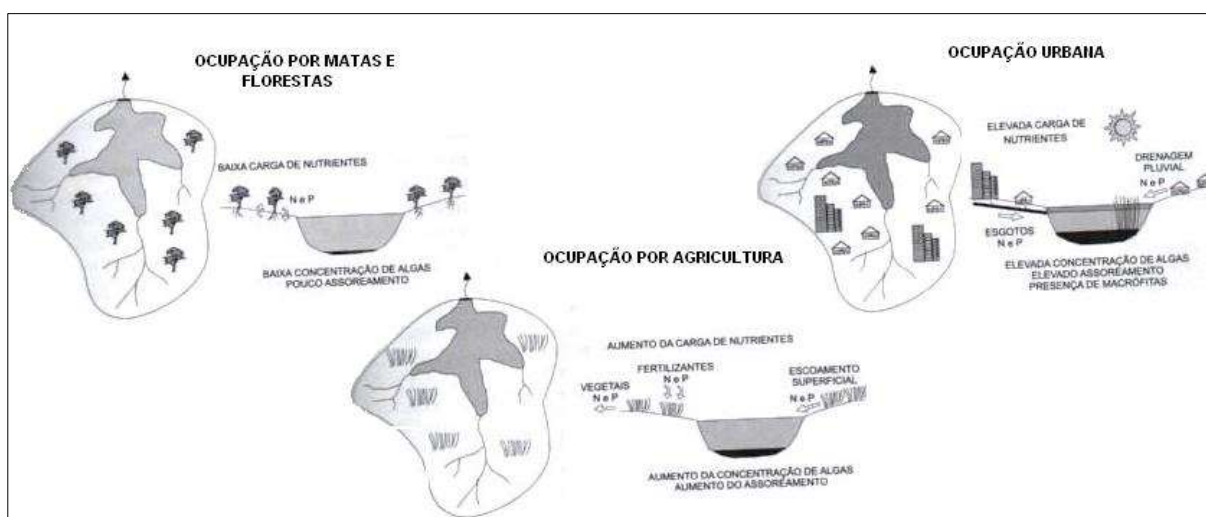
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Eutrofização

O termo eutrofização é utilizado para definir o aumento da concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, especialmente fósforo e nitrogênio, que tem como consequência o aumento de suas produtividades. Como efeito deste processo, o ecossistema aquático passa por uma quebra de sua estabilidade, mudando da condição de oligotrófico e mesotrófico para eutrófico ou mesmo hipereutrófico (Esteves, 1989).

De acordo com Esteves 1989, o processo de eutrofização pode se dar na forma natural, quando o aporte de nutrientes é trazido pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre, caracterizando-se como um processo lento e contínuo; e artificial, quando os nutrientes podem ter diferentes origens, estando as três principais atividades relacionados ao uso e ocupação do solo, que são: a ocupação industrial, atividades agrícolas, e ocupação urbana (por meio dos efluentes domésticos). Este tipo de eutrofização também pode ser chamado de cultural ou antrópica, sendo este um fenômeno cada vez mais frequente e acelerado, tendo como consequência diversos impactos negativos, representado principalmente pela proliferação excessiva dos fitoplanctons, resultantes da grande fertilização das águas (Braga et al, 2005).

Figura 1 – Processo de eutrofização de um lago



Fonte: Von Sperling, 1996

4.1.1 Consequências da Eutrofização

Braga et al, 2005 distribuíram as consequências da eutrofização em duas categorias. A primeira delas envolve os impactos sobre o ecossistema, representados pela diminuição da diversidade biológica, que envolve a alteração das espécies de algas presentes no meio e o surgimento de organismos potencialmente tóxicos, chamadas cianobactérias, alteração da composição das espécies de peixes, alteração das condições físicas e químicas da água do manancial de abastecimentos em função da decomposição anaeróbica da matéria orgânica no fundo do lago. Já a segunda categoria abrange impactos na utilização dos recursos hídricos, que afeta diretamente a população que o utiliza, a saber: alterações das condições organolépticas (presença de sabor e odor desagradáveis das águas) e de potabilidade das águas (presença de cianotoxinas), podendo inviabilizar o uso do manancial para o abastecimento público, problemas de navegação, prejuízo nas atividades recreacionais e perda de valor imobiliário nas áreas localizadas às margens desses corpos de água eutrofizados.

4.1.2 Formas de controle de eutrofização

As formas de controle da eutrofização são tema de grande discussão entre os órgãos gestores responsáveis, trazendo diversas polêmicas relacionadas às medidas que devem ser tomadas. Essas estratégias são divididas em duas categorias: medidas preventivas, com atuação na bacia hidrográfica; e medidas corretivas, com atuação em um lago ou represa (Braga et al, 2005; Von Sperling, 1996).

As medidas preventivas, visam reduzir o aporte externo do nutriente limitante, o fósforo, por meio das estratégias de controle do lançamento de esgotos doméstico e industrial; e de controle da drenagem pluvial, além do controle do uso e ocupação do solo na bacia, recomposição de matas ciliares e redução do uso de fertilizantes agrícolas.

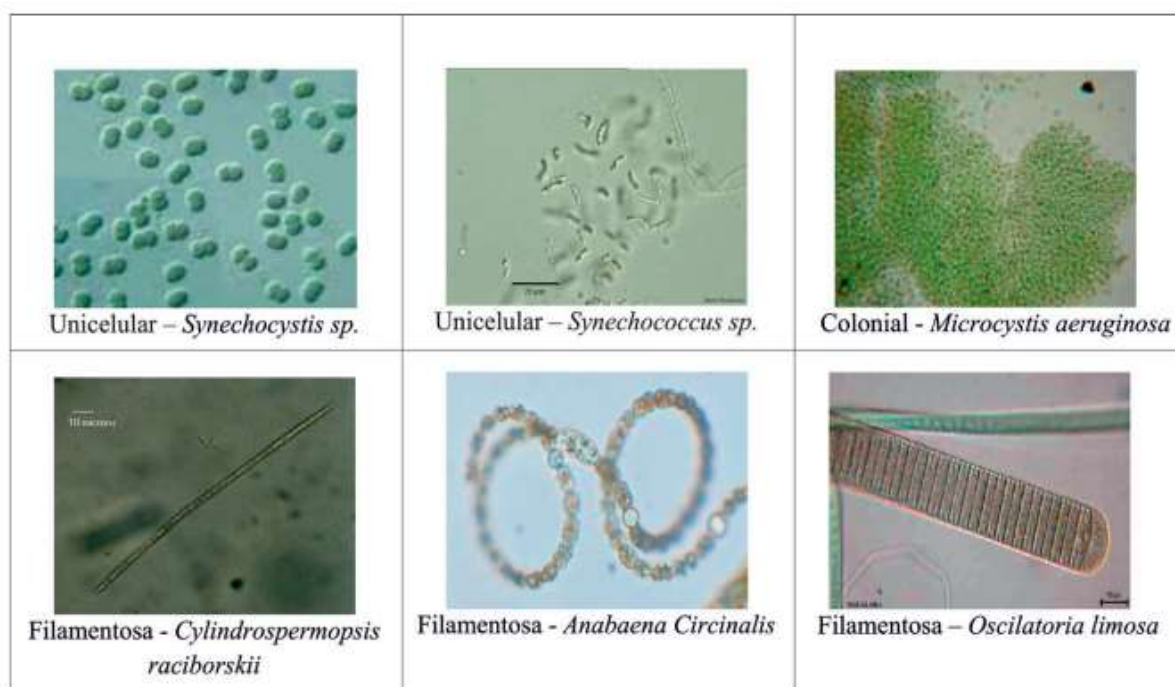
As medidas corretivas têm atuação sobre os processos de circulação de nutrientes no lago já eutrofizado e no ecossistema, essas medidas são do tipo física, química e biológica, sendo elas: a remoção do sedimento do fundo e redução da biomassa vegetal; precipitação química do fósforo (Braga et al, 2005), aplicação de algicidas e manipulação da cadeia alimentar (Von Sperling, 1996).

4.2 – Cianobactérias

As cianobactérias, são organismos procariontes, com estruturas muito semelhantes às bactérias, necessitando apenas de água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz para

a funcionalidade de seus processos vitais (Azevedo, 1998; Ministério da saúde, 2003), entretanto, seus tamanhos são similares as algas, e possuem também pigmentos que as tornam capazes de realizar fotossíntese (Who, 1998). As cianobactérias podem ocorrer de forma isolada ou em colônias (CETESB, 2013). Morfologicamente as cianobactérias podem ser encontradas na forma unicelular, filamentosa e colonial, como observado na figura 02.

Figura 2 - Tipos de morfologias das cianobactérias - Unicelular, filamentosa e colonial



Fonte: Lapoli et. al, 2010

Alguns estudos relatam que a origem das cianobactérias se deu a cerca de 3,5 bilhões de anos, sendo estas consideradas como os primeiros organismos produtores de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva (Carmichael, 1994).

De acordo com Azevedo, 1998, as cianobactérias possuem a capacidade de crescimento em diferentes habitats, como em ambientes terrestres ou aquáticos, apresentando uma grande tolerância às condições ambientais e climáticas. No entanto, os ambientes mais propícios para o seu crescimento são os de água doce, em geral rasos e de fácil eutrofização, onde vivem a maioria delas, apresentando melhor desenvolvimento em águas com alta concentração de nutrientes (principalmente na presença de nitrogênio e fósforo), em condições neutro-alcalinas (pH entre 6 - 9), e temperaturas altas, variando entre 15 e 30 °C (CETESB, 2013), podendo viverem em suspensão na coluna d'água, como se pode observar na figura 03, ou na forma bentônicas, quando estas permanecem fixas no sedimento (França, 2006).

O Brasil apresenta circunstâncias favoráveis para o desenvolvimento das cianobactérias durante todo o ano, pois a maior parte dos seus mananciais encontram-se localizados em territórios tropicais e em processo de eutrofização, intensificando cada vez mais o problema (Aguilar e Azevedo, 1998).

4.2.1 Causas das florações de cianobactérias e principais espécies de cianobactérias

As algas e os organismos zooplancônicos, convivem de forma equilibrada nos corpos d'água, em condições normais, sem dominância excessiva de uma espécie sobre outra. Entretanto, quando ocorre algum tipo de interferência que contribui com o enriquecimento das águas com os nutrientes limitantes, como nitrogênio e fósforo, o cenário anterior passa a ser de dominância de algumas espécies, que se multiplicam excessivamente, o que dá origem ao fenômeno chamado floração, neste caso, principalmente por cianobactérias (Sant'anna et al., 2004).

Figura 3 - Floração de Cianobactérias suspensas na água



Fonte: CETESB, 2013.

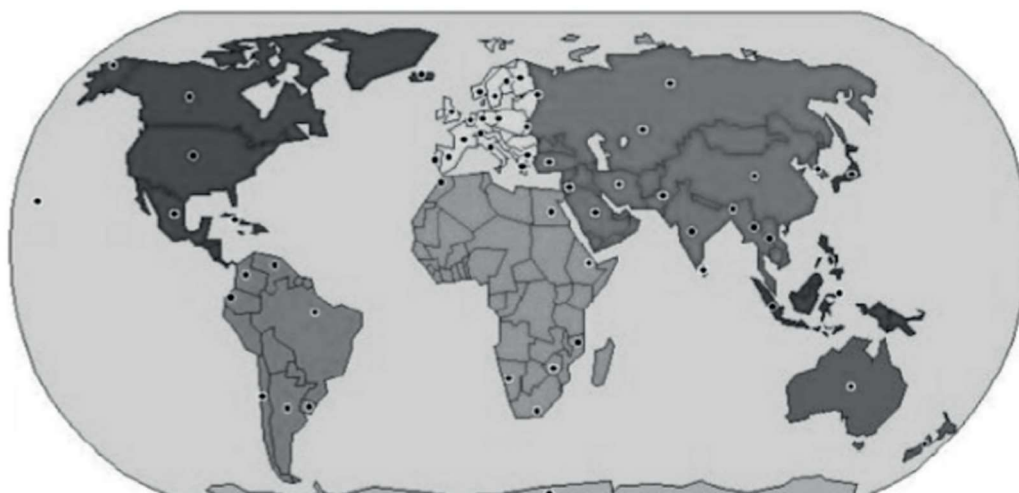
Em 1950, o pesquisador Willian Smith definiu o termo *Water Bloom*, como as concentrações de algas, capazes de darem cores à água. Entretanto, em 1987, um conceito mais completo foi publicado no glossário de ecologia, o qual foi definido como “o crescimento explosivo, autolimitante, de curta duração, de microorganismos de uma ou poucas espécies, frequentemente, produzindo coloração visível nos corpos de águas naturais (Torgan, 1989).

4.2.2 Cianobactérias produtoras de cianotoxinas

Desde que Francis, em 1878, publicou o primeiro relato científico sobre a floração tóxica de cianobactérias, onde descreveu a morte de animais domésticos que haviam bebido água de

lago no sul da Austrália durante uma floração de *Nodularia Spumigena* (Takenaka, 2007), têm sido publicados atualmente, em nível global, inúmeros registros de animais com intoxicação após terem contato com florações de cianobactérias em águas, como observado na figura 4 (Cood et al., 1989; Yoo et al., 1995). Nas últimas décadas estes organismos são motivo de grande preocupação em nível mundial, nas áreas da saúde e ambiental.

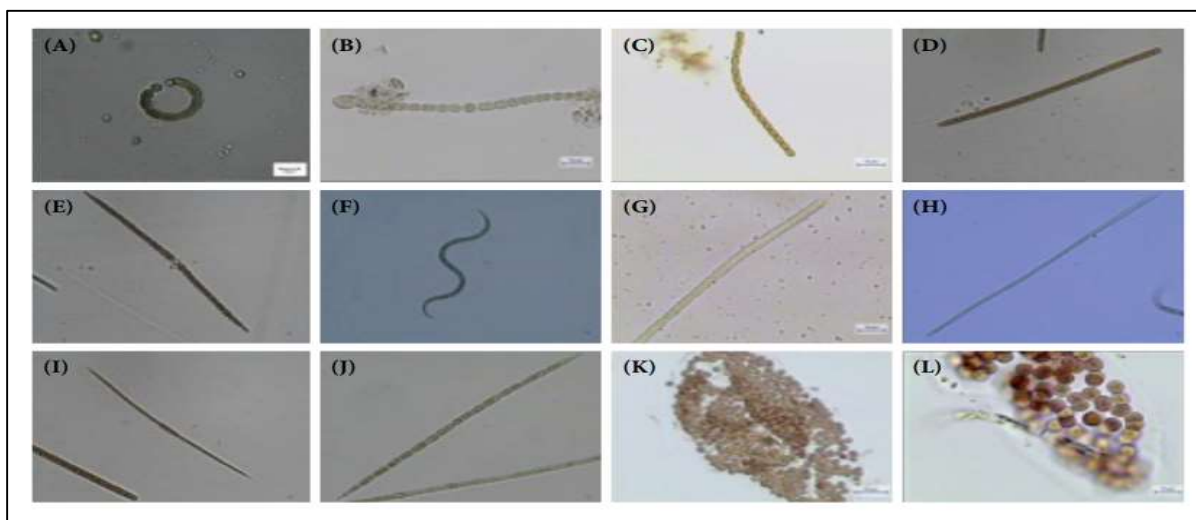
Figura 4 - Países onde florações aquáticas de cianobactérias produzindo cianotoxinas foram documentadas.



Fonte: Carmichael, 2008

Estudos como o de Sant'Anna e Azevedo (2000), relatam a ocorrência de florações de vários gêneros e espécies de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas em corpos hídricos brasileiros, incluindo reservatórios que são utilizados também para o consumo humano, sendo citadas a existência de mais ou menos vinte espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, englobadas em quatorze gêneros, e distribuídas em diferentes ambientes aquáticos brasileiros. Na figura 5, pode-se observar alguns dos principais tipos de gêneros e espécies de cianobactérias já descritas.

Figura 5 - Principais gêneros e espécies de cianobactérias: (A) *Anabaenopsis* sp.; (B) *Anabaena* sp.; (C) *Pseudoanabaena* sp.; (D) *Planktothrix agardhii*; (E) *Aphanizomenon* sp.; (F) *Raphidiopsis curvata*; (G) *Pseudoanabaena* sp.; (H) *Geitlerinema amphibium*; (I) *Raphidiopsis mediterranea*; (J) *Cylindrospermopsis raciborskii*; (K) e (L) *Microcystis wesenbergii*



Fonte: Brasil, 2016

4.2.3 - Cianotoxinas

As cianotoxinas compõem várias classes de substâncias químicas, com características próprias e diferentes mecanismos de ação, consequentemente nocivas ao homem e o animal (Tabela 1) (Bortoli e Pinto, 2015).

As cianotoxinas são classificadas em três grupos funcionais, que são as neurotoxinas, hepatotoxinas e dermatotoxinas, (Brasil, 2003), sendo o segundo grupo ganhando um pouco mais de atenção por ser o agente mais comum das intoxicações registradas atualmente (CETESB, 2013). As hepatotoxinas (peptídeos cíclicos) são comumente encontradas em florações no mundo todo (Chorus; Bartram, 1998). Elas apresentam uma ação lenta, por meio de hemorragia hepática e choque hipovolêmico, causando a morte de animais entre poucas horas a poucos dias. Foram descritas neste grupo as microcistinas, nodularinas e cilindrospermopsinas. No grupo das neurotoxinas foram descritas a anatoxina-a, anatoxina-a(s) e as saxotoxinas. Este grupo, representado pelos alcalóides de ação mais rápida, é caracterizado pelo mecanismo de ação de bloqueio neuromuscular, causando a paralisia muscular e possível morte por falência respiratória entre poucos minutos e poucas horas (Chorus; Bartram, 1998; Cetesb, 2013). As dermatotoxinas são um grupo de toxinas menos conhecidas, porém, sabe-se que as inflamações na pele são causadas pelas lyngbyatoxinas e aplysiatoxinas, confirmadas como potentes agentes promotores de tumores em experimentos com animais (Oliveira, 2010). Além disso, também

provocam graves problemas à saúde humana, como exemplo das dermatites, irritação dos olhos, bolhas e descamações na pele (Sivonen, 1999).

Estudos relatam que esses compostos tóxicos possuem uma função de proteção contra a herbivoria, e que as toxicidades destas florações, podem variar em função de diferenças sazonais e espaciais, provavelmente como consequência de alterações na proporção de cepas tóxicas e não tóxicas na população, assunto este que ainda foi devidamente esclarecido (Charmicael, 1992).

No Brasil, o Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Lect –IBCCF- UFRJ), confirmou a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em corpos d'água de diversos estados brasileiros, a exemplo de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pará, Paraná, Bahia, Pernambuco e do Distrito Federal, porém não limitando a ocorrência apenas a estes estados. Das cepas isoladas neste estudo, aproximadamente 82% se mostraram tóxicas, sendo 9,7% neurotóxicas e as demais hepatotóxicas (Brasil, 2003).

Tabela 1 - Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas e gêneros produtores

Grupo da toxina	Gêneros de cianobactérias	Alvo primário em mamíferos	Mecanismo de ação	Simatologia exposição aguda
Peptídeo cíclico				
Microcistinas	<i>Dolichospermum</i> (<i>Anabaena</i>), <i>Anabaenopsis</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Hapalosiphon</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Radiocystis</i> , <i>Snowella</i> , <i>Woronichinia</i>	Fígado	Inibição das proteínas fosfatases 1 e 2 ^a	Prostração, pilo ereção, anorexia, vômitos, dor abdominal, diarreia, choque hipovolêmico e hemorragia intra-hepática.
Nodularina	<i>Nodularia</i>	Fígado	Inibição das proteínas fosfatases 1 e 2 ^a	
Alcalóides				
Anatoxina-a, Homoanatoxina-a	<i>Dolichospermum</i> (<i>Anabaena</i>), <i>Aphanizomenon</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Raphidiopsis</i> .	Nervo simpático	Agonista nicotínico irreversível	Paralisia progressiva, forte respiração abdominal, cianose, convulsão, morte por asfixia.
Anatoxina-a(S)	<i>Dolichospermum</i> (<i>Anabaena</i>)	Nervo simpático	Inibição da acetilcolinesterase	Paralisia progressiva, fraqueza muscular, diminuição da frequência respiratória e convulsões. Salivação intensa. Morte ocorre por falência respiratória.
Aplisiotoxina; Debromoaplisiotoxina	<i>Stylocheilus longicauda</i> , <i>Lyngbya majuscula</i> ;	Pele, trato gastrointestinais	Potentes promotores	Irritação gastrointestinal.

	<i>Schizotrix 19alcicola e Oscillatoria nigroviridis</i>		de tumor e ativa a proteína quinase C	
Cilindrospermopsinas	<i>Dolichospermum (Anabaena), Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Raphidiopsis, Umezakia</i>	Órgãos múltiplos	Inibição da síntese protéica	Desestruturação e necrose do fígado, danos em células renais, cardíacas, pulmonares e também da mucosa gástrica.
Lyngbyatoxina-a	<i>Lyngbya majuscula</i>	Pele, trato gastrointestinais	Efeitos gastrointestinais	Aumento da secreção gástrica, promove a inflamação, edema pulmonar, irritação gastrointestinal e promoção de tumor dérmico
Saxitoxinas	<i>Dolichospermum (Anabaena), Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis, Planktothrix</i>	Nervo axônico	Bloqueio dos canais de sódio	Paralisia progressiva dos músculos, diminuição dos movimentos, exagerada respiração abdominal, cianose, convulsão, parada respiratória e morte.
Dematoxinas – Lipopolissacarídeos (LPS)	Todos	Potencial irritante, afeta qualquer tecido exposto		

Fonte: CETESB, 2013

4.3 Riscos à Saúde Pública e ao Ambiente

Países como Austrália, Inglaterra, China e África do Sul, já relataram possíveis intoxicações de populações humanas, pela ingestão oral de águas contaminadas por florações de cianobactérias tóxicas (Falconer, 1994).

No Brasil, os pesquisadores Teixeira et al. (1993), descreveu uma forte evidência que correlacionou a ocorrência de florações de cianobactérias, na represa de Itaparica (BA), com a intoxicação de 200 pessoas pelo consumo de água desta represa, o que resultou em 88 mortes, posteriormente, em um intervalo de 42 dias. No entanto, apenas no início de 1996, em Caruaru (PE) que o primeiro caso de mortes humanas provenientes da intoxicação por cianotoxinas foi confirmado, quando 130 pacientes renais crônicos passaram a apresentar sintomas graves compatíveis com hepatotoxicose após sessões de hemodiálise de rotina. Desses, cerca de 100 pacientes desenvolveram insuficiência hepática aguda e 60 foram a óbito meses depois. Posteriormente, a partir de análises no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica foi confirmada a presença de microcistinas e cilindrospermopsinas, assim como de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados (Azevedo, 1996; Jochimsen et al., 1998; Pouria et al., 1998 e Carmichael et al., 2001), além de também comprovarem a contaminação das águas do reservatório que abastecia a cidade.

Em termos gerais, de acordo com os relatos globais, as intoxicações da população humana podem ocorrer por meio da ingestão de água tratada em razão da má operação ou de baixas eficiências de remoção da estação de tratamento de água (Oliveira, 2005). Intoxicações também podem ocorrer por meio de atividades de recreação, como por exemplo através da prática de esportes náuticos que tem contato direto com a água ou pelo consumo de alimentos contaminados com elevada concentração de toxinas (Almeida e Américo-Pinheiro, 2018). Em função do tempo de exposição (prolongado ou não) a estas cianotoxinas (principalmente as microcistinas), estão entre os principais tipos de intoxicação: os distúrbios hepáticos, neurológicos, gastrointestinais e reações alérgicas (Azevedo, 1998; Almeida & Américo, 2018).

Estudos também apontam que as cianotoxinas, a exemplo das microcistinas, podem ser bioacumuladas nos organismos aquáticos com a sua consequente transferência para outros níveis tróficos. (Campos e Vasconcelos, 2010).

Em termos de riscos ambientais, as florações de cianobactérias podem ocasionar mortandades de peixes, embora esses organismos sejam considerados menos suscetíveis às cianotoxinas quando comparados aos mamíferos. A depleção de oxigênio pode ser outro fator relevante nessas mortandades, tendo em vista o processo de respiração das cianobactérias durante a noite, além da decomposição de matéria orgânica. Há também evidências de que o excesso de cianobactérias pode causar a morte de peixes por asfixia e pela obstrução das brânquias (CETESB, 2013).

Sabe-se que nem todas as cianobactérias são produtoras de toxinas, porém no Brasil, o grande aumento das florações destes organismos com a presença de cianotoxinas e outros compostos que incluem substâncias que conferem cor, odor e sabor diferenciado, tem prejudicado os usos múltiplos das águas. Por consequência, devido aos sérios riscos potenciais à saúde pública, bem como à preservação da vida aquática, faz-se necessário a implementação de programas e métodos de monitoramento ambiental desses corpos hídricos que sejam confiáveis e úteis na identificação e quantificação desses organismos e que atendam a legislação nacional, a qual tem dado cada vez mais atenção para o tema (Bortoli e Pinto, 2015; CETESB, 2013).

4.4 – Aspectos legais

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, os corpos d'água são utilizados para diversas finalidades, como exemplo, abastecimento para consumo humano, recreação de contato primário e secundário, preservação de equilíbrio natural de comunidades aquáticas e ambientes aquáticos, irrigação, navegação, entre outros.

Esta resolução estabelece os padrões de qualidade do corpo d'água visando a preservação do equilíbrio dos ambientes e da vida aquática (CETESB, 2013). A tabela 2, apresenta os padrões de qualidade das principais variáveis associadas ao estado trófico de um corpo d'água destinado ao abastecimento público.

Tabela 2 - Classificação dos corpos d'água e padrões para a água doce

Classes de Uso	Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Número de Células de Cianobactérias (cél.s.mL^{-1} / $\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$)	Fósforo Total (mg.L^{-1})
1 - Abastecimento após tratamento simplificado, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças consumidas cruas.	10	20.000/2	0,020 (lêntico) 0,025 (intermediário) 0,1 (lótico)
2 - Abastecimento após tratamento convencional, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e frutíferas, aquicultura e pesca	30	50.000/5	0,030 (lêntico) 0,050 (intermediário) 0,1 (lótico)
3 - Abastecimento após tratamento convencional ou avançado, recreação de contato secundário, dessedentação de animais	60	100.000 /10 50.000 /5 (dessedentação de animais)	0,05 (lêntico) 0,075(intermediário) 0,15 (lótico)

Fonte: Cetesb, 2013

Em relação a água que é distribuída para o consumo humano, a Portaria GM/MS nº 888, lançada em 04 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2021). No caso de mananciais de abastecimento público, essa portaria exige que sejam monitoradas mensalmente as cianobactérias no ponto de captação, quando o número de células não exceder 10.000 células/mL. Caso o número de cianobactérias exceda esse valor, o monitoramento deve ser semanalmente. Quando esse número exceder 20.000 células/mL, deve-se também realizar a análise semanal de cianotoxinas. A Tabela 3, extraída do Anexo 10 desta portaria estabelece o padrão de cianotoxinas para consumo humano.

Tabela 3 - Padrão de cianotoxinas na água para consumo humano

Parâmetro	Unidade	VMP
Cilindrospermopsinas	µg/L	1,0
Microcistinas	µg/L (equivalente de MCYST-LR)	1,0
Saxitoxinas	µg/L (equivalente STX)	3,0

Fonte: Brasil, 2021

Para fins de recreação e balneabilidade, a Resolução CONAMA 274/2000, definiu os critérios de classificação das águas destinadas à recreação de contato primário. Embora esta resolução não contemple valores orientadores para cianotoxinas decorrentes de florações de cianobactérias, estabelece como uma das condições impróprias para banho a ocorrência de floração de algas e/ou outros organismos que oferecem risco à saúde humana, além de considerar passíveis de interdição, pelos órgãos responsáveis pelo controle ambiental, os trechos dos corpos d'água em que ocorra florações de algas, e consequentemente toxicidade (Brasil, 2000). Dentro desse contexto, os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos são os responsáveis por implementar os planos de monitoramento das águas em possíveis ações mitigadoras em articulação com o município.

4.5 Medidas de Prevenção e Controle de Proliferação de Algas

A fim de garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público, a Organização Mundial de Saúde (OMS), recomenda que os órgãos gestores desempenhem ações relacionadas à prevenção, por meio do monitoramento, e adotem planos de contingência para gestão de riscos pertinentes à presença de cianobactérias.

4.5.1 Medidas Preventivas

As principais ações preventivas, devem se basear no controle dos fatores que contribuem para o aumento desordenado no processo de eutrofização, com intuito de reduzir o impacto nos corpos d'água. Seguem algumas ações descritas pela CETESB (2013):

- Regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica;
- Ordenamento da ocupação territorial;
- Adoção de boas práticas na agricultura e pecuária;
- Controle da erosão do solo e do uso de fertilizantes e herbicidas;
- Preservação das matas ciliares;
- Tratamento em nível terciário do esgoto doméstico e efluentes industriais brutos;

- Avaliação do regime de operação de reservatórios, como o tempo de residência e o fluxo da água, que podem influenciar as condições hidrodinâmicas.

4.5.2 Monitoramento Preventivo

O planejamento de um programa de monitoramento deve considerar o objetivo que se deseja alcançar, bem como as características do corpo d'água que será avaliado, pois dependendo do ambiente, as cianobactérias planctônicas podem encontrar condições ideais para o seu desenvolvimento, como as represas e lagos (ambientes lânticos); ou condições desfavoráveis, como em ambientes lóticos, devido a intensa dinâmica hidrológica e curto tempo de residência, representados pelos rios e riachos (CETESB, 2013). Este programa deve incluir as seguintes ações:

- Avaliação dos perigos à saúde causados por cianobactérias/cianotoxinas;
- Identificação de áreas suscetíveis;
- Desenvolvimento de regulamentações em relação aos locais destinados ao abastecimento e recreação;
- Informação e educação para o público;
- Desenvolvimento de um programa de controle de poluição por nutrientes, entre outros.

4.5.3 Planos de Contingência

Segundo a CETESB (2013), o objetivo destes planos é descrever as medidas que devem ser tomadas numa emergência, contemplando medidas de monitoramento e gerenciamento, de acordo com as características do local a ser monitorado, além de estabelecer, dentro dos protocolos utilizados para desenvolvimento dos planos de contingência de forma geral, três níveis de alerta (Nível de vigilância, Alerta Nível 1 e Alerta Nível 2) estabelecidos pela OMS, com respostas formadas no caso de ocorrerem florações de cianobactérias resumidamente explicados a seguir:

- Nível de Vigilância: detecção de colônia ou cinco filamentos de cianobactérias em 1 mL da amostra de água, com monitoramento do local passando para frequência semanal. Estabelece medidas para a inspeção da entrada de água na captação, tratamento para remoção de gosto e odor e medidas corretivas, caso necessário.
- Nível de Alerta 1: limites para número de células de cianobactérias superiores a 2.000 céls./mL ou 1 µg/L de clorofila a, análise de amostras para identificação das

cianobactérias envolvidas na floração, análise da eficiência do processo de contenção da floração e comunicação às autoridades locais (Cetesb, 2013).

- Nível de Alerta 2: limites para número de células de cianobactérias igual ou superior a 100.000 céls./mL ou 50 µg/L de clorofila-a. Recomendação para aplicação de métodos avançados para o tratamento, como o uso do carvão ativado, ou restrição para o consumo da água contaminada. Aumento da frequência de monitoramento de amostras, testes de toxicidade em amostras de água, bem como a análise da água tratada para toxinas livres relacionadas à espécie dominante da floração.

4.5.4 Medidas Corretivas

As medidas relacionadas a este fim, englobam ações de intervenção no ponto de captação, remoção das cianobactérias e de cianotoxinas e seus subprodutos do sistema de tratamento de água, além de outras medidas que contribuam com a diminuição do risco de contaminação da água que alimenta a estação de tratamento (CETESB, 2013).

Uma das alternativas de intervenção utilizadas é o tratamento químico com uso de algicidas em reservatórios de abastecimento público, para o controle da proliferação de algas e cianobactérias. O algicida normalmente utilizado é o Sulfato de Cobre que atua na alteração da comunidade fitoplanctônica em curto prazo, sendo esta, considerada uma técnica mais rentável do que a retirada dessas toxinas (Who, 1999). Em contrapartida, faz-se necessário tomar muito cuidado na utilização desta técnica, uma vez que induz a lise das células, bem como a liberação das cianotoxinas nos corpos d'água (CETESB, 2013), causando amplo impacto ecológico, por este motivo, esta questão está entre as preocupações ambientais levando alguns países a limitarem ou até mesmo proibirem o seu uso.

5. ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ASPECTOS SANITÁRIOS DE RESERVATÓRIOS COM CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO EM SÃO PAULO COM ÊNFASE EM CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS.

5.1 Objetivo do estudo

De forma a ilustrar as causas das ocorrências de florações de cianobactérias produtoras de cianotoxinas e a sua associação com as variáveis sanitárias e hidrobiológicas de qualidade da água, será apresentado o estudo desenvolvido por Sonobe et al (2019), entre os anos de 2011 e 2015 em sete reservatórios que servem para captação de água bruta para abastecimento público no estado de São Paulo, monitorados pela CETESB, com objetivo de avaliar as variáveis da

água de relevância sanitária nestes reservatórios. Os reservatórios são: Jaguari, Billings, Cabuçu, Guarapiranga, Rio Jundiáí, Itupararanga e Cascata.

5.2 Metodologia utilizada

A metodologia utilizada pelos autores, consistiu na obtenção dos dados disponíveis no sistema InfoÁguas da CETESB de sete pontos monitorados com frequência bimestral, no período entre 2011 e 2015, para as seguintes variáveis de qualidade: número de células de cianobactérias, concentração de microcistinas, clorofila-a, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, *E. coli* e temperatura. Os pontos de monitoramento selecionados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Reservatórios do Estado de São Paulo, selecionados para o estudo.

Nome	Área (Km ²)	Município	Classe
Jaguari (JAG)	56	Santa Isabel	Especial
Billings	127	São Paulo	Especial
Cabuçu (CAB)	<1	Guarulhos	Especial
Guarapiranga (GUA)	27	São Paulo	Especial
Rio Jundiáí (JUN)	17	Mogi das Cruzes	Especial
Itupararanga (ITU)	936	Votorantim	2
Cascata (CAS)	<1	Marília	2

Fonte: Modificada de Cunha et al. (2013) e Cetesb (2017).

Os resultados obtidos de qualidade da água, foram comparados com os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Devido a não existência de critérios específicos para a classe especial, comparou-se os valores desta classe com os padrões da classe 1, que mais se assemelham com as condições naturais do corpo d'água, uma vez que o artigo 13 desta Resolução (CONAMA 357/2005), estabeleceu que as águas da classe especial devem ser mantidas com as suas condições naturais. A qualidade da água também para a presença de cianotoxinas foi comparada com os padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS (Brasil, 2017), vigente à época. Foram calculadas também a relação das cianotoxinas clorofila a/microcistinas para os sete reservatórios, a fim de avaliar os seus potenciais de produção em relação a biomassa presente.

Foram realizados testes estatísticos de Kruskal-Wallis, para os fatores temporal (diferentes anos) e espacial (diferentes reservatórios), objetivando a verificação de suas influências sobre as concentrações de microcistina, número de cianobactérias e concentração de coliformes e *E.*

coli. E por fim, foi utilizado o teste de Spearman para verificar as correlações das variáveis de qualidade de água entre si.

Com o objetivo de se apresentar uma análise resumida dos resultados obtidos neste estudo, serão apresentados apenas os dados relacionados as médias de concentrações das variáveis de qualidade da água, a variação sazonal e temporal das cianobactérias e microcistinas nestes reservatórios, bem como a relação entre as características limnológicas dos reservatórios e a proliferação de cianobactérias e a produção de cianotoxinas.

5.3 Resultados e discussões

A análise dos níveis de eutrofização dos reservatórios, demonstrou que os reservatórios permaneceram predominantemente eutrofizados durante o período da pesquisa, de acordo com o Índice de Estado Trófico (IET), que foi divulgado pelo Relatório de Qualidade das Águas Interiores de São Paulo de 2017 (CETESB, 2017). Os valores das variáveis que embasaram a classificação desse índice estão descritos na tabela 5.

Tabela 5 - Médias e desvios padrão das variáveis de qualidade da água nos reservatórios estudados (Período de 2011 a 2015).

Reservatório	Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	PT (mg L^{-1})	N-amon (mg L^{-1})	NO ₃ (mg L^{-1})	DBO (mg L^{-1})	Temperatura (°C)
JAG	42,3 \pm 81,3	0,05 \pm 0,06	0,33 \pm 0,21	0,22 \pm 0,22	5 \pm 5	22,6 \pm 4,2
BIL	89,9 \pm 80,1	0,06 \pm 0,03	0,15 \pm 0,08	0,27 \pm 0,12	6 \pm 4	22,8 \pm 3,7
ITU	14,6 \pm 4,7	0,01 \pm 0,01	0,18 \pm 0,07	0,19 \pm 0,03	3 \pm 2	22,8 \pm 3,5
CAS	43,5 \pm 35,3	0,03 \pm 0,02	0,33 \pm 0,29	0,54 \pm 0,36	5 \pm 2	23,6 \pm 3,9
CAB	11,2 \pm 11,0	0,03 \pm 0,01	0,24 \pm 0,08	0,22 \pm 0,07	3 \pm 1	23,2 \pm 3,5
GUA	34,7 \pm 16,4	0,10 \pm 0,24	0,27 \pm 0,21	0,81 \pm 0,26	4 \pm 1	22,6 \pm 3,3
JUN	29,1 \pm 18,9	0,04 \pm 0,02	0,16 \pm 0,08	0,20 \pm 0,0	4 \pm 2	22,8 \pm 4,0

Fonte: Sonobe et al., 2019

A partir dos dados apresentados na tabela 5, os seguintes pontos foram destacados pelos autores. Observou-se que os reservatórios Billings e Guarapiranga apresentaram as maiores concentrações médias de fósforo total. Já para as concentrações de nitrogênio amoniacal, e nitrato, os reservatórios Jaguari, Cascata e Guarapiranga obtiveram os maiores valores. Em se tratando da concentração de clorofila a, quando forem maiores que 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e associadas à florações de cianobactérias tóxicas, são condições que se devem deflagrar o Alerta Nível 2.

Neste caso, o valor observado no reservatório Billings configura condições para este nível de alerta.

Em se tratando da variação sazonal e espacial de cianobactérias e microcistinas, é possível observar na figura 6 os resultados desta análise para os itens estudados. Os reservatórios Billings, Itupararanga, Cascata e Guarapiranga, respectivamente, apresentaram maiores densidades médias de cianobactérias, ultrapassando o limite de 50.000 cél mL⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005. Os valores anômalos (*Outliers*) na figura 6B, sugerem a ocorrência de florações tóxicas e presença de microcistina, principalmente no Billings e Cascata, com concentrações na faixa de 10 a 24 µg L⁻¹, além de o Jaguari, com concentração acima de 1 µg L⁻¹ acima do padrão de potabilidade da Portaria n°888/21. Embora o VMP da Portaria tenha sido estabelecido para água tratada, os autores alertaram que as concentrações encontradas na água bruta levam a uma grande preocupação relacionadas à possibilidade de intoxicação da população. Foi observado também a estabilidade, ao longo dos anos, no desenvolvimento de cianobactérias (Figura 6F) e das microcistinas (Figura 6E), com exceção do último ano apresentado pelos *outliers* na figura 6 E, que podem indicar florações mais tóxicas. Os dados de coliformes termotolerantes e *E. coli* (Figura 6C) no reservatório Cascata sugerem contaminação por esgoto sanitário, a qual pode ocorrer a partir do aporte de efluentes domésticos. Esses efluentes contêm fósforo e nitrogênio que podem contribuir para as elevadas densidades de cianobactérias e concentrações microcistina nesse reservatório. (Sonobe et al., 2019).

Outro ponto analisado neste estudo, foi a relação entre as características limnológicas dos reservatórios e a proliferação de cianobactérias e produção de cianotoxinas, onde foi observado uma considerável correlação entre a densidade de cianobactérias e a clorofila-a ($p=0,535$, Spearman); já o fósforo não apresentou correlação com a densidade de cianobactérias ($p=0.004$), mesmo este sendo descrito normalmente como o fator limitante para a produção primária. Com base em artigos de Cunha e Caliguri (2011 apud Sonobe et al. 2019), os autores sugeriram que a colimitação por fósforo e nitrogênio tem sido descrita como uma possibilidade em reservatórios tropicais. A correlação inversa com nitrogênio amoniacal ($p=-0.309$) e não significativa com outras formas de nitrogênio (nitrato, $p=0.091$ e nitrito, $p=0.005$), foi explicado pelos autores que as cianobactérias nestes reservatórios tenham a capacidade de crescer em condições de baixa concentração de nitrogênio ou de fixar o nitrogênio atmosférico; resultado este já observado pelos autores Kotak et al., (2000), que apontaram que a necessidade de nitrogênio varia de acordo com o tipo de cianobactéria. Em relação a microcistina, houve correlação significativa com a densidade de cianobactérias ($p=0,455$) e clorofila-a ($p=0,387$),

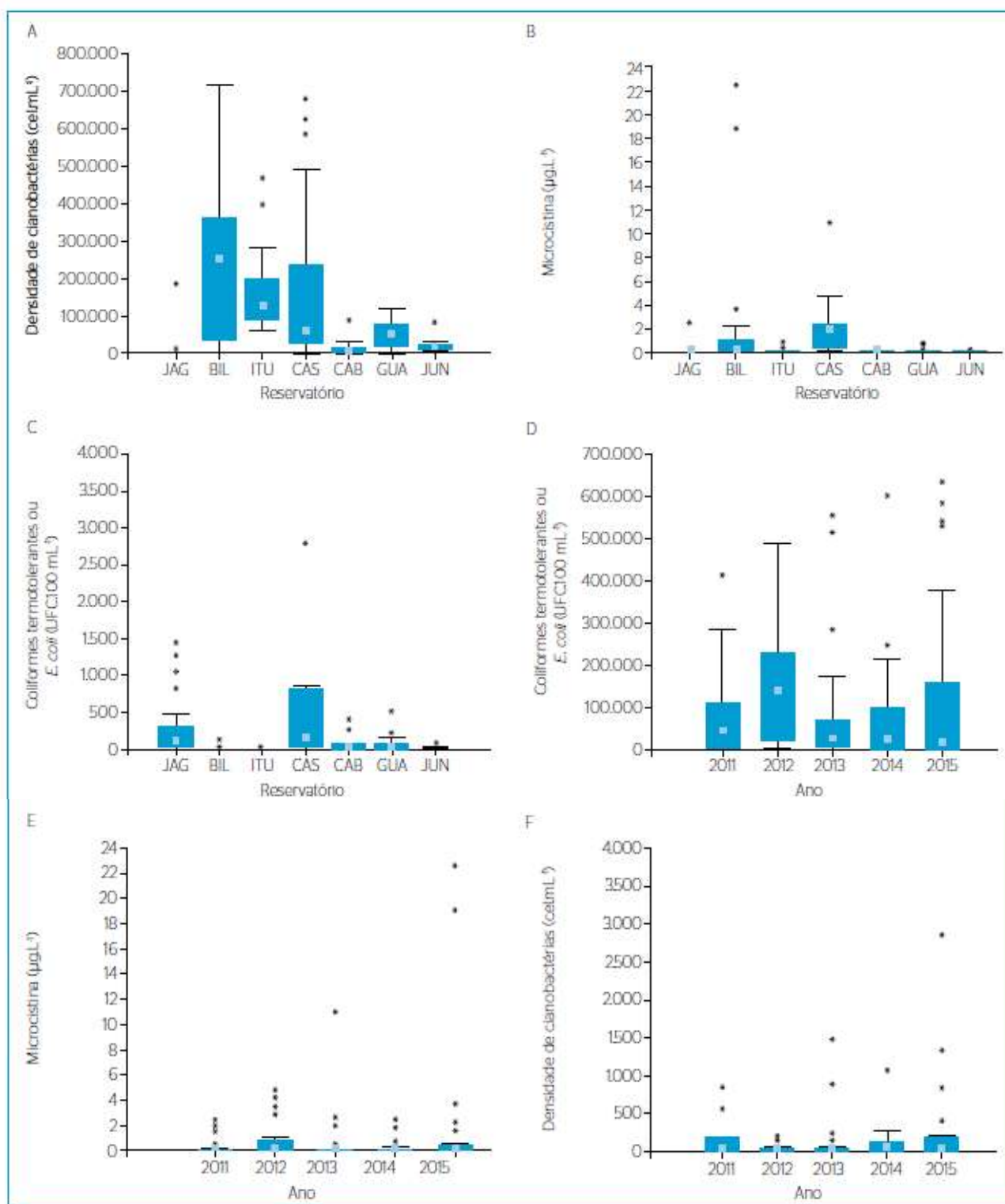
indicando que as cianobactérias que ocorrem nestes reservatórios são potenciais produtoras deste tipo de toxina. Houve correlação significativa entre o fósforo e a microcistina, sugerindo que este elemento influencia a produção dessa cianotoxina. Foi observado também, a partir da razão das concentrações microcistina e clorofila-a que o potencial tóxico das águas dos reservatórios apresentou tendência de aumento desde 2011, com destaque em 2015.

5.4 Conclusões do estudo

Com relação aos resultados apresentados nesse estudo de caso, Sonobe et al. (2019), concluíram que os reservatórios Ituparanga, Guarapiranga, Cascata e Billings, apresentaram durante o período de estudo elevadas densidades de cianobactérias, porém apenas os dois últimos apresentaram concentrações de microcistinas com valores ultrapassando o indicado pela OMS e pelo anexo da Portaria MS nº 5/2017 (atual Portaria GM/MS nº 888/21) para água tratada. Por este motivo, os autores reforçaram a necessidade da atividade de monitoramento da água tratada destes reservatórios, bem como a implantação do tratamento avançado que venha remover as cianotoxinas nas estações de tratamento de água.

Os autores também concluíram que o aspecto espacial (reservatório apresentou maior influência na quantidade de células de cianobactérias e microcistinas e *E. coli* ou Coliformes termotolerantes do que em relação ao aspecto temporal, sugerindo que a qualidade da água é afetada de forma diferenciada de acordo com características específicas das bacias de contribuição dos reservatórios.

Figura 6 - Variação espacial e temporal do número de células de cianobactérias, microcistinas e coliformes termotolerantes.



Fonte: Sonobe et al., 2019

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou explorar o problema causado pela presença de cianobactérias, com ênfase nas causas de suas florações nos corpos d'água, bem como os seus efeitos adversos à saúde humana e ambiental. Foi possível observar que estes organismos além de promoverem o desequilíbrio dos ecossistemas, a sua presença está cada vez mais comum nos reservatórios de abastecimento público, bem como em áreas de lazer, causando diversos problemas a população.

Em razão disto, para evitar ou minimizar o aumento do processo de eutrofização nestes ambientes aquáticos, a principal recomendação, também indicada pela OMS, é que se trabalhe de forma preventiva, por meio de políticas públicas e ações de monitoramento das possíveis florações evitando desta forma maiores custos para tratamento dos reservatórios já eutrofizados, além de garantir uma distribuição de água com qualidade, evitando desta forma, novos casos de intoxicações, seja pela ingestão da água como pelo contato com esses organismos.

Portanto, foi de suma importância a realização deste trabalho, para a compreensão das características das cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas, suas causas, riscos e principalmente conhecimento da necessidade de se tomar medidas para o seu controle, de acordo com cada situação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D.G.; AZEVEDO, S.M.F.O. Effect of nutriente concentrations on growth and hepatotoxin by *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, v.26, p.1657-1658, May.1998. In TAKENAKA, R. A. Avaliação da toxicidade de *Microcystis aeruginosa* e de florações naturais de cianobactérias de reservatórios do rio Tietê, SP. Tese de doutorado – São Carlos, 2007.

ALMEIDA, Jeferson Maiko de.; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Efeitos de Cianobactérias Tóxicas em Ambientes Aquáticos. In: FORUM AMBIENTAL ALTA PAULISTA, 2018, Alta Paulista Anais eletrônicos [...] Alta Paulista. v.14, n. 12 P 1394 – 1407. Disponível em https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/download/1926/1831/3932. Acesso em 01 mar. 2022.

Azevedo SMFO. Toxic cyanobacteria and the Caruaru tragedy. In: IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxicologia - Livro de Resumos; p.84.1996.

AZEVEDO, S. M.F.O. Toxinas de Cianobactérias: Causas e consequências para a Saúde Pública. São Paulo, Medicina On line - Revista Virtual de Medicina, ano I, n. 3, v, 1, jul/ago/set 1998. Disponível em http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm. Acesso em 01 mar. 2022.

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

BORTOLI, S. & PINTO, E. Cianotoxinas: características gerais, histórico, legislação e Métodos de análises. In: POMPEO, Marcelo, MOSCHINI-CARLOS, Viviane, NISHIMURA, Paula Yuri, DA SILVA, Sheila Cardoso, DOVAL, Julio Cesar López. *Ecologia de reservatórios e interfaces*. São Paulo : Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 321 – 339. Disponível em : http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Livro_todo.pdf. Acesso em 01 mar. 2022.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à engenharia ambiental – 2º ed.* São Paulo: Prentice Hall, 2005

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, nº 53, , Seção 1, páginas 58-63. 2005

BRASIL, Ministério da Saúde. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*: Fundação Nacional de Saúde, 56 pg – Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério da saúde. *Orientações técnicas para o monitoramento de cianobactérias/cianotoxias nos mananciais de abastecimento de água para consumo humano*. Brasília, 2016

Brasil, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. *Diário Oficial da União*, seção 1, ed.58, p. 127. Brasília, DF, 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Resolucao CONAMA no 274, 29 de novembro de 2000. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. 2000

CALIJURI, Maria do C.; ALVES, M. S. A. & SANTOS, A. C. A DOS,. *Cianobact_erias e cianotoxinas em águas continentais*. Rima, São Carlos, 118 p., 2006.

CAMPOS, A.; VASCONCELOS, V. Molecular mechanisms of microcystin toxicity in animal cells. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 11, n. 1, p. 268-287, 2010

CARMICHAEL W. W. The toxins of Cyanobacteria. *Scientific American*; v.270 n.1, v.78-86, 1994.

Carmichael WW, Azevedo SMFO, An JS, Molica RJR, Jochimsen EM, Lau S, Rinehart KI, Shaw GR, Eaglesham G.K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives* 2001

CARMICHAEL, W. A world overview – one-hundred-twentyseven years of research on toxic cyanobacteria – Where do we go from here? In: Hudnell, H. K. *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: state of the science and research needs*. Springer Science & Business Media, LLC, New York, 2008.

CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. *J.Appl.Bact.*, 72: 445-459. 1992.

CÉLIA L. SANT'ANNA et al. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *BRAZILIAN JOURNAL OF BOTANY*, v. 27, n. 2, p. 213-227, Jun. 2004.

CETESB (São Paulo). Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais/ CETESB; Maria do Carmo Carvalho ... [et al.]. --São Paulo: CETESB, 2013.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. 3. ed. Geneva: WHO - World Health Organization, 1998.

COOD, G.A.; BELL, S.G.; BROOKS, W.P. Cyanobacterial toxins in waters. *Water Sci. Technol.*, n.20, p.1-13, 1989. In TAKENAKA, R. A. Avaliação da toxicidade de *Microcystis aeruginosa* e de florações naturais de cianobactérias de reservatórios do rio Tietê, SP. Tese de doutorado – São Carlos, 2007.

FALCONER, I.R. Health implications of Cyanobacterial (blue-green algae) toxins. In: Steffensen DA, Nicholson BC, editors. *Toxic Cyanobacteria Current Status of Research and Management - Proceedings of an International Workshop*. Adelaide; 1994. In: BRASIL. Ministério da Saúde. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano: Fundação Nacional de Saúde*, 56 pg – Brasília, 2003

FERREIRA, A.V. et al. Orange IV stabilizes silk fibroin microemulsions. *Engineering in Life Sciences*, Weinheim, v.15, n.4, p. 400-4009, May 2015. doi: 10.1002/els.201400190.

FRANÇA. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA). Agence Française de Sécurité Sanitaire de L'environnement et du travail (AFSSET). *Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau*. 232 p. 2006. In Lapoli et al, 2011.

JOCHIMSEN, E. M; Carmichael W.W, An J, CARDO D.; COOKSON S.T.; HOLMES C.E.M.; ANTUNES M.B.C.; MELO FILHO D.A., LYRA T.M., BARRETO V., AZEVEDO S.M.F.O.; JARVIS W.R. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *New England Journal of Medicine*, v. 338, n. 13, p. 873-878, 1998

LAPOLLI, Flávio Rubens.; CORAL, Lucila Adriani.; RECIO, María Ángeles Lobo. *Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção*. 185. p 10 – 17. ed. São Paulo: SABESP, 2011.

OLIVEIRA, J. M. B. Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de Sedimentação e Flotação: Avaliação em Escala de Bancada. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DT085/05, 122p. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2005.

OLIVEIRA, L.L.D. Estudo da estrutura da comunidade zooplânctônica e sua relação com as cianobactérias em três reservatórios do Médio rio Tietê, SP. 202p. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010
POURIA, S.; et al. A. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil. *Lancet*, v. 352, n. 9121, p. 21-26, 1998.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Contribution to the knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil, Nova Hedwigia, Alemanha, v.71, n.3-4, p.359-385, 2000.

SIVONEN, K. e JONES, G. (1999). "Cyanobacterial toxins." In: Chorus, I. e Bartram, J. (eds.) Toxic cyanobacteria in water - A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E&FN Spon, Londres, Inglaterra, 41-111.

TAKENAKA, Renata Akemi. Avaliação da toxicidade de *Microcystis aeruginosa* e de florações naturais de cianobactérias de reservatórios do rio Tietê, SP. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2007

TEIXEIRA MGLC, Costa MCN, Carvalho VLP, Pereira MS, Hage E. Epidemia de gastroenterite na área de barragem de Itaparica, Bahia. Boletim of Sanitary Panamerican 114: 502-512, 1993

TORGAN, Lezilda Carvalho. Florações de algas: composição, causas e consequências. Florianópolis, Ínsula (19): 15-39. 1989

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 1996. 4. Ed. – Belo Horizonte. 427 p., Editora UFMG, 2014.

WHO. Guidelines for safe recreational-water environments: coastal and fresh-waters. Geneva: World Health Organization. 1998. 209 p. In Lapoli, Coral, Recio. Cianobactérias em mananciais de abastecimento – Problemática e Métodos de remoção. DAE. 2010.

YOO, R.S.; CARMICHAEL, W.W.; HOEHN, R.C.; HRUDEY, S.E. Cyanobacterial (blue-green algal) toxins: a resource guide. AWWA. Research Foundation and American Water Works Association.. 229p. 1995 In TAKENAKA, R. A. Avaliação da toxicidade de *Microcystis aeruginosa* e de florações naturais de cianobactérias de reservatórios do rio Tietê, SP. Tese de doutorado – São Carlos, 2007.