



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

BÁRBARA LOHANY SILVEIRA PAIVA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DE MICROCISTINAS, SAXITOXINAS E
CILINDROSPERMOPSINAS PRESENTES EM MANANCIAIS DO CEARÁ
UTILIZANDO ENSAIO IMUNOENZIMÁTICO (ELISA)**

MOSSORÓ

2024

BÁRBARA LOHANY SILVEIRA PAIVA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DE MICROCISTINAS, SAXITOXINAS E
CILINDROSPERMOPSINAS PRESENTES EM MANANCIAS DO CEARÁ
UTILIZANDO ENSAIO IMUNOENZIMÁTICO (ELISA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA) como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda
Silva.

Supervisora de Estágio: Dra. Marlyde Lima
Campos de Oliveira.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

PP142 Paiva, Bárbara Lohany Silveira.
a ANÁLISE QUANTITATIVA DE MICROCISTINAS,
SAXITOXINAS E CILINDROSPERMOPSINAS PRESENTES EM
MANANCIAS DO CEARÁ UTILIZANDO ENSAIO
IMUNOENZIMÁTICO (ELISA) / Bárbara Lohany Silveira
Paiva. - 2024.
67 f. : il.

Orientador: Francisco Wilton Miranda Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2024.

1. Abastecimento Público. 2. Cianobactérias.
3. Cianotoxinas. 4. Contaminação. 5. Eutrofização.
I. Silva, Francisco Wilton Miranda, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BÁRBARA LOHANY SILVEIRA PAIVA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DE MICROCISTINAS, SAXITOXINAS E
CILINDROSPERMOPSINAS PRESENTES EM MANANCIAS DO CEARÁ
UTILIZANDO ENSAIO IMUNOENZIMÁTICO (ELISA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA) como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 14 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO WILTON MIRANDA DA SILVA
Data: 04/11/2024 16:14:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome do Orientador, Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda Silva (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 ALVARO DANIEL TELES PINHEIRO
Data: 04/11/2024 14:01:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome do Examinador Interno, Prof. Dr. Álvaro Daniel Teles Pinheiro
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 MARIA VALERIA DE OLIVEIRA SANTOS
Data: 04/11/2024 10:30:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome do Examinador Externo, Dra. Maria Valéria de Oliveira Santos
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 DARLIANE CRISTINA SOARES DE SOUZA
Data: 04/11/2024 10:07:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome do Examinador Externo, Me. Darliane Cristina Soares de Souza
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e perseverança que me permitiram chegar até aqui. Sua presença constante foi essencial para que eu pudesse ir tão longe.

Agradeço à minha família, especialmente à minha mãe e ao meu irmão, pelo apoio incondicional, carinho e incentivo ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Agradeço também ao meu namorado, Fernando, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, encorajamento e serenidade nos momentos de crise. Às minhas amigas, que compartilharam comigo tanto os desafios quanto as conquistas, expresso minha sincera gratidão, em especial a Anderson, Carlos, Daniel, Monaliza e João Paulo.

Sou profundamente grata ao meu orientador, cuja paciência, dedicação e contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, além de ter sido um professor inspirador.

Agradeço igualmente a todos os professores e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para meu crescimento acadêmico e pessoal. Um agradecimento especial à equipe da empresa Júnior, Síntesis, que me apoiou valiosamente, demonstrando a importância do reconhecimento e incentivando meu desenvolvimento profissional.

Não posso deixar de mencionar minha supervisora de estágio, bem como meus gerentes e colegas, que me acolheram como família e me ensinaram tanto com sua paciência e perseverança ao longo desta jornada.

Por fim, estendo minha gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, estiveram ao meu lado, ajudando-me a superar desafios e a alcançar meus objetivos.

“Feliz é a pessoa que acha a sabedoria e que consegue compreender as coisas, pois isso é melhor do que prata e tem mais valor do que o ouro.”

Provérbios 3.13-14.

RESUMO

A poluição dos mananciais destinados para o abastecimento público é uma questão significativa para a saúde, devido à contaminação por eutrofização e cianobactérias produtoras de toxinas. Neste contexto, desde 2003 a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) utiliza o método ELISA para monitorar cianotoxinas nos recursos hídricos do Ceará. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise quantitativa das cianotoxinas Microcistinas, Saxitoxinas e Cilindrospermopsinas presentes em mananciais do Ceará, utilizando o método de ensaio imunoenzimático (ELISA) entre março e julho de 2024. Durante o monitoramento de março a julho de 2024, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) avaliou microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas usando o método ELISA, que se mostrou eficaz na detecção dessas cianotoxinas. Os resultados indicaram variações nas concentrações: em março e abril, houve estabilização ou diminuição, mas em maio, algumas áreas apresentaram aumento significativo, correlacionando com condições climáticas. As microcistinas mostraram níveis preocupantes, especialmente em corpos d'água parados, enquanto cilindrospermopsinas e saxitoxinas foram detectadas em níveis mais baixos. Apesar da maioria das amostras estarem dentro dos limites da Portaria MS/GS nº 2.914, algumas captações, como as amostras A e G, exibiram concentrações elevadas de microcistinas, com a amostra G apresentando uma elevação alarmante. Essa contaminação pode ser atribuída ao excesso de nutrientes de efluentes agrícolas e domésticos. Assim, os dados destacam a necessidade de monitoramento contínuo e medidas adicionais, como o controle de mananciais e boas práticas agrícolas, para reduzir os riscos de contaminação. Também é essencial realizar pesquisas futuras sobre as dinâmicas de contaminação e implementar métodos complementares de detecção, além de promover programas de educação nas comunidades afetadas. Essas ações fortalecerão as políticas de proteção dos recursos hídricos e beneficiarão a gestão da CAGECE a longo prazo.

Palavras-chaves: Abastecimento Público, Cianobactérias, Cianotoxinas, Contaminação, Eutrofização.

ABSTRACT

The pollution of water sources designated for public supply is a significant health issue due to contamination from eutrophication and toxin-producing cyanobacteria. In this context, since 2003, the Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) has been using the ELISA method to monitor cyanotoxins in the water resources of Ceará. This study aimed to conduct a quantitative analysis of the cyanotoxins microcystins, saxitoxins, and cylindrospermopsins present in the water sources of Ceará, utilizing the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method between March and July 2024. During the monitoring period from March to July 2024, CAGECE assessed microcystins, saxitoxins, and cylindrospermopsins using the ELISA method, which proved effective in detecting these cyanotoxins. The results indicated significant variations in concentrations: in March and April, there was stabilization or a decrease, but in May, some areas showed a significant increase, correlating with climatic conditions. Microcystins showed concerning levels, particularly in stagnant water bodies, while cylindrospermopsins and saxitoxins were detected at lower levels. Although most samples remained within the limits established by Portaria MS/GS nº 2.914, some water sources, such as samples A and G, exhibited elevated concentrations of microcystins, with sample G showing an alarming increase. This contamination may be attributed to the excess nutrients from agricultural and domestic effluents. Thus, the data underscore the need for continuous monitoring and additional measures, such as the management of water sources and the promotion of good agricultural practices, to reduce contamination risks. Future research on contamination dynamics and the implementation of complementary detection methods are also essential, along with educational programs for affected communities. These actions will strengthen public policies for water resource protection and benefit CAGECE's long-term management.

Keywords: Public Supply, Cyanobacteria, Cyanotoxins, Contamination, Eutrophication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Algumas espécies de cianobactérias.	21
Figura 2: Processamento para análise das amostras.	45
Figura 3: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis.	48
Figura 4: Realização do procedimento de análise da Saxitoxina.	52
Figura 5: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis.	55
Figura 6: Dados meteorológicos das chuvas mensais do Ceará.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Absorbâncias das Cilindropermopsinas.....	57
Gráfico 2: Absorbâncias das Microcistinas.....	58
Gráfico 3: Absorbâncias das Saxitoxinas.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Procedimento de análise de Cianotoxinas de acordo com o Standard Methods.	29
Tabela 2: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis.	49
Tabela 3: Marcha Analítica para Kit Saxitoxina da Abraxis.....	50
Tabela 4: Marcha Analítica para Kit Saxitoxina da Beacon.	50
Tabela 5: Marcha Analítica para Kit Cilindrospermopsina da Abraxis.....	51
Tabela 6: Marcha Analítica para Kit Cilindrospermopsina da Beacon.	51
Tabela 7: Critérios de avaliação para aprovação das curvas da Abraxis.	53
Tabela 8: Critérios de avaliação para aprovação das curvas da Beacon.....	53
Tabela 9: Limites de tolerâncias das cianobactérias.	54
Tabela 10: Absorbâncias de algumas amostras.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIDIS	Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
APHA	Associação Americana de Saúde Pública
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
ELISA	Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PCR	Reação em Cadeia da Polimerase
PSTs	Paralytic Shellfish Toxins
Sisagua	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SUS	Sistema Único de Saúde
Vigiagua	Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
VMP	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. OBJETIVO GERAL	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. A qualidade da água para a saúde humana	19
3.2. Características das Cianobactérias	20
3.3. Processo de Eutrofização	22
3.4. Cianotoxinas	23
3.4.1. Microcistinas	24
3.4.2. Saxitoxinas	25
3.4.3. Cilindrospermopsina	25
3.5. Ação de monitoramento em mananciais de abastecimento público	26
3.6. Aspectos da Legislação Brasileira	27
3.7. Standard Methods	28
3.8. Ensaio Imunoenzimático (ELISA)	30
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	44
4.1. Métodos	44
4.1.1. Seleção e Preparo de amostras	46
4.1.2. Montagem das bateladas e Filtração	46
4.1.3. Ensaio de toxicidade	48
4.1.4. Análise estatística dos dados	54
5. RESULTADOS	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos destinados ao abastecimento público emerge como um dos principais desafios para a saúde da população, resultando na degradação da qualidade da água e na complexidade do seu monitoramento. Esta poluição, intensificada principalmente por fontes antropogênicas, está diretamente ligada ao fenômeno da eutrofização, caracterizado pelo aumento excessivo de nutrientes na água, promovendo um crescimento descontrolado de microrganismos, como algas e cianobactérias, devido às mudanças ambientais (Antunes; Barbosa, 2013).

As cianobactérias, também conhecidas como algas azuis, são microrganismos procariontes, unicelulares, fotossintetizantes e que atuam como produtores primários em ecossistemas aquáticos. Um dos aspectos mais significativos desses organismos é sua capacidade de produzir cianotoxinas, substâncias tóxicas, que segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) representam um risco para a saúde humana. Entre as cianotoxinas mais preocupantes estão as microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas (Neiva, 2013).

Um exemplo marcante do perigo das cianotoxinas ocorreu em 1996, na cidade de Caruaru, Pernambuco, quando cerca de 60 pacientes de uma clínica de hemodiálise foram expostos a microcistinas presentes na água contaminada utilizada no tratamento. Após investigação, foi constatado que a água, proveniente da Barragem de Tabocas e transportada por caminhões-pipa para ser fornecida à população pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), estava infectada por uma variante da microcistina. O sistema inadequado de controle da companhia resultou em infecções graves que levaram a morte. Assim, este incidente destacou ainda mais a necessidade crítica de água de qualidade e a importância da implementação de leis que visem estabelecer padrões de segurança rigorosos para proteger a saúde humana (Câmara Neto, 2011).

Em resposta a episódios como esse, o Ministério da Saúde, por meio do Anexo XX da Portaria nº 5/2017, estabeleceu diretrizes para o controle e vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano. Compete aos gestores e responsáveis pelos sistemas de tratamento assegurar o monitoramento contínuo das cianobactérias e o cumprimento dos padrões de potabilidade (Brasil, 2016).

Após esse incidente e com o surgimento de portarias que acometem a necessidade desse monitoramento das águas dos mananciais para assegurar a segurança da população através do monitoramento, a Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece) deu início, em

2003, à realização de análises de natureza hidrobiológica. Essas análises visam garantir a ausência de cianotoxinas na água de abastecimento público.

O Ensaio Imunoenzimático, também conhecido como ELISA (do inglês, Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay), é uma técnica amplamente reconhecida na análise de cianobactérias. Ele se baseia na utilização de ensaios imunosorbentes ligados a enzimas para detectar e quantificar cianotoxinas. Esse método emprega substâncias que imobilizam componentes do sistema imunológico, facilitando a identificação das cianotoxinas e a avaliação de sua concentração (Sanches *et al.*, 2012).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a presença de microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas em mananciais do Ceará, utilizando o método ELISA para quantificação durante o período de março a julho de 2024. Esta pesquisa visa contribuir para o controle da qualidade da água, oferecendo dados para a adoção de medidas preventivas e de tratamento mais eficazes no estado.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é examinar a presença de cianotoxinas (microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas) nos mananciais das cidades do Ceará, que são tratados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), durante os meses de março a julho. Para isso, é utilizado o método de Ensaio Imunoenzimático (ELISA), que permite a quantificação dessas toxinas na água.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a análise da presença de cianotoxinas nas amostras durante os meses de março a julho;
- Preparar e filtrar as amostras para realizar o estudo;
- Analisar as absorbâncias obtidas em cada batelada;
- Verificar a qualidade e o controle da água distribuída

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. A qualidade da água para a saúde humana

Nos últimos anos, a preocupação com o abastecimento público de água, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, tem aumentado devido à escassez e à deterioração dos mananciais. Essa problemática vem sendo reconhecida por Organizações internacionais, como a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e a *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* (AIDIS), bem como entidades nacionais como o Ministério da Saúde e o Conama. Em 1992, visando sensibilizar os governos e a sociedade sobre a importância da conservação da água. Em decorrência disso, foi assinada uma declaração em Havana que estabeleceu o dia Interamericano da Água (Brasil, 2006).

Nesse contexto, no final do século XIX a qualidade da água emergiu como uma prioridade para a saúde pública, com descobertas significativas como a de John Snow, que associou um surto de cólera a poços contaminados, e a comprovação da Teoria dos Germes por Louis Pasteur, demonstrando que micróbios podiam transmitir doenças por meio da água. No início do século XX, essas descobertas impulsionaram o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água, incluindo filtração lenta nos Estados Unidos, cloração em New Jersey e o uso de ozônio na Europa. Em 1914, a norma federal americana estabeleceu o primeiro padrão para a qualidade microbiológica da água, focando em contaminantes infecciosos. Com isso, normas de potabilidade foram elaboradas por autoridades sanitárias e instituições científicas para serem seguidas por órgãos de fiscalização e empresas de abastecimento (Freitas; Freitas, 2005).

Diante do exposto, foi criado o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), pelo Ministério da Saúde do Brasil, que visa auxiliar na gestão dos riscos à saúde relacionados ao abastecimento de água potável. O Sisagua oferece dados sobre o abastecimento de água, infraestrutura, condições operacionais e monitoramento da qualidade, que são fornecidos por prestadores de serviço e autoridades de saúde. Além disso, o Sistema também serve como fonte oficial para indicadores do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua). Esses dados fornecidos são essenciais para minimizar riscos associados ao consumo da água, prevenindo doenças transmitidas pela água (Brasil, 2018).

No Brasil, o controle da qualidade da água é prioritariamente voltado para o sistema público de abastecimento. Contudo, segundo o Sisagua, 21% dos Sistemas de Abastecimento

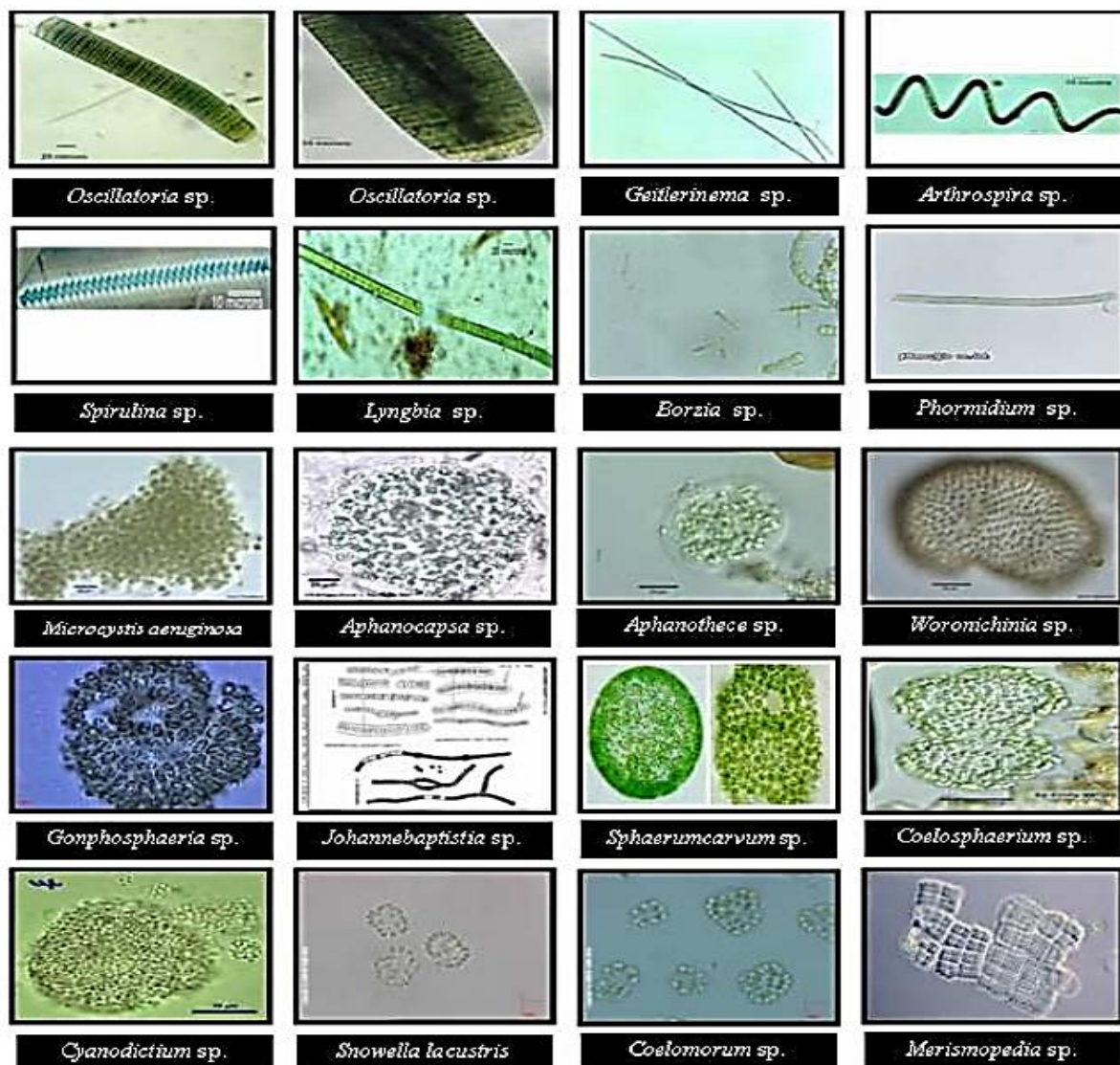
de Água no país não possuem tratamento, atendendo cerca de 15 milhões de pessoas (Daniel; Cabral, 2011).

Sendo assim, a responsabilidade pela qualidade da água na rede de distribuição é da empresa de saneamento até o ponto de entrega. A partir desse ponto, a manutenção da qualidade da água no interior dos edifícios é responsabilidade do gestor administrativo ou do próprio morador. Portanto, além do tratamento realizado nas redes de distribuição, o usuário também desempenha um papel crucial na preservação da qualidade da água dentro de sua residência (Medeiros, 2016).

3.2. Características das Cianobactérias

Conforme Sant'Anna (2006), as cianobactérias, também conhecidas como algas azuis devido à coloração verde-azulada observada em suas células sob o microscópio, são organismos procariontes que não apresentam compartimento celular interno. Devido à ausência de núcleo e estruturas definidas, elas se assemelham a bactérias, o que justifica o nome de cianobactérias. Como fotossintetizantes e produtores primários, semelhantes às algas eucarióticas, são também denominadas cianofíceas. Dessa forma, apresentam características que combinam aspectos de algas e de bactérias. Na Figura 1 abaixo, é possível observar algumas espécies de cianobactérias.

Figura 1: Algumas espécies de cianobactérias.



FONTE: LACEN (2008).

Esses organismos demonstram notável plasticidade morfológica e adaptabilidade a uma ampla variedade de ecossistemas. Assim, estão amplamente distribuídos pelo mundo, podendo habitar ambientes terrestres, de água doce, salobra ou marinha, bem como habitats extremos como fontes termais. Essa capacidade de colonizar diversos sistemas favorece seu desenvolvimento massivo, que podem alterar a aparência da água, provocando mudanças na coloração e a produção de odores e sabores desagradáveis (Rolland et al., 2013; Otten; Paerl, 2015).

De acordo com Persaud *et al.* (2015), a estrutura das cianobactérias é influenciada por variações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os principais fatores ambientais que favorecem o crescimento de cianobactérias incluem altas concentrações de nutrientes, pH

elevado, condições meteorológicas, como altas temperaturas, baixa precipitação e elevada radiação solar.

Diante disso, é evidente que as cianobactérias representam uma ameaça para a qualidade da água. Visto que, o crescimento excessivo dessas cianobactérias em reservatórios e mananciais pode causar problemas significativos devido à produção de cianotoxinas, toxinas produzidas pelas cianobactérias. Por essa razão, as cianobactérias são classificadas como micro-organismos patógenos emergentes, embora não colonizem nem invadam diretamente os hospedeiros (Huber *et al.*, 2012).

3.3. Processo de Eutrofização

De acordo com Ferreira *et al.* (2011), a eutrofização caracteriza-se por ser um processo de enriquecimento da água com nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que resulta no aumento do crescimento e biomassa de algas, alterações no equilíbrio dos organismos aquáticos e degradação da qualidade da água. As consequências da eutrofização incluem a deterioração da saúde do ecossistema e a redução da capacidade sustentável de fornecer produtos e serviços.

A eutrofização é mais intensa em ambientes com longos períodos de residência da água, favorecendo assim o crescimento das plantas aquáticas (Brasil, 2006). Por conta disso, a eutrofização de ambientes aquáticos, especialmente em corpos d'água em transição, constitui uma preocupação global. Entretanto, mesmo em águas transitórias, os estuários enfrentam estresse natural devido à variabilidade das características físico-químicas, tais como salinidade, temperatura e concentração de nutrientes inorgânicos e orgânicos (Zaldívar *et al.*, 2008).

Segundo Cotovicz Junior (2012), a eutrofização causa grandes preocupações para o ecossistema aquáticos, devido aos altos níveis de nitrogênio e fósforo. Como principais fontes desses nutrientes podemos citar emissários de esgoto, instalações industriais, fertilização agrícolas, efluentes da pecuária intensiva e agrícola. Além disso, a eutrofização estimula o crescimento excessivo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos, resultando em diversos efeitos prejudiciais para os ecossistemas e as populações humanas. A proliferação de vegetação aquática e a produção de toxinas por algas tóxicas, como as cianobactérias, comprometem todo o sistema socioambiental.

A eutrofização eleva os custos do tratamento da água para abastecimento público, devido ao aumento na utilização de coagulantes e alcalinizantes para o ajuste do pH de coagulação. Além disso, há a necessidade de empregar polímeros para auxiliar na floculação e

prevenir a flotação. Esses fatores comprometem a eficiência na remoção de flocos durante a decantação, aceleram a obstrução dos meios filtrantes, reduzem a vida útil das cadeias de filtros e aumentam o consumo de água para lavagem. Como resultado, há um incremento na geração de águas residuárias e um maior uso de cloro devido à presença de matéria orgânica e amônia, o que diminui a eficiência da desinfecção e aumenta o risco de formação de compostos organoclorados tóxicos, prejudiciais à saúde humana. Ademais, o aumento da matéria orgânica pode favorecer o crescimento de bactérias nos sistemas de distribuição, provocando sabor e odor indesejáveis devido a algumas espécies de algas e um aumento na deposição de ferro e manganês (Barreto, 2013).

3.4. Cianotoxinas

As toxinas produzidas pelas cianobactérias representam um grupo especializado de substâncias naturais, com características únicas tanto em termos químicos quanto toxicológicos. Esses compostos, que são produtos secundários do metabolismo das cianobactérias, têm a capacidade de interagir de maneira diversificada com tecidos, células e organismos. Seus efeitos podem variar amplamente: algumas toxinas, como os peptídeos cíclicos, são conhecidas por sua hepatotoxicidade, afetando o fígado; outras, como os alcaloides, são associadas a neurotoxicidade, impactando o sistema nervoso; além disso, os lipopolissacarídeos podem causar inflamação ou irritação quando há contato direto com a pele (Newcombe, 2009).

O termo "cianotoxina" refere-se aos metabolitos produzidos por cianobactérias que têm a capacidade de impactar negativamente a saúde humana. Dentre esses metabolitos, cinco classes de compostos são amplamente reconhecidas: microcistinas (hepatotoxina), nodularinas (hepatotoxina), cilindrospermopsinas (citotoxina/hepatotoxina), anatoxina-a (neurotoxina) e saxitoxinas (neurotoxina). Estes compostos são sintetizados por sintases de peptídeos não ribossômicos (NRPS) e sintases de poliquetídeos (PKS), que são complexos enzimáticos grandes e iterativos que utilizam um mecanismo para incorporar aminoácidos em uma cadeia peptídica em crescimento. Além disso, esses compostos podem sofrer modificações adicionais, como desmetilação, e ser ajustados por diversas enzimas para formar isoformas adicionais (Otten; Paerl, 2015).

Neste tópico, iremos abordar detalhadamente os três tipos de cianotoxinas que foram utilizados na pesquisa: microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas. Realizando análise de cada uma dessas classes de compostos, explorando suas propriedades específicas.

3.4.1. Microcistinas

A maioria dos casos de envenenamento por cianobactérias resulta em hepatotoxicoses agudas, lesões no fígado, que são causadas por um grupo de peptídeos cíclicos estruturalmente semelhantes, conhecidos como microcistinas. Esses peptídeos cíclicos são produtos naturais com pesos moleculares que variam entre 800 e 1.110 Daltons. A estrutura cíclica desses compostos é formada pela ligação de dois aminoácidos terminais do peptídeo linear, resultando em um composto cíclico (Minillo, 2005).

Carmichael et al. (1988) propuseram a classificação das microcistinas, a qual é amplamente aceita até os dias atuais. Inicialmente, a nomenclatura dessas toxinas era baseada exclusivamente nas variações qualitativas observadas em dois de seus aminoácidos. Já atualmente, essa classificação é baseada em um sistema mais complexo que considera não apenas as variações nos aminoácidos que compõem as microcistinas, mas também diferenças na estrutura química desses compostos (Cassini *et al.*, 2013).

As microcistinas são as cianotoxinas mais frequentemente isoladas e têm sido responsáveis por um grande número de intoxicações humanas ao redor do mundo. Estas substâncias são produzidas por pelo menos seis gêneros de cianobactérias, incluindo *Microcystis*, *Planktothrix* (anteriormente conhecida como *Oscillatoria*), *Anabaena* e *Nostoc*. As microcistinas são heptapeptídeos monocíclicos formados por uma cadeia de sete aminoácidos, dos quais um é um aminoácido pouco comum, o ADDA (3-amino-9-metoxi-2,6,8-trimetil-10-fenildeca-4,6-dienóico), que desempenha um papel crucial na atividade biológica dessas hepatotoxinas. Entre as mais de 80 variantes moleculares conhecidas de microcistinas, seis são particularmente notáveis: MC-LR, MC-LA, MC-YR, MC-RR, MC-LF e MC-LW. Dentre elas, a variante MC-LR, que contém leucina e arginina, é a mais prevalente (Guerra *et al.*, 2015).

Em 1996, uma tragédia ocorreu em uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru, Pernambuco, afetando quase 60 pacientes devido à exposição a água contaminada. A investigação revelou que a água, que vinha da Barragem de Tabocas e era transportada por caminhões-pipa pela COMPESA, estava contaminada com uma variante de microcistina. A falha no sistema de controle da COMPESA causou infecções graves e mortes. Esse evento sublinhou a importância de garantir a qualidade da água e a necessidade de implementar normas rigorosas para proteger a saúde pública. Análises feitas pelo Laboratório da UFRJ confirmaram a presença elevada de microcistinas na coluna de carvão ativado da estação de tratamento de água do IDR. Foram encontrados resíduos de 633 µg/10g de carvão, com uma taxa de liberação para a água tratada de 15,74 µg/10g de carvão (Câmara Neto, 2011).

Por isso, a OMS estabeleceu um limite máximo aceitável de 1 µg/L de microcistinas em água potável para consumo humano. Este limite foi formalmente incorporado no adendo das Normas para Qualidade da Água Tratada da OMS. De maneira similar, o mesmo valor foi adotado como limite máximo aceitável para água destinada ao consumo humano no Brasil, conforme estabelecido na regulamentação de 2011 (Brasil, 2012).

3.4.2. Saxitoxinas

As saxitoxinas têm estruturas químicas diferentes das microcistinas e receberam menos atenção em pesquisas devido à sua associação com cianobactérias que ocorrem principalmente em regiões tropicais e às dificuldades analíticas envolvidas na sua detecção. Conhecidas também como PSTs (paralytic shellfish toxins), as saxitoxinas foram inicialmente isoladas de dinoflagelados marinhos e podem ser encontradas em formas sulfatadas ou não. A variação das saxitoxinas é atribuída às substituições nos radicais R1, R2, R3, R4 e R5, conforme descrito na literatura técnica, o que destaca a complexidade e a necessidade de monitoramento dessas substâncias para assegurar a qualidade da água e proteger a saúde pública (Silva, 2005).

As saxitoxinas comprometem a condução nervosa ao bloquear os canais de sódio nas membranas celulares, o que altera a permeabilidade ao potássio e afeta a integridade das membranas (ver figura 5). Esse bloqueio impede a transmissão normal dos impulsos nervosos. Os sinais clínicos de intoxicação incluem descoordenação, respiração acelerada, vertigem, dormência na boca e nas extremidades, espasmos musculares, náusea, vômito, sede intensa, taquicardia, convulsões e, em casos críticos, morte por insuficiência respiratória. Os sintomas podem surgir em até 5 minutos após a ingestão da toxina, com a morte ocorrendo entre 2 a 12 horas depois. Caso a intoxicação não seja fatal, os sintomas geralmente se resolvem dentro de 1 a 6 dias (Neiva, 2013).

3.4.3. Cilindrospermopsina

A cilindrospermopsina é um alcaloide guanidínico cíclico com propriedades hepatotóxicas, produzido por várias espécies, como *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon ovalisporum*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Umezakia natans*, *Raphidiopsis curvata* e *Anabaena bergii* (PREUSSEL et al., 2006). Seu mecanismo de ação, que é semelhante ao das microcistinas, atua inibindo a síntese de proteínas, com foco principal no fígado. No entanto, a cilindrospermopsina também exerce efeitos citotóxicos em diversos órgãos, incluindo rins, baço, pulmões e coração (Sivonen; Jones, 1999).

Existem diversos fatores que afetam a concentração dessa toxina na água, incluindo a abundância do organismo produtor, o mecanismo de liberação da toxina pelas células, bem como sua estabilidade e taxa de degradação. A toxina pode ser liberada na água através de transporte ativo em células intactas, especialmente sob condições de estresse fisiológico, o que significa que a lise celular não é necessária para que a toxina se torne disponível no ambiente aquático (Preussel *et al.*, 2009).

Levando em conta que as concentrações de cilindrospermopsina (CYN) dentro e fora das células são influenciadas por diversos fatores ambientais, e considerando que essa substância pode se acumular na água ao longo do tempo, além de sua produção não depender necessariamente de condições ideais para o crescimento dos organismos que a produzem, não foi possível estabelecer uma relação direta entre a densidade das cianobactérias e a quantidade de CYN presente (RZYMSKI; PONIEDZIAŁEK, 2014). A exposição à cilindrospermopsina pode provocar sintomas clínicos como febre, dor de cabeça, vômitos, diarreia com sangue, aumento do fígado e danos nos rins (U.S. EPA, 2015).

3.5. Ação de monitoramento em mananciais de abastecimento público

Os recursos hídricos empregados no fornecimento de água para a população precisam ser monitorados regularmente para verificar tanto a quantidade quanto a qualidade da água. Para garantir que essas necessidades sejam atendidas, é essencial que as empresas responsáveis pelo saneamento e pelos sistemas de abastecimento de água mantenham programas contínuos de vigilância. Esses programas são necessários para cumprir as normas legais e permitir uma análise adequada das condições desses recursos hídricos (CYBIS *et al.*, 2006).

Nesse contexto, a OMS, por meio das Diretrizes para a Qualidade da Água Potável (*Guidelines for Drinking-Water Quality*), oferece regularmente recomendações essenciais sobre os procedimentos para o tratamento e a distribuição da água destinada ao consumo. Além disso, a OMS fornece diretrizes para a formulação de políticas e práticas de saneamento que busquem criar um sistema abrangente para a avaliação e o gerenciamento proativo de riscos à saúde pública (Veiga, 2021).

Já no Brasil, a responsabilidade pelo fornecimento de água potável para o consumo humano recai sobre o Sistema Único de Saúde (SUS). Esse processo é coordenado pelo VIGIAGUA, que engloba um conjunto de ações contínuas realizadas pelas autoridades de saúde pública. O objetivo é assegurar que a população tenha acesso a água em quantidade adequada e com qualidade que atenda aos padrões estabelecidos pela legislação vigente (Brasil, 2021). Vale ressaltar que todas as formas de fornecimento de água e as atividades de monitoramento

relacionadas devem seguir as normas estabelecidas na portaria de potabilidade da água, a qual se baseia nas diretrizes da OMS (Veiga, 2021).

3.6. Aspectos da Legislação Brasileira

Devido aos problemas de contaminação de água que afetavam a saúde pública, foi criada a Portaria nº 518/2004, emitida pelo Ministério da Saúde do Brasil. Esta portaria estabeleceu normas e diretrizes para a qualidade da água potável, com um foco específico na proteção da saúde contra toxinas produzidas por cianobactérias. A principal razão para a criação dessa portaria foi a necessidade de regulamentar a análise e o controle das cianotoxinas na água destinada ao consumo humano, considerando os riscos significativos que essas substâncias podem representar para a saúde (Brasil, 2004).

Logo após, a Portaria nº 2.133/2011 foi emitida pelo Ministério da Saúde do Brasil, atualizando as normas sobre a qualidade da água potável e aprimorando as diretrizes estabelecidas pela Portaria nº 518/2004. Essa portaria manteve a obrigatoriedade da análise de microcistinas e recomendou a análise adicional de saxitoxinas e cilindrospermopsina em casos de floração de cianobactérias com concentrações superiores a 20.000 células/mL. Ela definiu limites máximos permissíveis para essas toxinas na água tratada e estabeleceu procedimentos detalhados para análise e controle (Brasil, 2011).

Posteriormente, a Portaria nº 2.914/2017 substituiu a anterior, trazendo atualizações e diretrizes mais rigorosas para o monitoramento da qualidade da água potável. De acordo com o Ministério da Saúde (2016), essa nova portaria exige a análise obrigatória de microcistinas e recomenda a avaliação adicional de saxitoxinas e cilindrospermopsina quando for detectada uma floração de cianobactérias com concentração superior a 20.000 células/mL no ponto de captação da água bruta. No entanto, a realização dessas análises pode ser dispensada se for comprovado que a floração não é tóxica. Além disso, a Portaria nº 2.914/2017 define limites máximos mais detalhados para as toxinas na água tratada: 1 µg/L para microcistinas, 3 µg/L para saxitoxinas e 1 µg/L para cilindrospermopsina. Estes limites visam assegurar a qualidade da água consumida e proteger a saúde pública dos riscos associados a essas substâncias tóxicas.

Por fim, temos a Portaria nº 888/2021, emitida pelo Ministério da Saúde, que estabelece normas abrangentes para a qualidade da água potável, incluindo diretrizes específicas para o monitoramento e controle de cianotoxinas. A portaria decreta que devem ser feitas análises mensais de clorofila-a e contagem de células de cianobactérias. Se a contagem ultrapassar

20.000 células/mL, análises semanais das cianotoxinas, como microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas, devem ser realizadas no ponto de captação. Alternativamente, pode-se monitorar semanalmente as cianotoxinas na água bruta, dispensando o monitoramento de cianobactérias e clorofila-a. Se os níveis de cianotoxinas na água bruta ou em qualquer ponto de captação excederem os valores máximos permitidos, será necessário realizar análises semanais na saída do tratamento. Caso cianotoxinas sejam detectadas na água tratada, as autoridades de saúde pública, clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis devem ser notificadas imediatamente (Brasil, 2021).

3.7. Standard Methods

A primeira edição do livro *"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"* foi publicada em 1905. Desde então, novas edições surgiram com o intuito de aprimorar e incorporar novas técnicas, abordando uma variedade de amostras para análise da qualidade de água. O desenvolvimento do livro teve início na década de 1880, impulsionado por um movimento que visava uniformizar e aprimorar os métodos de análise da água. Assim, formou-se um comitê da Seção Química de Associação Americana para o avanço da Ciência. Em 1895, a Associação Americana de Saúde Pública (APHA) organizou uma convenção para discutir métodos padronizados de análise bacteriológica da água. Em 1897, um comitê da APHA apresentou procedimentos uniformes para o estudo das bactérias, que foram amplamente aceitos e influenciaram a formulação dos métodos descritos no Standard Methods (APHA, 2017).

De acordo com APHA (2017), o livro aborda análises da água, incluindo a detecção e quantificação de cianotoxinas, utilizando técnicas como o ensaio imunoenzimático (ELISA). São descritos métodos para identificar toxinas como as microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas. Além disso, enfatiza a necessidade do monitoramento contínuo da água potável e dos mananciais para prevenir riscos à saúde associados às cianobactérias. A edição de 2023, a 24ª versão, foi a última lançada e resulta de uma colaboração entre a APHA, a American Water Works Association (AWWA) e o Water Environment Federation (WEF). Com base nesses procedimentos descritos no livro foi possível montar a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Procedimento de análise de Cianotoxinas de acordo com o Standard Methods.

Microcistinas	Saxitoxinas	Cilindrospermopsinas
Coletar amostras de água em frascos limpos e estéreis e filtrar as amostras para remover partículas maiores	Coletar amostras de água em frascos limpos e estéreis e filtrar as amostras para remover partículas maiores	Coletar amostras de água em frascos limpos e estéreis e filtrar as amostras para remover partículas maiores
Preparar soluções padrão de microcistina com concentrações conhecidas para criar uma curva padrão	Preparar soluções padrão de saxitoxina com concentrações conhecidas para criar uma curva padrão	Preparar soluções padrão de cilindrospermopsinas com concentrações conhecidas para criar uma curva padrão
Imunizar a placa de microtitulação com anticorpo específico para microcistina	Imunizar a placa com anticorpo específico para saxitoxina	Imunizar a placa com anticorpo específico para cilindrospermopsinas
Adicionar as amostras diluídas e soluções padrão aos poços da placa.	Adicionar as amostras diluídas e soluções padrão aos poços da placa.	Adicionar as amostras diluídas e soluções padrão aos poços da placa.
Incubar a placa por 1-2 horas para permitir a interação entre microcistina e o anticorpo.	Incubar a placa por 30 minutos para permitir a interação entre saxitoxina e o anticorpo.	Incubar a placa por 45 minutos para permitir a interação entre cilindrospermopsinas e o anticorpo
Lavar a placa com PBST (solução salina tamponada com Tween 20) para remover qualquer componente não ligado por no mínimo 3x.	Lavar a placa com PBST (solução salina tamponada com Tween 20) para remover qualquer componente não ligado por no mínimo 4x.	Lavar a placa com PBST (solução salina tamponada com Tween 20) para remover qualquer componente não ligado por no mínimo 4x.
Adicionar o substrato do ensaio (geralmente um substrato de peroxidase) que reage com a enzima marcada para produzir uma cor e incubar a placa por 15-30 minutos, até a coloração atingir a intensidade desejada.	Adicionar o substrato do ensaio (geralmente um substrato de peroxidase) que reage com a enzima marcada para produzir uma cor e incubar a placa por 30 minutos, até a coloração atingir a intensidade desejada.	Adicionar o substrato do ensaio (geralmente um substrato de peroxidase) que reage com a enzima marcada para produzir uma cor e incubar a placa por 30-45 minutos, até a coloração atingir a intensidade desejada.
Medir a absorbância usando um leitor de microplacas	Medir a absorbância usando um leitor de microplacas	Medir a absorbância usando um leitor de microplacas
Comparar a absorbância das amostras com a curva padrão para determinar a concentração de microcistina.	Medir a absorbância e comparar com a curva padrão para determinar a concentração de saxitoxina.	Medir a absorbância e comparar com a curva padrão para determinar a concentração de cilindrospermopsinas.

FONTE: Autoria Própria (2024) com base APHA (2017).

3.8. Ensaio Imunoenzimático (ELISA)

O ensaio imunoenzimático (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), ou método ELISA, consiste em uma técnica fundamentada em princípios imunológicos para a análise de amostras. Este método proporciona tanto uma avaliação qualitativa quanto quantitativa, permitindo a detecção da presença de cianotoxinas e a medição precisa de suas concentrações nas amostras. A técnica permite o processamento de até 96 amostras simultaneamente, sendo de extrema eficiência. De acordo com a Portaria 518 do Ministério da Saúde, o ELISA é capaz de identificar níveis extremamente baixos de cianotoxinas, inclusive zero, atendendo assim os padrões exigidos para assegurar a segurança da pública e a qualidade da água (Sanches *et al.*, 2012).

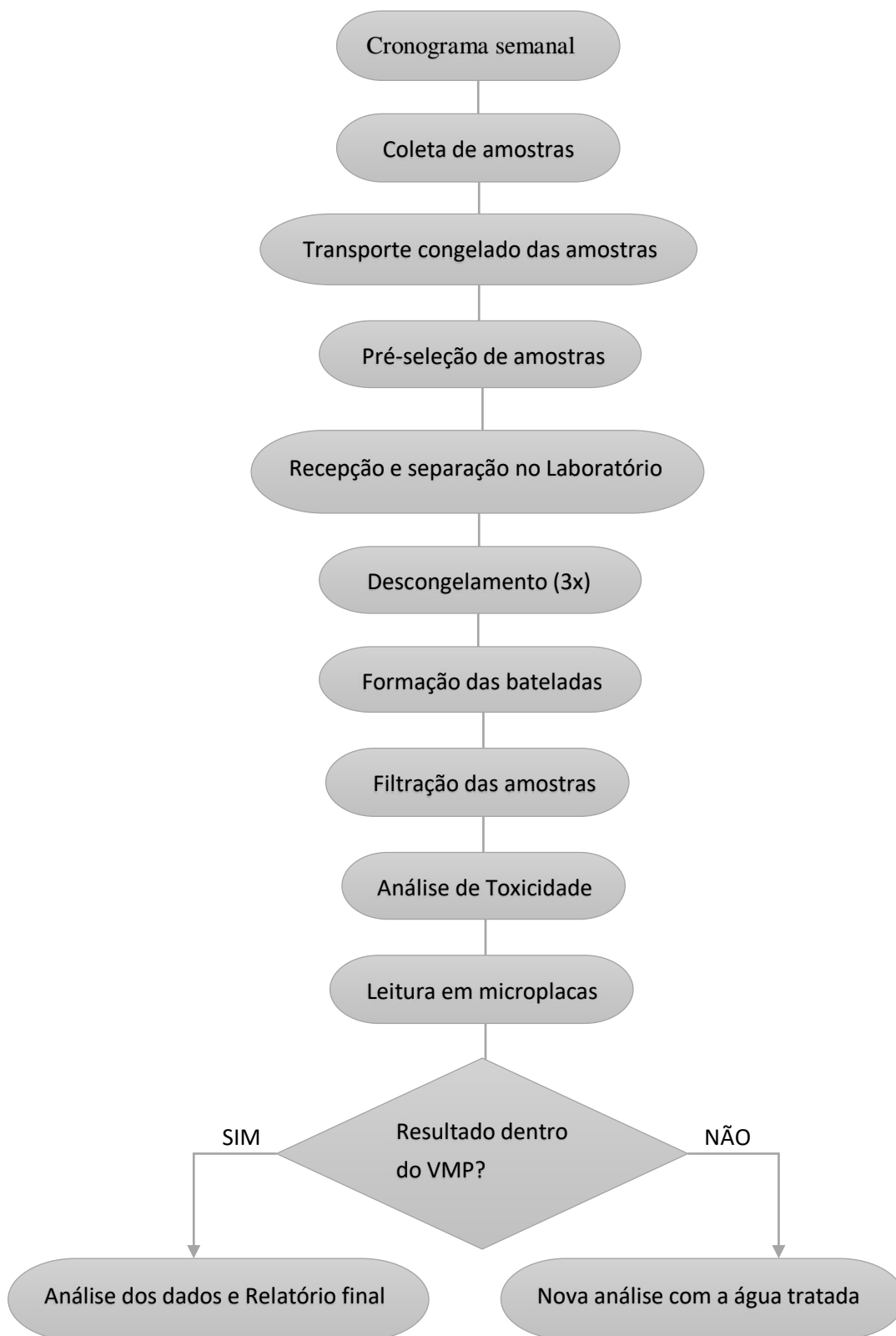
Segundo Msagati *et al.* (2006), esse método de detecção se baseia na utilização de anticorpos monoclonais ou policlonais para identificar peptídeos específicos. No entanto, como as microcistinas possuem uma grande variação em sua estrutura, isso pode resultar em reações cruzadas. Essas reações cruzadas ocorrem quando os anticorpos, que foram projetados para reconhecer uma variante específica da toxina, também reagem com outras variantes da mesma toxina ou até mesmo com diferentes compostos presentes nas amostras.

Os ensaios ELISA são realizados utilizando kits específicos, disponíveis no mercado em diversas marcas para a análise de cianotoxinas. Na CAGECE se utiliza kits das marcas Beacon e Abraxis para suas análises. É importante destacar que, embora cada um desses kits tenha características distintas, ambos desempenham a mesma função e são capazes de quantificar microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1. Métodos

A avaliação da qualidade da água foi realizada no Laboratório Central de Hidrobiologia da Cagece utilizando o ELISA, conforme as especificações descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e no Manual da OMS. O método ELISA foi escolhido por sua alta sensibilidade e especificidade na detecção e quantificação de cianotoxinas, permitindo a identificação precisa de microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas em baixas concentrações. Este procedimento segue rigorosamente as normas internacionais para garantir a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados, além de estar em conformidade com os padrões de qualidade de água potável estabelecidos por órgãos reguladores. Para facilitar a compreensão do procedimento, foi elaborado um fluxograma (Figura 2) que ilustra de forma clara o processo de análise das amostras. Esse fluxograma descreve cada etapa, desde a coleta e transporte das amostras até a análise de toxicidade e leitura dos resultados.

Figura 2: Processamento para análise das amostras.

FONTE: Autoria Própria (2024).

4.1.1. Seleção e Preparo de amostras

As amostras são coletadas de acordo com um cronograma anual previamente estabelecido, em conformidade com as diretrizes do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017. A coleta é planejada para cobrir todas as cidades do Ceará, com uma pré-seleção das amostras realizada antes da análise. Nos casos em que existem múltiplos pontos de captação em uma mesma cidade, cada ponto é analisado individualmente, assegurando uma avaliação abrangente. As coletas são executadas por profissionais qualificados e enviadas ao laboratório central da Cagece para processamento e análise. No laboratório, as amostras são separadas, rotuladas e recebidas em um setor específico, onde são submetidas a análises de toxicidade. As amostras precisam ser transportadas congeladas ao Laboratório de Hidrobiologia.

No laboratório, as amostras são recebidas, rotuladas e direcionadas a um setor específico para triagem e preparação. A água bruta, coletada diretamente dos mananciais, e a água tratada, captada na saída das estações de tratamento, são armazenadas em freezers separados, de modo a evitar qualquer contaminação cruzada. Em primeira instância, realizam-se os testes apenas com a água proveniente dos mananciais, sendo necessário utilizar a água tratada apenas se a água bruta apresentar níveis elevados de microtoxinas.

Cada amostra de água bruta passa por um total de três descongelamentos: o primeiro no momento do recebimento e mais dois durante o processo de preparação para análise. Após o descongelamento inicial, as amostras são organizadas em bateladas — grupos de amostras processadas simultaneamente. As bateladas que consistem na separação de amostras formando um conjunto que será feito na mesma folha, para posterior análise da presença de cianobactérias. Após isso as amostras são organizadas por ordem da data de coleta, registradas em formulário interno e seguem para filtração.

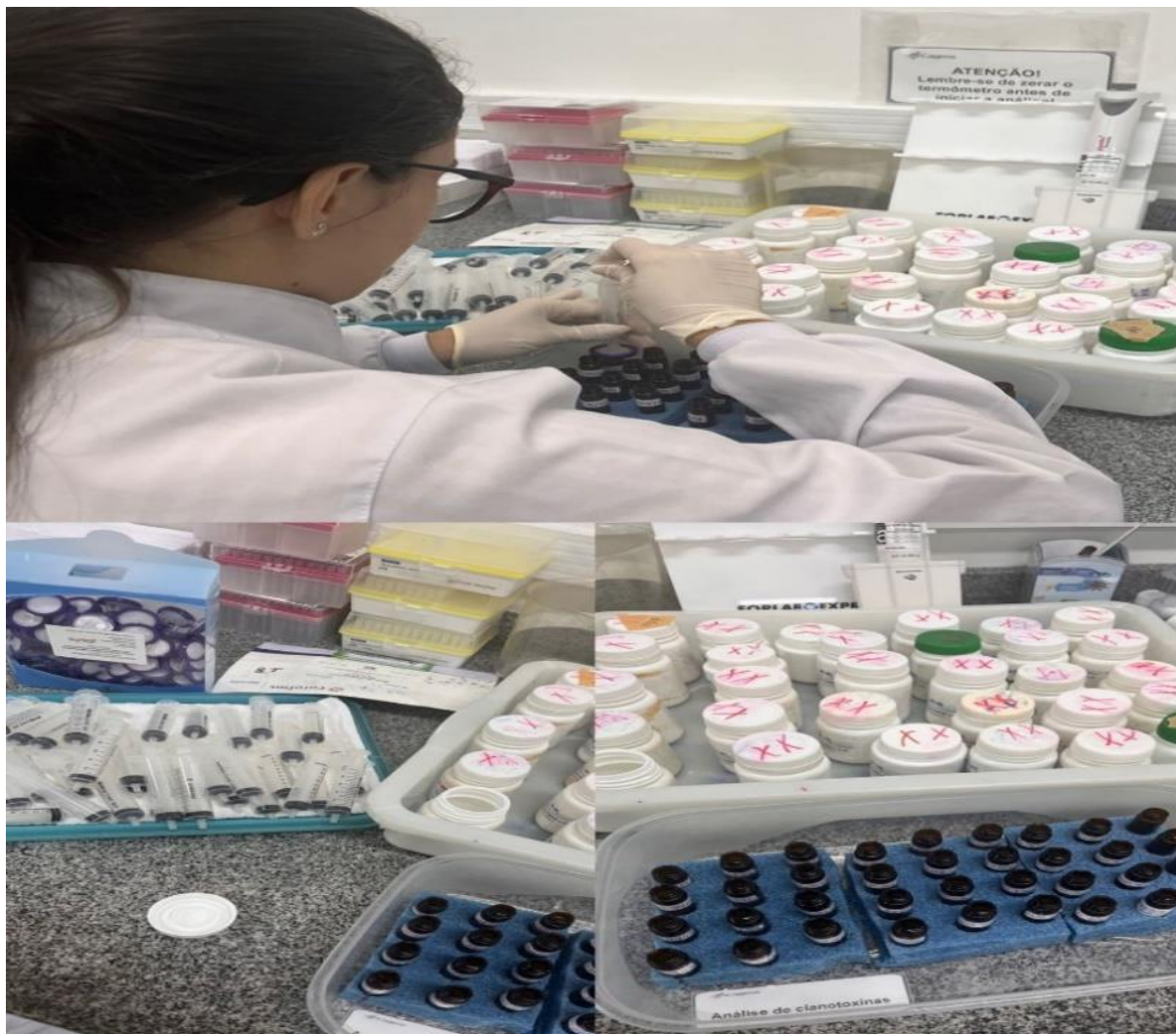
4.1.2. Montagem das bateladas e Filtração

Posteriormente ao preparo das amostras, realiza-se uma análise crítica para organizar as bateladas, priorizando a data de coleta, já que as amostras têm validade de 15 dias para filtração. Cada batelada contém entre 28 e 36 amostras, facilitando a disposição nos poços da placa.

Após a seleção, as amostras são organizadas em ordem crescente e preparadas para um sorteio, onde os números são sorteados em duplicata para garantir a qualidade da análise. Em seguida, é elaborada uma folha contendo informações sobre a batelada, como análises de cianobactérias (saxitoxina, microscistina e cilindrospermopsinas), códigos das amostras, localidade, capacitação e data de coleta.

A montagem para filtração envolve frascos âmbar de 5 mL, recipientes plásticos, espumas perfuradas e adesivos, com cada frasco numerado conforme a folha. Durante a filtração, utiliza-se um filtro de fibra de vidro com poro de 0,45 μm e seringas de 10 mL. Após aspirar 10 mL da amostra, 7 mL são descartados e 3 mL são transferidos para os frascos, vedados com tampas. Esse processo é repetido até que todas as amostras sejam filtradas. Após a filtração, a batelada é destinada à análise ou ao armazenamento em freezer. Na figura 3 abaixo, é possível observar o processo sendo realizado.

Figura 3: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis.



FONTE: Autoria Própria (2024).

4.1.3. Ensaio de toxicidade

Com a batelada filtrada, o próximo passo consiste em retirá-la do congelador e levar a bancada para descongelar e se ambientar, caso esteja no freezer, por 30 minutos, em conjunto com os reagentes dos kits. Para realizar os ensaios, utiliza-se kits da Beacon ou da Abraxis, sendo que cada kit contém uma placa com 96 poços, padrões com diferentes concentrações, controle positivo e negativo, conjugado enzimático, solução anticorpo, substrato cromogênio (ácido clorídrico) e solução stop (Tetrametilbenzidina), além de uma solução de lavagem que deve ser complementada com água destilada.

Dentro do próprio Laboratório de Hidrobiologia, há um processo de controle estabelecido para a aprovação da curva conforme estipulado pelo regimento interno e pelos padrões operacionais vigentes. Este processo envolve a utilização de reagentes provenientes de diferentes lotes de kits, os quais são empregados para auxiliar na validação da curva durante o procedimento de aprovação. Esse é chamado de Padrão de Trabalho e varia dependendo da toxina utilizada.

Após o período de ambientação dos reagentes e amostras, é necessário colocar os equipamentos de segurança, como luvas, jaleco e botas. Cada toxina possui um tempo de incubação específico e requer alíquotas de pipetagem diferentes. Além disso, as especificações dos kits podem variar conforme a marca, o que impacta no procedimento. Nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 podemos as instruções detalhadas para a realização de cada análise com os kits que foram utilizados.

Tabela 2: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis.

Etapas	Reagentes	Alíquota (µL)	Tempo de incubação	Frequência
1º Incubação	Padrões, controles e amostras	100	90 min	-
	Conjugado Enzimático (<i>Antigen-enzyme</i>)	50		
	Solução Anticorpo	50		
Lavagem	Solução de Lavagem	-	-	3 vezes
2º Incubação	Substrato Cromogênico	150	20 min	-
Finalização	Solução Stop	100	Leitura imediata ou em até 15 min	-

FONTE: Gold Standard Diagnostics (2024).

Tabela 3: Marcha Analítica para Kit Saxitoxina da Abraxis.

Etapas	Reagentes	Alíquota (μL)	Tempo de incubação	Frequência
1º Incubação	Padrões, controles e amostras	50	30 min	-
	Conjugado Enzimático (<i>Saxitoxin-HRP</i>)	50		
	Solução Anticorpo	50		
Lavagem	Solução de Lavagem	-	-	4 vezes
2º Incubação	Substrato Cromogênico	100	30 min	-
Finalização	Solução Stop	100	Leitura imediata ou em até 15 min	-

FONTE: Gold Standard Diagnostics (2024).**Tabela 4:** Marcha Analítica para Kit Saxitoxina da Beacon.

Etapas	Reagentes	Alíquota (μL)	Tempo de incubação	Frequência
1º Incubação	Conjugado Enzimático	50	30 min	-
	Padrões, controles e amostras	50		
	Solução Anticorpo	50		
Lavagem	Solução de Lavagem	-	-	4 vezes
2º Incubação	Substrato Cromogênico	100	30 min	-
Finalização	Solução Stop	100	Leitura imediata ou em até 15 min	-

FONTE: Beacon Analytical Systems Inc. (2022).

Tabela 5: Marcha Analítica para Kit Cilindrospermopsina da Abraxis.

Etapas	Reagentes	Alíquota (μL)	Tempo de incubação	Frequência
1º Incubação	Padrões, controles e amostras	50	45 min	-
	Conjugado Enzimático	50		
	Solução Anticorpo	50		
Lavagem	Solução de Lavagem	-	-	3 vezes
2º Incubação	Substrato Cromogênico	100	45 min	-
Finalização	Solução Stop	100	Leitura imediate ou em até 15 min	-

FONTE: Gold Standard Diagnostics (2024).**Tabela 6:** Marcha Analítica para Kit Cilindrospermopsina da Beacon.

Etapas	Reagentes	Alíquota (μL)	Tempo de incubação	Frequência
1º Incubação	Conjugado Enzimático	50	45 min	-
	Padrões, controles e amostras	50		
	Solução Anticorpo	50		
Lavagem	Solução de Lavagem	-	-	3 vezes
2º Incubação	Substrato Cromogênico	100	45 min	-
Finalização	Solução Stop	100	Leitura imediate ou em até 15 min	-

FONTE: Beacon Analytical Systems Inc. (2022).

Logo após a realização do procedimento conforme o protocolo indicado, deve ser feita a avaliação na leitora de microplacas, levando a placa para a leitora e solicitando no Skatnt que a leitura se inicie. Na Figura 4 abaixo, tem um resumo dos passos abordados até aqui.

Figura 4: Realização do procedimento de análise da Saxitoxina.



FONTE: Autoria Própria (2024).

Os cálculos dos resultados da batelada são realizados utilizando a metodologia da curva de 4 parâmetros como base e através da fórmula geral descrita abaixo na Equação I.

$$Y = \frac{a-d}{1+(X/c)^b} + d \quad (\text{I})$$

Sendo:

Y = Absorbância;

X = Concentração;

a = Mínimo valor que pode ser obtido;

b = Inclinação relativa ao ponto de inflexão;

c = Concentração no ponto de inflexão;

d = Máximo valor que pode ser obtido.

O software utiliza a equação fornecida para efetuar o cálculo e conduzir o controle de qualidade da curva, seguindo critérios como controle positivo, coeficiente de determinação (R^2) dentro das faixas indicadas na bula dos kits. Também é necessário que o padrão de trabalho esteja dentro da faixa ideia, juntamente com os coeficientes de variação dos padrões dos kits. Além disso, as amostras que são realizadas em duplicatas também devem resultados menor do que o limite de qualificação para aprovação da curva (CV), que deve ser menor ou igual a 30%. As faixas mencionadas estão exemplificadas nas Tabelas 7 e 8 abaixo.

Tabela 7: Critérios de avaliação para aprovação das curvas da Abraxis.

Critérios	Cianotoxina		
	Microcistina	Saxitoxina	Cilindrospermopsinas
Controle Positivo	Entre 0,565 e 0,935	Entre 0,06 e 0,09	Entre 0,60 e 0,90
Coeficiente de Determinação	$\geq 0,99$	$\geq 0,99$	$\geq 0,99$
Padrão de Trabalho	Entre 0,7 e 1,3	Entre 0,14 e 0,26	Entre 0,60 e 0,90
Coeficiente de Variação	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$

FONTE: Gold Standard Diagnostics (2024).

Tabela 8: Critérios de avaliação para aprovação das curvas da Beacon.

Critérios	Cianotoxina	
	Saxitoxina	Cilindrospermopsinas
Controle Positivo	Entre 0,06 e 0,09	Entre 0,15 e 0,32
Coeficiente de Determinação	$\geq 0,99$	$\geq 0,99$
Padrão de Trabalho	Entre 0,14 e 0,26	Entre 0,525 e 0,975
Coeficiente de Variação	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$

FONTE: Beacon Analytical Systems Inc. (2022).

Caso todos os critérios sejam aprovados, a curva está liberada e podemos fazer a análise dos dados. Porém se os mesmos não forem aceitos, a análise deverá ser feita novamente.

4.1.4. Análise estatística dos dados

Utilizando o software Skaln, observa-se os resultados obtidos em cada amostra e analisa, conforme a absorbância, se as amostras apresentam limites seguros de toxinas. Para cada tipo de toxina, existem valores máximos permitidos (VMP), os quais estão descritos na Tabela 9 abaixo.

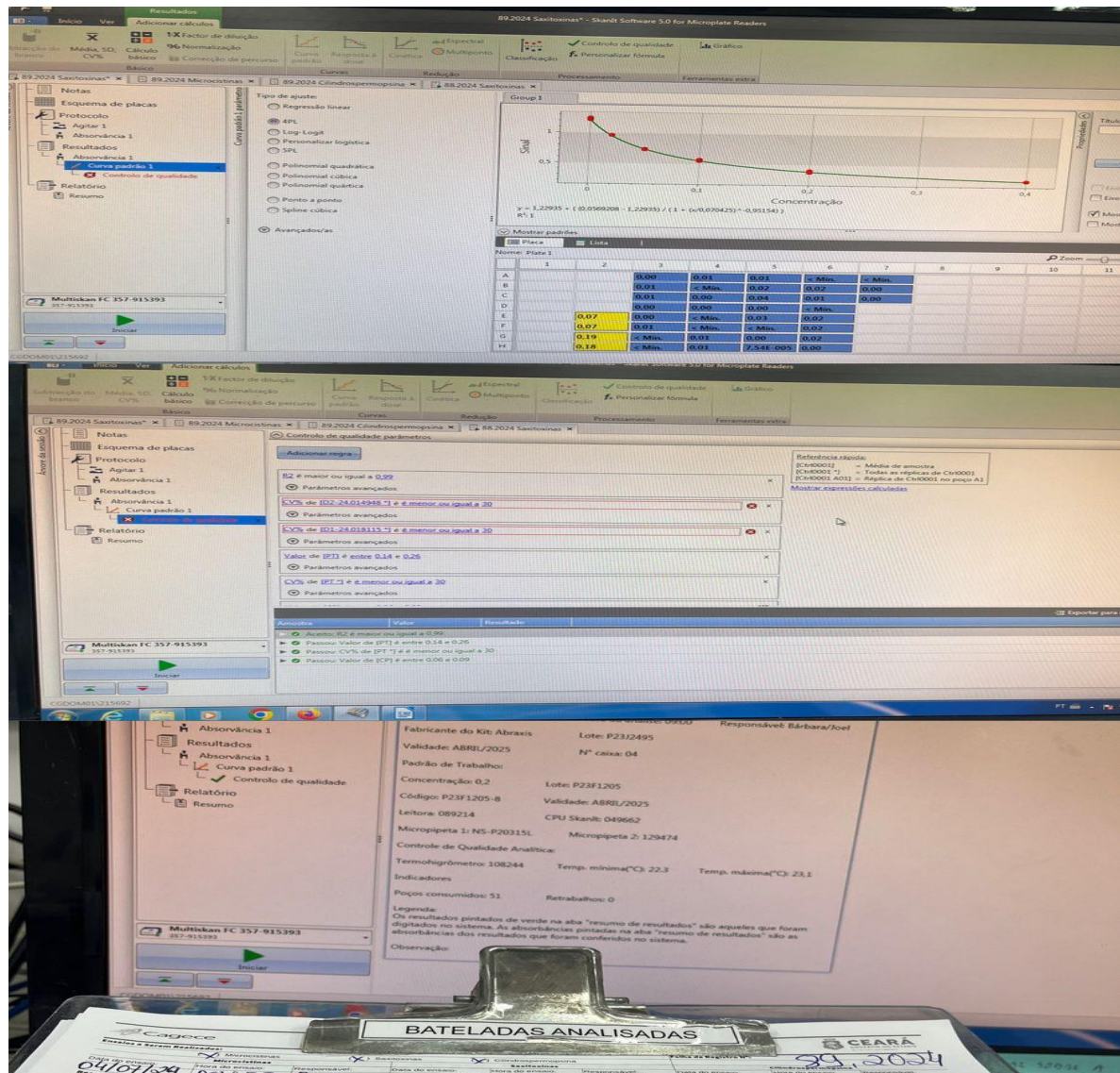
Tabela 9: Limites de tolerâncias das cianobactérias.

Cianotoxina	VMP (μgL^{-1})
Microcistina	1,0
Saxitoxina	3,0
Cilindrospermopsinas	1,0

FONTE: Autoria Própria com base na Portaria MS/GS nº 2.914 da OMS (2024).

Se os resultados obtidos excederem o máximo limite de quantificação da curva permitido, a amostra deve ser submetida a um processo de diluição e passar pelo teste novamente para que o valor fique dentro do limite de quantificação estabelecido. Caso alguma das amostras apresente valor superior ao limite estabelecido, uma nova análise deve ser conduzida com a água tratada. Na Figura 5 abaixo, temos o exemplo de uma das curvas de uma batelada sendo avaliada pelo Software.

Figura 5: Marcha Analítica para Kit Microcistina da Abraxis

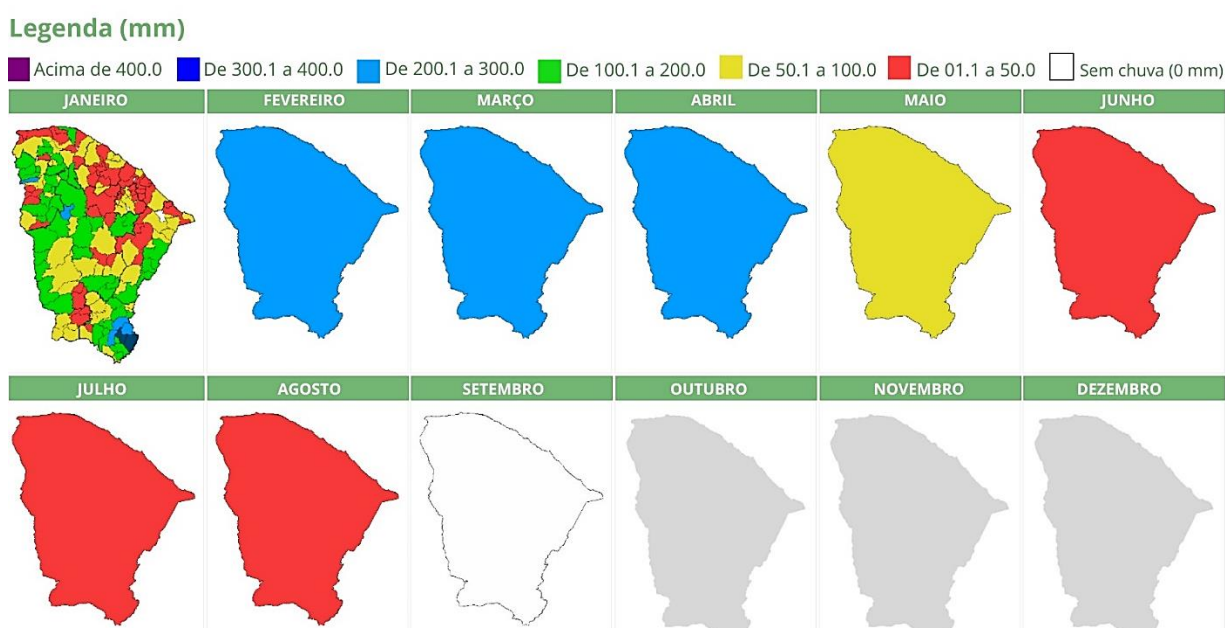


FONTE: Autoria Própria (2024).

5. RESULTADOS

No estado do Ceará, o período de chuvas mais intensas ocorre entre os meses de fevereiro e abril. Este fenômeno é bem documentado pelos dados fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). A Figura 6 ilustra esses dados para o ano de 2024, demonstrando claramente a concentração e a intensidade das precipitações durante esse intervalo específico.

Figura 6: Dados meteorológicos das chuvas mensais do Ceará.



FONTE: Autoria Própria com base na FUNCEME (2024)

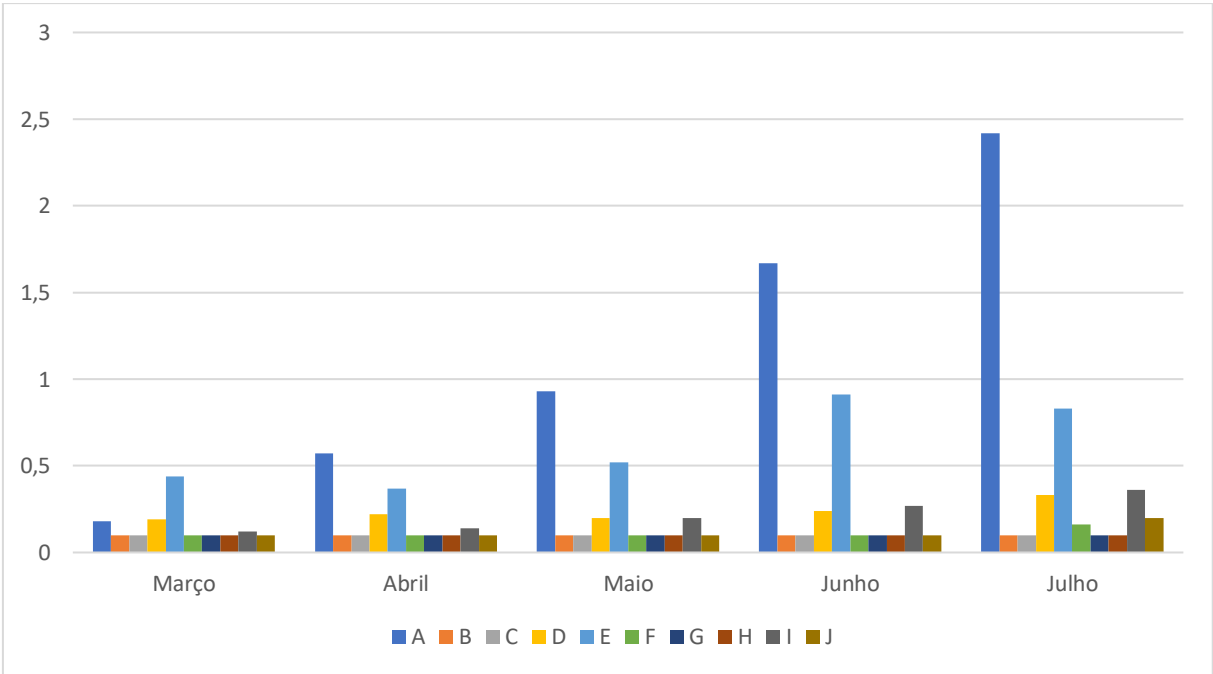
Durante o período avaliado, não foi avaliado uma tendência sazonal clara de aumento ou diminuição nas absorbências das amostras analisadas, porém durante os meses de março e abril, período chuvoso no estado do Ceará, notou-se uma pequena diminuição nas absorbências dos locais quando comparados aos outros meses. Na Tabela 10 e nos Gráficos 1, 2 e 3, pode se notar uma comparação realizada entre algumas amostras que comprovam tal fato.

Tabela 10: Absorbâncias de algumas amostras.

CAPT AÇÃO	MESES				
	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
	Cil Mic Sax	Cil Mic Sax	Cil Mic Sax	Cil Mic Sax	Cil Mic Sax
A	0,18 0,70 <0,05	0,57 0,77 <0,05	0,93 0,85 <0,05	1,67 1,58 <0,05	2,42 2,00 <0,05
B	<0,10 <0,30 0,10	<0,10 <0,30 0,09	<0,10 0,81 0,13	<0,10 1,35 0,25	<0,10 1,91 0,31
C	<0,10 <0,30 0,16	<0,10 <0,30 0,14	<0,10 0,33 0,18	<0,10 0,32 0,29	<0,10 0,51 0,49
D	0,19 <0,30 <0,05	0,22 <0,30 <0,05	0,20 <0,30 <0,05	0,24 <0,30 0,05	0,33 <0,30 0,06
E	0,44 0,55 <0,05	0,37 0,69 <0,05	0,52 0,87 <0,05	0,91 1,31 <0,05	0,83 1,60 <0,05
F	<0,10 <0,30 <0,05	<0,10 <0,30 <0,05	<0,10 <0,30 0,06	<0,10 <0,30 0,09	0,16 <0,30 0,21
G	<0,10 0,39 <0,05	<0,10 0,90 <0,05	<0,10 3,91 <0,05	<0,10 14,30 <0,05	<0,10 13,4 0,05
H	<0,10 0,47 <0,05	<0,10 0,44 <0,05	<0,10 0,49 0,08	<0,10 0,81 0,28	<0,10 1,1 0,55
I	0,12 <0,30 0,06	0,14 <0,30 <0,05	0,20<0,30 0,15	0,27 <0,30 0,19	0,36 <0,30 0,17
J	<0,10 <0,30 <0,05	<0,10 <0,30 <0,05	<0,10 0,36 0,11	<0,10 0,40 0,13	0,20 0,57 0,06

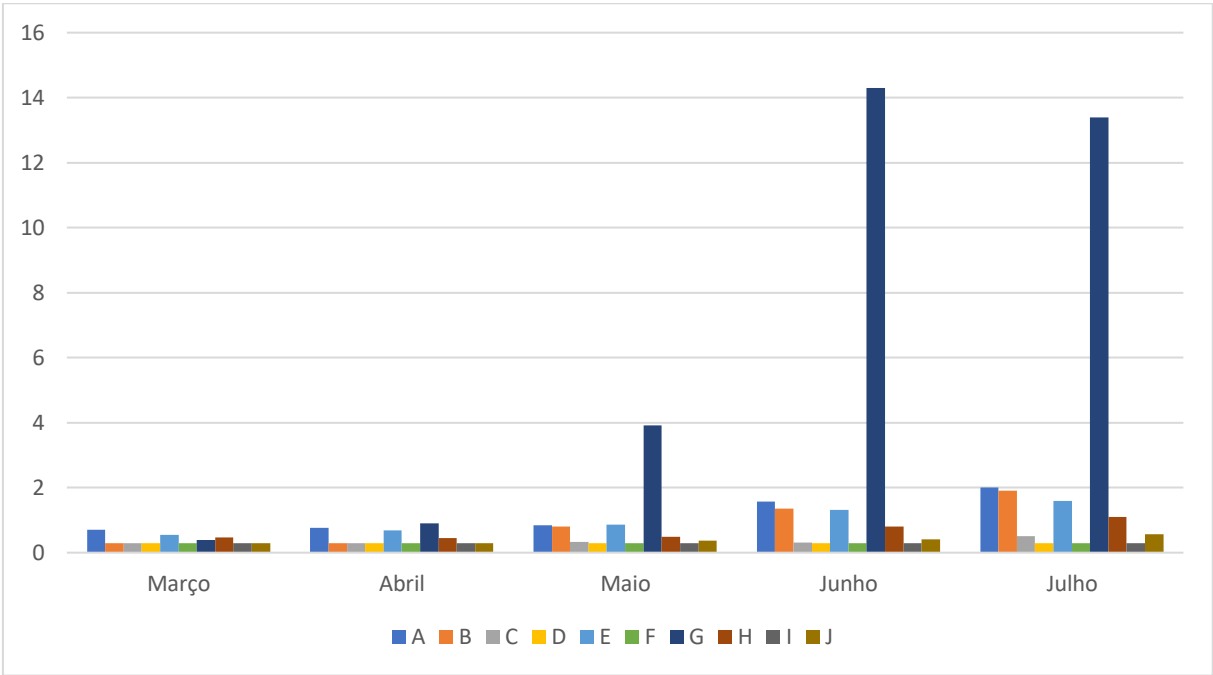
FONTE: Autoria Própria (2024)

Gráfico 1: Absorbâncias das Cilindrospermopsinas.



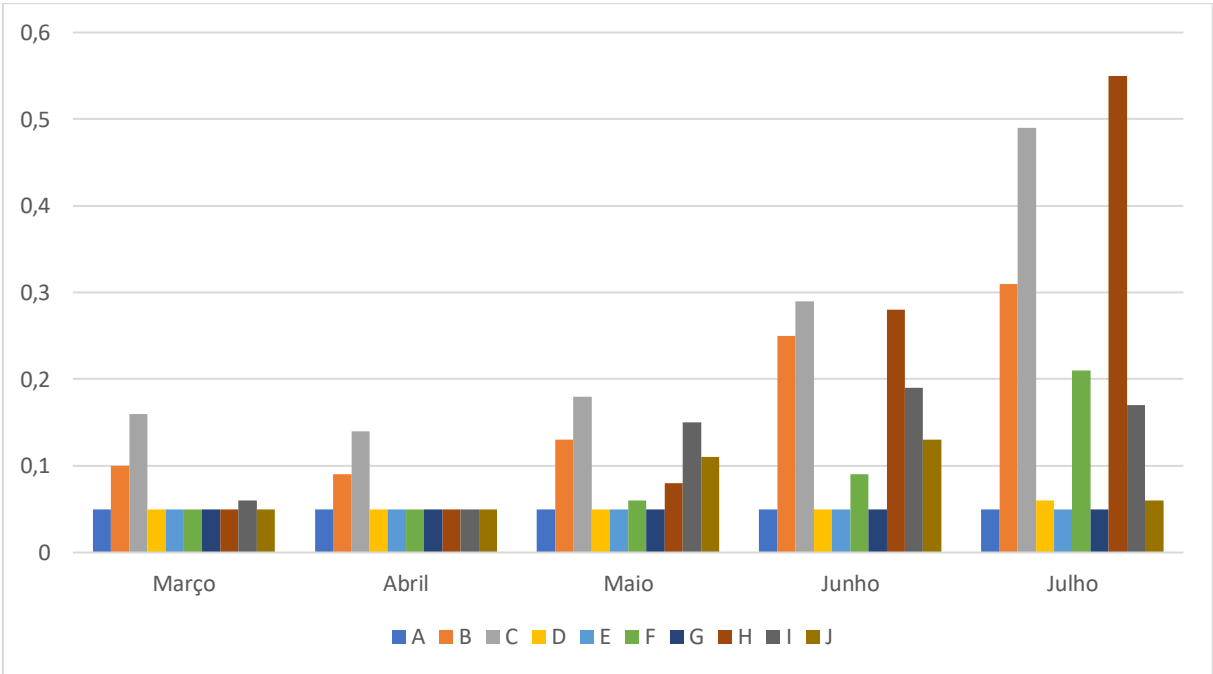
FONTE: Autoria Própria (2024)

Gráfico 2: Absorbâncias das Microcistinas.



FONTE: Autoria Própria (2024)

Gráfico 3: Absorbâncias das Saxitoxinas.



FONTE: Autoria Própria (2024)

Com base nos dados observados e relatados, é evidente o impacto significativo das chuvas na formação de cianotoxinas na água. As cianobactérias tendem a se proliferar com mais intensidade e liberar uma quantidade maior de toxinas em ambientes aquáticos com pouca

movimentação, como em corpos d'água parados. Isso ocorre devido as condições ideais oferecidas pelas águas paradas para o crescimento das bactérias. Em contraste, as águas em movimento ou em transição, como rios e correntes, não proporcionam as condições favoráveis necessárias para o desenvolvimento e a concentração de cianobactérias, resultando em menores níveis de cianotoxinas. Portanto, a relação entre as chuvas e a formação de cianotoxinas está diretamente ligada à alteração nas condições das águas, que favorecem a proliferação dessas bactérias em ambientes estáticos.

Sabendo que, os limites seguros estabelecidos pela Portaria MS/GS nº 2.914 são aplicáveis exclusivamente à água tratada, definindo os padrões de qualidade que devem ser atendidos pela água destinada ao consumo humano, incluindo limites específicos para cianotoxinas, como microcistinas e cilindrospermopsinas. Nesse contexto, é fundamental o monitoramento dos mananciais de origem para prevenir contaminações antes do tratamento.

Com base nos dados obtidos, observa-se que a maioria das amostras analisadas apresentou níveis dentro dos limites considerados seguros de cianotoxinas. No entanto, algumas amostras apresentaram concentrações ligeiramente elevadas. Especificamente, as amostras identificadas como A, B, E e G que apresentaram valores elevados para microcistinas. Além disso, a amostra A também apresentou uma concentração elevada para cilindrospermopsinas.

Particularmente, a amostra G apresentou um valor muito alto para microcistinas em um intervalo de tempo curto, o que indica uma possível contaminação do manancial. Essa contaminação pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a presença excessiva de nutrientes no solo, que frequentemente resulta no lançamento de efluentes agrícolas e domésticos nos corpos d'água. Além disso, condições climáticas favoráveis, como temperaturas elevadas e luz solar intensa na região, podem ter contribuído para o aumento do crescimento das cianobactérias. Alterações no uso do solo, como desmatamento e urbanização, também podem ter intensificado a erosão e a sedimentação de nutrientes nos mananciais.

Esses resultados destacam a necessidade de monitoramento mais rigoroso nos mananciais, bem como a realização periódica da análise da água tratada, para garantir que todos os parâmetros estejam dentro dos padrões de qualidade exigidos. Por isso, essas amostras foram submetidas a realização de testes na água tratada. Todos os testes apresentaram VMP inferior ao permitido, garantindo assim que a água tratada atende os padrões de qualidade exigidos.

Embora os testes realizados nas amostras de água tratada tenham apresentado valores satisfatórios, é fundamental que medidas preventivas sejam implementadas. Recomenda-se, portanto, devem ser fortalecidas as práticas de gestão de resíduos e deve ser realizado o controle rigoroso do uso de fertilizantes nas áreas agrícolas, além da promoção de ações de educação

ambiental para a comunidade. Em relação ao monitoramento realizado pela Cagece, em casos de aumentos repentinos de contaminação em mananciais, são realizadas análises semanais da água tratada em conjunto com a água bruta para assegurar a qualidade da água fornecida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo geral examinar a presença de cianotoxinas, especificamente microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas, nos mananciais do Ceará tratados pela Cagece, ao longo dos meses de março a julho, utilizando o método ELISA. A análise permitiu identificar variações nas concentrações dessas toxinas, fornecendo dados fundamentais para o monitoramento da qualidade da água e indicando áreas e condições críticas que exigem maior atenção no controle de contaminantes.

Através dos resultados obtidos, foram detectados níveis variáveis de cianotoxinas. Em março e abril, as concentrações apresentaram uma tendência de estabilização ou redução. No entanto, em maio, observou-se um aumento significativo nas concentrações em alguns mananciais, sugerindo uma correlação com variações sazonais e condições climáticas. As microcistinas foram detectadas em concentrações preocupantes em algumas áreas, particularmente em corpos d'água parados, o que indica a necessidade de um monitoramento contínuo. As cilindrospermopsinas foram identificadas em níveis inferiores em comparação com as microcistinas, enquanto as saxitoxinas foram detectadas com menor frequência, embora ainda relevantes.

Portanto, através do projeto de estágio foi confirmada a eficácia das medidas de controle e monitoramento implementadas pela CAGECE para garantir a qualidade da água. Ademais, é fundamental considerar que, embora a maioria das amostras analisadas tenha apresentado níveis dentro dos limites seguros e que todas as amostras apresentam valores dentro do VMP estabelecido pela Portaria MS/GS nº 2.914, alguns mananciais, identificados como captações A e G, demonstraram concentrações ligeiramente elevadas de microcistinas, sendo a amostra G particularmente alarmante devido ao valor elevado registrado em um curto intervalo de tempo. Essa possível contaminação pode ser atribuída a fatores como a presença excessiva de nutrientes no solo, resultante do lançamento de efluentes agrícolas e domésticos, além de condições climáticas favoráveis ao crescimento de cianobactérias.

Assim, os resultados destacam a importância de um monitoramento contínuo e detalhado, especialmente durante períodos críticos, para assegurar que os níveis de cianotoxinas permaneçam dentro dos padrões de segurança e proteger a saúde pública, assim como é realizado pela empresa. A adoção de estratégias que incluam o monitoramento rigoroso dos mananciais de origem, a promoção de boas práticas agrícolas e o controle do lançamento de efluentes são essenciais para diminuir os riscos de contaminação e garantir a segurança hídrica.

Como sugestão de melhorias após o estágio, além das ações imediatas para a gestão da qualidade da água, é crucial conduzir pesquisas futuras que aprofundem a compreensão das dinâmicas de contaminação dos mananciais. Recomenda-se a adoção de métodos complementares de detecção, como técnicas moleculares, com destaque para a reação em cadeia da polimerase (PCR), que identifica cianotoxinas em níveis extremamente baixos. Análises químicas avançadas, como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e a espectrometria de massas, são igualmente essenciais, pois permitem a separação, quantificação e caracterização estrutural detalhada das cianotoxinas, aumentando a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos. Além disso, é fundamental desenvolver programas de educação e conscientização para as comunidades afetadas. Essas iniciativas não apenas fortalecerão as políticas públicas voltadas à proteção dos recursos hídricos e à saúde da população, mas também representarão investimentos com maior rentabilidade a longo prazo para a Cagece, além de uma gestão mais eficiente dos recursos.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Rul Martins, BARBOSA, Sandra Maria Martins. **Tratamento de resíduos e efluentes**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul-Rio-Grandense (Ifsul)), 2013. 219 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF), 2017.

BARRETO, Luciano Vieira; BARROS, Flávia Mariani; BONOMO, Paulo; ROCHA, Felizardo Adenilson; AMORIM, Jhones da Silva. EUTROFIZAÇÃO EM RIOS BRASILEIROS. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p. 2165-2179, 2013.

BEACON ANALYTICAL SYSTEMS INC. **Procedimentos de Análise**. 17 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde (Org.). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, 2006. 212 p.

BRASIL. Portaria MS/GS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

BRASIL. Ministério da Saúde (Org.). **Orientações técnicas para o monitoramento de cianobactérias/cianotoxinas nos mananciais de abastecimento de água para consumo humano**. Brasília, 2016. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/orientacoes_tecnicas_cianobacterias_cianotoxinas_agua.pdf. Acesso em: 01 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde (Org.). **Sisagua**. Brasília, Ministério da Saúde, 2018.

BRASIL. Portaria MS/GS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 maio 2013. Seção 1, p. 127-143.

CÂMARA NETO, Henrique Fernandes da. A **“TRAGÉDIA DA HEMODIÁLISE” 12 ANOS DEPOIS: PODERIA ELA SER EVITADA?**. 2011. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

CASSINI, Sérgio Túlio Alves; ANTUNES, Paulo Wagner Pereira; KELLER, Regina. Validação de método analítico livre de acetonitrila para análise de microcistinas por cromatografia líquida de alta eficiência. **Química Nova**, [S.L.], v. 36, n. 8, p. 1208-1213, 2013. FapUNIFESP (SciELO).

COTOVICZ JUNIOR, Luiz Carlos. **Aplicação de Modelos (ASSETS e TRIX) para Avaliação do Estado Trófico e Cenário Futuro da Eutrofização do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)**. 2012. 122 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

CYBIS, Luis Fernando; BENDATI, Maria Mercedes; MAIZONAVE, Carmem Rosália Marodin; WERNER, Vera Regina; DOMINGUES, Carolina Davila. **Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e lago Guaíba**. Porto Alegre, 2006, 64p.

DANIEL. M. H. B.; CABRAL, A. R. **A Vigilância da qualidade da água para consumo humano (Vigiagua) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM)**. Caderno de Saúde Coletiva, v. 19, n. 4, p. 487-92, 2011.

FERREIRA, João G.; ANDERSEN, Jesper H.; BORJA, Angel; BRICKER, Suzanne B.; CAMP, Jordi; SILVA, Margarida Cardoso da; GARCÉS, Esther; HEISKANEN, Anna-Stiina; HUMBORG, Christoph; IGNATIADES, Lydia. Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework

Directive. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [S.L.], v. 93, n. 2, p. 117-131, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.03.014>.

FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Machado de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o sistema único de saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 993-1004, dez. 2005.

GOLD STARDAND DIAGNOSTICS. **ELISA Microtiter Plate: Enzyme-Liked Immunosobent Assay for the Determination of Cyanotoxin in Water**. 12 jun. 2024.

GUERRA, Alaine de Brito; TONUCCI, Marina Caldeira; CEBALLOS, Beatriz Susana Ovruski de; GUIMARÃES, Hindria Renally Cavalcanti; LOPES, Wilton Silva; AQUINO, Sérgio Francisco de; LIBÂNIO, Marcelo. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 603-612, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

HUBER, Veronika; WAGNER, Carola; GERTEN, Dieter; ADRIAN, Rita. To bloom or not to bloom: contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers. **Oecologia**, [S.L.], v. 169, n. 1, p. 245-256, 26 nov. 2011. Springer Science and Business Media LLC.

LABORATÓRIO CENTRAL DE SAÚDE PÚBLICA DE PERNAMBUCO. **Curso de Revisão de Métodos Analíticos em Cianobactérias**. 2008. 27 p.

MSAGATI, T; SIAME, B; SHUSHU, D. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. **Aquatic Toxicology**, [S.L.], v. 78, n. 4, p. 382-397, 20 jul. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.03.011>.

MEDEIROS, Angela Carolina de. **ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO E ECOLÓGICO: UM ESTUDO CONTRIBUTIVO ÀS COMUNIDADES QUILOMBOLAS DO ESTADO DA PARAÍBA**. 2016. 193 f. Tese, Campina Grande, 2016.

NEIVA, Marcela Cristina Bueno. **CIANOTOXINAS E SUAS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA**. 2013. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

NEWCOMBE, G. **International guidance manual for the management of toxic cyanobacteria**. Global Water Research Coalition (GWRC) - Water Quality Research Australia (WORA). 107 p., 2009.

OTTEN, Timothy G.; PAERL, Hans W.. Health Effects of Toxic Cyanobacteria in U.S. Drinking and Recreational Waters: our current understanding and proposed direction. **Current Environmental Health Reports**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 75-84, 21 jan. 2015. Springer Science and Business Media LLC.

PERSAUD, Anurani D.; PATERSON, Andrew M.; DILLON, Peter J.; WINTER, Jennifer G.; PALMER, Michelle; SOMERS, Keith M.. Forecasting cyanobacteria dominance in Canadian temperate lakes. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 151, p. 343-352, mar. 2015. Elsevier BV.

PREUSSEL, Karina; STÜKEN, Anke; WIEDNER, Claudia; CHORUS, Ingrid; FASTNER, Jutta. First report on cylindrospermopsin producing *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanobacteria) isolated from two German lakes. **Toxicon**, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 156-162, fev. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxicon.2005.10.013>.

PREUSSEL, Karina; WESSEL, Gabriele; FASTNER, Jutta; CHORUS, Ingrid. Response of cylindrospermopsin production and release in *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanobacteria) to varying light and temperature conditions. **Harmful Algae**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 645-650, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2008.10.009>.

ROLLAND, Delphine C.; BOURGET, Sébastien; WARREN, Annabelle; LAURION, Isabelle; VINCENT, Warwick F.. Extreme variability of cyanobacterial blooms in an urban drinking water supply. **Journal Of Plankton Research**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 744-758, 16 maio 2013. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbt042>.

RZYMSKI, Piotr; PONIEDZIAŁEK, Barbara. In search of environmental role of cylindrospermopsin: a review on global distribution and ecology of its producers. **Water Research**, [S.L.], v. 66, p. 320-337, dez. 2014. Elsevier BV.

SANCHES, Sergio Marcos; PRADO, Eliana Leão do; FERREIRA, Isaura Maria; BRAGA, Herbely Fernandes; VIEIRA, Eny Maria. Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Minas Gerais, v. 2, n. 33, p. 181-187, 2012.

SANT'ANNA, Celia L; AZEVEDO, Maria Tereza de P.; AGUIARO, Livia F.; CARVALHO, Maria do Carmo; CARVALHO, Luciana R. de; SOUZA, Rita C. R. de. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. 2006. ed.1, Editora Interciência, Rio de Janeiro.

SILVA, Antônia Simone da. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE REMOÇÃO DE SAXITOXINAS POR DIFERENTES TIPOS DE CARVÃO ATIVADO EM PÓ (CAP) PRODUZIDOS NO BRASIL**. 2005. 115 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SIVONEM, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxins: In: Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public health. Consequences, monitoring and management (Chorus, I. & Bartram, J. eds.). **E & FN Spon**, Londres, p. 41-91, 1999.

U.S.EPA. **Drinking water health advisory for the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin**. EPA-820R15101. 2015.

VEIGA, Denise Piccirillo Barbosa da. **Modelagem hidrológica aplicada ao monitoramento de agrotóxicos e à vigilância da água de abastecimento público**. 2021. 131 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ZALDÍVAR, Jose-Manuel; CARDOSO, Ana Cristina; VIAROLI, Pierluigi; NEWTON, Alice. Eutrophication in transitional waters: an overview. **Transitional Waters Monographs**, v. 1, p. 1-78, 2008.