



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DIANA SOUZA MOURA**

**EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM FILTRAÇÃO DIRETA  
DESCENDENTE**

**FORTALEZA**

**2016**

DIANA SOUZA MOURA

**EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM FILTRAÇÃO DIRETA  
DESCENDENTE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Bacharel em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Jose Capelo Neto.

**FORTALEZA**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- M884e Moura, Diana Souza.  
Eficiência de remoção de cianobactérias em filtração direta descendente. / Diana Souza Moura.  
– 2016.  
63 f. : il.; color.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza,  
2016.  
Orientação: Prof. Dr. José Capelo Neto.  
Coorientação: Prof. Me. Ismael Kesley Carloto Lopes
1. Água - Purificação. 2. Cianobactérias. 3. Barragens e açudes. I. Título.

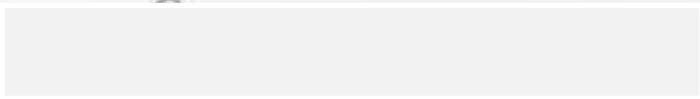
DIANA SOUZA MOURA

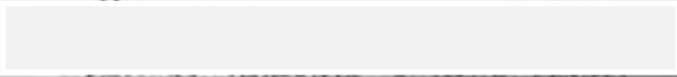
**EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM FILTRAÇÃO DIRETA  
DESCENDENTE**

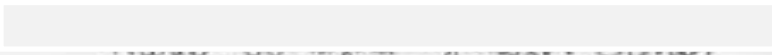
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 12/02/16

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Jose Capelo Neto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC

  
Me. Ismael Kesley Cariofo Lopes  
Doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – UFC

  
Me. Mário Ubirajara Gonçalves Barros  
Doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – UFC

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela graça de conceder-me a vida e por me possibilitar a concretização de um sonho.

Ao homem mais brilhante e inteligente que tenho a sorte de ter como pai, agradeço por todo o apoio, conselhos, por sempre ter oferecido tudo que eu precisasse para a minha formação, tanto pessoal quanto acadêmica.

A minha mãe, minha melhor amiga, companheira, dedicada, por todo o apoio, pois sem ela essa conquista não seria possível, obrigada por nunca medir esforços para que eu realizasse todos os meus sonhos. Aos meus pais, desejo um dia conseguir retribuir toda dedicação oferecida a mim.

Aos meus irmãos Aline, César, Narashu e Vitor, pelo sincero e recíproco carinho e amizade.

Ao Prof. Dr. Jose Capelo Neto, meu Orientador, pelas sábias orientações, não só deste trabalho, mas durante a minha trajetória acadêmica.

Ao Me. Ismael Kesley Lopes, meu Co -orientador, pela sua atenciosa orientação na realização deste trabalho, bem como pela sua presteza e prontidão

Ao Me. Mario Ubirajara Barros, por gentilmente aceitar o convite para integrar a banca examinadora do meu trabalho.

Aos meus colegas de curso, por todo apoio durante essa jornada, em especial as minhas amigas Victória Lemos, Edilene Andrade, Amanda Barros, Ana Zélia e Nicole Aguiar, pela ajuda e companheirismo.

Aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) responsáveis pelo meu aprendizado durante a minha graduação, em especial a professora Ana Bárbara, ao professor Ronaldo Stefanutii e ao professor André Bezerra, pela dedicação ao curso de engenharia ambiental.

Aos meus companheiros de laboratório, Seção Laboratorial de Qualidade da Água (SELAQUA).

A empresa Companhia de Água e Esgoto do Ceara (CAGECE) pela disponibilidade de infraestrutura e dados para a realização desta pesquisa.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, mesmo que em pensamentos e palavras de incentivo.

## RESUMO

A água é um item essencial à vida terrestre, mesmo assim, a ação antrópica tem sido determinante em relação à deterioração de corpos d'água e na diminuição da qualidade de água de diversos reservatórios que são utilizados para abastecimento humano. No Brasil, o Ministério da Saúde tem desenvolvido legislações que contemplam padrões de potabilidade de toxinas produzidas por cianobactérias, chamadas de cianotoxinas. O açude Gavião, localizado em Itaitinga/CE, é um dos grandes responsáveis pelo abastecimento de água da região Metropolitana de Fortaleza, e encontra-se em estado hipereutrófico, nível favorável à proliferação de cianobactérias. A jusante do reservatório situa-se a ETA – Gavião responsável pelo tratamento do tipo filtração direta descendente. Amostras foram coletadas em duplicata de todas as etapas de tratamento de água com o objetivo de verificar a remoção de cianobactérias em todas elas. Não houve remoção desses organismos nas etapas de captação até a pré-oxidação, entretanto a retenção de cianobactérias foi feita pelos filtros. No açude Gavião, as espécies e gêneros de cianobactérias que predominaram foram a *Planktothrix agardahii*, *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, *Pseudanabaena sp.* e *Geitlerinema sp.* nas amostras de água bruta, sendo *Planktothrix agardahii* a espécie dominante até a coleta do mês de outubro de 2015, e partir dessa data, o gênero *Cylindrospermopsis/ Raphidiopsis* passou a dominar o reservatório e a concentração de cianobactérias presentes no açude diminuiu significativamente, provavelmente devido a transposição da água do açude Castanhão para o açude Gavião que teve início em agosto de 2015. No período de amostragem, a remoção de cianobactérias realizada pela ETA – Gavião variou de 98% em agosto de 2015 para cerca de 92% em dezembro de 2015, sendo o gênero *Pseudanabaena sp.*, o organismo com menor índice de retenção, podendo ser atribuído este fato ao seu menor biovolume e tamanho celular. Devido à importância deste manancial, nosso estudo evidencia a necessidade de monitoramento mais aprofundado desta comunidade fitoplanctônica tanto no açude Gavião, quanto da água aduzidos do açude Castanhão.

**Palavras- Chave:** Cianobactéria, filtração direta descendente, tratamento de água, remoção de cianobactéria

## ABSTRACT

Water is an essential item to earthy life, nevertheless the human action has been instrumental in relation to the deterioration of water bodies and declines in the various reservoirs water quality that are used for human consumption. In Brazil, the Ministry of Health has developed laws that include standards of potability toxins produced for cyanobacteria, most known as cyanotoxins. The reservoir Gavião, located in Itaitinga / CE, is largely responsible for water supply in the metropolitan area of Fortaleza and it is in hypertrophic state, favorable level to the proliferation of cyanobacteria. The reservoir is located downstream ETA – Gavião responsible of treatment of water by direct descendent filtration. Samples were collected in duplicate for all water treatment steps in order to verify the removal of the cyanobacteria in all of them. There was no removal of these organisms in funding steps up to the pre-oxidation, though the cyanobacteria retention was made by the filters. At the Gavião reservoir, species and cyanobacterial genera that predominated were *Planktothrix agardahii*, *Cylindrospermopsis / Raphidiopsis*, *Pseudanabaena sp.* and *Geitlerinema sp* in raw water samples, *Planktothrix agardahii* the dominant species to the collection of October 2015, and Thereafter, the genre *Cylindrospermopsis / Raphidiopsis* came to dominate the reservoir and the concentration of cyanobacteria present in the reservoir has decreased significantly, probably due to implementation of Castanhão reservoir water to Gavião reservoir which began in August 2015. In the sampling period the removal of cyanobacteria carried out by ETA - Gavião ranged from 98% in August 2015 to about 92% in December 2015, and the gender *Pseudanabaena sp*, the organism with lower retention rate, which may be attributed this fact to. biovolume and smaller cell size. Because of the importance of this source, our study highlights the need for further monitoring of this phytoplankton both Gavião dam, as the raised water Castanhão dam.

**Key-words:** Cyanobacteria, direct descendent filtration, water treatment, removal of cyanobacteria

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental .....	14
Figura 2 – Nível trófico de reservatórios do estado do Ceará. ....	16
Figura 3 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano. ...	17
Figura 4 – <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .....	22
Figura 5 – <i>Raphidiopsis sp.</i> .....	23
Figura 6 – <i>Pseudanabaena sp</i> .....	23
Figura 7 – <i>Geitlerinema sp.</i> .....	24
Figura 8 – <i>Planktothrix agardhii</i> .....	25
Figura 9 – Localização geográfica da área de estudo.....	25
Figura 10 – Câmara de Sedgewick-Rafter. ....	29
Figura 11 – Boxplot etapas de tratamento .....	33
Figura 12 – Fluxograma do monitoramento de cianobactérias em sistemas de abastecimento de água .....	46
Figura 13 – Boxplot organismos dominantes na água bruta .....	48
Figura 14 – Boxplot organismos dominantes na água desinfectada .....	49



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Ago/15.	34
Gráfico 2 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Ago/15 .....	36
Gráfico 3 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Ago/15 .....	37
Gráfico 4 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Set/15..	38
Gráfico 5 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Set/15 .....	38
Gráfico 6 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento .....	39
Gráfico 7 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Out/15 .	39
Gráfico 8 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Out/15 .	40
Gráfico 9 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Out/15 .....	41
Gráfico 10 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Nov/15	41
Gráfico 11 – Concentração de cianobactérias identificadas na desinfectada – Nov/15 .....	42
Gráfico 12 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Nov/15 .....	42
Gráfico 13 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Dez/15	43
Gráfico 14 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Dez/15 .....	44
Gráfico 15 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento .....	44
Gráfico 16 – [ ] Total x [ ] organismos dominantes na água bruta.....	50
Gráfico 17 – [ ] Total x [ ] organismos dominantes na água desinfectada .....	51
Gráfico 18 – Remoção total de cianobactérias ETA-Gavião.....	52
Gráfico 19 – Porcentagem de remoção das cianobactérias dominantes .....	53
Gráfico 20 – Resumo proporção de cianobactérias encontradas ao longo do período de amostragem.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtos químicos adicionados à água.....	20
Tabela 2 – Ficha técnica açude Gavião. ....	26
Tabela 3 – Nível trófico dos açudes na região metropolitana de Fortaleza/CE .....	27
Tabela 4 – Fator contagem por campos.....	30
Tabela 5 – Fator contagem por faixas.....	30
Tabela 6 – Cianobactérias identificadas no açude Gavião ao longo do período de amostragem .....	35
Tabela 7 – Níveis de alerta concentração de cianobactérias .....	45
Tabela 8 – Produtos químicos auxiliares no tratamento da água no Gavião .....	47
Tabela 9 – Parâmetros de potabilidade da ETA – Gavião .....	48
Tabela 10 – Remoção por etapa de tratamento .....	51
Tabela 11 – Informações sobre as cianobactérias dominantes .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>ANOVA</b>	Análise de variância
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>CAGECE</b>	Companhia de Água e Esgoto do Ceara
<b>CE</b>	Ceará
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>COGERH</b>	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>PAC</b>	Hidróxi-cloreto de alumínio
<b>SELAQUA</b>	Seção Laboratorial de Qualidade de Agua
<b>UFC</b>	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Evolução do sistema de abastecimento de água .....	13
2.2 Qualidade de água no semiárido brasileiro .....	14
2.3 Técnicas de tratamento de água .....	17
2.4 Cianobactérias e Cianotoxinas.....	20
2.4.1 <i>Cylindrospermopsis/ Raphidiopsis</i> .....	21
2.4.2 <i>Pseudanabaena sp.</i> .....	23
2.4.3 <i>Geitlerinema sp.</i> .....	24
2.4.4 <i>Planktothrix agardhii</i> .....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
3.1 Área de estudo.....	25
3.2 Coleta, identificação e contagem .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
4.1 Análise dos dados.....	32
4.2 Identificação das cianobactérias presentes no açude Gavião.....	33
4.3 Análise da eficiência de remoção de cianobactérias da ETA-Gavião .....	51
5. CONCLUSÃO .....	56
6. REFERÊNCIAS .....	58

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um item essencial à vida terrestre, sendo essa responsável pela manutenção da vida humana. Mesmo assim, a ação antrópica tem sido determinante em relação à deterioração de corpos d'água e na diminuição da qualidade de água de diversos reservatórios que são utilizados para abastecimento humano. Além disso, o semi-árido nordestino possui características climáticas desfavoráveis a boa qualidade da água em reservatórios, como por exemplo a presença de regime pluviométrico irregular e o alto índice de radiação solar. Disto isto, a junção desses fatores é a razão de grande parte dos açudes cearenses estarem no nível eutrófico ou hipereutrófico segundo a Companhia de Gestão de Recursos hídricos (COGERH, 2015). Estes mananciais apresentam condições favoráveis à floração de fitoplanctons e macroalgas (principalmente as macrofitas), que em grandes concentrações podem diminuir a incidência de radiação solar no corpo d'água e a realização de fotossínteses pelos seres fotossintetizantes.

Um corpo d'água que está em processo de eutrofização pode favorecer o crescimento acelerado de cianobactérias, microrganismos que possuem propriedades encontradas tanto em algas quanto em bactérias, são aeróbicos fotoautótrofos, e algumas espécies são comprovadamente produtoras de toxinas que podem ser prejudiciais à saúde humana. No Brasil, o Ministério da Saúde, desde o episódio da morte de pacientes em tratamento renal (AZEVEDO *et al.*, 2002), tem desenvolvido legislações que contemplam padrões de potabilidade de toxinas produzidas por cianobactérias, chamadas de cianotoxinas.

O açude Gavião, localizado em Itaitinga/CE, é um dos grandes responsáveis pelo abastecimento de água da região Metropolitana de Fortaleza. É operado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e está, segundo a Companhia de Gestão de Recursos hídricos (COGERH, 2015), em estado hipereutrófico. O corpo d'água está sendo afetado significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado dos seus usos. Assim, viu-se a necessidade de um monitoramento em relação aos tipos de cianobactérias presentes no reservatório, assim como da capacidade de

remoção destas cianobactérias da Estação de Tratamento de Água Gavião, responsável pelo abastecimento de cerca de 90% da região Metropolitana de Fortaleza.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Evolução do sistema de abastecimento de água**

Não há dúvidas quanto à necessidade que o Ser humano tem em relação ao consumo de água, essencial para sua sobrevivência e para o desenvolvimento da sociedade. Grandes civilizações se desenvolveram em torno de grandes corpos d'água como, por exemplo, o Egito que prosperou em torno do rio Nilo ou a Mesopotâmia entre rios Tigre e Eufrates. Inicialmente, o homem tinha um modo de vida nômade, pois só permanecia em um lugar até que os recursos naturais fossem esgotados. O sedentarismo veio através do desenvolvimento e domínio da agricultura, quando o homem deixou de ser nômade e passou a cultivar o seu próprio alimento, inevitavelmente a formou-se polos urbanos com uma grande densidade populacional, aumentando, proporcionalmente com o crescimento populacional, a necessidade do armazenamento e distribuição da água para o consumo das atividades humanas, houve então, a necessidade de cada vez mais, o aprimoramento de técnicas de abastecimento e tratamento de água.

Com passar dos anos, o homem observou a existência de uma relação entre a ocorrência de certas doenças e a água utilizada para consumo. Atualmente, é sabido que existem diversos mecanismos de transmissão de doenças a partir da água, por isso o saneamento básico tornou-se tão importante para a saúde pública como medida de prevenção de doenças. De acordo com Mota (2003), as doenças vinculadas pela água tem origem, principalmente, a partir de dejetos, e por falta de sistemas de esgotamento adequados, a maioria das vezes os dejetos de origem humana alcançam mananciais superficiais ou subterrâneos de água, introduzindo microrganismos patogênicos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social (PHILIPPI JR; MALHEIROS, 2015).

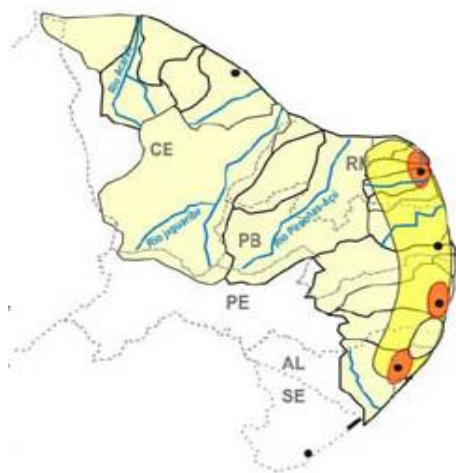
Importantes eventos marcaram a evolução histórica do abastecimento de água no mundo. Durante a Idade Média, o consumo de água era apenas de

1L/hab.dia na maior parte da Europa (REZENDE e HELLER, 2002, apud HÉLLER e PÁDUA, 2010), que estava relacionada a higiene precária existente na época, juntamente com a inexistência de saneamento básico, o que tornavam as condições em que a população vivia favoráveis a proliferação de agentes patogênicos e a transmissão de doenças relacionadas ao consumo de água contaminada. Somente em 1804 foi construído a primeira instalação coletiva de tratamento de água para consumo humano, utilizando filtros lentos, por John Gibb, na Escócia (AZEVEDO NETTO et al.,1998), mesmo assim, em 1846-1862 um surto de cólera matou 180 mil pessoas na Europa, tendo sido comprovada sua origem na água, em Londres, por John Snow (BONO, 1975, apud HÉLLER e PÁDUA, 2010). Quando o cenário é o Brasil, a conclusão do primeiro sistema coletivo de abastecimento de água ocorreu no Rio de Janeiro, em 1723 (AZEVEDO NETTO et al.,1998).

## 2.2 Qualidade de água no semiárido brasileiro

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2015), parte da região Nordeste e grande parte do estado do Ceará estão localizadas na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental (Figura 1). Essa região é contemplada por partes dos Biomas Floresta Atlântica, Caatinga, uma pequena parte do Cerrado, e também pelos Biomas Costeiros e Insulares. Nessa região, situa-se parte do polígono das secas (criado pela Lei nº 175 de janeiro de 1936, como área a ser objeto das políticas de combate às secas), território reconhecido pela legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens, com várias zonas geográficas e diferentes índices de aridez.

Figura 1 – Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental



Fonte: Agencia Nacional de Águas (ANA).

Como consequência dos períodos de seca prolongados, da característica do solo, sendo este raso e de material cristalino, a alternativa utilizada para a escassez de água no Nordeste brasileiro é a construção de açudes, que são reservatórios artificiais de superfícies. A ocupação e exploração desordenada dos recursos naturais nas bacias hidrográficas, além da alta evaporação e da radiação solar, interferem negativamente na qualidade da água armazenada (LOPES, 2013). Esses reservatórios tem apresentado um processo de eutrofização em níveis acelerados. A eutrofização de corpos d'água consiste no enriquecimento com nutrientes, fosfatos e nitratos principalmente, causando assim a acelerada proliferação produtores primários, inclusive de cianobactérias potencialmente tóxicas (GALIL; ABE, 2010).

Uma consequência evidente do aumento do estado trófico de um corpo de água, sobretudo em reservatórios de abastecimento localizados nas regiões urbanas, é o crescimento acelerado e a maior abundância de fitoplanctons, que interferem no processo de tratamento e alteram o sabor e o odor da água tratada. Algumas espécies, especialmente de cianobactérias, são potencialmente tóxicas e podem inviabilizar a utilização dos corpos de água como mananciais para abastecimento público, em razão do risco de causar sérios impactos à saúde humana (GALIL; ABE, 2010)

Pesquisadores já identificaram a presença de várias espécies de cianobactérias em açudes do semiárido nordestino em função da elevada temperatura e da deficiência no sistema de saneamento da região (BOUVY et al. 2000, COSTA et al. 2006, PANOSSO et al. 2007 apud GALLI e ABE, 2010). Pesquisas realizadas na Seção Laboratorial de Qualidade de Água (SELAQUA), por Barros (2013) e Lopes (2013), constataram a presença de cianobactérias produtoras de toxinas em açudes do estado do Ceará.

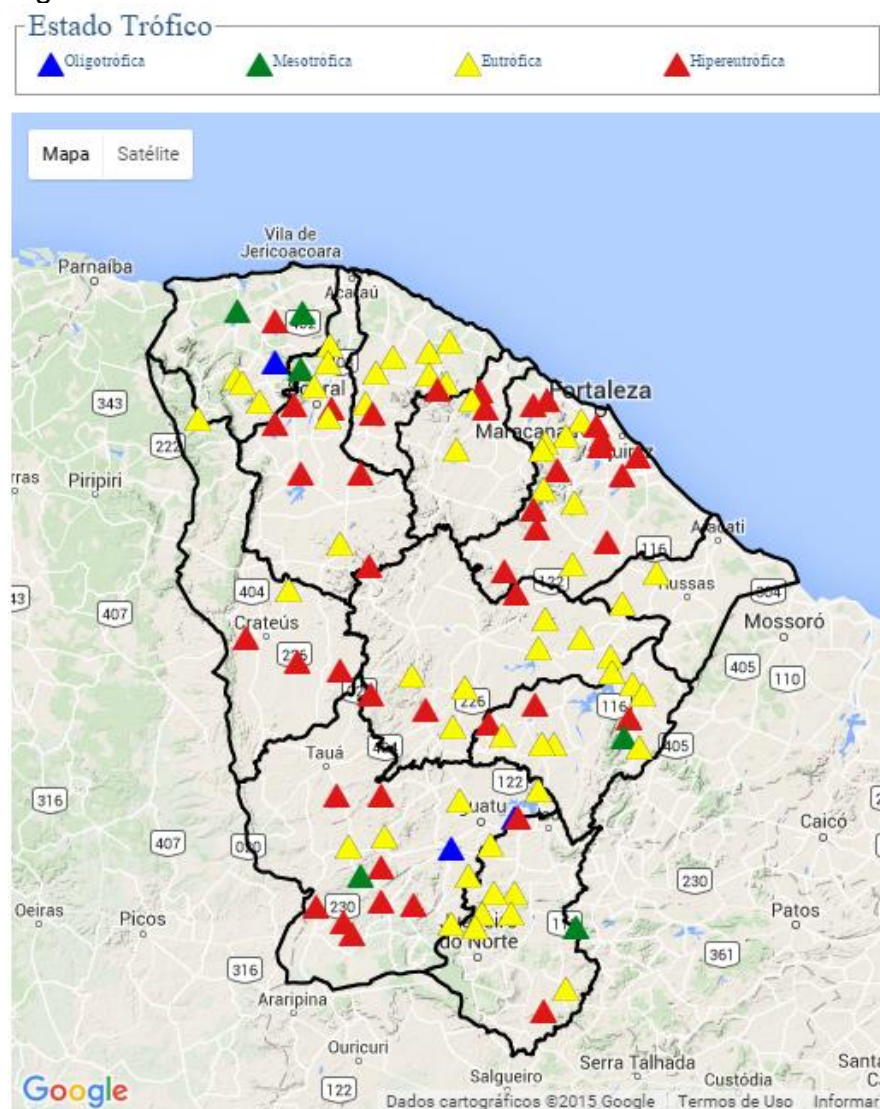
Segundo Barros (2013), a eutrofização dos reservatórios cearenses é ocasionada principalmente pelas descargas de esgotos domésticos e industriais, pela afluência de partículas de solos, contendo nutrientes, em decorrência de erosão hídrica, pela presença de gado, principalmente no entorno do reservatório, pela presença de áreas agriculturáveis e pela exploração de piscicultura intensiva.

Resultados obtidos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2015), apresentados na Figura 2, constatam que a grande maioria dos açudes cearenses encontra-se nos níveis eutróficos ou hipereutróficos. Segundo



classificação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), quando o açude está em nível eutrófico significa que o corpo d'água apresenta alta produtividade e nutrientes em relação as condições naturais, afetados principalmente por atividades antrópicas, implicando em alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus usos múltiplos. Já o nível hipereutrófico representa que o corpo d'água está sendo afetado significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo inclusive estar associados a episódios de florações de algas e de mortandade de peixes.

Figura 2 – Nível trófico de reservatórios do estado do Ceará.



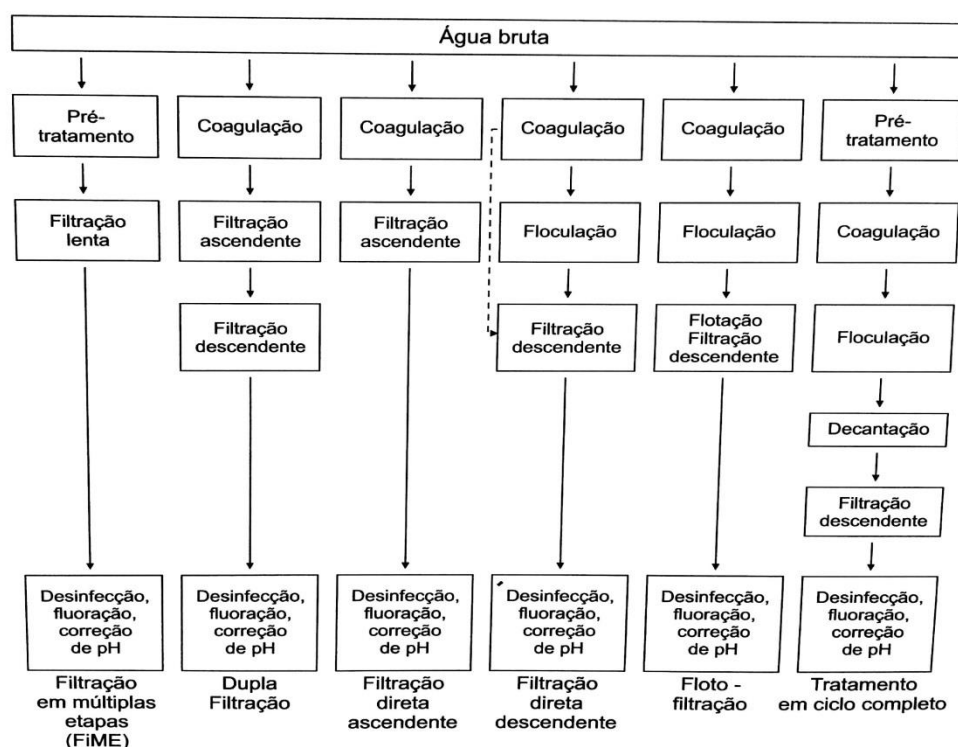
Fonte: COGERH (2015).

## 2.3 Técnicas de tratamento de água

O tratamento da água tem se tornado indispensável para o consumo humano devido à crescente contaminação dos mananciais. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a poluição do meio aquático pode causar alterações físicas, químicas e biológicas no corpo d'água. No caso das alterações físicas podem ser alteradas turbidez, cor, números e tamanho de partículas, temperatura, condutividade, viscosidade, tensão superficial, dentre outros. Já no caso de alterações químicas, alguns exemplos de alterações são na DQO, DBO, pH e toxicidade. Quando espécies do fitoplâncton e do zooplâncton sofrem modificações, significa que houve alterações biológicas no manancial (DI BERNADO; DANTAS, 2005).

Existem diferentes tipos de tecnologias para o tratamento de água sendo a qualidade da água o fator decisivo na escolha de qual será usada. A Figura 3 apresenta as principais tecnologias de tratamento de água para o consumo humano.

Figura 3 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.



Fonte: Di Bernardi e Dantas (2005).

Contudo, a tecnologia referida por Di Bernado e Dantas (2005) como tratamento em ciclo completo, também conhecida como tratamento convencional, será abordada aqui inicialmente, já que possui todas as etapas de tratamento.

Segundo Héller e Pádua (2010), a água bruta é captada no manancial e destinada à Estação de Tratamento de Água (ETA) através de adutoras de água bruta, e então passa por uma técnica de **pré-tratamento**, podendo ser a sedimentação, pré-filtração dinâmica e pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal ou uma combinação dessas unidades de pré-tratamento. A **coagulação química** da água é utilizada a fim de facilitar a remoção de partículas suspensas e coloidais no corpo d'água. Sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e hidróxi-cloreto de alumínio (PAC) são os coagulantes comumente empregados nas ETAs. Dependendo da qualidade da água bruta, são utilizados o emprego de auxiliares de coagulação, tais como os polímeros, pode apresentar vantagens como aumentar a duração da carreira de filtração, reduzir gastos com produtos químicos, diminuir a quantidade de lodo gerado e aumentar a eficiência de remoção de cor e turbidez (HÉLLER; PÁDUA, 2010). A dispersão do coagulante na água bruta é realizada nas unidades de mistura rápida e então as partículas são desestabilizadas, podendo ser misturadores hidráulicos como, por exemplo, o medidor Parshall, a queda d'água e as malhas difusoras, ou misturadores mecânicos como é o caso das turbinas e hélices.

Segundo Di Bernado e Dantas (2005), Durante a **floculação**, as partículas desestabilizadas na mistura rápida, são aglutinadas umas às outras formando os flocos. Ao contrário da etapa de coagulação, esse processo deve ser submetido a uma agitação lenta para que os flocos não se desfaçam, e possam crescer e se tornarem pesados. Assim como a mistura rápida, a flocculação pode ser realizada tanto hidráulica, como mecanicamente, utilizam-se chicanas ou alabama no primeiro caso, ou floculadores de paletas (de eixo vertical, horizontal ou única de eixo vertical) no segundo caso. Depois dos flocos formados, por meio somente da força gravitacional, espera-se que os flocos sedimentem no fundo da unidade de **decantação**, conhecida também como decantação convencional ou de baixa taxa. Segundo Héller e Pádua (2010), os decantadores são projetados com base na taxa de aplicação superficial (TAS), a qual está diretamente relacionada à velocidade em que as os flocos, formados na etapa anterior, na água sedimentam. No início da década de 60, foram introduzidos módulos no interior do decantador (dutos ou

placas) que induz uma maior taxa de aplicação superficial (TAS), e conseqüentemente a uma redução da área ocupada pelas ETAs. Esse tipo de decantador é chamado de decantador de alta taxa. O Lodo formado no fundo dos decantadores é removido, quando se julga necessário, de forma manual ou mecânica.

A próxima etapa do processo consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais e de microrganismos remanescentes na água por meio da **filtração**, que consiste na passagem da água por um meio poroso, geralmente constituídos por partículas de areia quartzolíticas ou antracito. Os filtros podem ser classificados de acordo com o sentido do fluxo, podendo ser ascendente ou descendente. Há necessidade de lavar os filtros quando este passa a produzir água que não atende aos padrões de potabilidade e/ou quando a perda de carga ocasionada pela retenção de impurezas no filtro atinge o valor máximo estabelecido no projeto. O intervalo de tempo entre uma lavagem e outra se denomina carreira de filtração. Esse processo consiste em introduzir água tratada em contracorrente com a velocidade suficiente para fluidificar o leito filtrante (HÉLLER; PÁDUA, 2010).

Com caráter corretivo é adicionado um agente oxidante a água, (normalmente usa-se o Cloro) com o objetivo de eliminar organismos patogênicos, incluindo bactérias, protozoários e vírus. Deve ser mantido um residual do desinfectante na água destinada a rede de distribuição e fornecida à população, caso ocorra algum tipo de contaminação na rede. De acordo com a Portaria nº635/75 do Ministério da Saúde, deve ocorrer também a fluoretação, adição de flúor, em águas de abastecimento. Por fim, deve-se fazer a correção de pH para o atendimento dos padrões potabilidade para consumo humano estabelecidos na Portaria 2914/2011 caso seja necessário (CAGECE, 2015).

Alguns produtos químicos são adicionados à água para o auxílio no tratamento na medida em que se tornam necessários (Tabela 1).

Tabela 1 – Produtos químicos adicionados à água

PRODUTO QUÍMICO	APLICAÇÃO NO TRATAMENTO
Cloro Gasoso, Dióxido de Cloro, Hipoclorito de Cálcio, Hipoclorito de Sódio, Ozônio, Peróxido de Hidrogênio, etc.	Desinfecção e Oxidação
Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico, Sulfato Ferroso, Sulfato Férrico, Cloreto Férrico, Hidroxicloreto de Alumínio, Polímeros Sintéticos, etc.	Coagulação
Ácido Fluorssilícico, Fluoreto de Cálcio, Fluorssilicato de Sódio, etc.	Fluoretação
Carbonato de Sódio, Hidróxido de sódio, Hidróxido de Cálcio	Ajuste de pH (acidez)
Carvão ativado	Remoção de sabor e odor

Fonte: Cagece (2015).

## 2.4 Cianobactérias e Cianotoxinas

As cianobactérias, anteriormente conhecidas como cianofíceas ou algas azuis, são microrganismos que possuem propriedades encontradas tanto em algas quanto em bactérias (CALIJURI et al., 2006). São aeróbicos fotoautótrofos, a sua estrutura e organização celular são caracterizadas pela ausência de organelas envoltas por membranas, ou seja, são organismos procariontes, predominantemente pertencentes à comunidade fitoplanctônica, sendo responsáveis também, pela produtividade primária dos ambientes aquáticos (LEVLAIVE; TEM-HAGE, 2007).

A descoberta de fósseis em rochas sedimentares do noroeste da Austrália permitiu estimar que as cianobactérias surgiram há cerca de 3,5 bilhões de anos. Portanto, elas estão entre os organismos pioneiros na Terra e, provavelmente, constituem os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberar oxigênio na atmosfera primitiva (AZEVEDO, 1998). Segundo Vining (1992) esses microrganismos possuem várias propriedades especiais, dentre elas a que é mais importante na sua evolução, a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico utilizando a enzima nitrogenase. A principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações ou *blooms* de cianobactérias, que é o aumento exacerbado do número de células, é a capacidade desses microrganismos produzirem metabólitos secundários tóxicos, os quais são prejudiciais aos seres humanos e outros componentes da biota aquática (BARROS, 2013).

De acordo com Lopes (2013), ambientes de água doce são os mais favoráveis para o crescimento de cianobactérias, devido a maioria das espécies

apresenta um melhor crescimento em águas neutroalcalinas (pH 6-9), temperatura entre 15°C a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Essa configuração de ambiente ideal adequa-se perfeitamente as águas continentais do nordeste brasileiro, que na maioria dos casos encontram-se em acelerado processo de eutrofização.

As toxinas produzidas pelas cianobactérias são denominadas de cianotoxinas, e essas constituem um grupo de diversas toxinas. Carmichael (1992) define toxinas como compostos secundários, que não são usados pelo organismo no metabolismo primário, como por exemplo, os hormônios, antibióticos e toxinas, e que produzem efeitos nocivos em outros tecidos, células ou organismos. De acordo com a sua estrutura química, as toxinas das cianobactérias podem ser classificadas em três grandes grupos: peptídeos cíclicos; alcaloides e lipopolissacarídeos. Porém, a classificação principal baseia-se na sua ação sobre determinados tecidos, órgãos-alvo ou organismos. Segundo esta classificação, as cianotoxinas e citotoxinas são agrupadas em hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas (MELO FILHO, 2006).

De acordo com Azevedo (1998) e Melo Filho (2006), neurotoxinas tem ação rápida e se manifestam por meio de tonturas e perda de concentração motora, podem ocasionar paralisação dos músculos da respiração, em minutos, causando morte por parada respiratória logo após a exposição à água. Já as hepatotoxinas apresentam ação mais lenta, mas pode causar morte de vertebrados entre poucas horas e poucos dias devido à decorrência de hemorragia intra-hepática e choque hipovolêmico. As toxinas irritantes ao contato são conhecidas por dermatotoxinas (AZEVEDO, 1998).

Para maior entendimento de certas classificações adotadas pelo autor, discorrer-se-á no próximo tópico brevemente sobre certos gêneros e espécies de cianobactérias.

#### **2.4.1 *Cylindrospermopsis/ Raphidiopsis***

Esta classificação é adotada devido à impossibilidade de classificar o organismo como *Cylindrospermopsis raciborskii* caso o heterócito terminal não esteja presente, o gênero *Cylindrospermopsis* pode ser muito assemelhante com o gênero *Raphiopsis sp.*

### 2.4.1.1 *Cylindrospermopsis sp.*

Organismo pertencente à ordem Nostocales, da família Nostocaceae. Segundo Bicudo e Menezes (2006), o gênero *Cylindrospermopsis sp.* compreende 9 espécies e são bastante comuns em regiões tropicais, todas as espécies são plactônicas de águas continentais. Várias delas são produtoras de toxinas e a mais conhecida é a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, potencialmente produtora de saxitoxina (LOPES, 2013). O seu talo é filamentososo, bainha mucilaginosa é ausente, a célula apical é cônica-atenuada ou acuminada e os heterócitos são sempre terminais e solitários (Figura 4).

Figura 4 – *Cylindrospermopsis raciborskii*



Fonte: Sant'Anna et al. (2012).

### 2.4.1.2 *Raphidiopsis sp.*

O gênero na compreende três espécies de águas continentais. Seu talo é filamentososo, apresenta ausência de bainha mucilaginosa, a célula apical é cônica ou acuminada, podendo ter a presença ou não de acinetos cilíndricos com ápices arredondados, heterócitos estão ausentes, (BICUDO; MENEZES, 2006). Já foi detectada a produção de neurotoxina por este gênero

Figura 5 – *Raphidiopsis* sp.

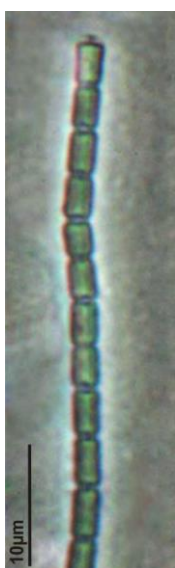


Fonte: Sant'Anna et al. (2012).

#### 2.4.2 *Pseudanabaena* sp.

Esse gênero, ilustrado pela Figura 6, geralmente ocorre em ambiente aquático e apresenta mais de 30 espécies. Apresenta célula apical cilíndrica com ápice arredondado ou truncado e conteúdo celular homogêneo (BICUDO; MENEZES, 2006).

Figura 6 – *Pseudanabaena* sp



Fonte: Sant'Anna et al. (2012).



### 2.4.3 *Geitlerinema sp.*

Normalmente, o gênero *Geitlerinema sp.* forma massas em ambientes subaéreos, no perifíton entre madrófitas e outras algas ou sobre sedimento e pedras (Figura 7). As células são mais longas do que largas antes da divisão, célula apical pode ser cônica ou cilíndrica e polos arredondados ou acuminados (BICUDO; MENEZES, 2006)

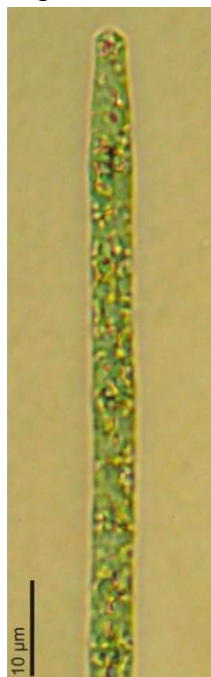
Figura 7 – *Geitlerinema sp.*



Fonte: Sant'Anna et al. (2012).

### 2.4.4 *Planktothrix agardhii*

Organismos pertencentes à ordem Oscillatoriales, da família Phormidiaceae e subfamília Phormidioidea. A maioria das espécies de *Planktothrix sp.* é planctônica em águas continentais e poucas habitantes do perifíton. O gênero compreende cerca de 15 espécies, algumas formadoras de florações em águas eutrofizadas e produtoras de toxinas e geosmina (substância responsável pelo cheiro de terra). Apresenta célula apical arredondada ou cônica, com ápice trucado (Figura 8). Células normalmente são quadráticas a subquadráticas (BICUDO; MENEZES, 2006). A *Planktothrix agardhii* tem sido relatada frequentemente como produtora de microcistinas (MARIE 2012 apud LOPES, 2013) e em menor frequência produtores de saxitonas (LOPES, 2013).

Figura 8 – *Planktothrix agardhii*

Fonte: Sant'Anna et al. (2012).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O açude Gavião, localizado em Pacatuba/Itaitinga no estado do Ceará, foi construído para complementar a rede de abastecimento de água potável para a cidade de Fortaleza, e teve sua construção concluída em 1973. A barragem deste açude barra às águas do rio Cocó, bem como dos seguintes riachos afluentes do rio Cocó: Água Fria, Alegrete, do Gavião, Pacatuba, Salgado. A estação de tratamento de água localiza-se a jusante da barragem deste açude (CAGECE, 2015).

Figura 9 – Localização geográfica da área de estudo.



Fonte: Google.

A descrição técnica do açude é apresentada na Tabela 2, segundo a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (2015).

Tabela 2 – Ficha técnica açude Gavião.

<b>Localização</b>	
Município	Pacatuba
Sistema	Metropolitana
Rio/Riacho Barrado	Rio Cocó
<b>Hidrologia</b>	
Bacia Hidrográfica (km <sup>2</sup> )	97
Capacidade (m <sup>3</sup> )	32.900.000
Vazão Regularizada (m <sup>3</sup> /s)	0,62
<b>Barragem</b>	
Comprimento do Coroamento (m)	845,56
Largura do Coroamento (m)	5,08
Altura Máxima (m)	14,63
Cota (m)	39
<b>Sangradouro</b>	
Cota (m)	36
Largura (m)	20
<b>Tomada D'água</b>	
Tipo	Galeria de concreto armado e tubulação de aço de carbono
Comprimento (m)	29,05
Diâmetro	None

Fonte: COGERH (2015).

Ainda segundo dados da COGERH (2015), o açude encontra-se em nível hipereutrófico ilustrado pela Tabela 3 e o seu volume total é de 27,74 hm<sup>3</sup>, sendo assim 83,3 % da sua capacidade atual.

Tabela 3 – Nível trófico dos açudes na região metropolitana de Fortaleza/CE

Açude	Ponto	Data	[Nt]	[Pt]	cl@	Cont.Cianob.	Transp.	Classe	Infor.Adic
<u>POMPEU SOBRINHO</u>	PMS-02	20/08/2015	2.977	0.376	112.59	300,7	0.70	Hipereutrófica	
<u>AMANARY</u>	AMA-01	19/08/2015	0.566	0.357	17.98	260,2	0.60	Eutrófica	
<u>ACARAPE DO MEIO</u>	ACA-09	05/08/2015	1.707	0.141	28.39	2.029,5	0.60	Hipereutrófica	
<u>PACAJUS</u>	PAC-06	06/08/2015	0.388	0.196	12.10	687,4	0.60	Hipereutrófica	
<u>PACOTI</u>	PCT-18	11/08/2015	0.508	0.053	23.92	598,2	0.90	Hipereutrófica	
<b>GAVIÃO</b>	<b>GAV-05</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>0.661</b>	<b>0.050</b>	<b>31.93</b>	<b>2.549,4</b>	<b>1.10</b>	<b>Hipereutrófica</b>	
<u>CASTRO</u>	CAS-11	16/07/2015	6.051	0.214	228.02	963,2	40.00	Hipereutrófica	
<u>RIACHÃO</u>	RIA-10	11/08/2015	0.819	0.041	27.55	596,1	1.00	Hipereutrófica	
<u>TIJUQUINHA</u>	TJQ-01	21/07/2015	2.174	0.222	1.60	27,0	0.30	Eutrófica	
<u>CAUHIPE</u>	CAU-01	15/09/2015	1.706	0.024	17.53	1.638,6	0.80	Hipereutrófica	
<u>SÍTIOS NOVOS</u>	SIN-14	04/08/2015	4.138	0.013	79.03	215,1	0.35	Hipereutrófica	
<u>BATENTE</u>	BAT-01	16/09/2015	3.26	0.084	65.15	1.472,2	0.50	Hipereutrófica	
<u>PENEDO</u>	PEN-01	19/08/2015	0.395	0.283	11.48	11,4	0.50	Eutrófica	
<u>PESQUEIRO</u>	PES-01	22/07/2015	4.228	0.180	150.23	2.467,0	0.40	Hipereutrófica	
<u>MACACOS</u>	MAC-01	23/09/2015	1.737	0.145	26.97		0.70	Eutrófica	
<u>ARACOIABA</u>	ARC-10	05/08/2015	0.878	0.148	34.44	177,6	0.90	Eutrófica	
<u>MALCOZINHADO</u>	MAL-02	17/09/2015	5.369	0.364	293.08	1.153,2	0.50	Hipereutrófica	
<u>ITAPEBUSSU</u>	ITP-01	30/09/2015	1.386	0.095	6.59	297,3	0.80	Eutrófica	
<u>MARAGUAPINHO</u>	mar/01	30/09/2015	1.674	0.203	58.30		0.50	Eutrófica	

Fonte: COGERH (2015).

Legenda: [PT]:fósforo total(mg/L); cl@: clorofila-a (µg/L); [Nt]: Nitrogênio (mg/L); Cont.Cianob: Cont. Cianobactérias (Cél/mL); Transp. : Transparência (m).

De acordo com o CAGECE (2015), Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará, a Estação de Tratamento de Água do açude Gavião, o objeto de estudo, foi criada em setembro de 1981. Localizada no município de Pacatuba junto ao manancial, abastece a cidade de Fortaleza e quase toda a região metropolitana. Tem a finalidade de tratar a água captada e torná-la potável para distribuir para a população de qualidade para o consumo. No ano de 1989, a ETA-Gavião adicionou ao sistema de tratamento a fluoretação. São adicionados 0,7 mg de flúor por cada litro nesta etapa do tratamento. Inicialmente a ETA-Gavião foi projetada para utilização de tecnologia de tratamento do tipo ciclo completo ou convencional (Figura 3) com capacidade de 3,0m<sup>3</sup>/s. Em 1995, passou a operar através da filtração direta descendente, que é a tecnologia de tratamento atual. A alteração proporcionou um aumento da sua capacidade produtiva e, com o aumento de cerca de 25% em sua área filtrante. Em 2007, a ETA passou a operar com uma capacidade de tratamento de 10,0 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2 Coleta, identificação e contagem

As amostras foram coletadas de acordo com as exigências da portaria MS 2914/2011, entre agosto e novembro de 2015, e foram realizadas em todas as etapas de tratamento da ETA – Gavião. Foram realizadas 5 coletas em duplicata da água bruta, coagulada, pré-oxidada, filtrada e desinfectada, total de 48 amostras, pois não foram coletadas amostras na etapa de filtração na primeira coleta (agosto de 2015). Nas datas da coleta foram também coletadas informações adicionais como: Vazão, dosagem de PAC e de polímero, de Dióxido de cloro e de Cloro, turbidez, cor e pH, entre outros.

Segundo metodologia estabelecida pela CETESB (1978), Para análise quantitativa, a água foi coletada em frascos de vidro âmbar de 500 mL ou 1000 mL, contendo 5mL ou 10 mL de lugol acético, respectivamente, para fixação *in loco*. A fixação dos organismos coletados deve ser feita para que não ocorra a deterioração ou reprodução dos mesmos, o que resultaria em erros analíticos. As amostras foram armazenadas e encaminhadas para o laboratório onde foram concentradas por sedimentação em proveta de 1000 mL, durante 24h protegidas da luz.

A densidade celular foi estimada utilizando câmara de sedgewick-rafter (Figura 10) e microscópio ótico invertido Carl Zeiss Axio Vert A1, calibrado conforme APHA et al (2005) e CETESB (1978), com resultados expressos em células por mL ( $\text{cél.mL}^{-1}$ ). Para a preparação da câmara sedgewick-rafter utilizou-se uma pipeta de Pauster para capturar a amostra fixada, aproximadamente 1 mL, esperou-se aproximadamente de 15 minutos para a sedimentação dos microrganismos. Passado o tempo de sedimentação, as contagens foram feitas por faixas ou campos, segundo a distribuição de Poisson, da qual foi obtida distribuição com intervalo de confiança de  $95\% \pm 20\%$  (LOPES, 2013).

Figura 10 – Câmara de Sedgewick-Rafter.



Fonte: Lopes (2013).

A densidade celular foi feita a partir de metodologia APHA *et al* (2005) e CETESB (1978), primeiramente, a amostra foi analisada na objetiva de menor aumento (5x) para verificar se as cianobactérias estavam distribuídas uniformemente pela câmara, caso não estivessem, a descartou-se a lâmina e preparou-se outra. Depois de verificado se os organismos que estavam devidamente distribuídos, observou-se se existiam 10 ou mais de organismos da cianobactéria dominante em cada campo, e então a contagem foi feita por campo. Porém, se essa condição não foi atendida, a contagem deve ser feita por faixa. Geralmente, as amostras de água bruta, coagulada e pré-oxidada são feitas por campos, pois a concentração de cianobactérias era maior que nas amostras de água filtrada e desinfetada, sendo que essas foram contadas por faixas.

A escolha do campo deve ser aleatória, sendo contados no mínimo 3 e no máximo 10 campos, deve-se contar no mínimo 100 organismos da cianobactéria dominante. Para obter a média de células por filamento de cianobactéria, os organismos em que as células tornaram-se difícil a visualização da separação entre uma célula e outra na objetiva de aumento 20x do microscópio ótico invertido, foram obtidas por meio da utilização do microscópio ótico na objetiva de 40x, foram contados o número de células por filamento dos primeiros 30 organismos encontrados para cada espécie de cianobactéria (CETESB L5303/12) e multiplicou-se o número de organismos no microscópio invertido contados pela média de células por filamento.

Para a obtenção da média real por organismo, o número de células foi multiplicado por um fator, que varia de acordo com o número de campos ou número de faixas contados, representados na Tabela 3 e 4, respectivamente, e então foi

obtido a concentração de cél/mL que deve ser dividida pela diluição da amostra (APHA *et al*, 2005).

De acordo com APHA *et al* (2005) o fator é calculado baseado nas fórmulas 1 e 2 para campos e para faixas respectivamente.

$$\frac{C \times 1000mm^3}{A \times D \times F} \quad (1)$$

$$\frac{C \times 1000mm^3}{L \times D \times W \times S} \quad (2)$$

Onde:

C = N° de organismos contados;

A = Área do campo;

D = Profundidade da câmara;

F = N° de campos contados;

L = Comprimento da câmara;

W = Altura da faixa (diâmetro do campo);

S = N° de faixas contadas.

Obtendo- se assim,

Tabela 4 – Fator contagem por campos

Objetiva 20x										
Campos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fator	1177,182	588,59	392,39	294,30	235,44	196,20	168,17	147,15	130,80	117,72

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Fator contagem por faixas

Objetiva 20x										
Faixas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fator	23,544	11,772	7,848	5,886	4,709	3,924	3,363	2,943	2,616	2,354

Fonte: Elaborada pelo autor.

As identificações das cianobactérias foram feitas por meio da utilização de chaves de classificação, baseadas em bibliografias especializadas como: Bicudo & Menezes (2006), Bourrely (1972) e Santanna *et al* (2006). As medidas de células, colônias, bainhas e envelopes de mucilagem, auxiliaram na identificação, devido

algumas espécies serem semelhantes e se diferenciarem pelo tamanho da célula ou colônia (LOPES, 2013).

Segundo a Unidade ambiental de saúde, Victoria, Australia, o biovolume de uma cianobactéria é calculado de acordo com a equação 3:

$$\text{BIOVOLUME} = 10^{-9} \times V \times 1000 \times C \quad (3)$$

Onde:  $V$  = Volume celular ( $\text{um}^3$ );

$C$  = Concentração do organismo (Cél/mL).

A contagem das médias de células por tricoma foi efetuada de acordo com a CETESB L5303/12. Entretanto, alguns obstáculos foram encontrados. Certos gêneros de cianobactérias são facilmente removíveis pelos filtros ETA-Gavião, sendo difícil a sua identificação na água após a filtração, o que dificultou o processo de contagem de 30 organismos para obter-se uma média de células por tricoma. Além disso, quando algumas cianobactérias passam pelos filtros, foi observado que algumas de suas características morfológicas foram alteradas, o que dificulta a identificação do organismo. Foi observado que a *Cylindrospermopsis raciborskii* perdeu facilmente o heterócito terminal, característica determinante para sua identificação.

Como, aparentemente, não existe nenhum tipo de obstáculo mecânico entre as etapas de captação, coagulação e pré-oxidação, não se constatou a necessidade de utilização de uma média de células por tricoma para cada uma dessas etapas, sendo utilizada a média somente da água bruta. Já para os organismos encontrados na água filtrada e desinfetada, as células foram contadas e novas médias calculadas.

Uma análise de variância - ANOVA foi utilizada para verificar se as médias das cianobactérias por tricoma podem ser consideradas iguais nessas três primeiras etapas da ETA-Gavião (captação, coagulação e pré-oxidação). Este teste foi aplicado para todos os organismos, exceto aqueles em que as células são mais facilmente visualizáveis no microscópio ótico invertido, como é o caso da maioria das espécies da ordem chroococcales.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

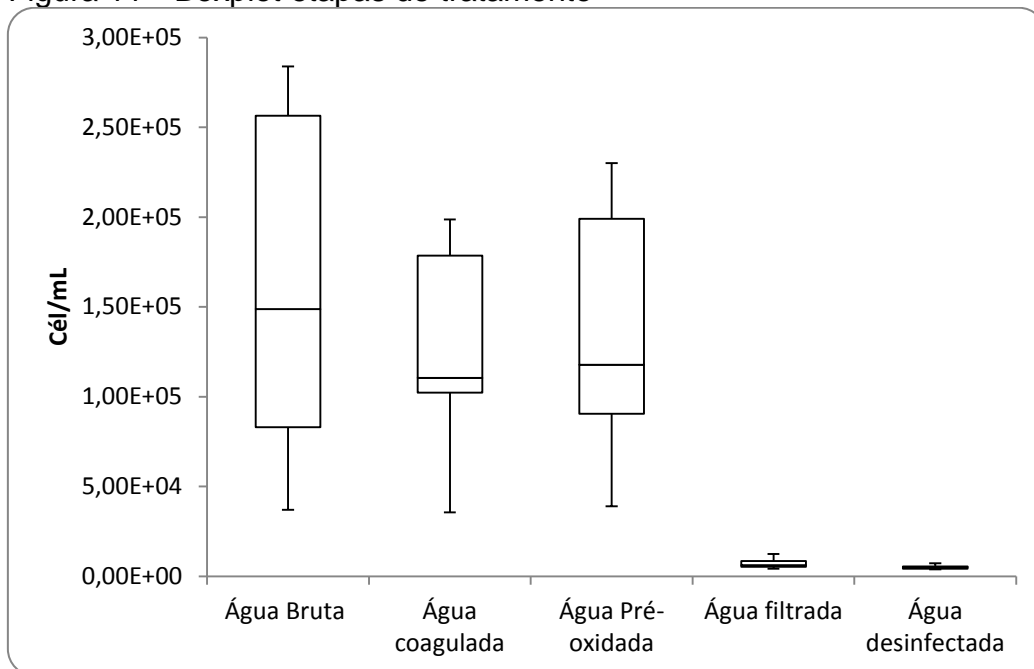
### 4.1 Análise dos dados

Como dito anteriormente, as amostras foram coletas em duplicata para cada etapa do tratamento, logo esperava-se que a quantidade de cianobactérias em cada duplicata, não diferissem significativamente, já que foram coletadas quase ao mesmo tempo. A diferença entre as amostras, em sua grande maioria, não ultrapassou 20%, erro aceitável pelo método, contudo, algumas amostras apresentaram variações de mais 20%, chegando até a 50% de diferença de concentração real (cél/mL) da duplicata 1 para a duplicata 2. Tendo em vista que este método de contagem e identificação é estritamente morfológico e como se trata de duas amostras diferentes, a diferença das amostras pode ser devido à ocorrência de flocos de cianobactérias na água, o que explicaria a elevada diferença da concentração de cianobactérias. Observou-se também, que em amostras em que a diluição entre as duas foram muito diferentes, ocorreram grande diferença na concentração de cianobactérias, o que pode ser atribuído a algum erro durante a retirada do sobrenadante da amostra sedimentada.

A

Figura 11, box-plot apresenta a variabilidade da contagem de cianobactérias ao longo do período de coleta e a eficiência da ETA-Gavião na remoção destes fitoplactons. Com este gráfico foi possível constatar uma grande variação, sendo observado o valor máximo igual a  $2,84E+05$  cél/mL e o valor mínimo  $3,70E+04$  cél/mL, na concentração dos organismos na água bruta, que diminui ao longo do tratamento. Por outro lado, essa variação foi muito pequena, pois a concentração máxima de cianobactérias é de  $1,25E+04$  cél/mL e a mínima de  $4,18E+03$ , na água filtrada, e menor ainda na água desinfetada. Logo, estes dados indicam que a ETA-Gavião é robusta, pois não importa a variação na concentração inicial de cianobactérias, a concentração final de cianobactérias na água tratada pouco se altera.

Figura 11 – Boxplot etapas de tratamento



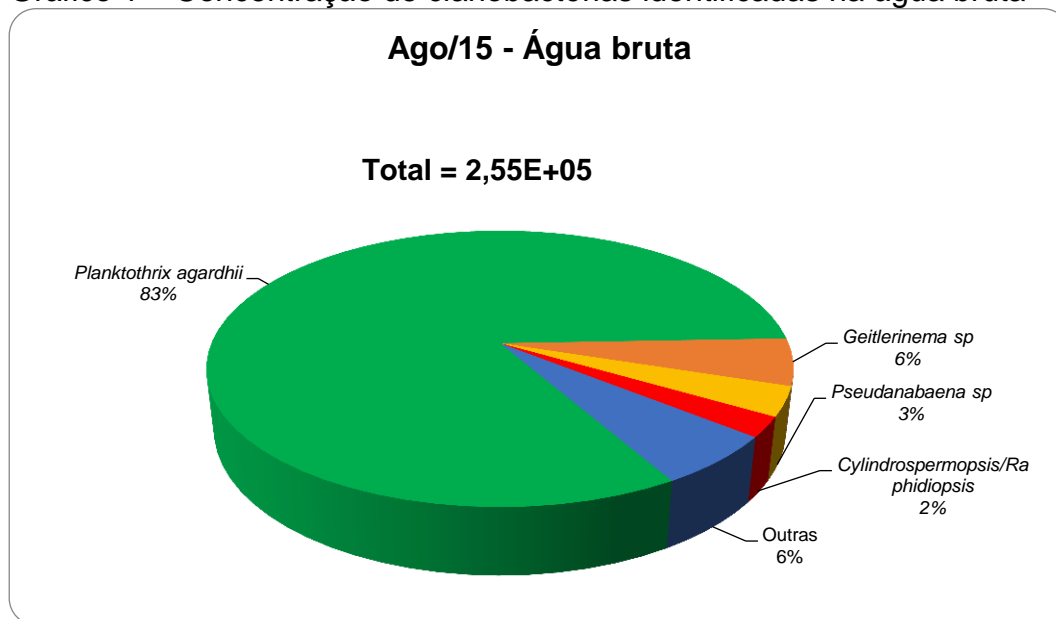
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2 Identificação das cianobactérias presentes no açude Gavião

Ao longo do período da amostragem (agosto de 2015 a dezembro de 2015) foram identificadas diversas espécies de cianobactérias em todas as etapas de tratamento de água, desde água bruta até a desinfectada. É importante ressaltar que somente na primeira coleta, não foram captadas as amostras de água filtrada devido a problemas operacionais.

Na Tabela 6 constam todas as coletas efetuadas e um resumo de todas as cianobactérias identificadas. Para uma melhor visualização das cianobactérias presentes na água bruta feita em agosto/15 apresenta-se o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Ago/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

É notável a dominância da espécie *Planktothrix agardhii* perante todas as outras, seguida dos gêneros *Geitlerinema sp* e *Pseudanabaena sp*, nas amostras de água bruta.

Quanto às amostras de água desinfetada percebe-se uma diversidade maior de gêneros ou espécies de cianobactérias, o que já era esperado, pois como na água bruta a contagem foi feita geralmente por campos e, na maioria das vezes, com somente três campos contados já atingiu a quantidade de 100 organismos da cianobactéria dominante. Já na água desinfetada, a contagem foi feita por faixa (uma faixa contém 50 campos) para se conseguir 100 ou mais organismos da cianobactéria dominante, sendo assim, a diversidade de organismos encontrados nas amostras de água tratada foi maior do que na amostra de água bruta.

Tabela 6 – Cianobactérias identificadas no açude Gavião ao longo do período de amostragem

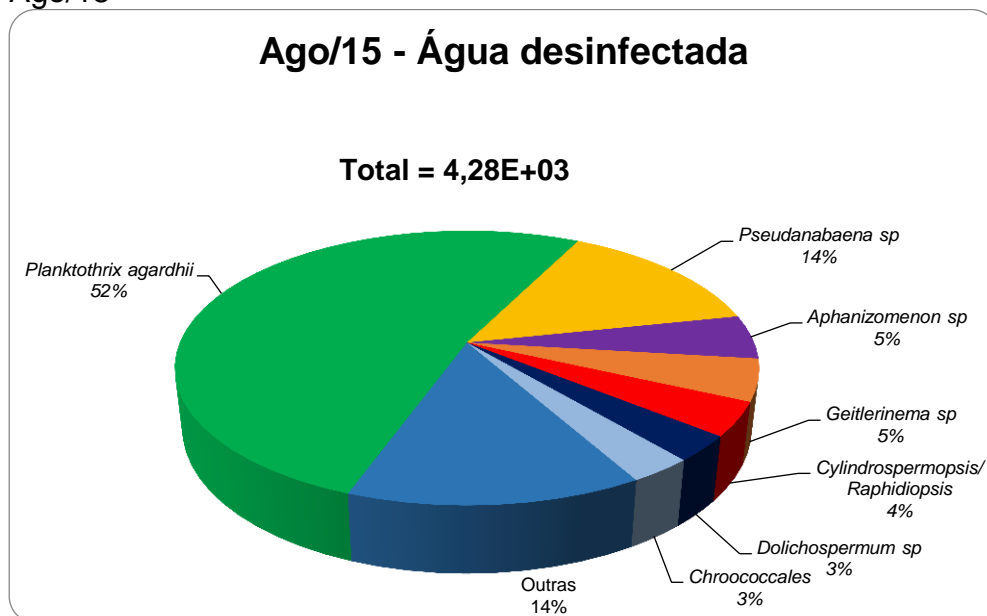
TÁXONS	Ago/15				Set/15					Out/15					Nov/15					Dez/15				
	B	C	P	D	B	C	P	F	D	B	C	P	F	D	B	C	P	F	D	B	C	P	F	D
<i>Anabaenopsis sp</i>	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aphanizomenon sp.</i>	***	***	***	**	****	***	***	**	**	**	**	**	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aphanocapsa sp</i>	-	-	-	-	****	-	***	**	**	****	****	****	***	**	***	****	***	***	***	***	***	***	**	**
<i>Chroococcales</i>	**	**	**	*	***	***	***	**	**	***	***	***	***	***	**	***	**	**	**	-	-	-	**	**
<i>Coelomoron sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	***	***	**	**	***	***	***	***	**
<i>Cuspidotrix sp</i>	***	***	***	*	***	**	***	-	*	***	***	***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cylindrospermopsis phillippinensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	**	**	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	-	-	-	-	***	***	***	*	*	**	***	***	-	*	-	-	-	-	-	**	**	**	-	-
<i>Cylindrospermopsis/Raphidiopsis sp.</i>	***	***	***	**	****	***	***	**	**	****	****	****	***	***	****	****	****	**	**	****	****	****	**	**
<i>Dolichospermum sp</i>	-	**	**	*	***	***	***	**	**	**	**	***	*	*	-	***	-	*	*	**	**	**	*	*
<i>Geitlerinema sp.</i>	****	****			***	***	***	-	*	***	***	***	**	**	****	****	****	**	**	***	***	**	*	*
<i>konvophoron sp</i>	**	**	**	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	-	***	*	-	**	***	-	-	*	***	***	***	**	**	**	**	-	-	-
<i>Planktolyngbia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	***	**	*	***	***	***	**	**	***	***	***	*	*
<i>Planktothrix agardhii</i>	****	****	****	***	****	****	****	***	***	****	***	***	**	**	***	****	****	*	**	****	***	***	**	*
<i>Pseudanabaena sp.</i>	***	***	***	***	****	***	***	**	**	****	****	***	***	***	***	****	***	***	***	***	****	***	***	***
<i>Sphaerocavum sp.</i>	***	-	-	*	***	**	***	**	**	-	-	***	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synechocystis sp</i>	-		*	*	-	-	**	-	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Woronichia sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	**	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Observação<sup>1</sup>: B- Água bruta, C – Água coagulada, P – Água pré-oxidada, F- Água filtrada e D- Água desinfetada.

Observação<sup>2</sup> (-) – Nenhum organismo encontrado; (\*) – Concentração na ordem de E+01; (\*\*) – Concentração na ordem de E+02; (\*\*\*) – Concentração na ordem de E+03; (\*\*\*\*) – Concentração na ordem de E+04; (\*\*\*\*\*) – Concentração na ordem de E+05.

Gráfico 2 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Ago/15

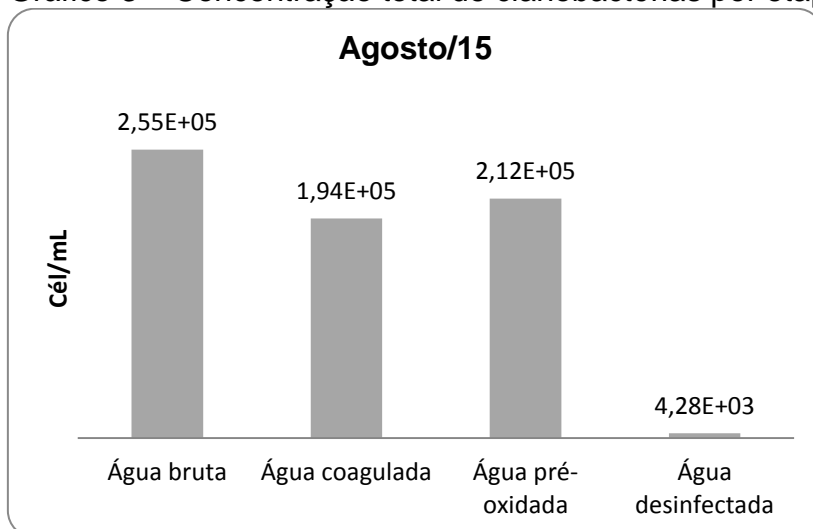


Fonte: Elaborado pelo autor.

Feita a análise do Gráfico 2, nota-se que a proporção de *Planktothrix agardhii*, ainda é alta, porém diminuiu bastante, enquanto que a *Pseudanabaena sp*, inicialmente representava 3% de todas as cianobactérias presentes, na água tratada, essa proporção sobe para 14%. Esse fenômeno pode ser explicado provavelmente pela morfologia do gênero *Pseudanabaena sp*. ser mais facilmente retida pelos filtros da estação de tratamento.

Quando analisamos a concentração por etapa, é notável no Gráfico 3, uma considerável remoção na quantidade de cianobactérias presentes na água bruta a partir da etapa de filtração.

Gráfico 3 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Ago/15

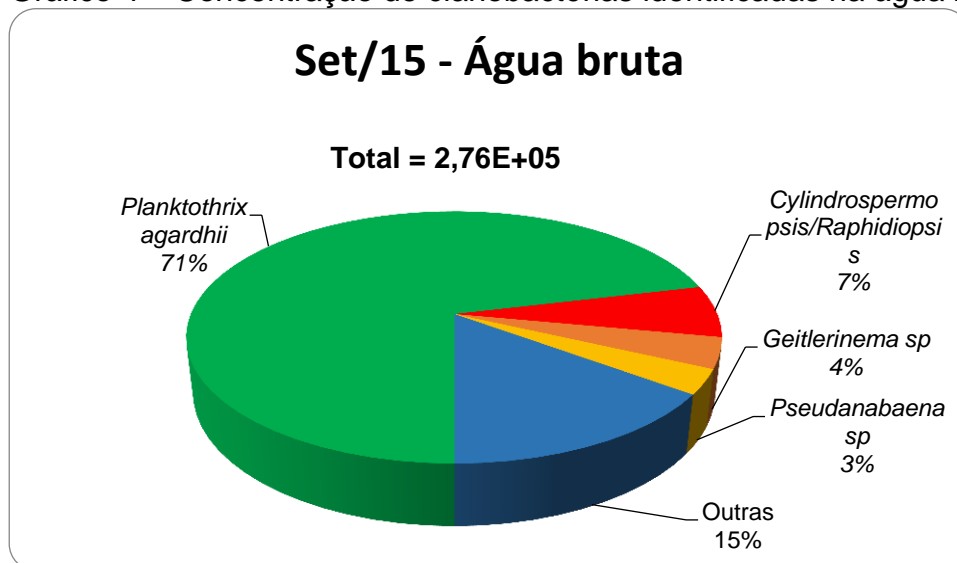


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a constatação de predominância de determinado gênero ou espécie de cianobactéria, considera-se na hora da análise a quantidade de organismos identificados, não o número de células/mL, pois organismos da ordem *chroococcales*, por exemplo, possuem, em sua maioria, maior quantidade de células que organismos filamentosos, contudo aparecem em menor quantidade.

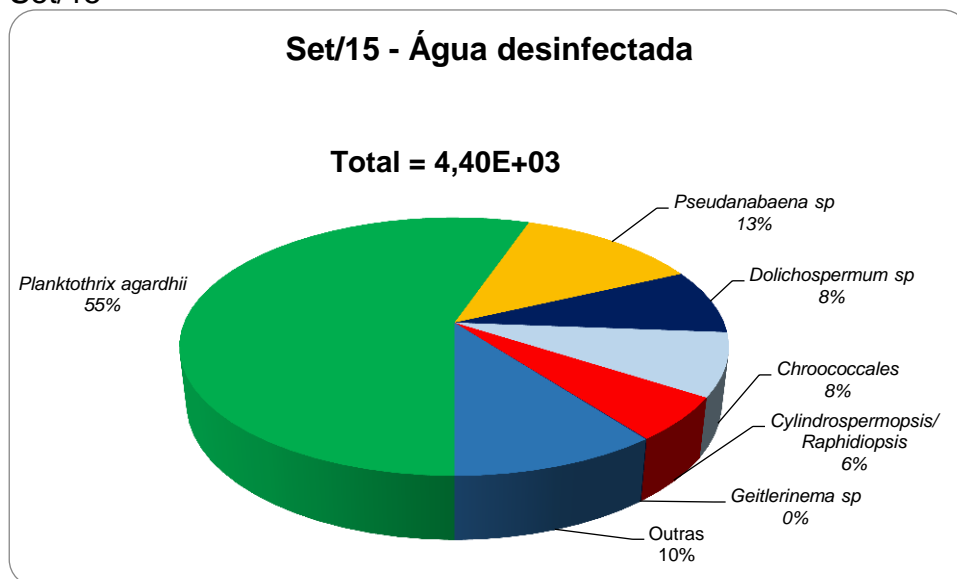
As amostras de água bruta de setembro de 2015 apresentaram uma pequena alteração nos organismos predominantes, sendo estes *Planktothrix agardahii*, que sofreu um pequeno decaimento na sua predominância comparado a agosto/15, mas continua sendo a espécie dominante do açude Gavião, e observa-se a ascensão da *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, antes pouco significativa em relação as outras (Gráfico 4). Na água tratada, novamente, a *Pseudanabaena sp*, parece ser o gênero que mais permanece depois do tratamento, mesmo com a predominância da *Planktothrix agardahii* ser bem evidente na água bruta. Essa cianobactéria diminui sua proporção ao final da etapa de tratamento, enquanto a *Pseudanabaena sp*. tem sua proporção aumenta (Gráfico 5).

Gráfico 4 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Set/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

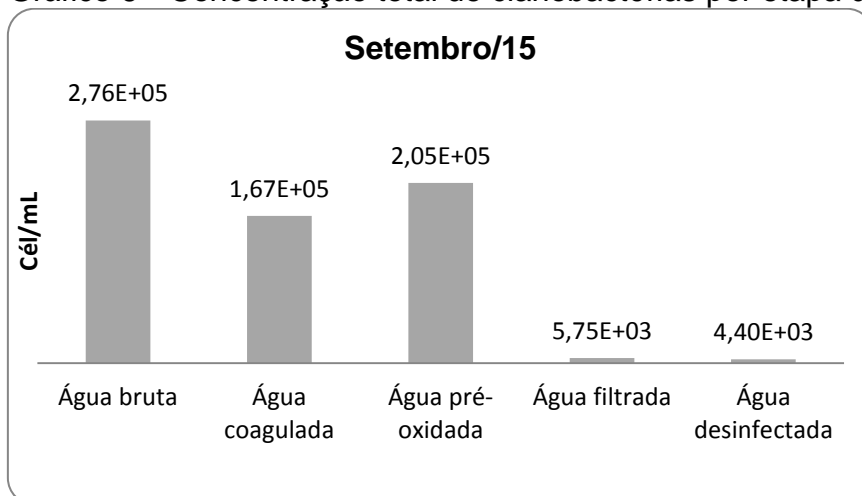
Gráfico 5 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Set/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Não existem grandes alterações na concentração total de cianobactérias nas diversas fases de tratamento comparado o mês anterior (Gráfico 6).

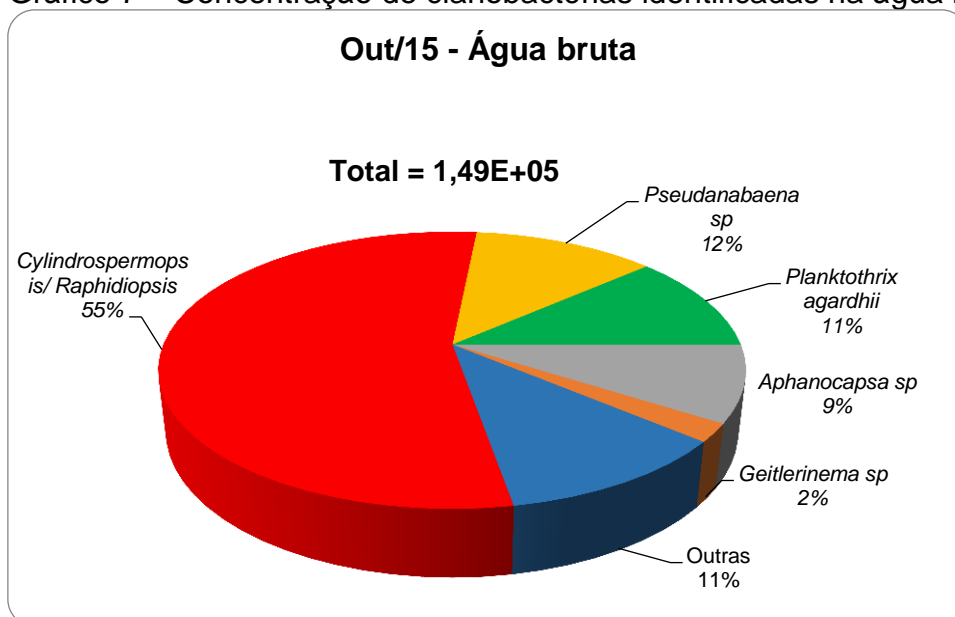
Gráfico 6 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível observar na coleta de outubro/15 que os organismos cianobactérias predominantes na água bruta do açude Gavião mudaram quase que completamente, sendo nesta coleta os gêneros *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, *Pseudanabaena sp* e a *Planktothrix agardhii* as espécies predominantes, enquanto antes a *Planktothrix agardhii* aparecia soberana sobre todas as outras espécies (Gráfico 7). Coincidentemente em meados de agosto e início de setembro a COGERH foi obrigada a importar do açude Castanhão quase que 100% do consumo da água do açude Gavião, podendo isso ter sido a causa desta mudança brusca da cianobactéria dominante.

Gráfico 7 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Out/15

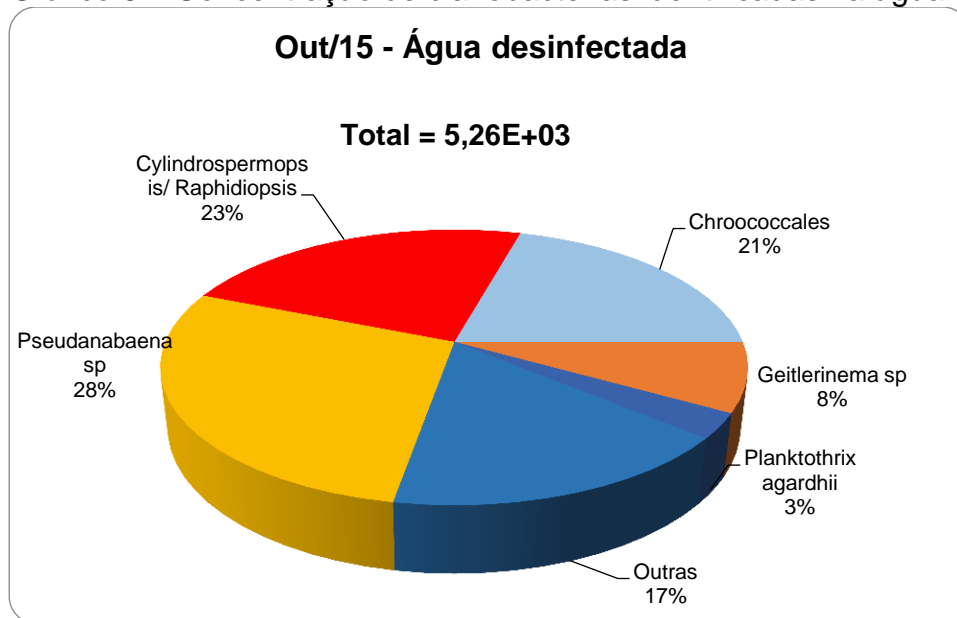


Fonte: Elaborado pelo autor.



Com a mudança brusca nos organismos presentes na água bruta do reservatório Gavião, nota-se que o gênero *Pseudanabaena* sp. aparece como organismo dominante na água tratada (Gráfico 8).

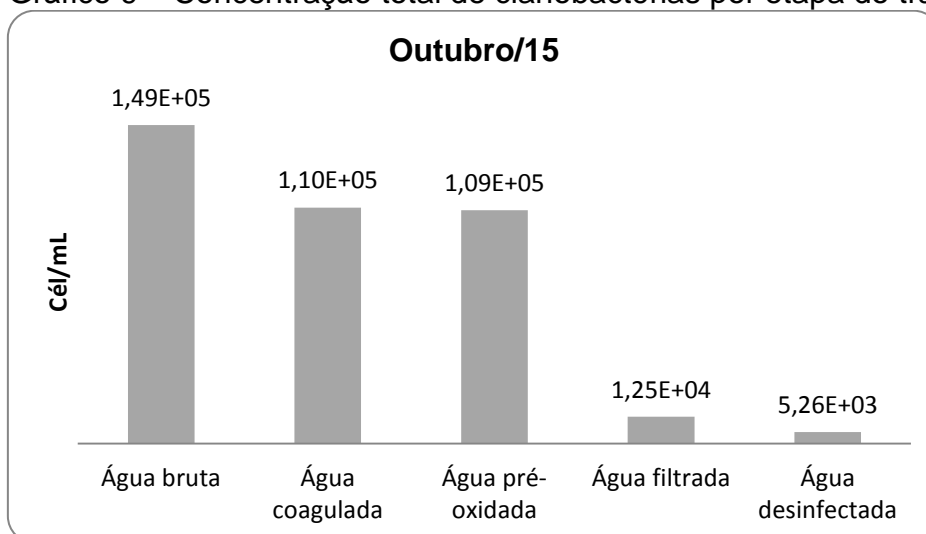
Gráfico 8 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Out/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, observa-se após a análise do Gráfico 9 uma queda significativa da quantidade total de cianobactérias presentes no açude Gavião, cerca de 50%, o que pode ser atribuído ao decaimento brusco da concentração de espécie *Planktothrix agardhii* que pode ter sido ocasionado pela importação de águas do açude Castanhão. Essa informação pode sugerir que a água que vem do açude Castanhão, induz não só a mudança do fitoplankton dominante, mas também a diminuição das cianobactérias no açude Gavião.

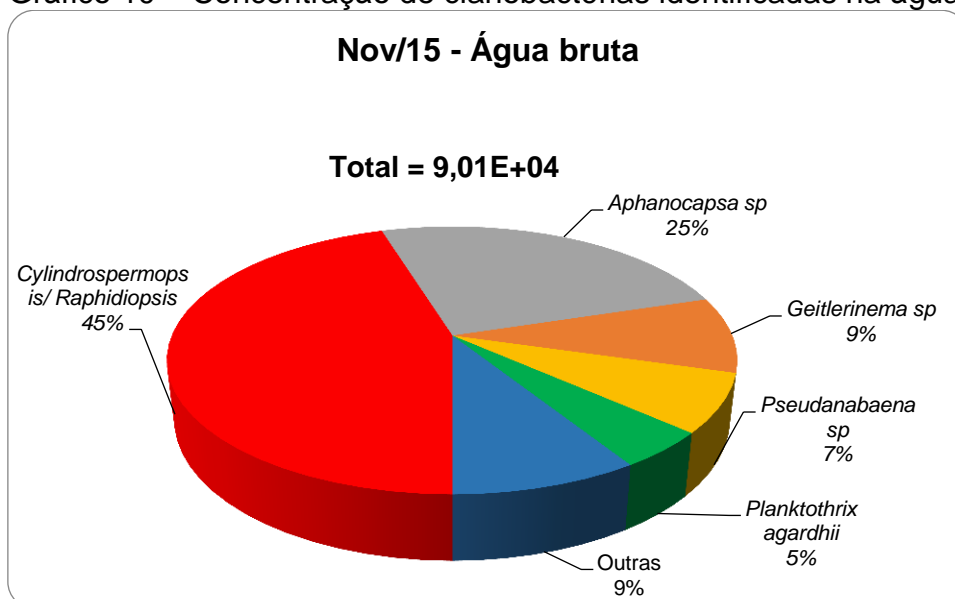
Gráfico 9 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Out/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na coleta efetuada em novembro/15, o organismo dominante permaneceu sendo a *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, nota-se também o aparecimento do gênero *aphanocapsia sp.* da ordem chroococcales (Gráfico 10).

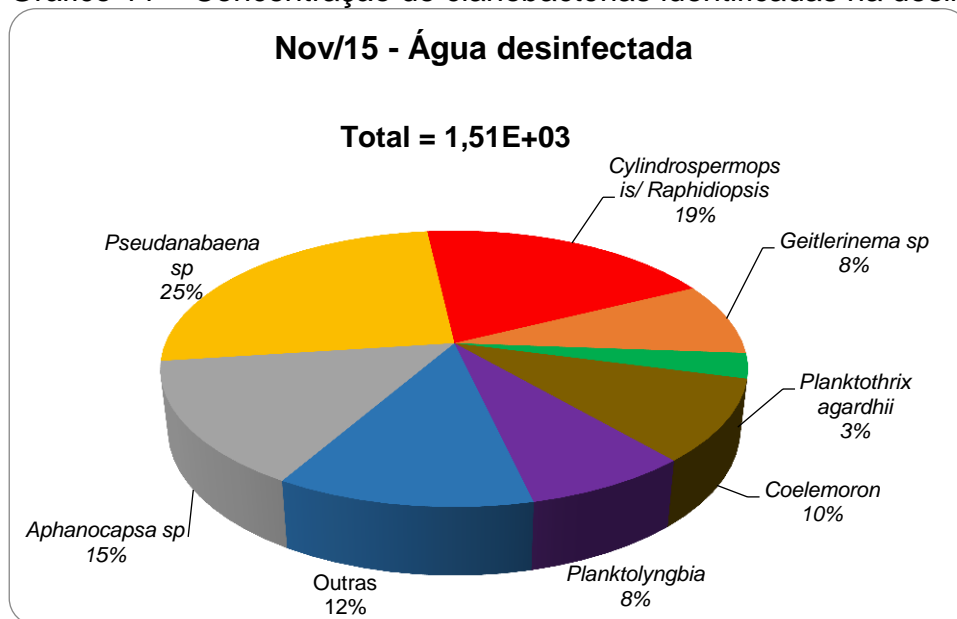
Gráfico 10 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Nov/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Há a permanência da *aphanocapsa sp.* na água desinfetada, porém a dominante, continua sendo a *Pseudanabaena sp* (Gráfico 11). Como estudamos organismos vivos, é comum a ocorrência de alterações de organismos existentes nas amostras.

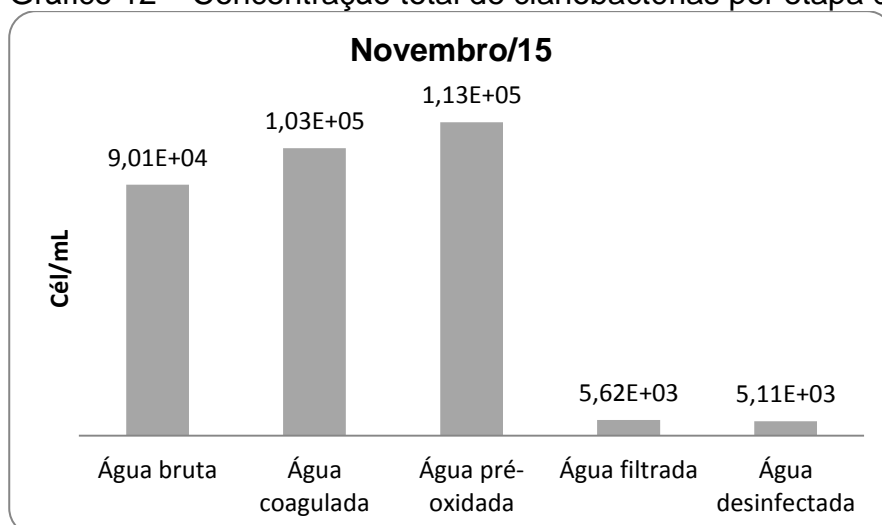
Gráfico 11 – Concentração de cianobactérias identificadas na desinfectada – Nov/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração de cianobactérias no reservatório continua decaindo ao longo do período de amostragem (Gráfico 12), pois observa-se que a concentração média de cianobactérias na água bruta em novembro era de  $9,01E+04$  (cél/mL), enquanto que em outubro, a concentração era de  $1,04E+05$  (cél/mL), logo ocorreu uma redução de aproximadamente 15% na concentração de cianobactérias no açude.

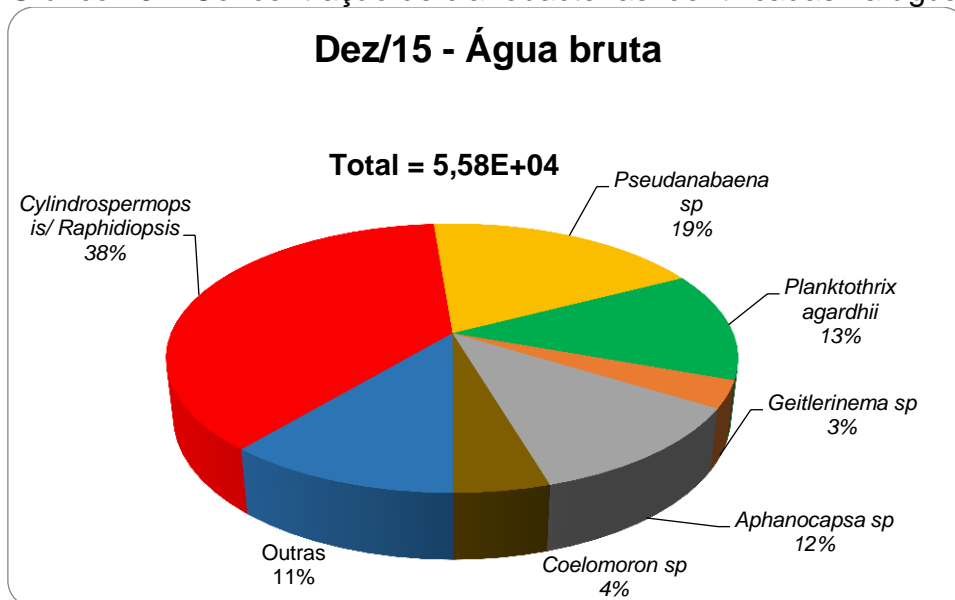
Gráfico 12 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento – Nov/15



Fonte: Elaborada pelo autor.

E por fim, as *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, *Pseudanabaena sp* e *Planktothrix agardhii* foram as cianobactérias dominantes da última coleta (Gráfico 13).

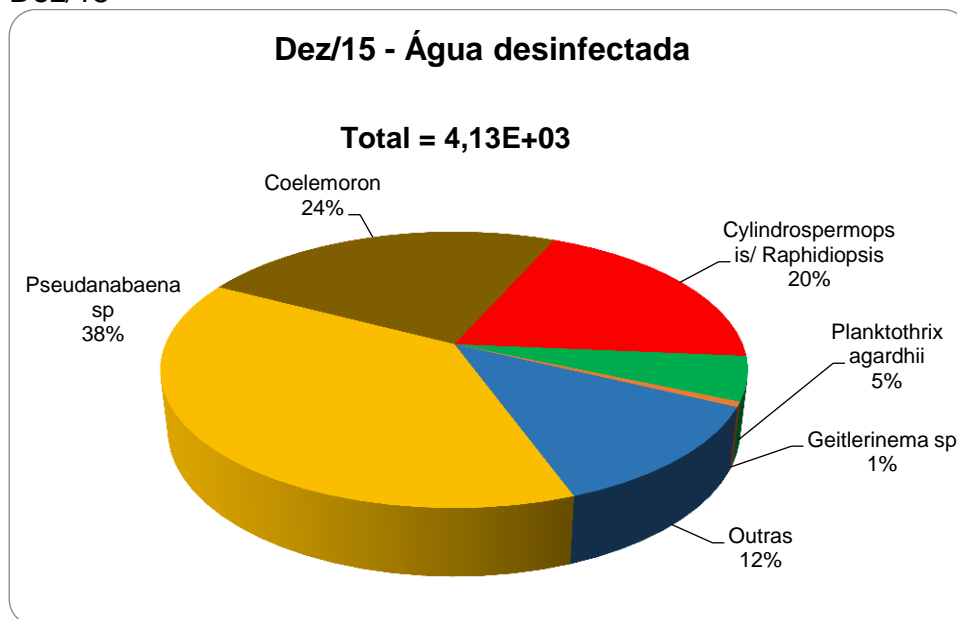
Gráfico 13 – Concentração de cianobactérias identificadas na água bruta – Dez/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se a predominância da *Pseudanabaena sp*. mais uma vez, como organismo dominante na água desinfetada (Gráfico 14). Além do contínuo decaimento na concentração de cianobactérias na água bruta do reservatório que abastece a ETA – Gavião.

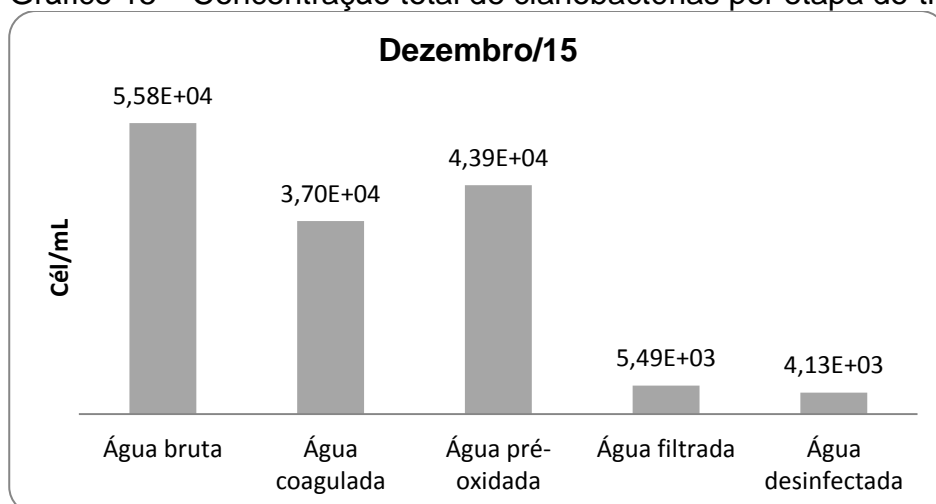
Gráfico 14 – Concentração de cianobactérias identificadas na água desinfectada – Dez/15



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração total de cianobactérias continuou caindo na água bruta, chegando ao final do período de amostragem a uma concentração 78,12% menor comparada ao início, em agosto de 2015. Contudo, quando se analisa a concentração a água desinfectada, não existem grandes variações.

Gráfico 15 – Concentração total de cianobactérias por etapa do tratamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo a portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, quando a densidade de cianobactérias exceder 20.000 células/mL ( $2,0E+04$ ), deve-se realizar análise de cianotoxinas na água do manancial, no ponto da captação, com

frequência semanal. Tendo em visto que a concentração média de cianobactérias na bruta foi de  $1,65E05$  cél/mL, e a concentração mínima de cianobactérias no açude Gavião foi em dezembro de 2015 de  $5,58E+04$ , é constatada a necessidade de análise de cianotoxinas na água do manancial.

De acordo com FUNASA (2003), existem níveis de alerta para monitoramento de cianobactérias apresentados na Tabela 7.

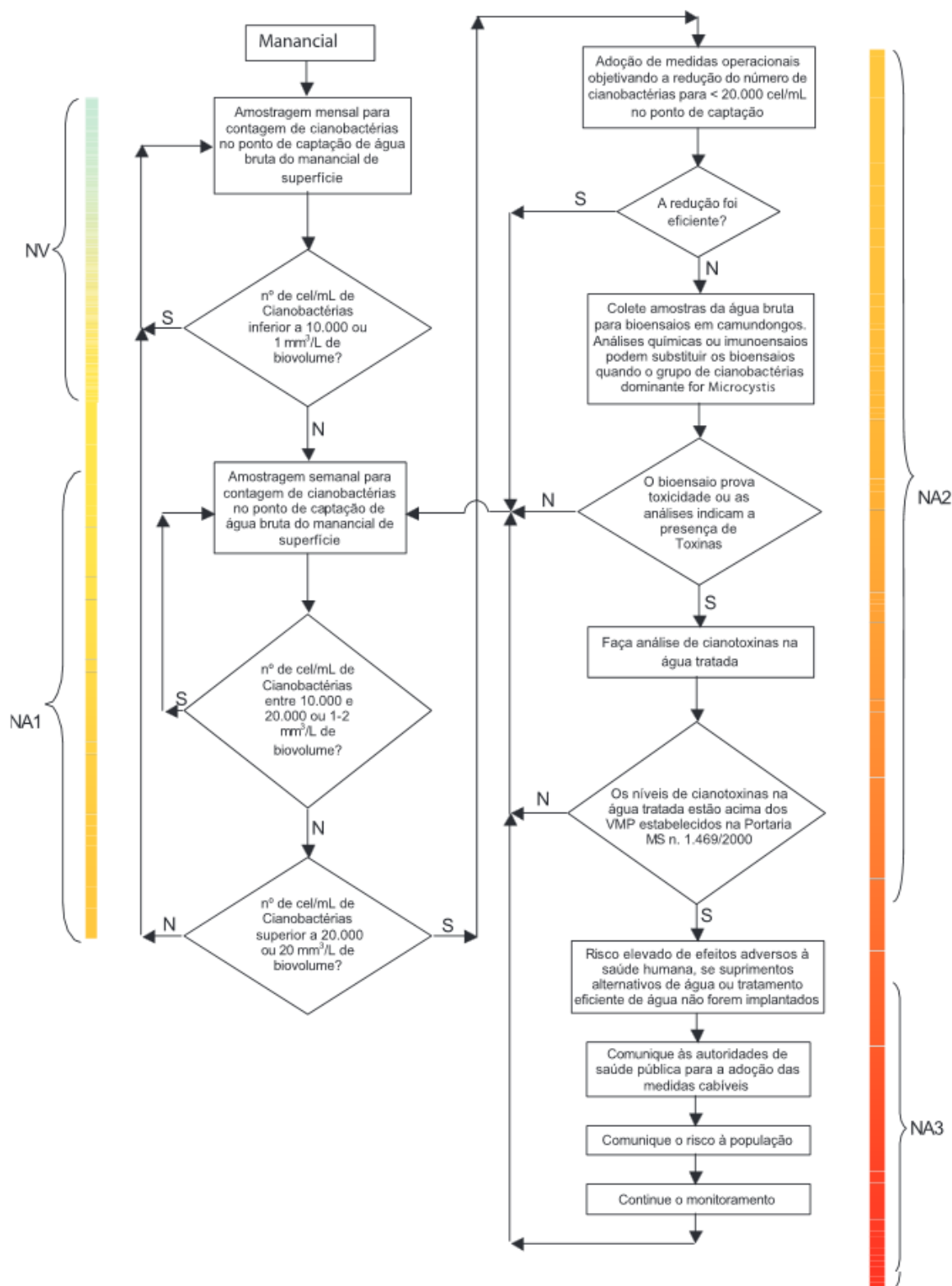
Tabela 7 – Níveis de alerta concentração de cianobactérias

Nível	Concentração	Unidade
Vigilância	Até $1,0E+04$	Cél/mL
Alerta 1	De $1,0E+04$ até $2,0E+04$	Cél/mL
Alerta 2	De $2,0E+04$ até $1,0E+05$	Cél/mL
Alerta 3	Maior que $1,0E+05$	Cél/mL

Fonte: Elaborada pelo autor.

No estágio de vigilância, já podem ser detectados sabor e odor desagradável. O nível de alerta 3 caracteriza-se pela presença de uma floração tóxica bem definida no manancial, com risco iminente para a saúde da população. A Figura 12 apresenta um representativo das medidas de monitoramento recomendadas de acordo com os níveis de alerta. Logo, pode-se constatar que o reservatório Gavião encontrava-se até novembro em nível de alerta 3, mas em dezembro passou a apresentar nível 2 de alerta.

Figura 12 – Fluxograma do monitoramento de cianobactérias em sistemas de abastecimento de água



Fonte: FUNASA (2003).

Pode-se dizer também, após análise dos gráficos, que a etapa de remoção de cianobactérias é a etapa de filtração, pouco mudando a sua concentração em relação à adição do produto de desinfecção, que no caso é o Cloro. Quanto às informações obtidas nas datas das coletas, foi possível notar que os produtos adicionados à água para o auxílio do tratamento, apresentados na Tabela 8, pouco variaram ao longo do período de amostragem, podendo então constatar que não tiveram influência significativa na concentração de cianobactérias ao longo do processo de tratamento de água e não houve diminuição na dosagem dos produtos químicos com a melhora na concentração de cianobactérias no açude.

Tabela 8 – Produtos químicos auxiliares no tratamento da água no Gavião

	Ago/15	Set/15	Out/15	Nov/15	Dez/15	Unidade
Vazão	30960	29160	29520	29520	27720	m <sup>3</sup> /h
PAC	3,9	3	4	4	4,2	ppm
POLI	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	ppm
Dióxido	0,38	0,8	0,8	0,8	0,5	ppm
Cloro	S/D	3,4	3,5-4	3,5-4	7	ppm

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observação<sup>1</sup>: PAC – Hidróxi-cloreto de alumínio; POLI – Polímero; Dióxido – Dióxido de cloro.

Observação<sup>2</sup>: S/D – Sem dado.

Na Tabela 8 é possível notar que não houve variações significativas nos parâmetros de potabilidade como a cor e o pH, contudo, observa-se o decaimento da turbidez na água bruta a partir de outubro de 2015, enquanto na água desinfetada, a turbidez não parece ter sofrido elevadas alterações. A turbidez é medida de acordo com a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, ocasionado por partículas em suspensão na água. Coincidentemente, a turbidez decaiu a partir do mesmo período do decaimento da concentração de cianobactérias no açude Gavião, o que podemos constatar que a elevada concentração de cianobactérias na água bruta pode estar interferindo na turbidez.



Tabela 9 – Parâmetros de potabilidade da ETA – Gavião

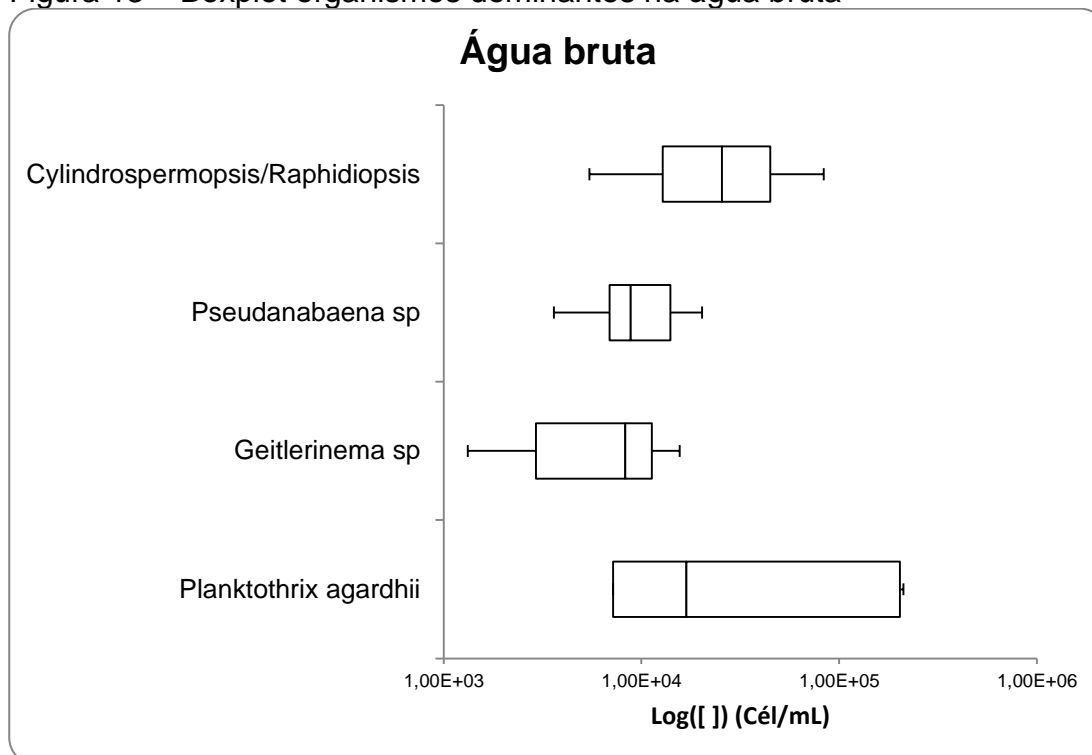
Data	Ago/15			Set/15			Out/15			Nov/15			Dez/15		
Dados	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C
Turbidez	0,38	7,09	7,02	0,33	6,92	7,99	0,37	4,82	5,44	0,44	4,51	5,46	0,4	4,76	5,22
Cor	2	60	40	2	50	30	2	50	30	2	50	30	2	50	30
pH	7,63	8,41	7,79	7,41	8,32	7,68	7,54	8,46	7,65	7,54	8,24	7,72	7,7	8,21	7,75

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observação<sup>1</sup>: D – Água desinfectada; B – Água bruta e C – Água coagulada.

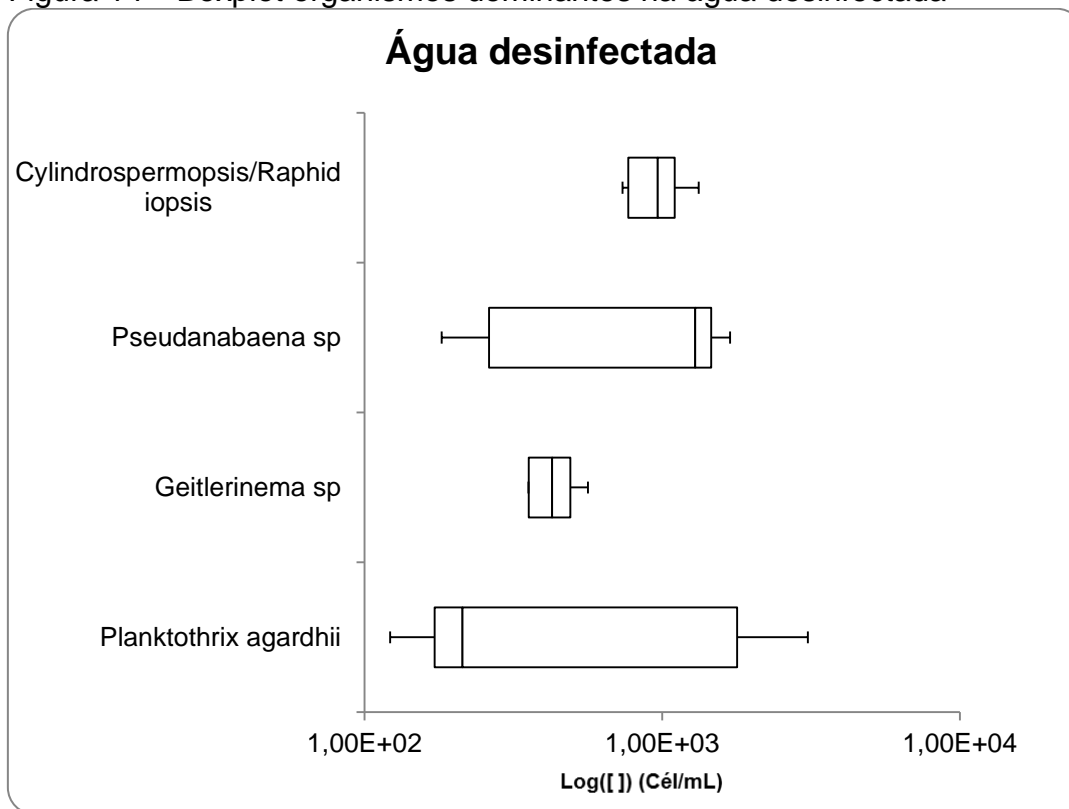
Para avaliar a distribuição dos dados, considerando todo o período de amostragem foi utilizado a Figura 13 para os organismos dominantes na água bruta e Figura 14 para os da água desinfectada. Com estes, é possível notar a existência de uma grande variabilidade na concentração da espécie *Planktothrix agardhii*, tanto na água bruta, quanto na tratada, já na *Pseudanabaena sp* a variabilidade das concentração desse gênero é relativamente pequena no começo do processo de tratamento, mas é maior no final. Os demais organismos predominantes no açude não apresentaram elevada variação, que foi diminuída ao longo do tratamento.

Figura 13 – Boxplot organismos dominantes na água bruta



Fonte: Elaborado pelo autor.

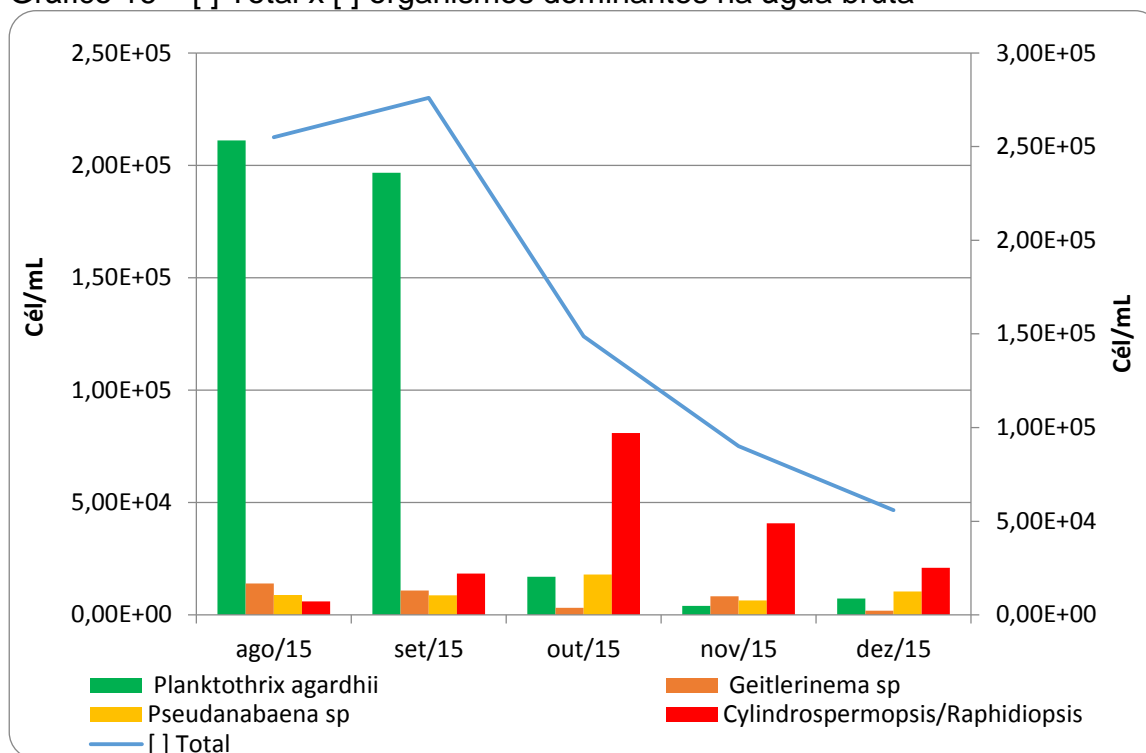
Figura 14 – Boxplot organismos dominantes na água desinfectada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao longo do período de amostragem, foi observada a ocorrência de uma considerável queda na concentração total de cianobactérias no reservatório. Além de uma mudança significativa na concentração da espécie dominante ao longo das coletas. Inicialmente, a espécie com maior quantidade de organismos e maior concentração por mL era a *Planktothrix agardhii*, mantendo a dominância até a coleta de setembro de 2015, contudo foi observada uma mudança brusca da espécie dominante, que a partir da coleta de outubro, passa a ser a *Cylandrospermopsis/Raphidiopsis*. Ocorre uma queda expressiva na concentração de *Planktothrix agardhii* e a floração, que consiste no crescimento exagerado, da *Cylandrospermopsis/Raphidiopsis* na coleta de setembro/15, mantendo esse padrão até as últimas amostras (Gráfico 16). Segundo informações obtidas na CAGECE (Relatório interno, 2016), houve a partir de agosto de 2015 o início do bombeamento de água do Castanhão para o açude Gavião, o que teoricamente explicaria a mudança na dominância organismos presentes no açude.

Gráfico 16 – [ ] Total x [ ] organismos dominantes na água bruta



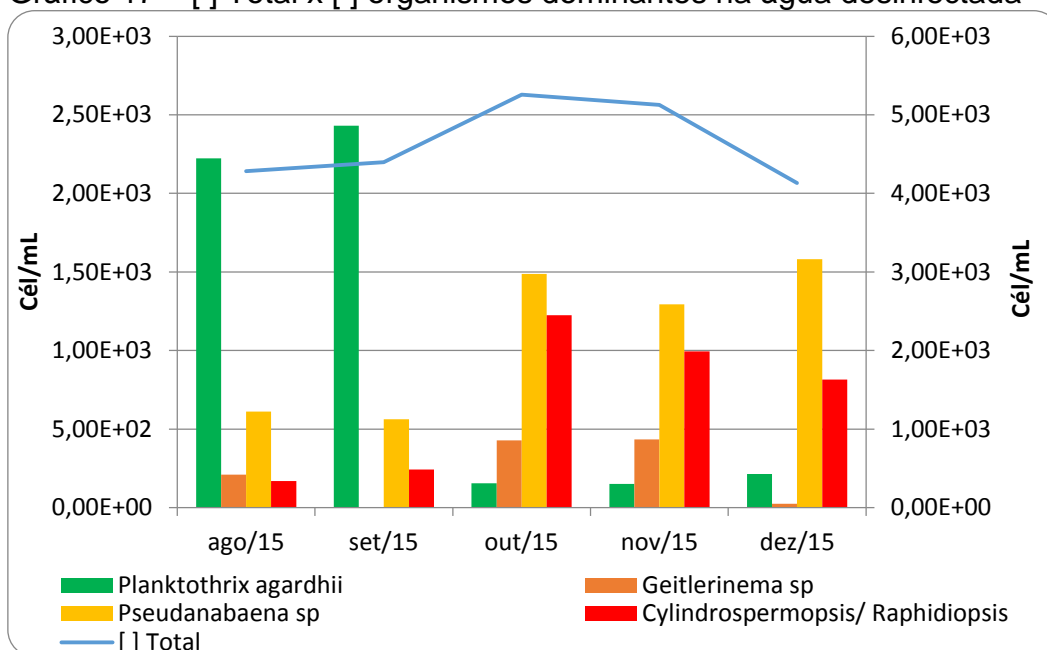
Fonte: Elaborado pelo autor.

[ ] – Concentração

Quando analisado o Gráfico 17 relativo à concentração total de organismos presentes na água desinfetada em comparação a concentração de organismos predominantes do reservatório, percebe-se que a concentração de cianobactérias após a etapa de desinfecção elevou-se concomitantemente com a mudança drástica dos organismos presentes, mas retorna a cair em dezembro de 2015.

Após análise do Gráfico 17, percebe-se que a concentração de cianobactérias na água tratada varia, entre as coletas, no máximo 20%, não sofrendo grandes variações, apesar da concentração de cianobactérias na água bruta ter diminuído consideravelmente ao longo do período de amostragem. Logo, é possível levantar a hipótese de que existe uma concentração máxima de cianobactérias que os filtros conseguem reter, o que explicaria o fato de que mesmo a concentração de cianobactérias da água bruta tenha sofrido grandes variações, pouco influenciou na concentração de cianobactérias na água tratada.

Gráfico 17 – [ ] Total x [ ] organismos dominantes na água desinfectada



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3 Análise da eficiência de remoção de cianobactérias da ETA-Gavião

Quando é feita análise em relação à remoção de cianobactérias em todas as etapas de tratamento, não foi possível constatar que um padrão em relação a remoção entre a água bruta e a etapa de pré-oxidação. As variações de concentrações observadas (cerca de 20% para mais ou para menos) podem ser atribuídas ao erro envolvido no próprio método de análises. Quando são analisados os percentuais de remoção na de filtração (etapa 3-4), é fácil visualizar que existe um padrão de elevados percentuais de remoção, sendo claramente esta a etapa a responsável pela remoção desses organismos (Tabela 11).

Tabela 10 – Remoção por etapa de tratamento

Data	Remoção			
	Etapa 1-2	Etapa 2-3	Etapa 3-4	Etapa 4-5
Ago/15	23,86%	-9,00%	97,98%	-
Set/15	39,34%	-22,50%	97,19%	23,60%
Out/15	25,93%	1,10%	88,57%	57,81%
Nov/15	-14,52%	-9,03%	95,00%	9,03%
Dez/15	33,70%	-18,66%	87,50%	24,72%

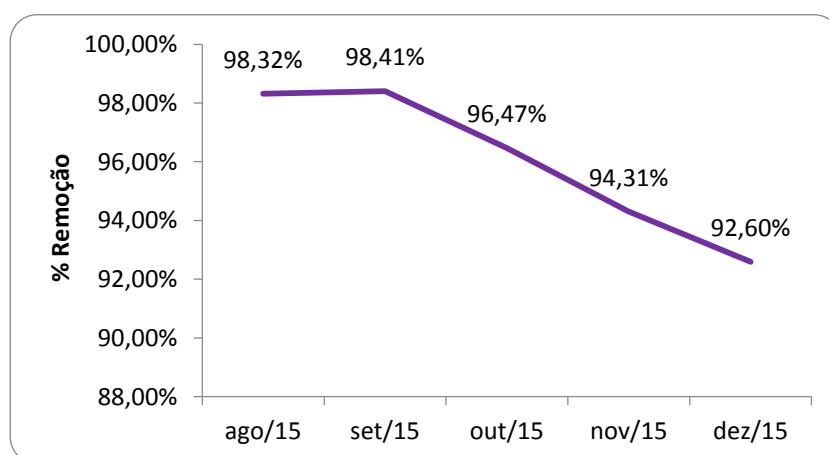
Fonte: Elaborada pelo autor.

Observação<sup>1</sup>: (\*) - Remoção entre a água pré-oxidada e a água desinfectada.

Observação<sup>2</sup>: Etapa 1: Água bruta; Etapa 2: Água coagulada; Etapa 3: Água pré-oxidada; Etapa 4: Água filtrada; Etapa 5: Água desinfetada.

Tendo em vista que houve uma mudança na concentração total de cianobactérias existentes no açude e nos organismos ali presentes, pode-se perceber, também, que ocorreu uma alteração na eficiência de remoção total de cianobactérias presentes no reservatório ao longo do período de amostragem conforme apresentado no Gráfico 18, sendo inicialmente bastante satisfatória, porém decaindo ao longo das amostras, o que nos leva a levantar a hipótese de que a eficiência na remoção de cianobactérias da ETA-Gavião pode está relacionada aos organismos presentes no início do tratamento.

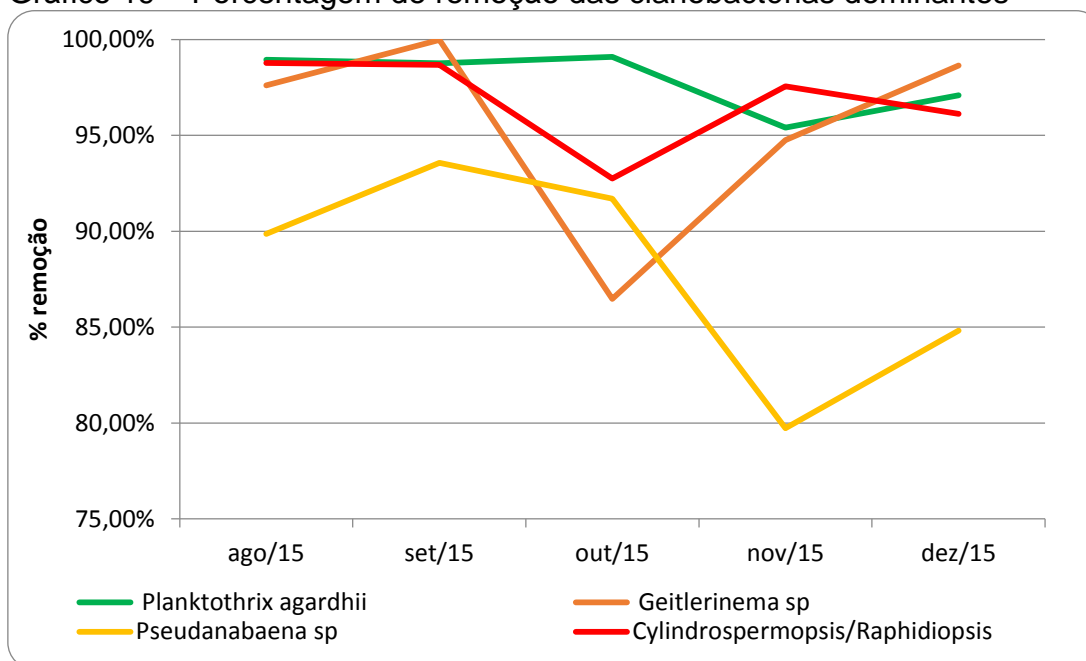
Gráfico 18 – Remoção total de cianobactérias ETA-Gavião



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta hipótese é fortalecida quando se analisa o Gráfico 19 e percebe-se que dentre as porcentagem de remoção de cianobactérias, a *Pseudanabaena sp.* é a que possui menores índices de remoção em quase todas as coletas realizadas.

Gráfico 19 – Porcentagem de remoção das cianobactérias dominantes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 foi elaborada de acordo com dados extraídos da Unidade ambiental de saúde, Victoria, Austrália, e Sant'Anna (2012), a qual traz informações a respeito da morfologia das cianobactérias mais encontradas no reservatório. Alguns organismos foram classificados somente pelos gêneros devido à falta de ferramentas ou chaves de identificação visíveis necessárias para a determinação da espécie exata da cianobactéria. Mesmo assim, é possível notar que o gênero *Pseudanabaena sp.* possui o menor volume celular, diâmetro e comprimento em relação as outras cianobactérias, sendo o da *Planktothrix agardhii* o maior biovolume e o diâmetro da célula dentre todas analisadas. Essa diferença em volume e tamanho pode justificar as diferenças nas remoções observadas.

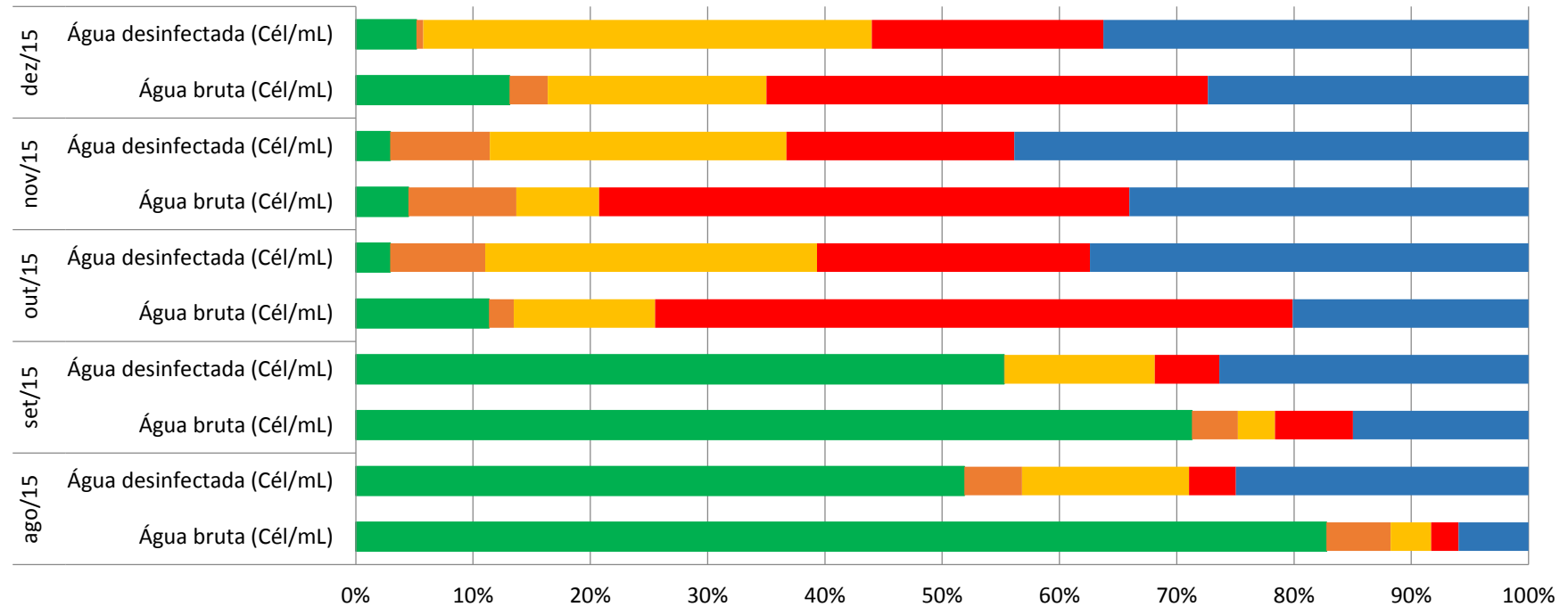
Tabela 11 – Informações sobre as cianobactérias dominantes

CYANOBACTERIA	Volume celular ( $\mu\text{m}^3$ ) <sup>2</sup>	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )
<i>Cylandrospermopsis raciborskii</i>	42	2-3	7-11
<i>Geitlerinema splendidum</i>	22	2-3,1	4-9
<i>Geitlerinema unigranulatum/amphibium</i>	23	1-3	2-7
<i>Planktothrix agardhii</i>	47	4-5	2,5-4
<i>Pseudanabaena galeata</i>	14	1-1,16	2-4
<i>Pseudanabaena limnetica/catenata</i>	11	1,8-2	3-4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para finalizar, o Gráfico 20 traz um resumo das concentrações e porcentagens das cianobactérias presentes no reservatório e na água tratada, ficando mais claro o decaimento bruto da *Planktothrix agardhii* e a floração da *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis* a partir de outubro de 2015, o que merece atenção, pois existem diversos estudos como exemplo JOHNSON et al., 2008 RONEY et al., 2009 e LOPES (2013) que comprovam potencialidade de produção de toxina da espécie *Cylindrospermopsis racibokii* pertencente a esse gênero, e também, a permanência do gênero *Pseudanabaena sp.* Em agosto de 2015, cerca de 80% das cianobactérias presentes no açude e mais de 50% presente na água tratada, eram somente da espécie *Planktothrix agardhii*, pouco alterado no mês seguinte. A partir de Outubro, percebe-se essa concentração caindo para 10% do total de cianobactérias no açude e cerca de 5% na água tratada, influenciando diretamente na concentração de cianobactérias no açude, que sofre um decaimento de quase 50%. A partir deste mês, e percebe-se que a *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis* que antes era responsável por, aproximadamente, 5% das cianobactérias do reservatório, passa a dominar o açude com a presença de cerca de 50% das cianobactérias presentes.

Gráfico 20 – Resumo proporção de cianobactérias encontradas ao longo do período de amostragem



	ago/15		set/15		out/15		nov/15		dez/15	
	Água bruta (Cél/mL)	Água desinfectada (Cél/mL)	Água bruta (Cél/mL)	Água desinfectada (Cél/mL)	Água bruta (Cél/mL)	Água desinfectada (Cél/mL)	Água bruta (Cél/mL)	Água desinfectada (Cél/mL)	Água bruta (Cél/mL)	Água desinfectada (Cél/mL)
■ Planktothrix agardhii	2,11E+05	2,22E+03	1,97E+05	2,43E+03	1,69E+04	1,54E+02	4,04E+03	1,50E+02	7,32E+03	2,13E+02
■ Geitlerinema sp	1,40E+04	2,10E+02	1,08E+04	2,18E+00	3,16E+03	4,27E+02	8,29E+03	4,35E+02	1,82E+03	2,47E+01
■ Pseudanabaena sp	8,77E+03	6,11E+02	8,75E+03	5,63E+02	1,79E+04	1,49E+03	6,38E+03	1,29E+03	1,04E+04	1,58E+03
■ Cyndrospermopsis/Raphidiopsis	6,00E+03	1,70E+02	1,84E+04	2,42E+02	8,09E+04	1,22E+03	4,07E+04	9,94E+02	2,10E+04	8,16E+02
■ Outras	1,52E+04	1,07E+03	4,13E+04	1,16E+03	2,99E+04	1,97E+03	3,07E+04	2,24E+03	1,53E+04	1,50E+03

Fonte: Elaborado pelo autor.



## 5. CONCLUSÃO

Observou-se durante o período de amostragem que a espécie *Planktothrix agardhii* era a dominante no açude Gavião, sendo esta responsável pela grande concentração de cianobactérias presentes, pois cerca de 80% da concentração de cianobactérias no açude, era da espécie da *Planktothrix agardhii*. Contudo, provavelmente devido à transposição de grande quantidade de água bruta do açude Castanhão ( em torno de 15 m<sup>3</sup>/s) para o sistema Gavião iniciada em finais de agosto de 2015, ocorreu uma mudança na concentração de cianobactérias presentes no açude. A espécie *Planktothrix agardhii* sofreu uma elevada diminuição de concentração enquanto o gênero *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis* apresentou um aumento significativo nas amostras coletas a partir de outubro de 2015.

Outra observação importante durante o período de estudo foi eficiência percentual de remoção de cianobactérias da ETA – Gavião a qual encontrava-se em torno de 98% no início do estudo, e ao longo da amostragem foi sendo reduzida até chegar cerca de 93%, em concomitância com a mudança dos organismos dominantes no açude,. Por outro lado, a concentração de cianobactérias encontradas na água tratada, pouco se alterou ao longo do período de amostragem permanecendo em torno de 10<sup>3</sup> cél/mL, mudando somente a dominância dos organismos presentes (de *Planktothrix agardhii* para *Pseudanabaena sp.*). A etapa de filtração foi responsável pela remoção das cianobactérias, e nos meses analisados não houve grandes variações de concentração de cianobactérias na água tratada mesmo com grandes variações na água bruta demonstrando uma robustez do tratamento. Notou-se que, dentre os organismos estudados, o gênero *Pseudanabaena sp.*, foi o organismo com menor índice de retenção, podendo ser atribuído este fato ao seu menor biovolume e tamanho celular, portanto recomenda-se aprofundamento dos estudos tanto quanto a identificação quanto a sua toxicidade. É importante salientar também a existência de diversos estudos que comprovam a potencial toxicidade da espécie *Cylindrospermopsis raciborski*, do gênero *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis*, presente e dominante nas coletas a partir de outubro de 2015.

Feitas essas considerações e devido à importância deste manancial, nosso estudo evidencia a necessidade de monitoramento mais aprofundado desta

comunidade fitoplanctônica tanto no açude Gavião, quanto da água aduzidos do açude Castanhão.

## 6. REFERÊNCIAS

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for Examination of Water & Wastwater.** 21<sup>st</sup> Edition. USA: Baltimore, Maryland, 2005.

AZEVEDO, S. M. F. O. Cianobacterias toxicas: causas e consequencias para saude publica. **Revista Virtual de Medicina. Vol 1.** No 3. Ano I. Jul/Ago/Set, 1998. publica. **Revista Virtual de Medicina. Vol 1.** No 3. Ano I. Jul/Ago/Set, 1998.

AZEVEDO, S. M.; CARMICHAEL, W. W.; JOCHIMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.; LAU, S.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. K. Human Intoxication By Microcystins During Renal Dialysis Treatment in Caruaru—Brazil. **Toxicology**, **661**, pp. 441–46, 2002.

BARROS, Mário Ubirajara Gonçalves. **Prospecção de cylindrospermopsis raciborskii em reservatórios no Ceará e efeitos da depleção de nutrientes na sua concentração celular.** 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BERNARDO, Luiz di; DANTAS, Angela di Bernardo. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 784 p.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gênero de Algas de Águas Continentais do Brasil chave de identificação e descrições.** Sao Paulo, Rima, 2006.

BICUDO, Carlos E. de M.; MENEZES, Mariângela (Org.). **Gêneros de Algas de Águas continentais do Brasil: Chave para identificação e descrições.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2006. 502 p.

BIOVOLUME calculator. Elaborado por Environmental Health Unit, Department of Human Services, Australia, Victoria. Disponível em: <[http://www.depi.vic.gov.au/\\_\\_data/assets/excel\\_doc/0008/176912/Biovolume-Calculator.xls](http://www.depi.vic.gov.au/__data/assets/excel_doc/0008/176912/Biovolume-Calculator.xls)>. Acesso em: 08 jan. 2016.

BOURRELY, P. **Les algues d'eau douce : Initiation à la systématique, I : les algues vertes.** Paris, N. Boubee, 1972.

BRASIL. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Norma Técnica CETESB L5.303.** Dispõe sobre a homologação da revisão da Norma Técnica L5.303 - Fitoplâncton de Água Doce - Métodos Qualitativo e Quantitativo (Método de Ensaio) - dez/2005. São Paulo, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Portaria nº. 635/1975.** Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água. Brasília: Ministério da Saúde, 1975.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Portaria nº. 2.914/2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASÍLIA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano.** 2003. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/cianobacterias.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; DOS SANTOS, A. C. A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais.** Sao Carlos, RIMA, 2006.

CARMICHAEL, W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology*, 72, 445 – 459.

CETESB, NT 06: L5.303. **Determinação do fitoplâncton de água doce: métodos qualitativos e quantitativos.** Sao Paulo, 1978.

ESTADO Trófico (IET). 2015. Elaborada por CETESB. Disponível em: <<http://brasildasaguas.com.br/pesquisas/estado-trofico-iet/>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

ESTATÍSTICA básica: Box-plot. Box-plot. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/estatistica-basica/31-boxplot>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

GALLI, Corina Sidagis; ABE, Donato Seiji. DISPONIBILIDADE, POLUIÇÃO E EUTROFIZAÇÃO DAS ÁGUAS. In: BICUDO, Carlos E. de M.; TUNDISI, José Galizia; SCHEUENSTUHL, Marcos C. Barnsley. **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. Cap. 10. p. 165-174. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-816.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

HÉLLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2010. 418 p.

JOHNSON, H.E.; KING, S.R.; BANACK, S.A.; WEBSTER, C.; CALLANAUPA, W.J.; COX, P.A. Cyanobacteria (*Nostoc commune*) used as a dietary item in the Peruvian highlands produce the neurotoxic amino acid BMAA. **J. Ethnopharmacol.** **118**, pp. 159–165, 2008.

LEVFLAIVE, J.; TEN-HAGE, L. Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. **Freshwater Biology**. **Vol. 52**, p. 199-214. 2007.

LOPES, Ismael Keslley Carloto. **IDENTIFICAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE SAXITOXINAS EM RESERVATÓRIO DE USOS MÚLTIPLOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MELO FILHO, Luiz Carlos de. **AVALIAÇÃO DA OZONIZAÇÃO COMO PRÉ OU PÓSTRATAMENTO À FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE NA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E SAXITOXINAS**. 2006. 263 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2003. 416 p.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabrício. Saneamento e Saúde Pública: Integrando o Homem e Ambiente. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Ed.). **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005. Cap. 1. p. 3-31.

REGIÃO Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental. 2015. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoNordesteOriental.aspx>>. Acesso em: 30 out. 2015.

RONEY, B.R.; RENHUI, L.; BANACK, S.A.; MURCH, S.; HONEGGER, R.; COX, P.A. Consumption of fa cai Nostoc soup: A potential for BMAA exposure from Nostoc cyanobacteria in China? **Amyotroph Lateral Scler** **10** (Suppl. 2), pp. 44–49, 2009.

Sant'Anna, C.L.; Tucci, A.; Azevedo, M.T.P.; Melcher, S.S.; Werner, V.R.; Malone, C.F.S.; Rossini, E.F.; Jacinavicius, F.R.; Hentschke, G.S.; Osti, J.A.S.; Santos, K.R.S.; Gama-Júnior, W.A.; Rosal, C. & Adame, G. 2012. **Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras**. Publicação eletrônica, Instituto de Botânica, Núcleo de Pesquisa em Ficologia. Disponível em: <[www.ibot.sp.gov.br](http://www.ibot.sp.gov.br)>. Acesso em: 19 dez. 2015.

SAÚDE, Ministério da. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano**. 2003. Elaborada por FUNASA. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ms000306.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2016

SISTEMA de Qualidades das Águas: Estado Trófico. Estado Trófico. 2015. Desenvolvido pela FUNCEME. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/app/pagina/show/164>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

TRATAMENTO. 2015. Elaborado por Cagece. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/abastecimento-de-agua/tratamento-334>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

VINING, L.C. Secondary metabolites-inventive evolution or biochemical diversity— **a review**. Gene p. 115, 135–140, 1992.