

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL  
MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL**

**EXPEDITO RÔMULO AMADO DE OLIVEIRA**

**OBSERVAÇÕES SOBRE O FITOPLÂNCTON DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO  
E AVALIAÇÃO DE REMOÇÃO ALGAL VIA FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO**

**FORTALEZA  
2013**

EXPEDITO RÔMULO AMADO DE OLIVEIRA

**OBSERVAÇÕES SOBRE O FITOPLÂNCTON DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO  
E AVALIAÇÃO DE REMOÇÃO ALGAL VIA FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutt

EXPEDITO RÔMULO AMADO DE OLIVEIRA

**OBSERVAÇÕES SOBRE O FITOPLÂNCTON DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO  
E AVALIAÇÃO DE REMOÇÃO ALGAL VIA FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento Ambiental.

Dissertação defendida e aprovada em 08/05/2013.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Dr. Silvano Porto Pereira  
Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – CAGECE

## AGRADECIMENTOS

Obrigado Deus por mais uma etapa vencida, pois só ele...

Quero também dizer “muito obrigado” para:

CAGECE, razão maior da realização desse sonho, instituição que mudou a minha vida, a minha profissão e que transformou a forma de enxergar meu nicho dentro da Sociedade.

Em especial, ao Dr. Silvano Porto Pereira, por toda a influência positiva que me trouxe com sua sincera amizade e por ser *O CARA* que eu queria ser quando crescesse.

Meu jardim iluminado, as mais lindas flores, as mulheres que me mantêm no prumo e no curso da sanidade: Júlia, Mariana, Tamires e Marcela.

Tatianna, a minha flor do asfalto, por me suportar e andar comigo nessa aventura chamada viver...

Prof. Ronaldo Stefanutti, por aceitar ser meu orientador e parceiro em horas decisivas.

Prof. Suetônio Mota por aceitar participar da banca contribuindo com relevantes orientações e sugestões.

UFC, casa de conhecimento que sempre amei e que sempre me fez feliz.

Os gestores da CAGECE que possibilitaram nossa liberação: André Facó e Lúcio Sampaio.

A Secretaria de Educação do Ceará pelo programa de apoio aos professores.

Os colegas Éverton e Vanessa, pelo apoio cotidiano na EPC e sempre me cobrirem nas minhas ausências, aplacando problemas e dando suporte para que eu conseguisse terminar esse trabalho.

Neuma Buarque e as meninas da GECCOQ-CAGECE (Laboratório de Águas Residuárias, Hidrobiologia, Bacteriológico) pelo auxílio nas análises, materiais, reagentes e uso do espaço.

Ao Sr. Valdo, operador da ETE-Aquiraz e Antônio Pintor, pelo apoio nas coletas e ensaios.

Régis e Dr. Manoel Sales, Suelen e equipe da Geped pelo apoio nos ensaios, coletas e organização do banco de dados.

O amigo David, grande companheiro, pelo estímulo nas horas em que quase desistia.

Os colegas do rodo cotidiano que tornam a nossa vida mais leve e menos angustiada: Luciveldo, Edmilson, Joel, Rhana, Rui, Alda, Ronner, Alexandre, Rosinha...

## Dedicatória

Para lenza, Boca-de-véi e Pata poronca.

*(In memoriam)*

*"(...) mas apenas saudade saudosa dos  
repousos e liberdades que me deixaram  
mais dentro de mim e, por isso, mais  
minucioso no convívio dos amigos.  
Hoje deslato pedras."*

*Mário de Andrade*

## RESUMO

A composição, variação semanal, e avaliação de remoção de biomassa fitoplanctônica por Flotação com Ar Dissolvido de um sistema de lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto de Aquiraz – CE foi estudada durante o período de maio a dezembro de 2011. Analisando-se dados de eficiência de remoção de Sólidos, DQO, DBO, Turbidez, Coliformes e densidade de organismos. Qualitativamente o fitoplâncton apresentou-se composto por 36 táxons específicos, distribuídos por 14 clorofíceas, 11 euglenofíceas, 7 cianobactérias, 2 bacilariofíceas, uma criptofíceas e apenas uma clamidofíceas. Apesar do número de espécies de algas verdes, o destaque em densidade e frequência foi de *Planktothrix agardhii*, espécie conhecida como produtora de toxinas, dominando durante todo o período estudado. Esta espécie foi suplantada em pouquíssimas semanas por algas verdes cocóides. Ocorreu decréscimo do número de classes entre as lagoas ao longo da pesquisa com redução e piora da riqueza de espécies entre as lagoas, culminando com a concentração de mais de 90% da composição dos organismos pertencentes a uma única espécie de cianobactéria. Cyanophyceae foram encontradas com médias de  $7,9 \times 10^5$  a  $1,6 \times 10^6$  org./mL. Os resultados são preocupantes no que tange à potencialidade tóxica da espécie dominante e que é lançada no Rio Pacoti além de as lagoas se comportarem como estoque de hormogônios e replicação desses organismos para o ambiente. Nos ensaios de remoção, o efluente da Lagoa de Maturação B possuía  $5,7 \times 10^4$  ind/mL, 132 NTU de turbidez,  $4,8 \times 10^3$  NMP de *E. coli*. Os testes de flotação com ar dissolvido mostram-se promissores. Após flotação, caíram para 291,4 org/L, 2,7 NTU,  $10^2$  NMP de *E. Coli*/100mL. A menor eficiência foi de DBO, alcançando médias de 73%. A DQO foi removida em 80%. A flotação teve que ser auxiliada por coagulantes. Foi removido 98% dos organismos fitoplanctônicos, 98,8% de coliformes e 98% da turbidez. *E. coli* foi reduzida em duas unidades logarítmicas, resultando em  $<600$  NMP/100mL. A baixa concentração bacteriana permite indicar, após desinfecção simples, o reúso para fins de irrigação urbana, lavagem de automóveis e outros usos de contato humano restrito.

Palavras-chave: Lagoas de estabilização, Fitoplâncton, Cianobactérias, Remoção de algas.

## ABSTRACT

The composition, weekly change, and evaluation of removal of phytoplankton biomass by Dissolved Air Flotation with a system of stabilization ponds Station Wastewater Treatment Aquiraz - EC was studied during the period from May to December 2011. Analyzing data removal efficiency of solids, COD, BOD, Turbidity, Coliform and density of organisms. Qualitatively the phytoplankton is composed of 36 specific taxa spread over 14 green algae, 11 euglenoids, 7 cyanobacteria, 2 bacilariofíceas, 1 criptofíceas and only one clamidofíceas. Although the number of species of green algae, the highlight densidadade and frequency was *Planktothrix agardhii*, species known as producing toxins, dominating throughout the study period. This species has been supplanted in a very few weeks a coccooid green algae. Decrease occurred in the number of classes among the ponds along the survey reduction and worsening of species richness among lakes, culminating with the concentration of more than 90% of the composition of organisms belonging to a single species of cyanobacteria. Cyanophyceae were found with averages of  $7.9 \times 10^5$  to  $1.6 \times 10^6$  org./mL. The results are worrying regarding the toxic potential of the dominant species and is thrown into the River Pacoti plus ponds behave like stock hormogon and replication of these organisms to the environment. In tests of removal, effluent Maturation Pond had  $5.7 \times 10^4$  ind / mL, 132 NTU turbidity,  $4,8 \times 10^3$  NMP *E. coli*. The flotation tests with dissolved air show to be promising. After flotation, fell to 291,4 org/L, 2.7 NTU,  $10^2$  NMP *E. Coli*/100mL. The lowest efficiency of BOD, reaching averages of 73%. The COD was removed at 80%. Flotation had to be helped by coagulants. Was removed 98% of the phytoplanktonic organisms, 98.8% of fecal and 98% turbidity. *E. coli* was reduced by two logarithmic units, resulting in  $<600$  NMP/100mL. The low bacterial concentration allows state after simple disinfection, reuse for irrigation, urban car washing and other uses of human contact restricted.

Keywords: wastewater treatment plants; stabilization ponds; phytoplankton; Algae removal.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Esquema de um sistema de lagoas de estabilização.....  | 19 |
| Figura 2 - Mapa de Localização da Cidade Aquiraz .....  | 32 |
| Figura 3 - Gráfico de precipitação mensal em 2011.....  | 33 |
| Figura 4 - Vista aérea ETE- Aquiraz.....  | 33 |
| Figura 5 – Localização do corpo receptor da ETE - Aquiraz, Rio Pacoti.....  | 34 |
| Figura 6 – Local de coletas .....   | 36 |
| Figura 7 – Interligação Caminhão-vácuo com a entrada do Flotador.....   | 37 |
| Figura 8 – Preparação das amostras qualitativas .....   | 38 |
| Figura 9 - Sedimentação de amostras para contagem.....  | 39 |
| Figura 10 - Preparação da amostra, sedimentação e câmara de contagem.....   | 39 |
| Figura 11 - Ensaio de Jar teste, adição de coagulantes.....   | 42 |
| Figura 12 – Melhores concentrações de floculantes encontradas.....  | 42 |
| Figura 13 - Esquema do sistema F.A.D piloto.....  | 43 |
| Figura 14 - Floco-flotador vazio.....   | 44 |
| Figura 15 – Inserção de água saturada com ar dissolvido.....  | 45 |
| Figura 16 - Número de total de espécies encontradas, distribuídas por classe taxonômica.....                                    | 48 |
| Figura 17 – Foto micrografia <i>Arthrospira sp.</i> (esquerda) e <i>Planktotrix agardhii.</i> (direita). Obj. 40x.....          | 51 |
| Figura 18 - Foto micrografia: <i>Geitlerinema sp.</i> (esquerda) e <i>Mesrismopedia sp.</i> (direita) Obj.40x.....              | 51 |
| Figura 19 - Foto micrografia: <i>Microcystis sp.</i> (esquerda) Obj. 40X e <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (direita)..... | 52 |
| Figura 20 – Fotomicrografia: <i>Euglena acus</i> Obj. 40x (Esquerda) e <i>Euglena aff sanguínea.</i> Obj. 40x.....              | 53 |
| Figura 21 - Fotomicrografia: <i>Lepocinclis ovum</i> (esquerda) e <i>Phacus sp</i> (direita). obj. 40x .....                    | 53 |
| Figura 22 - Fotomicrografia: <i>Phacus triqueter</i> (esquerda) e <i>Phacus tortus</i> (direita). obj. 40x.....                 | 53 |
| Figura 23 – Fotomicrografia: <i>Ankistrodesmus acicularis</i> (direita). Chlorococales sp2. (esquerda). Obj. 40x.....           | 54 |
| Figura 24 - Fotomicrografia: Chlorococales sp. 3 (esquerda) e <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> (direita) Obj. 40x.....         | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25 - Bacillariophyceae – Morfotipo 2. Obj 40x. ....  | 55 |
| Figura 26 - Fotomicrografia: visão geral amostras Lagoa 2 (Esquerda) e Lagoa 3 (Direita). Obj 40x. ....             | 57 |
| Figura 27 - Fotomicrografia: visão geral amostras Lagoa 4 Obj.40x (Esquerda) e Obj 20x (Direita) .....              | 57 |
| Figura 28 - Valores médios de org/mL por classe taxonômica .....  | 59 |
| Figura 29 – Proporção de indivíduos entre as Classes taxonômicas .....  | 60 |
| Figura 30 - Variação semanal das densidades em org./mL por classe taxonômica. Lagoa 2. Facultativa .....            | 62 |
| Figura 31 - Variação semanal das densidades em org./mL/ classe taxonômica. Lagoa 4. Maturação - B.....              | 63 |
| Figura 32 – Ocorrência das espécies mais representativas. Lagoa 2 - Facultativa.                                    | 64 |
| Figura 33 – Ocorrência das espécies mais representativas. Lagoa 3. Maturação - A .....                              | 66 |
| Figura 34 – Distribuição semanal das Cianobactérias. ....   | 67 |
| Figura 35 – Teste de flotação sem PAC e polímero. ....  | 70 |
| Figura 36 - Flotação sem polímero, sedimentando. ....   | 71 |
| Figura 37 – Fotografia dos melhores resultados de flotação, testes 5 e 7. ....                                      | 73 |
| Figura 38 - Espessa camada de lodo flotado (Teste 5).....   | 73 |
| Figura 39 – Comparação da retenção de flocos na câmara de flotação e câmara de saída com efluente clarificado. .... | 74 |
| Figura 40 - Comparação da turbidez e cor entre o efluente pré e pós F.A.D. ....                                     | 74 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1- Composição do esgoto doméstico. ....   | 14 |
| Tabela 2 - Resumo das principais tecnologias aplicadas no polimento do efluente de lagoas.....   | 28 |
| Tabela 3 - Características dimensionais das Lagoas da ETE-Aquiraz.....   | 34 |
| Tabela 4 - Caracterização do efluente final da ETE– AQUIRAZ em 2011. ....  | 35 |
| Tabela 5 – Produtos auxiliares de cogulação e floculação.....  | 41 |
| Tabela 6 – Ensaio e dosagens experimentadas em Jarrest .....   | 41 |
| Tabela 7 - Características dos coagulantes utilizados. ....  | 45 |
| Tabela 8 - Diferentes ensaios e variações operacionais testadas.....   | 46 |
| Tabela 9 – Melhores resultados de Jar teste pré – FAD. ....  | 69 |
| Tabela 10 – Ensaio de FAD. Variações operacionais.....   | 69 |
| Tabela 11 - Comparação características efluente após FAD. ....   | 72 |
| Tabela 12 – Comparação entre os valores de parâmetros observados para lançamento de efluentes pré e pós clarificação via F.A.D e percentual de remoção. .... | 75 |
| Tabela 13 – Comparação entre as características do efluente da Lagoa de Maturação - b e após clarificação via FAD. ....                                      | 76 |
| Tabela 14 - Diretrizes recomendadas pela OMS para a qualidade microbiológica de esgotos sanitários utilizados na agricultura. ....                           | 79 |

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|         |  |
|---------|--|
| APHA    | American Public Health Association                                   |
| ARCE    | Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará |
| CAGECE  | Companhia de Água e Esgoto do Ceará                                  |
| CETESB  | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental                      |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                                   |
| DBO     | Demanda Bioquímica de Oxigênio                                       |
| DQO     | Demanda Química de Oxigênio  |
| ETA     | Estação de Tratamento de Água  |
| ETE     | Estação de Tratamento de Esgoto                                      |
| FAD     | Flotação por Ar Dissolvido   |
| FFDA    | Floco Flotação por Ar Dissolvido                                     |
| FUNASA  | Fundação Nacional de Saúde   |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos                |
| GEPED   | Gerência de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento                     |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                      |
| N       | Nitrogênio   |
| NMP     | Número Mais Provável   |
| NTU     | Unidades Nefelométricas de Turbidez                                  |
| P       | Fósforo  |
| PAC     | Policloreto de Alumínio  |
| PCR     | Reação de polimerização em cadeia                                    |
| PH      | Potencial hidrogeniônico   |
| PMA     | Prefeitura Municipal de Aquiraz                                      |
| PNAD    | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios                          |
| SEMACE  | Superintendência Estadual do Meio Ambiente                           |
| S-R     | Sedwick-Rafter   |
| SST     | Sólidos Suspensos Totais   |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.1 Objetivo Geral .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.2 Objetivos específicos .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.1 A importância do fitoplâncton no tratamento com lagoas de estabilização. ....</b>   | <b>17</b> |
| <b>3.2 Caracterização da comunidade fitoplanctônica de lagoas de estabilização e o despejo de cianobactérias em mananciais. ....</b> | <b>23</b> |
| <b>3.3 Remoção de algas por Flotação com Ar Dissolvido (F. A. D.) .....</b>  | <b>26</b> |
| <b>4. METODOLOGIA .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.1 Área de estudo .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.2 Coleta, preservação e preparação de amostras .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>4.3 Análises qualitativas.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.4 Análises Quantitativas .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>4.5 Ensaio de coagulação e floculação (JAR TEST).....</b>   | <b>40</b> |
| <b>4.6 Teste de remoção de algas por F. A. D .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>4.7 Cálculos de eficiência e de remoção.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>4.8 Análises complementares .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>5.1 Análises qualitativas.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>5.2 Análises Quantitativa.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>5.3 Ensaio coagulação e floculação (JAR TEST) .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>5.4 Teste de F. A. D para remoção de algas do efluente .....</b>  | <b>69</b> |
| <b>6. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>80</b> |
| <b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>83</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>84</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A redução da qualidade das águas brasileiras vem sendo um constante motivo de alerta. A universalização dos serviços de saneamento básico, em especial o tratamento de esgotos, ainda se apresenta longe de ser atendido. Embora uma grande parte da população seja atendida pelo abastecimento de água, apenas uma parcela tem seus esgotos coletados, outra ainda menor tem seus esgotos tratados. O investimento em tratamento ainda requer consideráveis somas e, assim, a simplicidade e os custos de implantação e operação dos sistemas de tratamento são de extrema importância na seleção de alternativas mais adequadas. Enquanto isso, a disseminação de doenças de veiculação hídrica e processos de eutrofização significativos nos ambientes aquáticos proporcionam conseqüente decréscimo da qualidade de vida da população.

Grassi (2001) discute que cerca de 2,5% da água doce existente na Terra, apenas 0,77% está disponível para o nosso consumo. Entretanto, sua importância ecológica é imensa, pois a vida nos ambientes terrestres depende, grandemente, de sua presença. Para o homem, sua presença é vital sob muitos aspectos. Ainda assim, mesmo que bastante difundida a influência humana sobre as águas doces, em geral, permanece o estado degradante, pela paulatina deterioração da qualidade de nossos mananciais (MOTA, 2000).

Dentre os vários fatores que concorrem para a queda da qualidade hídrica superficial inclusive de reservatórios utilizados para abastecimento humano, pode-se citar o baixo nível de cobertura de serviços de tratamento e as incipientes políticas de preservação desses ambientes. A prática secular de despejar águas residuárias, tratadas ou não, em sistemas hídricos é uma solução normalmente adotada por várias comunidades em todo mundo. Contudo, esses sistemas aquáticos receptores servem ainda de fonte de abastecimento, e muitas vezes, a mais de uma comunidade. Há casos em que a mesma cidade que lança seus esgotos nos corpos d'água utiliza-se deste mesmo sistema como fonte de abastecimento (MANCUSO, 2003; CUTOLO e ROCHA, 2002; BRAGA, 2002).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2011 mostram que a população residente no país naquele ano era de 195,2 milhões e que o número de domicílios beneficiados por rede coletora de esgoto aumentou no país, entre 2009 e

2011, mas o sistema ainda atende a apenas 54,9% das residências. No período pesquisado, o serviço avançou em ritmo mais lento em relação ao aumento do número de domicílios. Nove estados registraram recuo no acesso à rede de coleta e o número da presença de simples fossas sépticas aumentou para 7,7% dos domicílios (IBGE 2011).

O esgoto sanitário doméstico é composto por grande quantidade de água, da ordem de 99,9%, contudo é um proeminente veículo de patógenos causadores de diversas doenças, como *Salmonella*, *Shigella*, o vírus da hepatite, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Escherichia coli* e *Cryptosporidium* (Morgan e Vesilind, 2011). Abaixo a composição geral típica de esgotos domésticos (Tabela 1).

Tabela 1- Composição do esgoto doméstico.

| COMPONENTES   | CONCENTRAÇÃO MÉDIA                 |
|---|------------------------------------|
|   | (mg/l)(a)                          |
| Sólidos Totais  | 720                                |
| Sólidos Dissolvidos Totais                            | 500                                |
| Dissolvidos Fixos                                     | 300                                |
| Suspensos Fixos                                       | 55                                 |
| Sólidos Sedimentáveis (mg/l)                          | 10                                 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5,20</sub> ) | 220                                |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO)                     | 500                                |
| Nitrogênio Total                                      | 40                                 |
| Orgânico  | 15                                 |
| Amoniacal   | 25                                 |
| Nitrato   | 0                                  |
| Nitrito   | 0                                  |
| Fósforo Total   | 8                                  |
| Alcalinidade  | 100                                |
| Óleos e graxas  | 100                                |
| Coliformes Totais un/100ml                            | 10 <sup>8</sup> - 10 <sup>10</sup> |
| C. Termotolerantes un/100ml                           | 10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>  |

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2002).

Dos 178 sistemas operados pela concessionária de tratamento de esgotos no Estado cearense, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), 67 deles são realizados por meio de lagoas de estabilização dentre as diversas outras tecnologias de tratamento de esgotos aplicadas (CAIXETA, 2010). Em Fortaleza, são 12 sistemas de lagoas em funcionamento. Outras importantes cidades costeiras tais como Aquiraz, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paracuru, Paraipaba e

Jijoca de Jericoacoara também realizam o tratamento de seus efluentes domésticos usando lagoas de estabilização.

A escolha do tipo de tratamento de águas residuárias no Brasil e em Estados da federação como o Ceará, requer como premissa a instalação de sistemas economicamente viáveis. Nesse contexto, a opção pelo tratamento de esgoto por lagoas de estabilização demonstra-se mais adequada para a região, pelo baixo custo de instalação, em virtude da adequabilidade ao clima, disponibilidade de áreas mesmo em regiões metropolitanas, boa eficiência na remoção de matéria orgânica, patógenos e facilidade operacional (VON SPERLING, 1996; MARA e PEARSON, 1986).

As comunidades fitoplanctônicas, enfaticamente os organismos conhecidos amplamente como “algas”, de forma geral, em outros ambientes aquáticos naturais são considerados como um dos fatores fundamentais no reconhecimento das condições ambientais vigentes. Pela determinação de populações de algas, obtêm-se dados valiosos, que explicam grande parte dos processos dinâmicos de um ecossistema aquático. Assim, alterações em sua estrutura, população e dinâmica são fenômenos de grande relevância, não somente para a caracterização desse tipo de comunidade, mas também para o entendimento do metabolismo dos ecossistemas como um todo (REVIERS 2006; FRANCESCHINI *et al.* 2010).

Dada a importância regional que as lagoas de estabilização possuem no âmbito do tratamento de esgoto e a problemática da produção de metabólitos secundários pelas algas em mananciais de uso público, faz-se necessário maior número de pesquisas convergindo para ampliar a contribuição ao conhecimento e acompanhamento sobre as espécies de algas que crescem nesses ambientes e que por fim são enviadas aos corpos d’água receptores. Portanto, essa pesquisa teve como objetivos, conhecer as espécies de algas e suas variações semanais em um sistema de lagoas no litoral cearense e testar o método de remoção celular via Flotação com Ar Dissolvido (F.A.D).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar qualitativamente e quantitativamente a diversidade da ficoflórula de um sistema de lagoas de estabilização da Cidade Aquiraz- CE, ao longo de um período sazonal, e avaliar a remoção celular pela tecnologia de Flotação com Ar Dissolvido.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Conhecer a espécies que compõem a ficoflórula das lagoas de estabilização.
- Avaliar a variação semanal da composição da comunidade algal ao longo de uma estação sazonal crítica;
- Identificar as relações de equitabilidade ou dominância dos grupos entre as espécies fitoplanctônicas encontradas, determinando as densidades e ocorrências relativas durante o período de menor índice pluviométrico do Estado, entre os meses de maio a dezembro de 2011;
- Avaliar a presença de populações de cianobactérias e levantar as implicações ambientais decorrentes do seu lançamento sem remoção, via efluente de lagoas, em corpos aquáticos receptores;
- Testar a remoção da biomassa algal pelo método do sistema de flotação com ar dissolvido, avaliando suas eficiências;
- Comparar o efluente obtido após remoção da biomassa por flotação quanto ao atendimento aos padrões de lançamento e potencial de aproveitamento da água.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A importância do fitoplâncton no tratamento com lagoas de estabilização.

O fitoplâncton corresponde à comunidade de organismos microscópicos fotossintetizantes que se encontram em suspensão nas águas e que podem ser delimitadas ecológica e fisionomicamente (ESTEVES, 1998). Já o termo “alga”, componente do mesmo, tal como é compreendido hoje, está desprovido de significado taxonômico, não corresponde, portanto, a nenhuma categoria nomenclatural válida. É simplesmente um termo genérico coletivo historicamente adotado para um grupo de organismos extremamente heterogêneo, tornando difícil e também problemática a sua definição (PARRA e BICUDO, 1996; REVIERS, 2006).

Raven *et al.* (2001) abordam que o fitoplâncton é conhecido por emitir, para a atmosfera, moléculas do gás dimetil-sulfeto (DMS), que reage com o oxigênio e água formando o ácido sulfúrico. Essas gotículas de ácido servem de núcleos de condensação para a formação de mais de 90% das nuvens do planeta, desempenhando, portanto, importante papel no clima terrestre.

Especificamente no tratamento de esgotos, as algas contribuem por serem dotadas de pigmentos fotossintéticos denominados clorofila, portanto produzem oxigênio, o que corresponde a sua principal função nas lagoas de estabilização, influenciando diretamente na realização dos processos de decomposição aeróbios. Nas lagoas de estabilização a taxa de crescimento de microrganismos e a remoção de nutrientes pode ser afetada caso os valores de pH sejam inadequados e este também é influenciado pela própria comunidade algácea que realiza ação tamponante pelo consumo de gás carbônico que é principal fonte natural de acidez da água (METCALF e EDDY, 2003; JORDÃO, 2005).

O decaimento bacteriano nas lagoas está relacionado com complexos fenômenos envolvendo aspectos ambientais e interações entre os microorganismos existentes nessas lagoas. Contudo, a taxa de remoção de coliformes termotolerantes diminui com o aumento da carga orgânica aplicada e se eleva com o aumento de temperatura, radiação solar e pH. A manutenção de baixa concentração de matéria orgânica (DBO <20 mg/l) pode proporcionar a falta de alimento e acelerar a mortalidade de coliformes fecais. Como a penetração da luz é limitada a uma camada mais superficial e como as concentrações mais altas de bactérias raramente

ocorrem nesta faixa, discute-se que a luz talvez não seja isoladamente a responsável pela mortalidade das bactérias. (CURTIS *et al.*, 1992; PEARSON *et al.* 1987, 1996).

Os principais fatores que afetam a taxa de remoção de bactérias patogênicas em lagoas de estabilização são a temperatura, o pH e a comunidade fitoplanctônica. Também são citados, a penetração da radiação ultravioleta na coluna d' água, o elevado nível de oxigênio dissolvido e a liberação de toxinas pelas algas. O elevado pH ou diminui a resistência dos microorganismos pelo efeito da luz ou aumenta a produção de oxigênio de forma tóxica. Por outro lado, o papel e a efetividade do fitoplâncton, por sua vez, podem ser definidos por fatores ambientais e operacionais (CURTIS *et al.* 1992; POLPRASET e AGARWALLA, 1995)

Segundo CETESB (1990), a estabilização de matéria orgânica nesses sistemas se processa em taxas mais lentas, o que implica a necessidade de um longo período de detenção hidráulica. Apesar de ocuparem grandes áreas, estão menos sujeitas aos problemas decorrentes da falta de operação e manutenção adequadas.

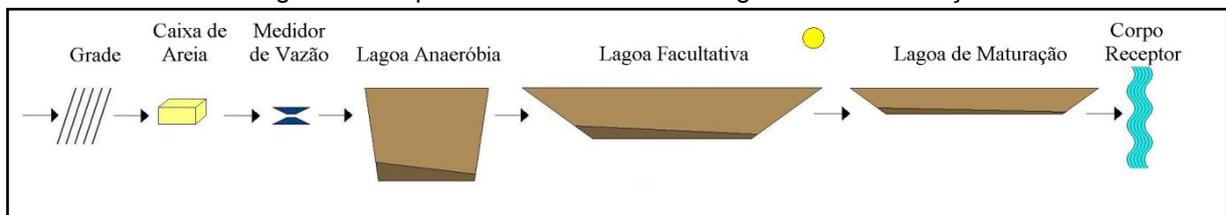
As lagoas de estabilização são classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, tais como: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias, como variantes segundo a intensificação do processo, como por exemplo, lagoas com plantas macrófitas, aeradas, de alta taxa de degradação e outras. Elas podem ser distribuídas em diferentes números e combinações a fim de alcançar a qualidade padrão requerida (PEARSON *et al.*, 1995).

O tratamento biológico nas lagoas pode ocorrer em meio anaeróbio, facultativo ou aeróbio de acordo com a disponibilidade de oxigênio dissolvido, da atividade biológica predominante, da carga orgânica afluyente e das características físicas e operacionais da lagoa. De acordo com a forma que a matéria orgânica é estabilizada, podendo ser pela oxidação bacteriana e/ou redução fotossintética, as lagoas são classificadas em lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação. As lagoas anaeróbias possuem eficiência de remoção de DBO na faixa de 50-70%. Nas lagoas facultativas a principal finalidade é a remoção de DBO e organismos patogênicos em três zonas distintas: zona aeróbia, facultativa e anaeróbia. A presença do oxigênio é suprida pelas algas, que produzem por meio da fotossíntese o oxigênio durante o dia e consomem durante a noite, porém elas produzem várias

vezes mais oxigênio do que consomem, aumentando assim a taxa de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2002)

De acordo com Mara e Pearson (1986), as lagoas do tipo maturação, geralmente, são mais rasas, permitem a ação dos raios ultravioleta sobre os microrganismos presentes, tendo como finalidade a remoção de organismos patogênicos e de nutrientes, ou seja, a desinfecção do efluente e retenção de DBO. Nelas a remoção da matéria orgânica geralmente é baixa, portanto a entrada de carga orgânica deve ser pequena. Assim, utilizam-se lagoas (Figura 1) projetadas em série, para atingir uma maior eficiência de remoção (VON SPERLING, 2002).

Figura 1 - Esquema de um sistema de lagoas de estabilização



Fonte: Adaptado de Von Sperllin, 2002.

O efluente de uma lagoa estabilização possui como características principais a cor verde devida às algas, elevado teor de oxigênio, elevado pH e sólidos em suspensão. Das frações que compõem um efluente final de lagoas de estabilização, as algas afetam a qualidade e influenciam na concentração de sólidos sedimentáveis, suspensos e dissolvidos, fazendo parte da medida de sólidos totais. Os sólidos em suspensão são as partículas em suspensão que impedem a penetração da luz e podem servir de sítio para a proliferação de patógenos. Conteúdos extracelulares das algas também podem contribuir para a formação dos sólidos dissolvidos. Os valores desses parâmetros são observados quanto à qualidade do efluente final, condição essencial para a disposição final em corpos receptores e deve atender a legislação ambiental (METCALF e EDDY, 2002; BRASIL, 2005).

O desenvolvimento de microalgas nas lagoas é diretamente influenciado pela temperatura, altos valores incrementam o crescimento, aceleram o decaimento bacteriano patogênico, amplia-se a decomposição da matéria orgânica e ainda eleva a concentração de oxigênio, fator inibitório para microrganismos anaeróbios. Em demasia esses organismos elevam os níveis de turbidez e cor do efluente final. Não

ocorrendo penetração de luz solar, promove-se a senescência das algas, extravasamento e oxidação de pigmentos, influenciando no enquadramento de parâmetros sólidos suspensos e turbidez (METCALF e EDDY 2002; JORDÃO 2005; VON SPERLIN, 2002).

Para Oliveira e Gonçalves (1996), lagoas de estabilização apresentam baixas eficiências com relação à remoção dos nutrientes N e P (entre 30 e 40 %) e as elevadas concentrações de algas no seu efluente (fonte de nitrogênio e fósforo nas formas orgânicas) fazem com que esse tipo de tratamento não se adeque a padrões de qualidade muito restritivos, promovendo a eutrofização, principalmente nas situações em que o corpo receptor serve como manancial de água para abastecimento público. Buscando garantir a qualidade dos seus corpos d'água, desde o início dos anos 80 diversos países em todo o mundo vêm estabelecendo padrões de lançamento mais exigentes (DQO < 90 mg/l e SST < 30 mg/l). Para alcançá-las, tecnologias foram desenvolvidas e aplicadas no polimento dos efluentes de lagoas de estabilização.

De acordo com as condições operacionais de alguns sistemas, pode-se atingir elevadas densidades de algas ( $10^4$  a  $10^6$  indivíduos/mL), constituindo fonte de Nitrogênio e Fósforo na forma orgânica no efluente das lagoas facultativas, acarretando em diferenças nas características microbiológicas e físico-químicas do efluente. A presença de algas é, portanto, preponderante nesses ambientes, de forma que quando o balanço ecológico é perdido torna-se um risco potencial, prevalecendo as condições anaeróbias, e conseqüentemente reduzindo a eficiência do sistema (REYNOLDS, 2006).

A legislação brasileira – Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) estabelece padrões de lançamento de efluentes e padrões das águas a serem mantidos nos corpos d'água. De acordo com a resolução, para um corpo receptor Classe II, a densidade de cianobactérias deve ser de até 50.000 cel/mL e a concentração de Clorofila-a, de até 30µg/L. A presença e quantificação de algas é usualmente mensurada na forma de clorofila-a, pigmento apresentado por todos os vegetais. As concentrações de clorofila-a em lagoas facultativas dependem da carga aplicada e da temperatura (MARA *et al.*, 1992).

De acordo com Pearson (2005), concentrações superiores a 500 µg/L de clorofila-a são ruins para o descarte do efluente final, pois há o aumento da DBO e Sólidos Suspensos. Ele ainda estima que 1 mg de clorofila-a corresponde a 300 mg/L

de DQO, podendo variar com a espécie algal.

As células algáceas influenciam duas frações que compõem um efluente final de lagoas de estabilização, os sólidos sedimentáveis e os sólidos suspensos. A análise desses parâmetros é observada quanto à qualidade do efluente e é condição essencial para a disposição final em corpos receptores para atendimento à legislação ambiental pertinente.

Nesse tocante, a busca pelo enquadramento dos parâmetros de lançamentos pode ser uma das grandes desvantagens de lagoas de estabilização, devido a remoção apenas razoável de sólidos suspensos totais (SST), em decorrência da grande presença de algas no efluente. O que pode requerer algum pós-tratamento ou polimento. Von Sperling (2002) relata diferentes alternativas para melhoria da qualidade desses efluentes, dentre elas o uso de filtros de areia; o micropeneiramento; escoamento superficial; banhados artificiais; flotacao; coagulação-clarificação; biofiltros aerados e filtros de pedras.

Vasconcelos e Pereira (2001) corretamente discutem que empreender esforços para compreender como esses seres fotossintetizantes atuam nesses ecossistemas artificiais eutrofizados, sistemas aquáticos caracterizados como um ambiente suscetível a proliferação de diversos grupos de microalgas, dentre eles espécies potencialmente estimuladores de eutrofização e produtores de toxinas em corpos receptores, deve ser uma constante.

Dentre os organismos fitoplanctônicos, Esteves (1998) considera as Cyanophyceae como os principais organismos fixadores de Nitrogênio nos ambientes aquáticos e cita que geralmente predominam quando há maior disponibilidade desse em relação a Fósforo. Situação esta comum em ambientes eutrofizados como as lagoas de estabilização (SCHEFFER *et al.*, 1997).

A diversidade e densidade desses microrganismos é diretamente relacionada à carga orgânica afluente e disponibilidade de nutrientes, além de sujeitos à ação de fatores climatológicos (precipitação, ventos e radiação solar), apresentando mecanismos de circulação horizontal e vertical específicos. O tempo de residência, aliado ao fluxo de afluente também contribuem na distribuição espacial (horizontal e vertical) do fitoplâncton, assim como na seqüência temporal e no ciclo sazonal (REYNOLDS, 2006; FRANCESCHINI *et al.*, 2010).

É conclusivo que quanto menor a diversidade e maior a abundância de organismos, pior a qualidade do efluente produzido, indicando que no meio líquido

existem elevadas concentrações de substratos orgânicos (saprobicidade) que induzem ao crescimento acelerado de determinadas espécies (REYNOLDS, 2006, FERNANDES, 2008).

A identificação da comunidade algácea das lagoas, bem como o conhecimento de sua fisiologia, podem evidenciar o papel de cada um nas diferentes etapas do tratamento, além de garantir o máximo do sistema, bem como determiná-lo para um determinado efluente (UEHARA, 1989). O conhecimento sobre essa microbiota torna-se, assim, relevante também para o controle e eficiência do tratamento, pois permite avaliar as relações destes com o ambiente e com outros organismos (CETESB, 2005).

Cruz *et al.* (2008) alertam que, se não houver uma forma viável de manejo ou remoção da proliferação de cianobactérias tóxicas em lagoas de estabilização, pode-se prejudicar ou até mesmo inviabilizar o sistema de tratamento. Este fato pode ocasionar um grave problema de saúde pública, quando o efluente é lançado indiscriminadamente em corpos hídricos que vertem suas águas em reservatórios e mananciais utilizados para abastecimento público, bem como pouco se sabe sobre os riscos, quando essas mesmas águas são usadas na irrigação de culturas.

Em Chorus e Bartram (1999), tem-se que, a identificação de fatores ambientais específicos que sejam responsáveis pelo crescimento de cianobactérias é crucial na adequação de medidas de controle desses florescimentos em mananciais utilizados para abastecimento público. De acordo com os mesmos, existem elevados registros de florescimentos recorrentes de linhagens tóxicas em mais de 12 Estados Brasileiros, reportando a dominância desse grupo em diversos reservatórios utilizados para abastecimento público (FUNASA, 2003; CALIJURI, 2006).

Em 1996, na Cidade de Caruaru, Pernambuco, ocorreu o primeiro caso registrado e comprovado de mortes humanas causadas por cianotoxinas, 130 pacientes renais apresentaram sintomas de hepatotóxicos após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise. 52 pacientes faleceram comprovadamente pela ação da microcistina (FALCONER, 2005; AZEVEDO, 1996).

De acordo com Sant'Anna e Azevedo (2000) apud Funasa, (2003), já foi registrada a ocorrência de pelo menos 20 espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, incluídas em 14 gêneros, em diferentes ambientes aquáticos brasileiros. De acordo com esses autores, a espécie *Microcystis aeruginosa*

apresenta a distribuição mais ampla no Brasil e *Anabaena* é o gênero com o maior número de espécies potencialmente tóxicas (*A. circinalis*, *A. flos-aquae*, *A. planctonica*, *A. solitaria* e *A. spiroides*).

Vasconcelos e Pereira (2001) afirmam que no Nordeste, devido às condições climáticas aliadas a elevada concentração de nutrientes, as lagoas de maturação têm seu plâncton dominado por cianobactérias. Reforça-se a conclusão de que as lagoas de estabilização representam um ecossistema a ser investigado em analogia aos sistemas aquáticos, naturais ou artificiais.

Programas de monitoramento da qualidade e eutrofização de ambientes aquáticos usualmente empregam organismos fitoplanctônicos, sobretudo as cianobactérias. Sendo as lagoas de estabilização fonte de crescimento dessas espécies, considera-se que esses sistemas também devem ser levados em consideração. Robustos programas de monitoramento de controle de qualidade de efluentes de lagoas de estabilização, no que tange a esse grupo, podem ser auxiliares na compreensão do grau de trofia dos corpos receptores, prevenindo situações em que suas densidades excedam a capacidade assimilativa do corpo receptor. (CHORUS e BARTRAM, 1999; BRASIL, 2004, 2005; CYBIS *et al.*, 2006).

### **3.2 Caracterização da comunidade fitoplanctônica de lagoas de estabilização e o despejo de cianobactérias em mananciais.**

Na última década, o olhar crítico sobre esses organismos se intensificou e a busca de maior entendimento sobre as espécies e suas dinâmicas, bem como a caracterização das comunidades de lagoas de estabilização em diversos estados brasileiros vem se ampliando, o que pode ser evidenciado pelo grande volume de pequenos trabalhos e contribuições diversas em teses e dissertações de pós-graduações. Sem o intuito de esgotar o assunto, foram selecionados alguns, conforme segue.

No ano de 1997, Ceballos (1997) avaliou as flutuações no ciclo diário da biomassa de algas e concluiu que 90% da DBO do efluente final estava relacionada à presença das algas e que o deslocamento de *Mycrocistys sp.* na coluna d'água proporciona a elevação da clorofila-*a* e de coliformes durante o período noturno.

Botelho, *et. al* (1997), comparando dados físico-químicos de lagoas com a microbiota em sistemas de tratamento de Minas Gerais, encontraram um Bloom de

*Microcystis sp.*

Em 1998, Silva e Silva (1998) avaliaram os prospectos e tendências para lagoas de estabilização no Ceará, não abordando especificamente a comunidade algológica, contudo, problematizam a favelização do entorno desses sistemas, abordam que a qualidade do efluente atinge padrões de reúso, uma vez que estimam uma perda de 10.000m<sup>3</sup> por dia em um Estado onde chove, em média, 750mm/ano.

Granado (2004) avaliou as variações nictemerais na estrutura da comunidade fitoplanctônica de um sistema de lagoas em Novo Horizonte, SP e observou o predomínio de *Chlorella vulgaris* e que cerca de 40% da riqueza pertencer ao grupo das algas verdes.

Cruz *et al.* (2004) compararam as variações de parâmetros físico-químicos e fitoplâncton em lagoas de Vitória – ES, encontrando 18 táxons, com predomínio de 72% de Chlorophyceae. *Chlorella vulgaris* foi a espécie dominante.

Cruz *et al.* (2005) afirmam que em virtude da elevada densidade de algas e cianobactérias nas lagoas de estabilização, estudos têm sido realizados visando a aplicação de processos físico-químicos no polimento para minimizar a incidência desses organismos.

Falco (2005), estudando a dinâmica de algas e bactérias de lagoas de estabilização de Novo Horizonte, SP, encontrou predomínio de clorófitas, baixa eficiência do sistema e efluente final potencialmente eutrofizante.

Buscando analisar os fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em oito sistemas de lagoas de estabilização em Campina Grande - PB, Ribeiro (2007) observou significativa variação entre a comunidade nos períodos de chuva e seca e encontrou quatro sistemas com características de florescimento massivo de espécies tóxicas.

Furtado (2007) identificou morfologicamente e por técnicas moleculares linhagens de cianobactérias pela técnica de Reação de polimerização em cadeia (PCR), isolou e realizou testes com extratos, observando atividade positiva de metabólitos secundários bioativos inibindo o crescimento de bactérias.

Soldatelli (2007) identificou a comunidade presente em lagoas de estabilização da Universidade de Caxias do Sul e encontrou um expressivo número de 242 táxons. As espécies mais representativas foram clorófitas *Chlamydomonas sp* e *Cosmarium sp*. O mesmo também observou o domínio de cianobactérias e

diatomáceas apenas no período frio.

Barbosa *et al.* (2007) caracterizaram a comunidade fitoplanctônica de uma lagoa de estabilização no município de Trindade, em Goiás, encontrando *Planktothrix agardhii* e *Closteriopsis sp.* como as espécies mais representativas.

A avaliação da comunidade fitoplanctônica em lagoas facultativas dos municípios de Pariqueira-Açu e Jacupiranga, SP foi realizada por Casali (2008), não observando variações temporais e sazonais na estrutura, contudo, cianobactérias (*Synechocystis sp.* e *Phormidium sp.*) e clorofíceas (*Chorella kessleri*, *Micractinium pusillum*, *Eutetramorus sp.*) predominaram.

Fernandes (2008) analisou a dinâmica fitoplanctônica em uma lagoa secundária para tratamento de lixiviado de aterro sanitário e encontrou apenas 5 táxons.

Ramos *et al.* (2009) encontraram 21 espécies em uma lagoa na zona da Mata pernambucana, observando a dominância de algas verdes nos dois períodos sazonais estudados, contudo ressaltam a necessidade de controle das espécies de Cyanophyceae.

Gonçalves *et al.* (2009) verificaram as relações ecológicas de 20 táxons em sistemas de Petrolândia, PE. Destacaram-se a cianobactéria *Oscillatoria sp.* e a Chlorophyta *Closteriopsis aciculares*, que estiveram presente na grande maioria das amostras. Os autores ressaltam que a grande ocorrência de *Oscillatoria sp.*, considerada um dos gêneros produtores de toxinas no Brasil, representa um fato que deve impulsionar a realização de mais estudos em lagoas de maturação, já que tais unidades ambientais favorecem o desenvolvimento de espécies tóxicas.

Delazari-Barroso *et al.* (2009) realizaram uma avaliação temporal do fitoplâncton na lagoa de polimento em Venda Nova do Imigrante, ES. Encontraram 37 espécies, destas, apenas quatro eram cianobactérias tóxicas, porém as mesmas predominaram, alcançando densidades em cerca de  $5,6 \times 10^5$  ind/mL.

Furtado *et al.* (2009) destacam que poucos estudos têm sido realizados quanto a diversidade de cianobactérias em sistema de tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização, o que pode ser encarado como alarme, uma vez que as toxinas produzidas nesses sistemas podem ser lançadas, juntamente com o efluente em rios, canais de irrigação, estuários ou reservatórios de água.

Oliveira (2010) avaliou a comunidade fitoplânctônica de lagoas em João Pessoa-PB, encontrando 36 táxons, com predomínio de Cyanophyceae; observou

homogeneidade sazonal da comunidade e *Planktothrix agardhii* como a espécie que mais contribuiu para as elevadas densidades celulares encontradas.

Araújo (2000), em seu estudo “Reúso com lagoas de estabilização, potencialidade no Ceará”, apresenta o cenário das lagoas de estabilização da Região Metropolitana de Fortaleza e destaca o processo de evolução de implantação desses sistemas de lagoas no estado do Ceará, comparando os diferentes processos biológicos de tratamento de resíduos líquidos, constatando que o reúso planejado dos efluentes desses mananciais pode melhorar a qualidade de vida de inúmeras famílias das áreas próximas às estações de tratamento de esgotos.

Para Lapolli *et. al.* (2011), as lagoas de estabilização são ambientes propícios à proliferação de cianobactérias. A presença de nutrientes, elevada luminosidade e baixa movimentação do líquido, favorece o crescimento desses organismos nesses locais. Os autores abordam a preocupação de que várias espécies de cianobactérias podem ser lançadas junto com efluente tratado no corpo receptor, provocando, dentre tantos outros possíveis danos, alterações inclusive na cadeia alimentar.

No Ceará, importante contribuição vem sendo reforçada por Aquino *et al.* (2010, 2011). A equipe estudou a composição fitobiológica de lagoas de tratamento no Sul do Estado, nos municípios de Barbalha e Juazeiro do Norte. As conclusões consideram que a composição biológica desses sistemas de lagoas no Cariri cearense, o que constitui real preocupação, haja vista o despejo de elevadas densidades de espécies filamentosas em corpos hídricos. Em ambos os trabalhos constatou-se a presença freqüente da cianobactéria *Planktothrix isothrix*, considerada dominante em todos os períodos estudados.

### **3.3 Remoção de algas por Flotação com Ar Dissolvido (F. A. D.)**

Di Bernardo (1995, 2010) alerta para os diversos problemas recorrentes à presença das algas no tratamento de água, bem como diversos trabalhos discutem acerca da ocorrência de algas tóxicas, processos de remoção e controle em mananciais já eutrofizados. Aspectos relacionados à remoção de algas despejadas em corpos receptores vêm sendo incrementados paulatinamente, motivados principalmente devido à problemática da produção e liberação de toxinas que podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água, consumo de animais

contaminados ou ainda pelo contato em atividades de recreação no ambiente (FUNASA, 2007; CHORUS e BARTRAM, 1999).

Pesquisas enfocam avaliações de técnicas empregadas no intuito de buscar removê-las de águas brutas ou inativá-las quando já presentes na água tratada, dentro do âmbito de tratamento de águas para consumo humano. Contudo, é incipiente o enfoque de controle das mesmas sob o conceito de formação de barreiras múltiplas contra o potencial danoso desses organismos, ou focadas na análise da disposição em mananciais por sistemas de tratamento de efluentes que, promovem o seu desenvolvimento.

Cruz *et al.* (2005) destacam que pós-tratamento físico-químico do tipo coagulação-floculação, seguido por decantação ou flotação, pode ser realizado em unidades específicas, inseridas a jusante de reatores biológicos ou dentro de lagoas e apresenta redução significativa no número de indivíduos fitoplanctônicos, incluindo as cianobactérias.

Nesse sentido, técnicas convencionais comumente utilizadas no tratamento de água vêm sendo avaliadas e aplicadas com o objetivo de polir efluentes de lagoas de estabilização. Técnicas, como oxidação química, adsorção em carvão ativado, filtração em leito de pedra e outros tipos de leitos filtrantes, barreiras por mantas sintéticas, dentre outras, são empregadas de acordo com as características regionais e a disponibilidade de recursos para a realização de pesquisas.

Oliveira e Gonçalves (1998) citam que, dentre os principais processos de polimento de efluentes de lagoas de estabilização, estão as seguintes tecnologias: Micropeneiras, Gramíneas, Biofiltro aerado submerso e Processos físico-químicos (Tabela 2 ).

Nesta pesquisa, como adendo ao conhecimento da biota fotossintetizante das lagoas, testou-se o uso da técnica de Flotação por Ar Dissolvido (F.A.D) para avaliar a remoção da biomassa algal dispersa na coluna d'água da última lagoa de maturação. Essa tecnologia foi aplicada com sucesso em pesquisa sobre tratamento de lavagens de filtros da Estação de Tratamento de Água de Fortaleza, por meio de desenvolvimento de um equipamento compacto, para análises de F.A.D. (Chaves, 2012) e ensaios realizados pela Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Água e Esgoto do Estado, em escala piloto para tratamento de água.

Tabela 2 - Resumo das principais tecnologias aplicadas no polimento do efluente de lagoas

| Tecnologia         | Taxa Aplicação                      | Qualidade do efluente |           |           | Observações        |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------------|
|                    | (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | SS(mg/L)              | DBO(mg/L) | DQO(mg/L) |                    |
| Filtro de Pedra    | 0,8                                 | 37                    | 30        | -         | -                  |
| Filtração em Areia | 0,37                                | 25                    | 21        | -         | -                  |
| Micropeneiras      | 60-120                              | <30                   | <30       | -         | -                  |
| Processo PETRO     | -                                   | 23                    | -         | 96        | Nitrificação       |
| Gramíneas          | 0,013                               | 5,5                   | 3,5       | -         | Nitrificação       |
| Lagoas terciárias  | -                                   | 96                    | -         | 153       | Remove coliformes  |
| Microfiltração     | -                                   | -                     | -         | -         | 100% Remoção algas |
| Biofiltro Aerado   | 45                                  | 31                    | -         | 85        | Nitrificação       |
| Físico-químico     | 75                                  | 30,5                  | -         | 59        | Defosfatação       |

Fonte: Adaptado de Oliveira e Gonçalves (1998).

Dada a disponibilidade desse equipamento piloto, know-how da equipe técnica da GEPED-CAGECE e economia de recurso despendido, abalizada também pelo benefício econômico que o método requer, a tecnologia foi escolhida para se avaliar a remoção dos sólidos suspensos do efluente da 2ª lagoa de maturação componente da ETE - Aquiraz.

Dentre as diversas técnicas de separação de fases, o processo de Flotação por Ar Dissolvido – F. A. D. já era utilizado há mais de cem anos, tendo sua origem e principal aplicação na indústria de processamento mineral. A FAD consiste na introdução e adesão de bolhas de ar em uma fase dispersa (partículas) e assim realiza-se a separação de sólidos ou líquidos. O ar é dissolvido na água em uma câmara sob pressão de várias atmosferas, seguido por súbita descompressão para a pressão atmosférica, após ser liberado por um dispositivo de constrição de fluxo ou válvulas; com conseqüente adesão das microbolhas formadas às partículas, favorecendo o seu movimento ascensional. (TESSELE *et al.*, 1998; NUNES *et al.*, 2007).

Dependendo do tipo de sistema, o fluxo pode ser pressurizado por meio de uma simples bomba de ar comprimido. O fluxo é mantido em um tanque de retenção sob pressão (2 a 6 atm), para permitir que o ar se dissolva. O líquido pressurizado é então admitido através de uma válvula redutora de pressão para o tanque de flotação, aonde o ar é liberado na forma de pequenas bolhas por todo o volume do líquido (CHERNICARO, 2001; BRABTBY, 1983).

Uma das vantagens da FAD é proporcionar a formação de bolhas de tamanho bastante reduzido, da ordem de 10 a 100µm. Quanto menor o tamanho da bolha melhor é a eficiência, pois maior será a área interfacial bolha-partícula. As bolhas aderem às partículas, formando uma espuma que pode ser removida da solução, separando seus componentes agregados, cuja densidade é menor que a do líquido de maneira efetiva, podendo ser coletada em uma operação de raspagem superficial (MASSI *et al.*, 2008; METCALF e EDDY, 1991).

Esta técnica tem sido estudada e utilizada para diversos fins, como remoção de contaminantes e resíduos industriais, recuperação de produtos em efluentes industriais, separação de produtos de mineração, remoção de flocos biológicos em Estações de Tratamento de Esgoto, algas em estação de tratamento de águas (DI BERNARDO, 2010; CHERNICARO, 2001; BRABTYB, 1983), como pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização (ROCHA *et al.* 1999) e recentemente foi aplicada em tratamento de lodo da Estação de Tratamento de Água de Fortaleza (CHAVES, 2012).

A flotação por ar dissolvido (FAD) tem sido considerada um processo de tratamento efetivo, particularmente para águas que apresentam baixa turbidez e cor elevada, condições que caracterizam águas de ambientes eutrofizados.

Alguns estudos na literatura abordam a eficiência da FAD na remoção de algas e cianobactérias em águas de abastecimento, considerando-se como vantagem a menor permanência do lodo no sistema, evitando o rompimento das células de cianobactérias, impedindo, dessa forma, a liberação das toxinas. (DI BERNARDO, 2010; ASSIS, 2006; CORAL, 2009; OLIVEIRA, 2005).

Em Tratamento de Esgoto, a flotação é usada principalmente para remover matéria suspensa e para concentrar lodos biológicos. Cita-se como vantajosa, quando partículas muito pequenas e leves, e que sedimentam muito lentamente, podem ser removidas num período de tempo menor. Uma vez que as partículas tenham flotado até a superfície, espessas camadas se acumulam e podem ser coletadas com um removedor de espuma, podendo inclusive se incorporar a novas etapas de tratamento e inclusive reuso (Incineração, obtenção de ácidos graxos, disposição no solo, adubo etc).

De acordo com Brasil (2007), o sistema de flotação pode ser classificado em três tipos: a flotação por ar dissolvido, a flotação por ar disperso e a flotação

eletrolítica. A flotação por ar dissolvido por pressurização (FAD) é a mais utilizada no tratamento de água para abastecimento e subdivide-se em:

- ✓ flotação por ar dissolvido com pressurização total do afluente,
- ✓ flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do afluente e
- ✓ flotação por ar dissolvido com recirculação pressurizada.

Dentre os tipos de sistemas FAD, o mais empregado consiste em realizar a recirculação pressurizada de uma parcela do afluente já clarificado, recirculando e misturando a mesma com o afluente. Para auxiliar na remoção dos sólidos suspensos, um pré-tratamento com agentes coagulantes e floculantes é necessário para a formação de flocos. Os flocos possuem maior tamanho e menor massa específica em relação às partículas originais. O grau de clarificação do efluente final depende da quantidade utilizada de coagulante. Podem-se obter efluentes com remoções de 80 a 90% de sólidos suspensos totais, de 40 a 70% de DBO5, de 30 a 60% de DQO e de 80 a 90% das bactérias, quando auxiliadas por precipitação química seguida de remoção dos flocos (CHERNICARO, 2001; FUNASA 2007).

Estudos visando à aplicação de processos físico-químicos no polimento de lagoas para minimizar a incidência desses organismos mostraram resultados promissores com redução significativa no número de indivíduos fitoplanctônicos, incluindo as cianobactérias (CRUZ *et al.*, 2005; GODOY e TESSELE, 2005). Resultados que estimularam a adoção dessa linha de pesquisa.

## 4. METODOLOGIA

Com fins de alcançar os objetivos deste trabalho, selecionou-se um conjunto de lagoas de estabilização na região metropolitana de Fortaleza, na Estação de Tratamento de Esgotos de Aquiraz. Planejou-se um conjunto de coletas para análise qualitativa e quantitativa para cada lagoa (Facultativa, Maturação-A e Maturação-B), perfazendo 31 semanas e totalizando 181 amostras analisadas para identificação das espécies e contagem da densidade dos organismos, avaliando a sua variação semanal. O levantamento de dados ocorreu de Maio a Dezembro de 2011, período de menor incidência de chuva no Estado. A realização das coletas, armazenamento e desenvolvimento de análises foi promovida pelo apoio da estrutura da CAGECE.

Posteriormente ao processo de coletas, procedeu-se à realização das análises laboratoriais na Gerência de Controle de Qualidade da CAGECE, com o uso de espaço, equipamentos, vidrarias e reagentes necessários. As análises quantitativas tiveram que ser adaptadas aos procedimentos operacionais padrão para água bruta, utilizados pela Companhia, para determinação de necessidade de concentração das amostras. Todas as análises seguiram restritamente os procedimentos adotados em APHA (2005).

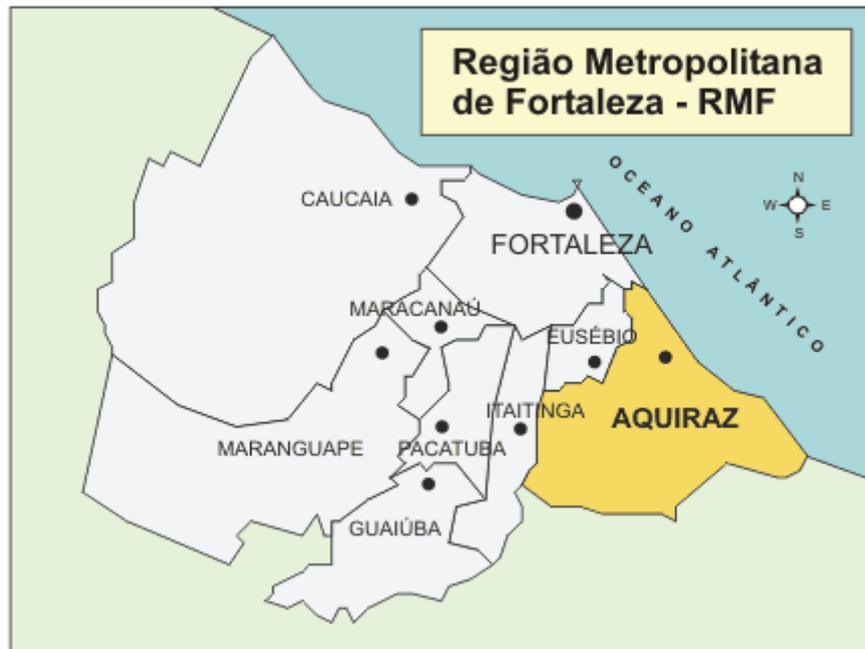
Durante cada amostragem, amostras em vasilhames de polipropileno de 20L foram coletadas para a realização de testes iniciais de floco-decantação por Jar-test. Após seis testes prévios para determinação das melhores faixas de concentrações de auxiliares de floculação e decantação, amostras de 6m<sup>3</sup> de efluente da Lagoa de Maturação-B foram transportadas por caminhão-vácuo até o laboratório de pesquisa em água bruta, para realização de testes em unidade de flotação com ar dissolvido. Avaliou-se a eficiência de remoção, através de contagens celulares, sólidos, DQO, DBO e Coliformes do efluente, pré e pós-flotado com ar dissolvido.

Ao longo do estudo e de posse dos resultados, elaborou-se um banco de dados em Excell e Acess com os quais foram analisados os dados e confeccionados os gráficos aqui apresentados.

### 4.1 Área de estudo

O local selecionado foi o sistema de lagoas de estabilização (Lagoas facultativas e de maturação), componentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Aquiraz, distante cerca de 24 km Fortaleza (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de Localização da Cidade de Aquiraz



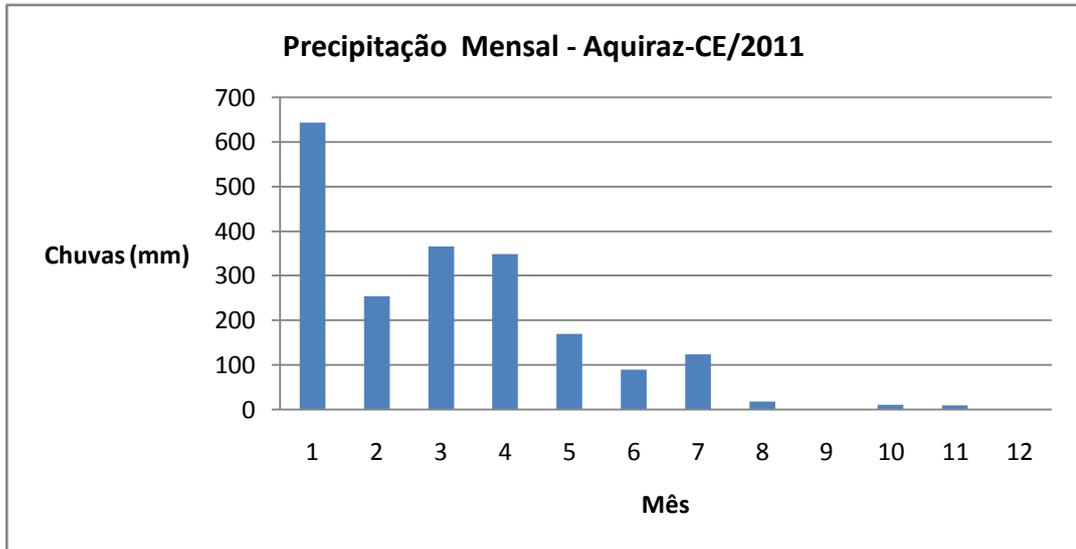
Fonte: Sítio na Web da Prefeitura Municipal de Aquiraz (2012).

A região está localizada em altitude de 14m e suas coordenadas são: 3° 54' 97" (S) e 38° 23' 48,44" (O); clima tropical quente subúmido, temperaturas mínimas e médias entre 28°C e 36°C, pluviometria média de 1532 mm anuais, com chuvas concentradas de janeiro a abril (FUNCEME 2012). De acordo com o boletim mensal de chuvas da Fundação Cearense de Meteorologia, entre os meses de agosto a dezembro de 2011, ocorreu menos de 50 mm de precipitação (Figura 3).

De acordo com o censo demográfico de 2010 realizado pelo IBGE, a população local era de 72.628 habitantes, distribuídos por uma área de 482,566km<sup>2</sup> (IBGE, 2012). O sistema foi projetado para uma população de projeto de 37.978 habitantes e para uma vazão final de 103,43 L/s (Mota *et al.*, 2007).

O relatório de fiscalização da Agência reguladora de serviços do Estado – ARCE (ARCE, 2011) aponta uma rede coletora de extensão total de 36.228,06 metros, com 1.988 ligações prediais interligadas à mesma. De acordo com o documento, o índice de cobertura de esgoto atingiu 39,4% e o atendimento era de 32,36% em 2011, com 7,04% da população coberta não utilizando o serviço de coleta de esgoto, mesmo tendo-o disponível. Na Figura 4 mostra-se uma vista aérea da ETE de Aquiraz – CE.

Figura 3 - Gráfico de precipitação mensal em 2011.



Fonte: FUNCEME (2011).

Figura 4 - Vista aérea ETE- Aquiraz.



Fonte: Google Earth

A ETE é composta por tratamento preliminar envolvendo gradeamento e desarenação, seguido de medidor Parshall e de uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa, seguida de duas lagoas de maturação, compondo dois módulos em paralelo. Atualmente, apenas um módulo encontra-se em operação (Tabela 3).

Tabela 3 - Características dimensionais das Lagoas da ETE-Aquiraz

| Lagoa       | Profundidade(m) | Dimensões do fundo (m) |
|-------------|-----------------|------------------------|
| Anaeróbia   | 3               | 86,7 x 40,7            |
| Facultativa | 1,5             | 192,7 x 95,5           |
| Maturação A | 1,5             | 154 x 72               |
| Maturação B | 1,5             | 153,7 x 71,7           |

Fonte: Mota *et al.* ( 2007).

O lançamento do esgoto tratado ocorre no Rio Pacoti e não há monitoramento da vazão do rio (Figura 5). O esgoto tratado lançado pela estação de tratamento de esgotos de Aquiraz é monitorado pela CAGECE. Baseado no relatório do monitoramento da empresa, as características do efluente durante o ano de estudo pode ser visualizado na Tabela 4.

Figura 5 – Localização do corpo receptor da ETE - Aquiraz, Rio Pacoti.



Fonte: Sítio na WEB da Prefeitura Municipal de Aquiraz (2012).

Tabela 4 - Caracterização do efluente final da ETE– AQUIRAZ em 2011.

| COLETA | TRATAMENTO BIOLÓGICO - LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO |               |                        |                        |               |               |                        |             |                        |                             | PADRÕES DA PORTARIA   |           |              |
|--------|--|---------------|------------------------|------------------------|---------------|---------------|------------------------|-------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|--------------|
|        |  |               |                        |                        |               |               |                        |             |                        |                             | Nº. 154/2002 ART. 4º. |           |              |
|        |  |               |                        |                        |               |               |                        |             |                        |                             | SEMACE                |           |              |
|        | pH   | DQO<br>(mg/L) | DQO<br>Filt.<br>(mg/L) | DBO<br>Filt.<br>(mg/L) | DBO<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | Sól.<br>Sed.<br>(mL/L) | Temp.<br>°C | C. Totais<br>NMP/100mL | <i>E. coli</i><br>NMP/100mL | Parâmetro             | Unidade   | Padrão       |
| 27-jan | 7,42   | -             | -                      | -                      | -             | 102           | -                      | -           | $2,5 \times 10^5$      | $2,1 \times 10^3$           | pH                    | -         | 7,5-<br>10,0 |
| 24-fev | 7,84   | 179,5         | -                      | -                      | -             | 98            | -                      | -           | $1,7 \times 10^6$      | $2,0 \times 10^2$           | DQO Filt.             | mg/L      | 200,0        |
| 24-mar | 8,26   | 207,6         | 55,1                   | 21,29                  | 114,39        | 122           | 0,4                    | 29          | $2,8 \times 10^8$      | < 1,0                       | DBO Filt.             | mg/L      | 60,0         |
| 28-abr | 8,06   | 136,5         | -                      | -                      | -             | -             | -                      | -           | $2,4 \times 10^5$      | $5,1 \times 10^2$           | O.D.                  | mg/L      | >3,0         |
| 26-mai | 7,67   | 136,4         | -                      | -                      | -             | 43            | -                      | -           | $1,2 \times 10^6$      | < 1,0                       | SST                   | mg/L      | 150,0        |
| 16-jun | 8,29   | 186,7         | 137,1                  | 37,69                  | 62,17         | 74            | -                      | 28          | $1,1 \times 10^6$      | $< 1,0 \times 10^2$         | Sol. Sed.             | mL/L      | 1,0          |
| 21-jul | 7,68   | 177,5         | 86,3                   | 45,01                  | 66,16         | 76            | < 0,1                  | 27          | $5,5 \times 10^5$      | $1,0 \times 10^2$           | Sulfeto               | mg/L      | 1,0          |
| 18-ago | 7,99   | 172,0         | -                      | -                      | -             | 95            | -                      | -           | $2,1 \times 10^6$      | $< 1,0 \times 10^2$         | Temp.                 | °C        | 40           |
| 15-set | 8,27   | 167,3         | 51,8                   | 40,83                  | 84,83         | 74            | < 0,1                  | 28,5        | $6,5 \times 10^6$      | $1,0 \times 10^2$           | Sulfato               | mg/L      | 500,0        |
| 20-out | 7,68   | 226,5         | -                      | -                      | -             | 91            | -                      | -           | $1,1 \times 10^6$      | $6,3 \times 10^2$           | N-NH <sub>3</sub>     | mg/L      | 5,0          |
| 17-nov | 8,14   | 184,0         | -                      | -                      | -             | 89            | -                      | -           | $2,8 \times 10^6$      | $1,0 \times 10^2$           | <i>E. coli</i>        | NMP/100mL | 5000         |
| 15-dez | 8,12   | 183,6         | 93,8                   | 52,18                  | 92,03         | -             | -                      | 30          | $> 2,4 \times 10^5$    | < 1,0                       |                       |           |              |

Fonte: CAGECE (2011).

## 4.2 Coleta, preservação e preparação de amostras

As amostras foram coletadas semanalmente, na região do vertedouro (Figura 6) entre as lagoas. O local corresponde à saída do efluente entre cada lagoa. Foram coletadas amostras de subsuperfície, obedecendo ao horário entre 9h e 10h da manhã, durante os meses de maio a dezembro de 2011.

Figura 6 – Local de coletas



Fonte: Do Autor (2013).

Coletaram-se duas amostras de 1L em frascos de vidro âmbar, uma para análise do material in vivo, mantida refrigerada e posteriormente fixada com 5 mL de Formaldeído a 40%. A outra amostra recebia 5mL de Lugol acético para fixação e contagem dos indivíduos. Cada frasco recebeu etiqueta de identificação com data de coleta, horário, número da lagoa (Lagoa facultativa: 2; Lagoa Maturação A: 3; Lagoa Maturação B: 4) e um código único de identificação da análise para composição de banco de dados.

Dependendo da disponibilidade de horário de uso dos microscópios do Laboratório de Hidrobiologia da Gerência de Controle de Qualidade do Produto da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, o material era transportado para análise ou mantido armazenado no laboratório operacional de esgoto da Unidade de Macrocoleta e Tratamento de Esgotos da CAGECE.

Para os testes de flotação com ar dissolvido, amostras de 6.000L foram coletadas diretamente do reservatório de água da 2ª lagoa de maturação, localizada no Centro de Pesquisa em Reúso da CAGECE, anexo à ETE - Aquiraz. O efluente foi transportado por caminhões do tipo vácuo até o Centro de Pesquisa em Água,

local onde está instalado o FAD piloto, nas proximidades da ETA-Gavião, em Pacatuba (Figura 7).

Figura 7 – Interligação Caminhão-vácuo com a entrada do Flotador.



Fonte: Do autor (2013).

### 4.3 Análises qualitativas.

As amostras coletadas para análises qualitativas (identificação das espécies) foram refrigeradas e levadas ao laboratório para imediata identificação ao microscópio óptico. Amostras que não puderam ser analisadas imediatamente para observação *in vivo* foram conservadas em geladeira por, no máximo, seis dias ou fracionadas uma parte (500mL) foi fixado em solução de Formaldeído a 40%, obtendo-se concentração final de 4%.

Para análise qualitativa (taxonômica), coloca-se uma gota da amostra em lâmina de vidro coberta com lamínula. A observação ao microscópio ótico pode ser realizada com diferentes aumentos, com objetiva de 10 até 100 X (com óleo de imersão); em média, foram analisadas 10 lâminas por amostra (Figura 8).

Os organismos fitoplanctônicos foram observados com o auxílio de microscópio binocular marca Olympus, modelo CKX-1, em objetivas de 20x, 40x e 100x em câmara clara e ocular micrométrica. De acordo com a disponibilidade do microscópio acoplado de epifluorescência, Zeiss Axio Scope, efetuou-se o registro

de microfotografias.

A identificação e organização taxonômica dos indivíduos encontrados foi baseada em literatura especializada: Parra e Bicudo (1995); Anagnostidis e Komárek (1988, 1989, 1998, 2005); Bicudo e Menezes(2005); Sant'Anna *et al.* (1984, 2006); Komárek e Anagnostidis (1986, 1988); Bourrelly (1985), Bicudo e Menezes (2005); Calijuri *et al.* (2006); Bicudo e Santos (2001). Todos os nomes científicos, categorias taxonômicas e sinonímias foram conferidas em banco de dados on-line atualizado (KOMÁREK, 2012; GUIRY, 2012).

Figura 8 – Preparação das amostras qualitativas



Fonte: Do autor (2013).

#### 4.4 Análises Quantitativas

As amostras coletadas para análises quantitativas (identificação e contagem das espécies) acondicionadas em frascos de vidro em cor âmbar e fixadas com lugol acético (5mL/L), passaram por homogeneização por leve agitação da garrafa e posteriormente adicionadas em provetas de 1000mL, cobertas e abrigadas de luz.

O material ficava 24 horas em sedimentação (Figura 9) e após esse período, separava-se o sobrenadante do material sedimentado com bomba de vácuo (e calculada a relação de concentração, para posterior correção da densidade encontrada, quando necessário).

Subamostras eram tomadas e analisadas em câmaras de Sedgwick-Rafter com capacidade de 1mL (S-R). Estas câmaras apresentam 20mm de largura por 50mm de comprimento e 1mm de profundidade (Figura 10). Após sedimentação por 15 minutos, as amostras eram então submetidas à contagem em microscópio óptico

invertido da marca Olympus, modelo CKX-1, com oculares de 20x e 40x (aumentos de 200x e 400x). Os resultados foram expressos em organismos/mL.

Figura 9 - Sedimentação de amostras para contagem.



Fonte: Esquerda – Laboratório de Hidrobiologia/CAGECE. Direita: Do Autor (2013).

Figura 10 - Preparação da amostra, sedimentação e câmara de contagem.



Fonte: Esquerda – Laboratório de Hidrobiologia/CAGECE. Direita: Do Autor (2013).

Foram contados pelo menos 100 indivíduos da espécie dominante por amostra, sendo o erro padrão estimado em 20%. A densidade, em número de células, das espécies dominantes (formas filamentosas) foi estimada multiplicando-se a densidade do organismo (indiv/mL) pelo número médio de células (valor obtido a partir de aproximadamente 30 medições para cada indivíduo) por tricoma (comprimento total/comprimento celular).

Todas as análises foram baseadas nos Procedimentos Operacionais Padrão da CAGECE, confeccionados a partir de Chorus e Bartram (1999), Jardim *et. al.* (2002), CETESB (2005), Cybis *et. al.* (2006) e APHA, (2005).

#### **4.5 Ensaios de coagulação e floculação (JAR TEST)**

A água oriunda do efluente da 2ª lagoa de maturação apresenta ainda, grau significativo de turbidez causada pelas minúsculas partículas coloidais e pela presença das algas. Essas partículas possuem cargas eletrostáticas naturais que as mantêm constantemente em movimento e evita que atraiam e se aglomerem, mantendo-se dispersas na coluna e elevando os valores de análise de sólidos suspensos.

Portanto, no intuito de otimizar o processo FAD, foram adicionados produtos químicos conhecidos como coagulantes e auxiliares de coagulação (polímeros), a princípio, para neutralizar as cargas e, depois, para auxiliar na aglomeração das partículas pequenas para que possam se unir e formar partículas maiores formando o que se conhece por floco. Esses podem então serem flutuados e arrastados à superfície pelas bolhas durante o processo FAD (MORGAN e VESILIND 2011).

De acordo com Chernicaró (2001), dentre os produtos químicos que podem ser utilizados no processo de separação dos sólidos das amostras do efluente estão os polímeros neutros ou não iônicos, catiônicos e aniônicos. Os flocculantes com poliácridamidas aniônicas ou catiônicas introduzem cargas negativas ou positivas nas soluções aquosas. A ação proporciona força de adesão e formação de pontes entre as partículas, reprimindo a repulsão natural, resultando na agregação.

É importante que a aplicação do polímero seja fundamentada no teste experimental, para assegurar a combinação satisfatória do mecanismo de atuação do produto químico com as peculiaridades da amostra. No intuito de se encontrar as melhores condições de floculação e flotação com as menores concentrações de coagulantes, amostras de efluente coletado foram submetidas a ensaios de “jar test” para variadas concentrações de coagulante e auxiliares de coagulação. Os produtos utilizados estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 – Produtos auxiliares de cogulação e floculação

| Produto                          | Fabricante    | Concentração |
|----------------------------------|---------------|--------------|
| Policloreto de Alumínio (PAC 23) | Beraca Sabará | 2%           |
| Polímero Catiônico (FO4140)      | Floeger       | 0,07%        |

Fonte: Do autor (2013)

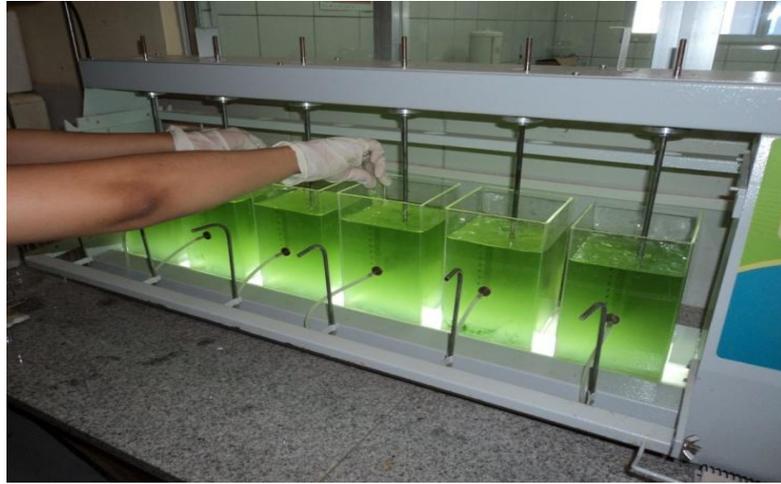
O procedimento de ensaio era realizado em seis jarros de 2,0 litros. Cada um recebeu iguais volumes de efluente, adicionando-lhe diferentes doses de PAC e polímero (Tabela 6). Após um período de agitação (3 minutos), com a finalidade de dispersar completamente o coagulante e promover a coagulação, diminuiu-se a intensidade de agitação para dar início a floculação, por um período de 10 minutos. Posteriormente, uma etapa de sedimentação foi realizada durante 3 minutos (Figura 11).

Tabela 6 – Ensaio e dosagens experimentadas em Jarrest

| Ensaio | Coagulante (ppm) | Polímero (ppm) | Mistura rápida  |                  | Mistura lenta   |                  | Decantação |
|--------|------------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------|
|        |                  |                | Tempo (minutos) | Velocidade (rpm) | Tempo (minutos) | Velocidade (rpm) |            |
| 01     | 70 - 400         | 3              | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |
| 02     | 170 - 320        | 3              | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |
| 03     | 290              | 0-2,5          | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |
| 04     | 20 - 120         | 1              | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |
| 05     | 100              | 1-3            | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |
| 06     | 120              | 1-3            | 3               | 100              | 7               | 20               | 3min.      |

Fonte: Do Autor (2013).

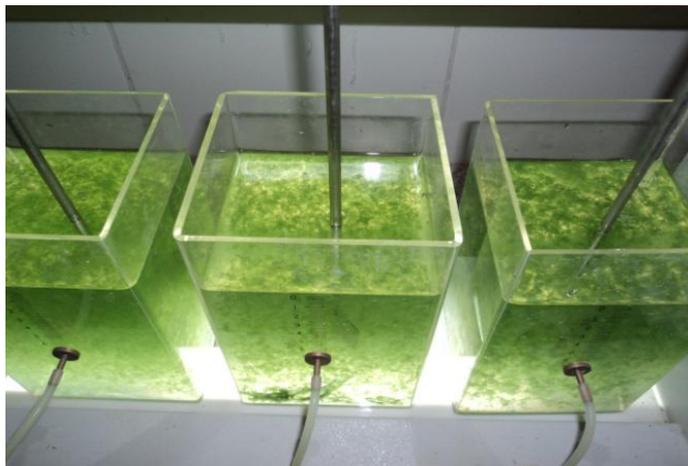
Figura 11 - Ensaio de Jar teste, adição de coagulantes.



Fonte: Do autor (2013).

Posteriormente a cada teste, amostras do efluente clarificado (sobrenadante) foram coletadas para a análise de cor e turbidez em laboratório. Ao final, encontraram-se as faixas com melhores resultados de flotação e sedimentação, selecionadas para etapa seguinte (Figura 12).

Figura 12 – Melhores concentrações de floculantes encontradas.



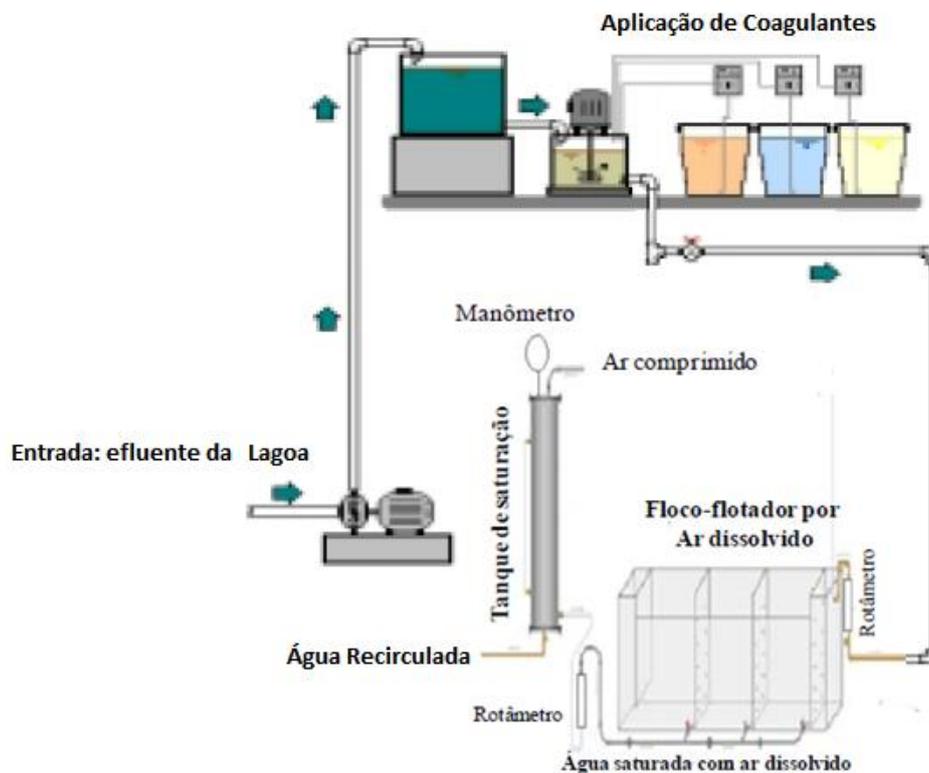
Fonte: Do autor (2013).

#### 4.6 Teste de remoção de algas por F. A. D

Para a realização dos testes, utilizou-se de um sistema de flotação compacto. O equipamento utilizado está instalado no Centro de Pesquisa de Tratamento de Água, localizado na Estação de Tratamento de Água – ETA Gavião – pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

De acordo com Chaves (2012), o equipamento foi construído em acrílico transparente e incorpora em uma única unidade o floculador de cortina vertical, composto por placas em acrílico verticais perfuradas, as quais separam o equipamento em câmaras, utilizadas como câmaras de floculação e flotação, simultaneamente. Suas dimensões são de 0,25 m de largura por 1,94 m de comprimento e 0,75m de altura (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 13 - Esquema do sistema F.A.D piloto.

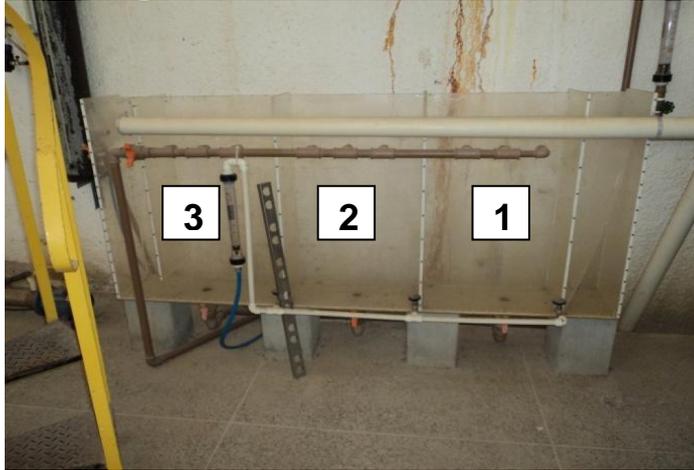


Fonte: Adaptado de Chaves (2012) e Brasil (2007).

O Floco-flotador possui uma primeira câmara, onde se faz a introdução da água a ser testada já adicionada de polímero floculante, denominada câmara de

mistura (Figura 14). A mistura é promovida pelo gradiente hidráulico da tubulação de entrada. A inserção da água saturada com ar dissolvido ocorre na parte inferior das 3 câmaras centrais, chamadas câmaras de flotação, tendo como objetivo promover o contato e a agregação das microbolhas de ar ao floco em formação.

Figura 14 - Floco-flotador vazio.



Fonte: Do autor (2013)

A última câmara, designada de câmara de coleta, é delimitada por uma divisória em acrílico não perfurado, que funciona como uma chicana, sendo utilizada para a coleta da água clarificada. Além do FFDA, a unidade é constituída, ainda, pelos seguintes equipamentos: bomba dosadora para aplicação do polímero, um sistema de compressão de ar, câmara de saturação de alta pressão, controlada por manômetro e uma bomba centrífuga à qual se acoplou a tubulação oriunda do reservatório contendo o efluente em teste.

A pressão na câmara de saturação era controlada por meio de manômetro, mantida entre 4 e 5 Kgf/cm<sup>2</sup>. A inserção de água saturada com ar dissolvido e liberação das microbolhas é realizada por três válvulas em aço inox do tipo agulha (Figura 15).

Figura 15 – Inserção de água saturada com ar dissolvido.



Fonte: Do autor (2013).

As concentrações de coagulantes para a realização dos testes foram baseadas nos resultados de 5 ensaios de testes de jarros prévios (Tabela 7).

Tabela 7 - Características dos coagulantes utilizados.

| <b>Produto</b>                | <b>Fabricante</b> | <b>Concentração</b> | <b>Vazão</b> |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|--------------|
| Policloreto de Alumínio (PAC) | Beraca Sabará     | 2%                  | 125mL/min    |
| Policloreto de Alumínio (PAC) | Beraca Sabará     | 2%                  | 150mL/min    |
| Polímero Catiônico (FO4140)   | Floeger           | 0,07%               | 36mL/min     |
| Polímero Catiônico (FO4140)   | Floeger           | 0,07%               | 72mL/min     |

Fonte: Do autor (2013).

Para esta pesquisa, a remoção de fitoplâncton de efluente de lagoa de estabilização foi testada utilizando-se os seguintes parâmetros operacionais, de acordo com (Tabela 8):

- ✓ Vazão de entrada da água bruta: 1,5 m<sup>3</sup>/h
- ✓ Vazão de operação do flotador: 1m<sup>3</sup>/h
- ✓ Taxa de recirculação da água saturada: 15% e 30%.
- ✓ Tempo de teste: 1h e 2h

Tabela 8 - Diferentes ensaios e variações operacionais testadas.

|         | <b>Tempo</b> | <b>PAC</b> | <b>Polímero</b> | <b>Recirculação</b> |
|---------|--------------|------------|-----------------|---------------------|
|         | (h)          | (ppm)      | (ppm)           | (%)                 |
| Teste1  | 1            | 0          | 0               | 15%                 |
| Teste 2 | 1            | 100        | 0               | 15%                 |
| Teste 3 | 1            | 100        | 1               | 15%                 |
| Teste 4 | 2            | 100        | 1               | 15%                 |
| Teste 5 | 1            | 100        | 1               | 30%                 |
| Teste 6 | 2            | 100        | 1               | 30%                 |
| Teste 7 | 1            | 120        | 1               | 30%                 |
| Teste 8 | 2            | 120        | 1               | 30%                 |

Fonte: Do Autor (2013)

Os parâmetros operacionais foram adotados levando-se em consideração a experiência prévia da companhia estadual de saneamento no que se refere à operação desta instalação-piloto no tratamento da água do açude Gavião. Os ensaios realizados nesta instalação tiveram caráter qualitativo, visando principalmente verificar a potencialidade do uso desta tecnologia na remoção de fitoplâncton de lagoas, até então nunca testado na unidade. Durante o processo de flotação foram coletadas amostras para observação de cor aparente e a turbidez da água clarificada, analisadas no mesmo local.

#### 4.7 Cálculos de eficiência e de remoção

As eficiências de remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST), Turbidez, Densidade celular; DQO, DBO, *E.Coli*, foram calculadas em função da relação entre os teores/valores encontrados na entrada do flotador (Efluente final das lagoas) e os resultados encontrados após a clarificação com o ar dissolvido. O valor inicial do parâmetro analisado antes da flotação foi denominado  $X_0$ , e  $X$  o valor do parâmetro encontrado após a clarificação, e aplicados de acordo com a fórmula abaixo, tomando como exemplo, Sólidos Suspensos Totais

$$\eta = \left( 1 - \frac{SST}{SST_0} \right)$$

Ao final, elaborou-se uma tabela contendo todos os valores encontrados no efluente, pré e pós-flotação, calculando-se então suas eficiências de remoção baseando-se nos parâmetros analisados e comparados com os indicados na Portaria 154, da SEMACE, que orienta quanto aos valores máximos permitidos para os lançamentos de efluentes nos corpos receptores do Estado do Ceará.

#### **4.8 Análises complementares**

No intuito de avaliar os níveis de remoção e possível melhoria nas condições do efluente das lagoas após processo F.A.D, durante os ensaios de flotação, amostras eram tomadas para monitoramento da redução de cor e turbidez, analisadas no próprio Centro de Pesquisas em Água da CAGECE . Outras amostras foram coletadas e enviadas ao Laboratório de águas residuárias da Gerência de Controle de Qualidade da mesma Companhia. Os parâmetros analisados foram: Turbidez; DQO; DBO; Série de Sólidos; Coliformes Totais; Coliformes Termotolerantes e Densidade de organismos.

Todas as análises seguiram os procedimentos de coleta e execução adotados em APHA (2005).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises qualitativas

Os resultados encontrados mostraram que a comunidade fitoplanctônica do sistema de lagoas da ETE - Aquiraz era composta por um total de 36 táxons, distribuído por seis classes taxonômicas (Figura 16). As Chlorophyceae apresentaram a maior diversidade de espécies, com 14 spp. (38,8%), seguido das Euglenophyceae, com 11 spp. (30,5%), depois Cyanophyceae, com 7 spp. (19,4%) e Bacillariophyceae, com 2 spp. (5,5%), Cryptophyceae, 1 sp.(2,7%) Chlamydophyceae, com apenas 1 spp. (2,7%).

Figura 16 - Número de total de espécies encontradas, distribuídas por classe taxonômica.



Fonte: Do autor (2013).

Embora seja reconhecida a importância das microalgas em lagoas de tratamento de esgotos, ainda são necessários estudos de levantamento taxonômico do fitoplâncton e estrutura da comunidade nesses ambientes como o realizado aqui, no mínimo para subsidiar ações efetivas de controle operacional e de disposição nos corpos receptores

Segundo Sousa (1994), as lagoas facultativas, o tipo mais comum utilizado, operam com cargas orgânicas mais leves que as utilizadas nas lagoas anaeróbias, permitindo um amplo desenvolvimento de algas nas camadas mais superficiais e iluminadas. Essas algas, através da atividade fotossintética, oxigenam a massa líquida da lagoa, modificam o pH e consomem nutrientes orgânicos.

Sant'anna (1989), afirma que Chlorophyceae parecem ter preferência por

águas pouco profundas, valores alcalinos de pH, baixa transparência, assim como por ecossistemas lacustres eutróficos e influenciados pela atividade humana. Situação nada divergente do encontrado nas lagoas de Aquiraz.

As *Chlorophyceae* estão distribuídas em águas de diferentes concentrações químicas (WETZEL, 1981); porém, suas espécies são muito registradas em ecossistemas com elevado grau de trofia devido a habilidade competitiva para assimilar nutrientes e viver em ecossistemas lênticos e com pouca turbulência (ROUND, 1983).

Embora haja um número expressivo de representantes de algas verdes, essas se restringem, em termos de distribuição entre as lagoas, às primeiras etapas do tratamento, conforme poderá ser observado na distribuição quantitativa semanal por lago e por classe taxonômica. Ainda que tenha sido encontrado um número menor de representantes de Cyanophyta, as espécies encontradas desse grupo sobrepujam as demais em termos de densidades das espécies e frequência de ocorrência nas três lagoas. As classes representadas neste levantamento pouco divergem do encontrado em Aquino (2010), (2011) em lagoas do sul do Estado, bem como o levantamento de König (1999) em sistemas da Paraíba, com exceção de que nesse, encontrou-se Cryptofíceae e Chlamydoephyceae sem muita representividade.

As *Cyanophyceae* são algas muito bem adaptadas a ambientes com baixa turbulência, pH de neutro a alcalino, elevadas temperaturas e disponibilidade de nutrientes, embora muitas de suas espécies sejam capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e transformá-lo nas formas assimiláveis (amônia e nitrato), além de terem a capacidade de armazenar fósforo sob a forma de polifosfatos (REYNOLDS, 1984). Muitas espécies apresentam aerótopos, ou vesículas gasosas para migrar e regular sua suspensão na coluna d'água. Uma das adaptações fisiológicas que mais lhes proporciona sucesso em camadas mais inferiores da coluna d'água é a presença de ficocianina, pigmento acessório que capta comprimentos de onda de luz onde a clorofila já não mais consegue captar, proporcionando, inclusive, o crescimento dessas algas próximo ao sedimento. Além disto, muitas desenvolvem a heterotrofia (utilização de compostos orgânicos dissolvidos). Todas estas características constituem-se em vantagens competitivas sobre outros organismos fotossintéticos (DELAZARI-BARROSO, 2000).

Durante o trabalho de contagem dos indivíduos foram encontradas densidades que sobrepujavam a capacidade de observação em uma única lâmina,

tamanha a concentração de indivíduos, tendo que ser realizadas várias preparações para aumentar o esforço de reconhecimento da diversidade, tendo em vista que boa parte dos trabalhos monográficos de referência são ilustradas à partir de material de cultivo axênicos, em condições ideais.

No Ceará, não existem especialistas na área, nem hidrofitotérios com coleções de espécimes de referência, dificultando inclusive a deposição e registro das espécies deste trabalho. Mesmo com uso de potentes microscópios, experiência do autor com cinco anos trabalhando com monitoramento fitoplânctônico de açudes cearenses, reforçado por literatura especializada, algumas espécies não puderam ser identificadas nem ao nível de gênero, sendo alocadas no nível imediatamente superior ou organizadas de acordo com a forma típica e proximidade com espécie afim.

Algumas ilustrações não puderam ser fotografadas no exato momento em que a espécie foi encontrada, devido a indisponibilidade do software de captura de imagens acoplado ao microscópio – Zeiss/Axiovert © que teve que ser reinstalado pelo fornecedor por apresentar defeitos técnicos. Devido a isso a importante espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* é ilustrada aqui por imagem cedida pela CAGECE. A mesma foi determinada nas identificações em análises qualitativas e pouco contabilizada nas quantitativas, provavelmente pela baixa densidade populacional e alcance do método. Ressalte-se que há vasta literatura citando-a como produtora da toxina hepatotóxica cilindrospermopsina efeitos neurotóxicos (saxitoxinas), (CHORUS e BARTRAM, 1999; FALCONER, 1999; MACGREGOR e FABRO, 2000; LAGOS *et al.*, 1999; MOLICA *et al.*, 1998; NASCIMENTO *et al.*, 2000).

Abaixo segue lista das espécies ou morfotipos, ilustrações - quando foi possível realizar o registro, e respectiva alocação nas classes taxonômicas. Em alguns casos não foi possível identificar nem ao nível de família e optou-se por denominá-lo “morfotipos” dentro da respectiva classe encontrada. Segue lista com nomes das espécies, identificadas por classes, ilustração com fotomicrografia e respectivos aumentos e dimensões (Figuras 17 a 25).

#### Classe CYANOPHYCEAE

- ✓ *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont
- ✓ *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya &SubbaRaju

- ✓ *Geitlerinema* sp. Anagnostidis (Anagnostidis & Komárek)
- ✓ *Merismopedia* sp. Meyen
- ✓ *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing
- ✓ *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek
- ✓ *Pseudoanabaena* sp. Lauterborn

Figura 17 – Foto micrografia *Arthrospira* sp. (esquerda) e *Planktothrix agardhii*. (direita). Obj. 40x.



Fonte: Do Autor (2013).

Figura 18 - Foto micrografia: *Geitlerinema* sp. (esquerda) e *Mesrismopedia* sp. (direita) Obj.40x.



Fonte: Do Autor (2013).

Figura 19 - Foto micrografia: *Microcystis* sp. (esquerda) Obj. 40X e *Cylindrospermopsis raciborskii* (direita)



Fonte: Do Autor (2013).

Fonte: Lab. Hidrobiologia - CAGECE

#### Classe EUGLENOPHYCEAE

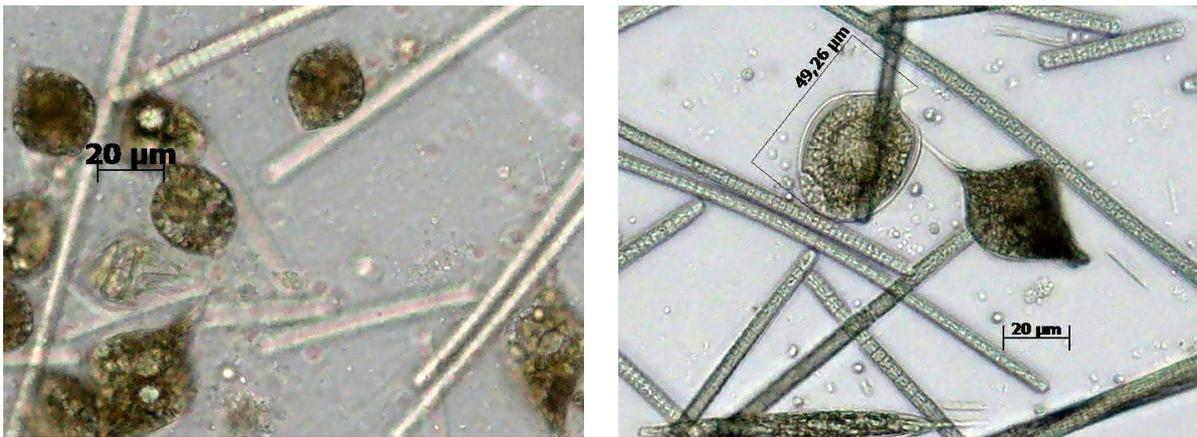
- ✓ *Euglena acus* Ehrenberg var. Deflandre
- ✓ *Euglena aff. sanguinea* Ehrenberg
- ✓ *Euglena* sp. Ehrenberg
- ✓ *Lepocinclis fusiformis* (Ehrenberg) Lemmermann
- ✓ *Lepocinclis ovum* (Ehrenberg) Lemmermann
- ✓ *Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin
- ✓ *Phacus* sp. Dujardin
- ✓ *Phacus triqueter* (Ehrenberg) Perty
- ✓ *Phacus tortus* (Lemmermann) Skvortzov
- ✓ *Strombomonas fluviatilis* (Lemm.) Defl.
- ✓ *Trachelomonas* sp. Ehr

Figura 20 – Fotomicrografia: *Euglena acus* Obj. 40x (Esquerda) e *Euglena aff sanguínea*. Obj. 40x.



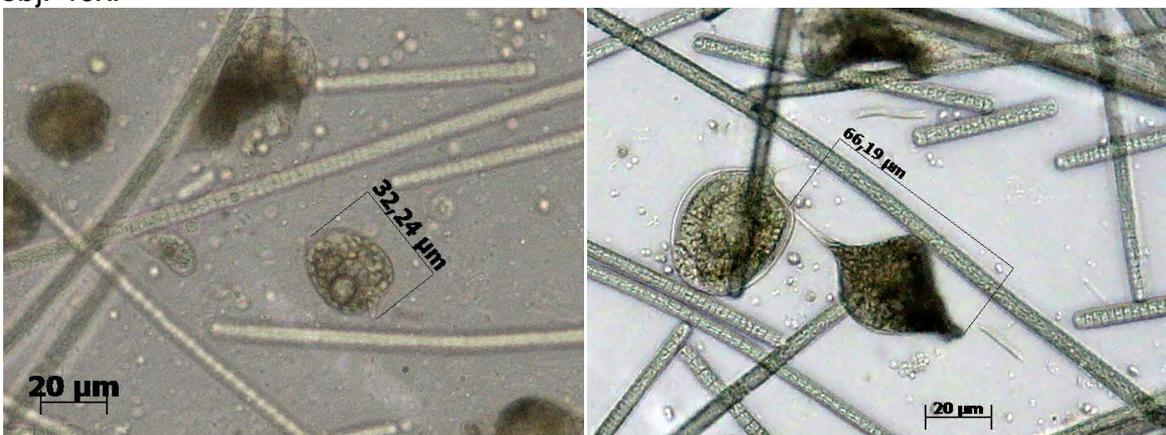
Fonte: Do Autor (2013).

Figura 21 - Fotomicrografia: *Lepocinclis ovum* (esquerda) e *Phacus sp* (direita). obj. 40x



Fonte: Do Autor (2013).

Figura 22 - Fotomicrografia: *Phacus triqueter* (esquerda) e *Phacus tortus* (direita). obj. 40x.

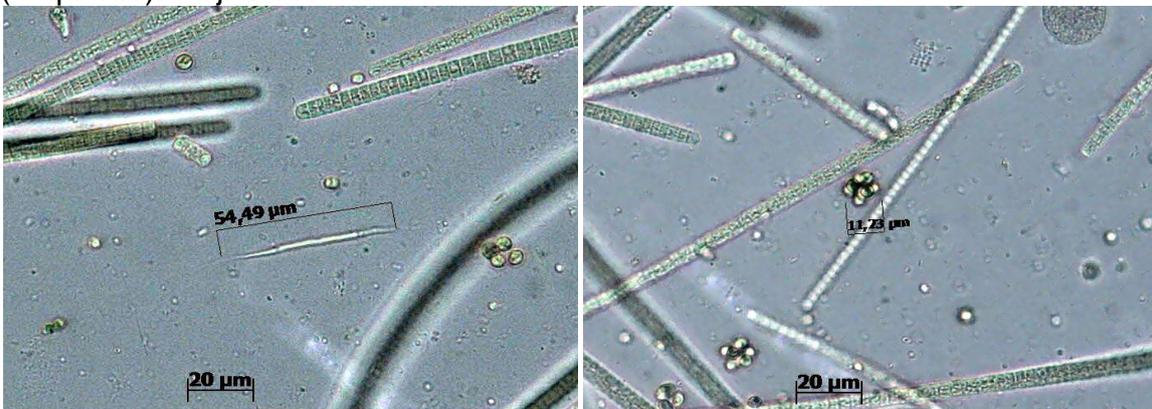


Fonte: Do Autor (2013).

## Classe CHLOROPHYCEAE

- ✓ *Actinastrum aff hantzschii* Lagerheim
- ✓ *Ankistrodesmus acicularis* (Braun) Korshikov
- ✓ *Chlorococcales* sp. 1 (isolada)
- ✓ *Chlorococcales* sp. 2 (4 células)
- ✓ *Chlorococcales* sp. 3 (colônia típica)
- ✓ *Closteriopsis acicularis* (Chodat) J.H.Belcher& Swale
- ✓ *Crucigenia* sp. Morren
- ✓ *Dicloster acuatus* Jao, Wei& Hu
- ✓ *Dictyosphaerium pulchellum* HCWood
- ✓ *Micractinium pusillum* Fresenius
- ✓ *Micractinium bornhemiense* (W.Conrad) Korshikov
- ✓ *Oocystis lacustris* Chod
- ✓ *Quadrigula chodatii* (Tanner-Füllemann) GM Smith
- ✓ *Scenedesmus* sp. Meyen

Figura 23 – Fotomicrografia: *Ankistrodesmus acicularis* (direita). *Chlorococcales* sp2. (esquerda). Obj. 40x.



Fonte: Do Autor (2013).

Figura 24 - Fotomicrografia: Chlorococcales sp. 3 (esquerda) e. *Dictyosphaerium pulchellum* (direita) Obj. 40x

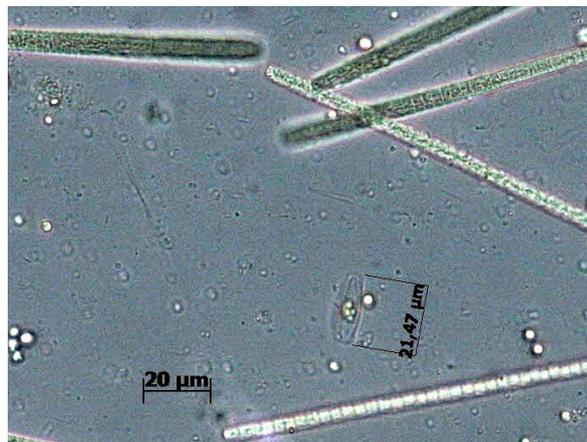


Fonte: Do Autor (2013).

#### Classe BACILLARYOPHYCEAE

- ✓ Bacillariophyceae - Morfotipo1 - Valva Heteropolar
- ✓ Bacillariophyceae - Morfotipo2 - Valva Isopolar

Figura 25 - Bacillariophyceae – Morfotipo 2. Obj 40x.



Fonte: Do Autor (2013).

#### Classe CRYPTOPHYCEAE

- ✓ *Cryptomonas* sp. Ehrenberg

#### Classe CHLAMYDOPHYCEAE

- ✓ *Spondylomorom caudatum* Schiller

Conforme observado na seqüência de fotomicrografias (Figura 26 a 27), é perceptível a redução da diversidade de organismos planctônicos e empobrecimento da diversidade na medida em que o processo de tratamento avança, com considerável concentração de praticamente uma única espécie na última lagoa de maturação (*Planktothrix agardhii*); evidencia-se o processo de floração dessa espécie e podendo-se caracterizar esse sistema como um grande meio de cultura e estoque de inóculos de hormogônios entre os pulsos de seca e cheia, típico da região Nordeste do Brasil. Se considerarmos que um organismo procarionte pode ser constituído de uma única célula, pode ser considerado floração densidades acima de  $10^4$  ind/mL de cianobactérias, de acordo com Funasa (2003), Chorus e Bartram (1999) e Portaria 518/MS.

Em Reynolds (2006) tem-se que a faixa ótima de crescimento das algas, principalmente para as cianobactérias, situa-se entre 25 e 28° C, já que nessa condição, a taxa de reprodução das espécies acelera-se, principalmente se houver disponibilidade de nutrientes, como é o caso das temperaturas médias observadas na região das lagoas de estabilização da ETE - Aquiraz.

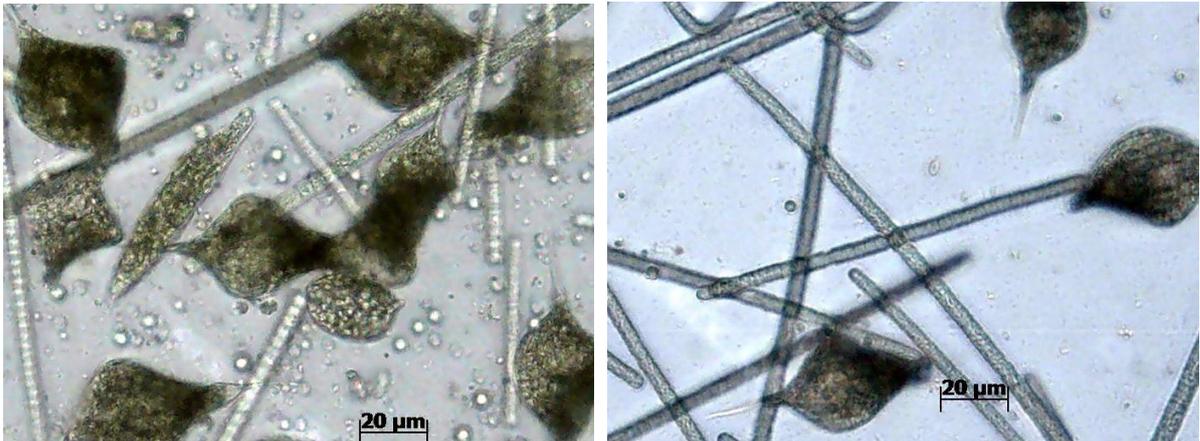
A predominância de Cianobactérias na lagoa de maturação cessa o interesse do uso desse ambiente para piscicultura ou mesmo o uso de seu efluente final sem remoção dos filamentos, tendo em vista que existem diversos registros de gêneros com representantes produtores de toxinas pertencentes a este grupo e citados em outros locais do Brasil, como *Planktothrix*, *Geitlerinema*, *Cylindrospermopsis* e *Microcystis* (SANT'ANNA *et al.*, 2006, COSTA *et. al.* 2006).

Ainda que poucos indivíduos dos três últimos gêneros tenham sido detectados, é necessário alertar para o potencial de desenvolvimento de linhagens tóxicas em mananciais receptores de efluentes de lagoas. A possibilidade de uso das águas do Rio Pacoti como fonte de abastecimento futuro poderá requerer técnicas mais apuradas para a remoção das células dessas espécies. Tendo em vista que o Rio se comunica com a Lagoa da Tapera e esta é utilizada como fonte água bruta para abastecimento da localidade de mesmo nome, além dos frequentes problemas operacionais como a rápida colmatação dos filtros e a redução dos tempos das carreiras de filtração da ETE, poderá ainda proporcionar graves problemas de saúde pública.

O exagerado número de filamentos de cianobactérias demonstra o domínio de uma única espécie nas lagoas de maturação, dificultando inclusive a contagem

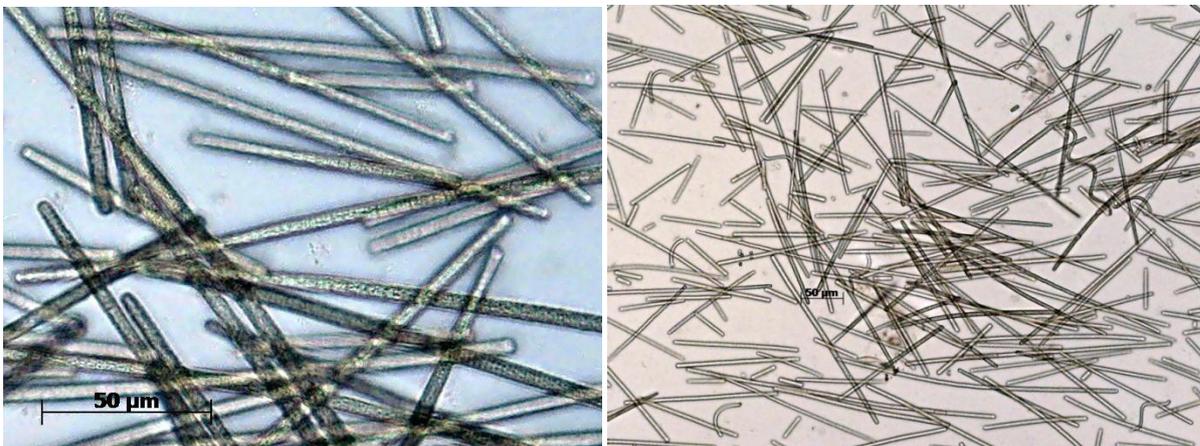
de populações menos representativas, conforme se pode observar nas micrografias comparando a visão por campo do microscópio entre as objetivas de 20x e de 40x (Figura 26 a 27).

Figura 26 - Fotomicrografia: visão geral amostras Lagoa 2 (Esquerda) e Lagoa 3 (Direita). Obj 40x.



Fonte: Do Autor (2013).

Figura 27 - Fotomicrografia: visão geral amostras Lagoa 4 Obj.40x (Esquerda) e Obj 20x (Direita)



Fonte: Do Autor (2013)

## 5.2 Análises Quantitativa

No primeiro tanque de tratamento, todas as classes encontradas estão representadas, havendo pontual equilíbrio entre Cyanophyceae ( $7,6 \times 10^6$ ) e Chlorophyceae ( $8,1 \times 10^6$  Organismos/mL), com as Euglenophyceae em terceiro, contabilizando  $1,7 \times 10^5$ . Na terceira lagoa, todas as classes continuam sendo encontradas, mas a proporção entre cianobactérias e algas verdes se altera, com ampla vantagem para as primeiras. Enquanto o número médio de indivíduos de Cyanophyceae se mantém em torno de  $8 \times 10^6$  org/mL, há um decréscimo das verdes para  $5 \times 10^4$  org/mL e o número médio de indivíduos por classe alcança seu pico máximo na quarta e última lagoa (Maturação - B), atingindo  $1,6 \times 10^6$  org/mL, para as cianobactérias, contra apenas  $2,8 \times 10^4$  org/mL de algas verdes e apenas  $2,7 \times 10^3$  org/mL de Euglenophyceae (Figura 28).

De acordo com Von Sperling (1996), dentre os principais gêneros de algas de importância nas lagoas de estabilização, estão *Chlamydomonas*, *Chlorella* e *Euglena*, sendo que os dois primeiros tendem a ser dominantes nos períodos frios.

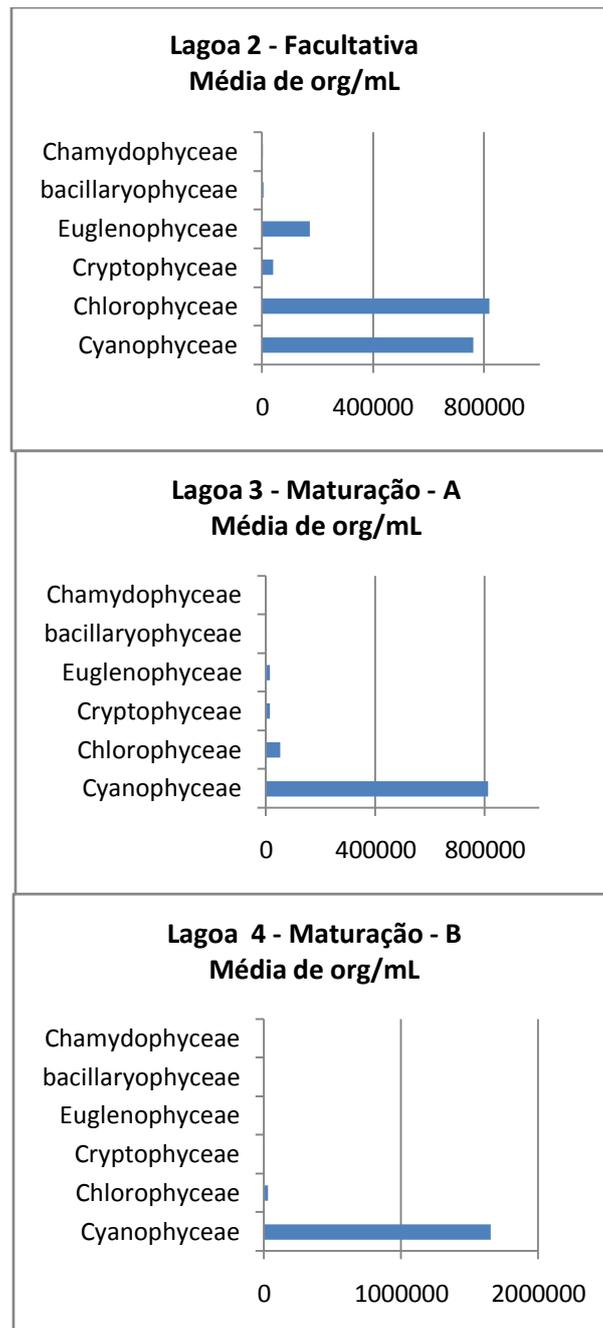
Diferentemente do aventado acima, os dois primeiros gêneros não foram identificados nesta pesquisa. As cianobactérias, mesmo em número de espécies reduzidas em relação à outras classes de algas encontradas, apresentaram poucos representantes com grandes densidades populacionais.

Para Dias *et al.* (2006), é de fundamental importância compreender os fatores que podem estar promovendo a elevação na densidade de cianoprocariontes nos mananciais. O seu conhecimento poderá possibilitar a tomada de decisões para o manejo adequado de ecossistema eutrofizados.

Conforme Chorus e Bartram (1999), os ambientes estudados são propícios ao desenvolvimento de algas cianoprocariontes, pois estas têm alta capacidade para sobreviver em ambientes instáveis, suportando variações de temperatura, oxigênio e nutrientes.

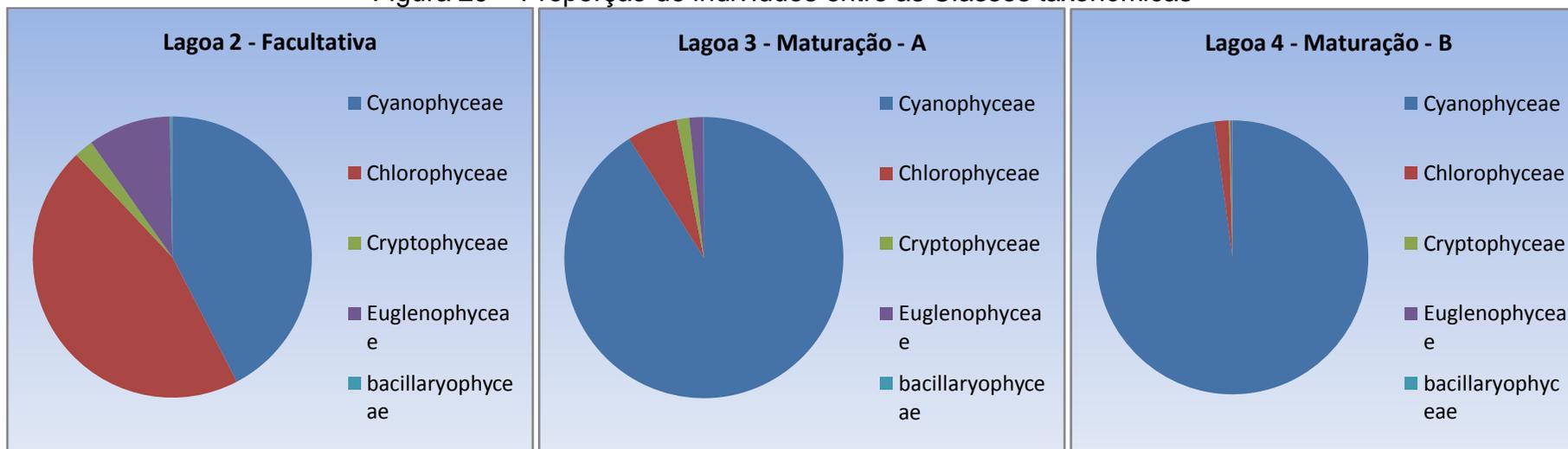
Embora os resultados revelem um número expressivo de espécies de clorófitas e outros grupos de algas, na lagoa facultativa, há um gradual decréscimo no número de classes desta lagoa em direção à última lagoa do tratamento. Há uma sensível perda de equilíbrio entre as lagoas.

Figura 28 - Valores médios de org/mL por classe taxonômica



Fonte: Do autor (2013)

Figura 29 – Proporção de indivíduos entre as Classes taxonômicas



Fonte: Do Autor (2013)

A situação observada corrobora com Fernandes *et al.* (2005a), onde os autores afirmam que em ambientes não eutrofizados não há abundância de cianobactérias, pois não há aporte suficiente de Nitrogênio e Fósforo para sustentar o crescimento rápido e massivo das espécies. Ao contrário das lagoas de estabilização, onde a disponibilidade desses nutrientes fornece as condições ideais para a multiplicação de Cyanophyceae danosas.

A variação semanal entre as espécies, por lagoa, mostrou-se com tendência a homogeneização e relativamente constância em cada lagoa e entre os três ambientes. Na facultativa, há maior participação de espécies nos dois primeiros meses de estudo, notabilizando-se pelo equilíbrio entre cianobactérias e algas verdes cocóides. Na lagoa de maturação-a percebe-se maior equitabilidade nos dois primeiros meses e uma leve tendência a concentração de indivíduos das três classes Cyanophyceae, Chlorophyceae e incremento de Euglenophyceae, estando as duas primeiras classes com densidades aproximadas e leve domínio da primeira (Figura 30).

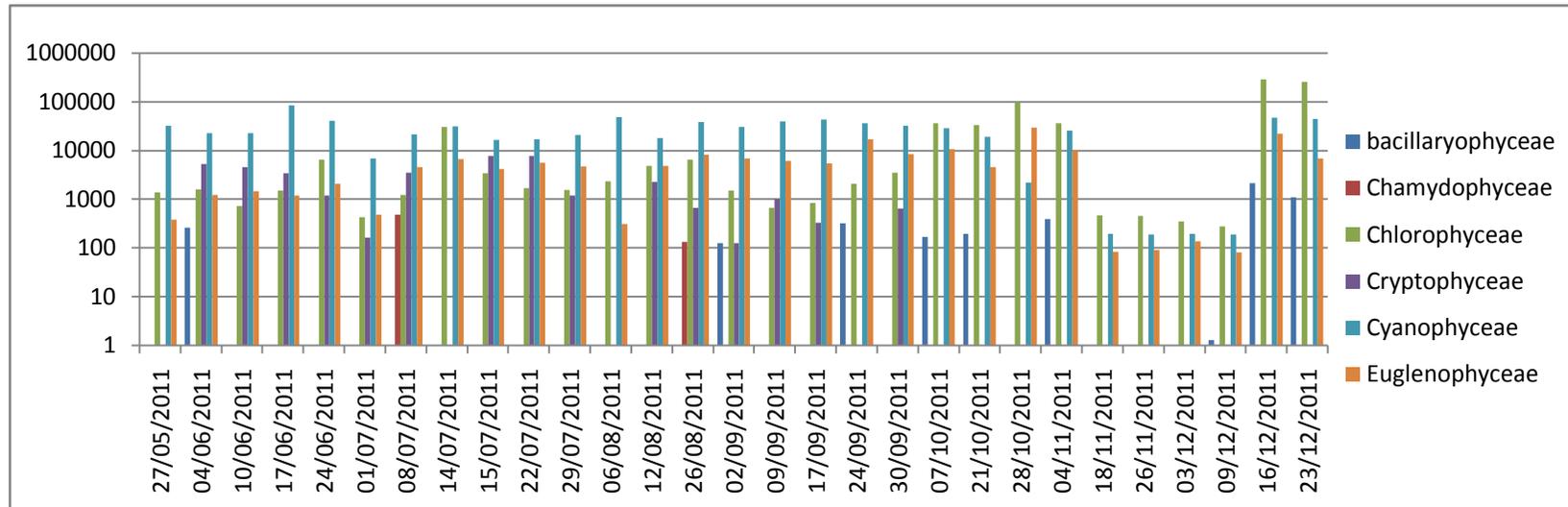
Na lagoa de maturação-b, as Cianobactérias dominam por todo o período de estudo, com densidade média de  $5 \times 10^4$  org/mL por coleta (Figura 31).

Fernandes *et al.* (2005b), afirmam que nos reservatórios brasileiros submetidos à eutrofização artificial, devido ao excessivo aporte de fósforo e nitrogênio, bem como às altas temperaturas e radiação solar, as cianobactérias tendem a representar mais de 90% do fitoplâncton, especialmente *Microcystis* e, em alguns períodos ou em determinados reservatórios, as filamentosas do gênero *Anabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon* e *Phormidium* evidenciando a necessidade de maior cuidado quanto às atividades antrópicas que geram eutrofização, pois elas terão seus efeitos intensificados.

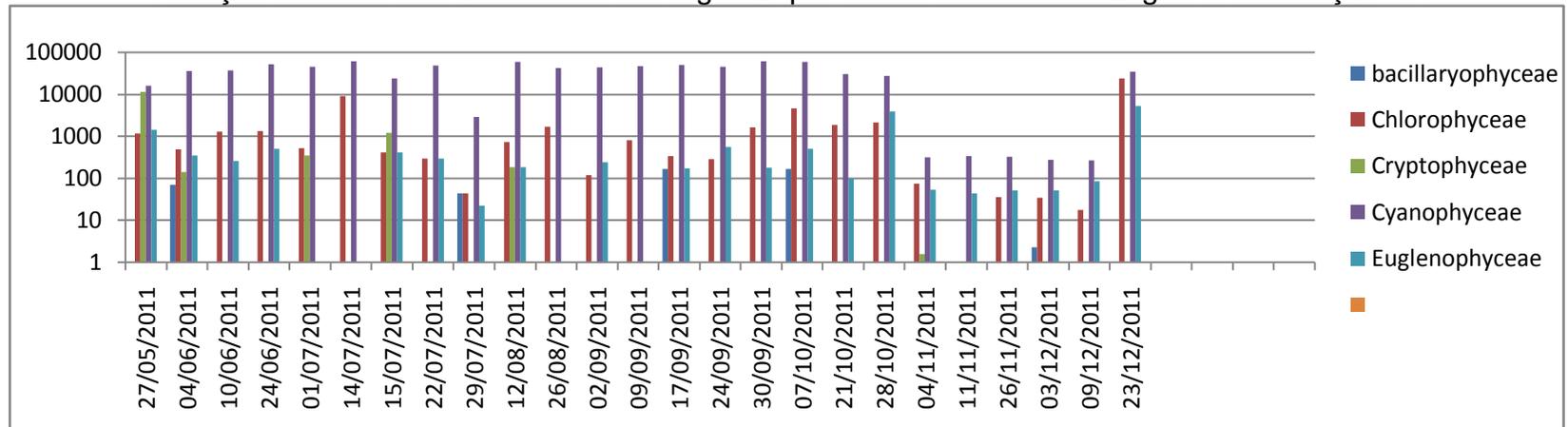
Furtado *et al.* (2009) indicam que além dos mananciais de abastecimento e corpos de água de modo geral, outro ambiente propício à proliferação de cianobactérias são as Lagoas de Estabilização facultativas (aeróbio-anaeróbio), em que se tem a decomposição da matéria orgânica pela ação de bactérias aeróbias, as quais recebem o oxigênio via fotossíntese algal e de cianobactérias.

No que tange à ocorrência das espécies, verifica-se que na lagoa facultativa, *P. agardhii*, corresponde, em média, a 50% dos indivíduos contabilizados por amostra. Em segundo lugar aparecem células isoladas de algas verdes cocóides e representantes do gênero *Cryptomonas* e *Phacus* (Figura 32).

Figura 30 - Variação semanal das densidades em org./mL por classe taxonômica. Lagoa 2. Facultativa

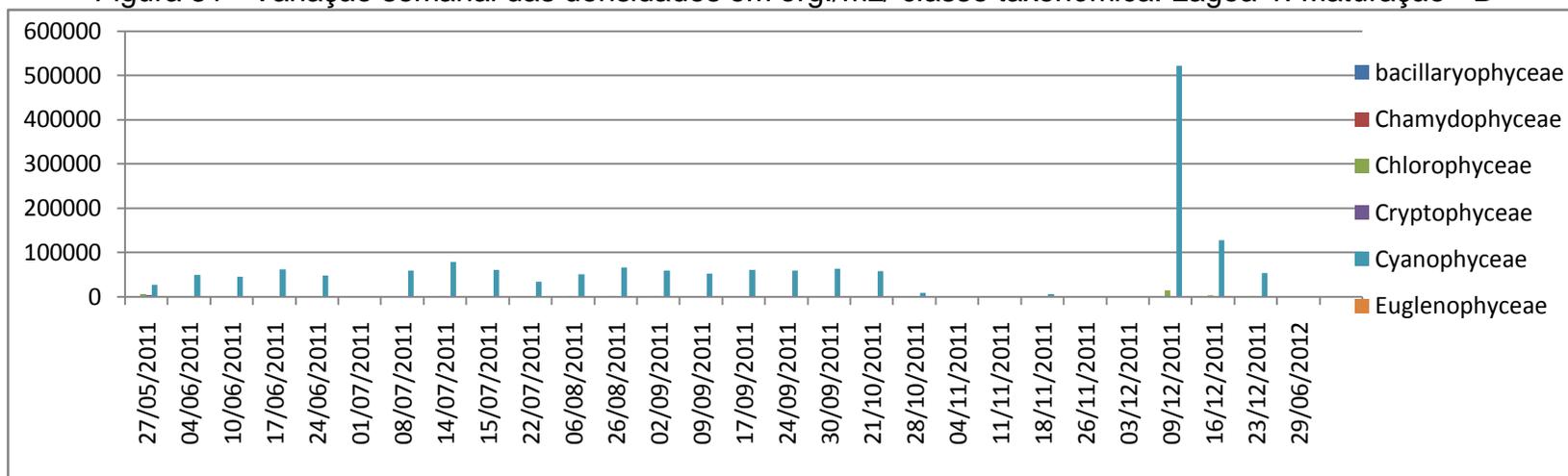


Variação semanal das densidades em org./mL/ por classe taxonômica. Lagoa 3. Maturação - A



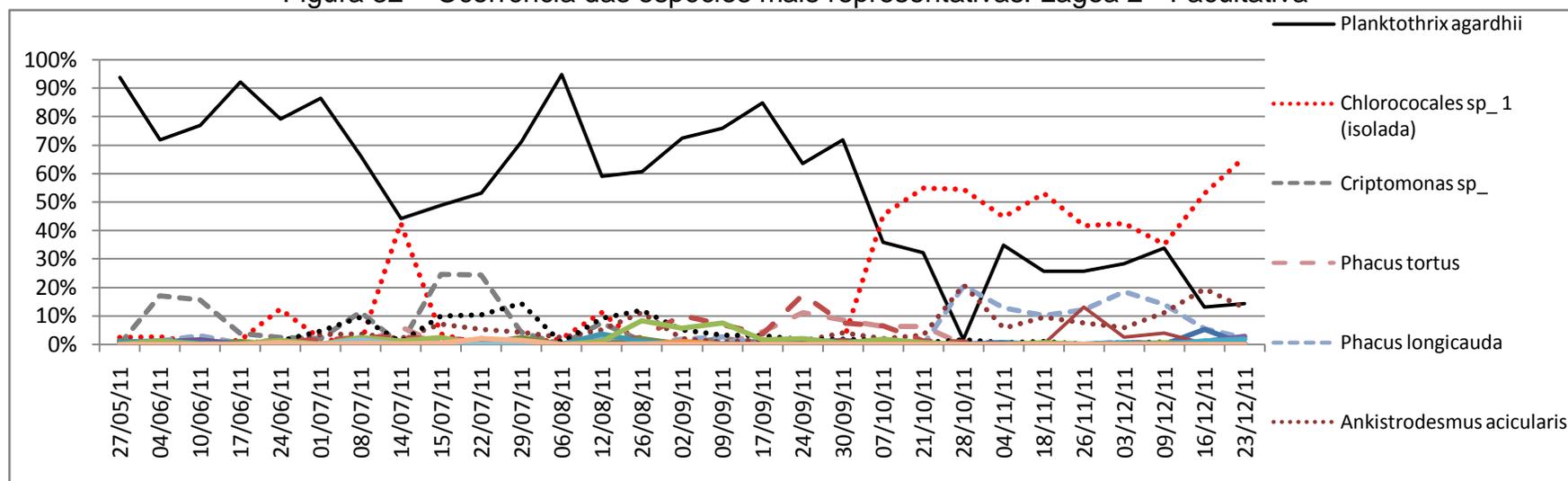
Fonte: Do autor (2013).

Figura 31 - Variação semanal das densidades em org./mL/ classe taxonômica. Lagoa 4. Maturação - B



Fonte: Do autor (2013)

Figura 32 – Ocorrência das espécies mais representativas. Lagoa 2 - Facultativa



Fonte: DO autor (2013).

*P. agardhii* contribui com mais de 80% das freqüências na terceira lagoa (Maturação-A), observando-se uma tendência de queda nesse número em contraposição à ampliação da contribuição de *Phacus longicauda*, *Criptomonas sp.* e algas verdes de células esféricas livres.

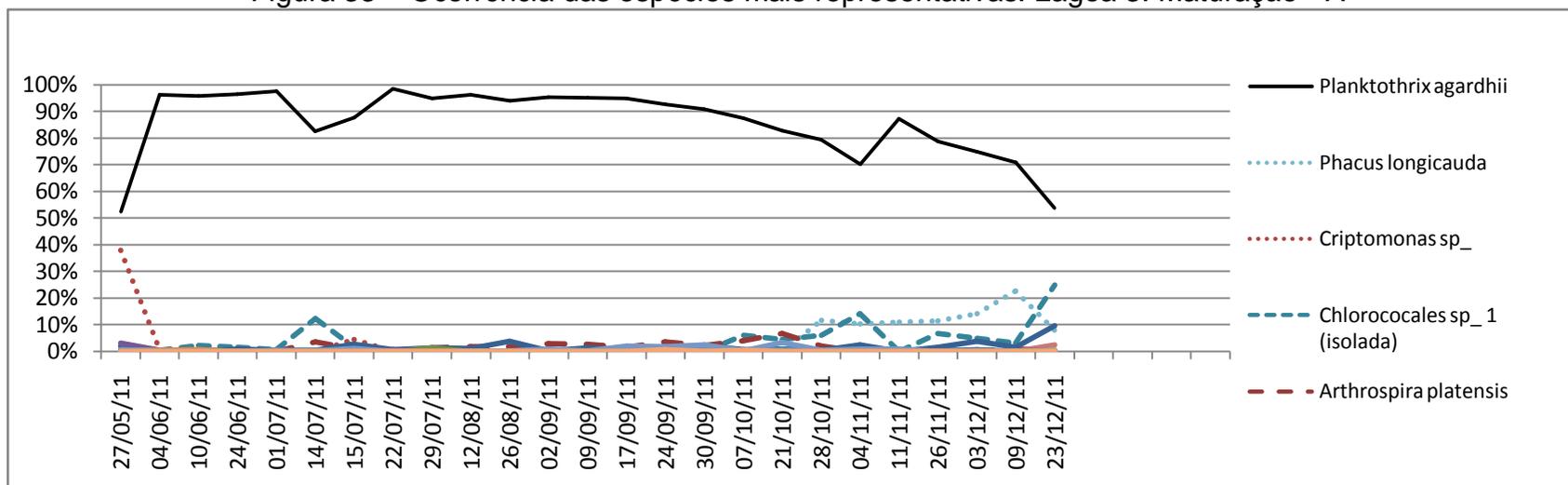
A Lagoa de Maturação-B parece conter todos os atributos necessários ao sucesso reprodutivo de *P. agardhii*. Nela, mais de 90% dos indivíduos contados pertencem a esta espécie, mantendo-se praticamente inalterada ao longo de todo o período amostrado (Figura 33)

Espécies planctônicas de cianobactérias são intensivamente favorecidas pelas condições ambientais resultantes do processo de eutrofização, tais como, a baixa transparência da água, altos valores de pH (entre 6 e 9), elevada concentração de nutrientes, temperatura da água entre 25 e 30 °C, e alta incidência luminosa, principalmente em regiões tropicais (SANT'ANNA *et al.* 2008).

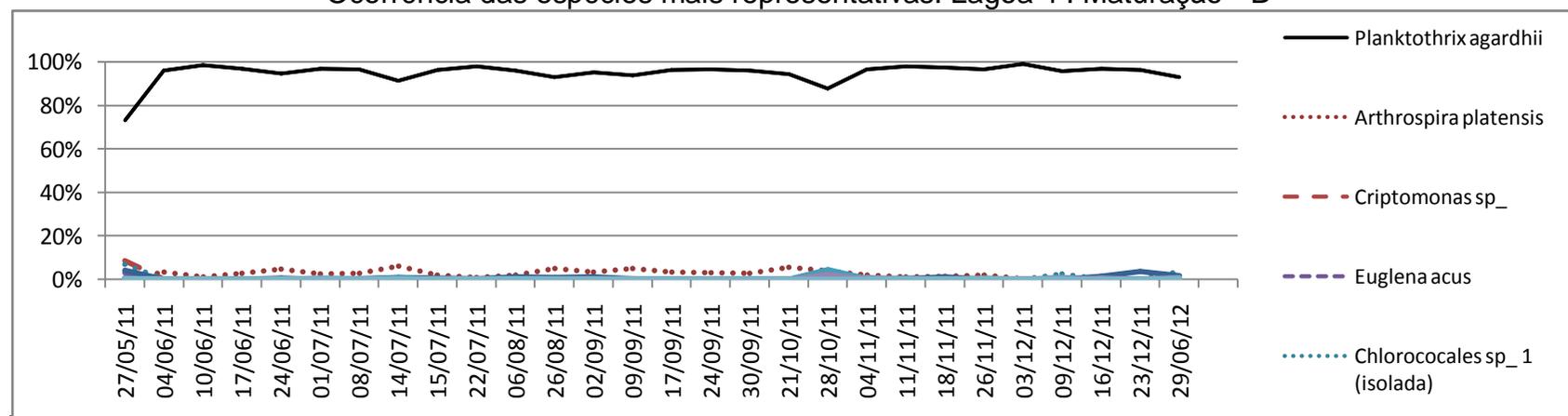
Segundo Dias *et al.* (2006) em condições limitadas de nitrogênio, mas com outros nutrientes disponíveis, o crescimento e a reprodução das cianobactérias são possibilitados, o que favorece a floração de tais espécies em diversos tipos de ambientes. Portanto, provavelmente, o sucesso competitivo das cianobactérias encontradas, principalmente da espécie filamentosa dominante em relação a outras espécies, está baseado em estratégias fisiológicas, adaptativas e ecológicas das mesmas, e fortalecido devido ao fornecimento das condições adequadas ao seu desenvolvimento.

Por falta de normas específicas para os ambientes aqui estudados, considerando-se os níveis de controle estabelecidos à partir de densidades celulares preconizadas na Portaria nº 2914/2011/MS, que estabelece padrões de controle do número de organismos nos mananciais utilizados para abastecimento humano, ter-se-ia um efluente caracterizado como uma floração constante, com densidades médias encontradas acima de  $10^3$  (Figura 34). Em concentrações como essa, assumindo um número médio de 60 células por filamento de *P. agardhi*, ter-se-ia um lançamento constante de efluente com mais de 60.000 células/mL, o que pode estar sendo desastroso para o rio, dependendo de seu caudal (não medido) e sua capacidade de diluição. Caso o rio fosse utilizado como fonte de abastecimento e esses mesmos valores fossem encontrados, o manancial deveria ser monitorado semanalmente.

Figura 33 – Ocorrência das espécies mais representativas. Lagoa 3. Maturação - A

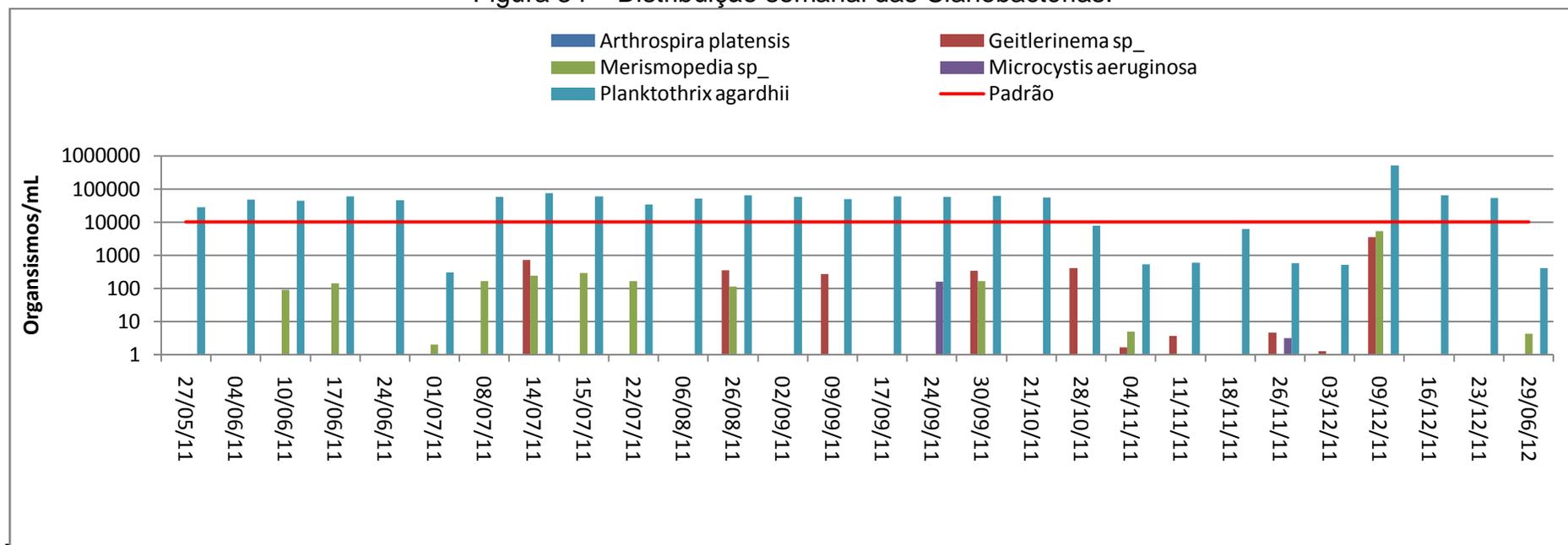


Ocorrência das espécies mais representativas. Lagoa 4 . Maturação - B



Fonte: do Autor (2013).

Figura 34 – Distribuição semanal das Cianobactérias.



Fonte: Do autor (2013)

Por outro lado, esse lançamento poderia ser benéfico, caso o domínio fosse de algumas clorófitas, que poderiam servir de alimento para a base da cadeia alimentar, o que não é o caso. As cianobactérias não são bons alimentos para microcrustáceos aquáticos, tendo em vista que são consideradas como nutricionalmente deficientes como alimento para o zooplâncton (BRETT e MÜLLER-NAVARRA, 1997).

Cruz *et al.* (2005), sugerem que em função da produção de toxinas por várias espécies de cianobactérias, o lançamento de efluente mesmo tratado pode conter toxinas e no corpo receptor pode vir a afetar a biota aquática, provocando alterações na cadeia alimentar, por inibir o desenvolvimento de outras algas.

*P. agardhii* foi dominante durante todo o período, respondendo quase totalmente pela variação da biomassa fitoplanctônica da última lagoa facultativa. De acordo com Aquino (2011), a espécie é uma cianobactéria “filamentosa, os tricomas são solitários e permanecem homoganeamente dispersos na coluna d’água. A presença de aerótopos no conteúdo celular confere fluutuabilidade a esta espécie. Possui relativa fluutuabilidade, devido à forma pouco hidrodinâmica dos seus tricomas que apresentam alta razão superfície/volume.

Esta espécie é extremamente adaptada a baixas intensidades luminosas e, pela alta turbidez que pode ocasionar, pode suprimir o crescimento de outras espécies fitoplanctônicas por limitar a entrada de luz na coluna d’água. *P. agardhii* possui cepas confirmadamente produtoras de hepatotoxinas, especificamente microcistina (CHORUS e BARTRAM, 1999).

As altas densidades de *P. agardhii* encontradas nas lagoas facultativas sugerem cautela quanto à situação ambiental futura do Rio Pacoti. As lagoas estão se comportando como grandes recipientes de cultivo de espécies potencialmente tóxicas. Esta situação suscita questionamento quanto ao que pode estar ocorrendo em outros 77 sistemas e em cidades no mesmo Estado onde o corpo receptor de efluentes de lagoas poderá ser também a principal fonte de água bruta para abastecimento. Neste trabalho e em mais dois levantamentos da comunidade fitoplanctônicas de lagoas operadas no Ceará (Aquino *et al.* 2010 e 2011), foi encontrado o gênero *Planktothrix* com a maior ocorrência relativa e densidade de organismos. Esta situação que pode ser comum ou até com a existência de outras espécies, inclusive mais perigosas, em outras unidades semelhantes em operação no Estado.

### 5.3 Ensaios coagulação e floculação (JAR TEST)

Os resultados forneceram as concentrações mínimas a serem empregadas nos testes posteriores de FAD, as quais são listadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Melhores resultados de Jar teste pré – FAD.

| Recipiente | Coagulante<br>(mg/L) | Polímero<br>(mg/L) | Turbidez<br>(NTU) |
|------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| I          | 100                  | 1                  | 2,75              |
| II         | 100                  | 2                  | 3,19              |
| III        | 100                  | 3                  | 2,52              |
| IV         | 120                  | 1                  | 1,89              |
| V          | 120                  | 2                  | 1,41              |
| VI         | 120                  | 3                  | 1,47              |

Fonte: Do autor (2013).

### 5.4 Teste de F. A. D para remoção de algas do efluente

A seleção das faixas ideais após resultados do jartest proporcionou testar as as concentrações mais adequadas, foram encontradas as seguintes combinações de dados operacionais para serem testadas (Tabela 10):

Tabela 10 – Ensaios de FAD. Variações operacionais.

|         | Tempo<br>(h) | PAC<br>(ppm) | Polímero<br>(ppm) | Recirculação<br>(%) |
|---------|--------------|--------------|-------------------|---------------------|
| Teste1  | 1            | 0            | 0                 | 15%                 |
| Teste 2 | 1            | 100          | 0                 | 15%                 |
| Teste 3 | 1            | 100          | 1                 | 15%                 |
| Teste 4 | 2            | 100          | 1                 | 15%                 |
| Teste 5 | 1            | 100          | 1                 | 30%                 |
| Teste 6 | 2            | 100          | 1                 | 30%                 |
| Teste 7 | 1            | 120          | 1                 | 30%                 |
| Teste 8 | 2            | 120          | 1                 | 30%                 |

Fonte: Do autor (2013).

No teste 1 – a ausência de coagulantes e polímero não proporcionou a floculação. Testaram-se três taxas de recirculação e não houve resultados; mesmo após duas horas, visualmente os flocos não eram observados. Abortou-se e não foi coletado material para análises complementares (Figura 35).

Figura 35 – Teste de flotação sem PAC e polímero.



Fonte: Do autor (2013).

No teste 2 – a ausência apenas de polímero também não auxiliou o processo de flotação. Foi verificada visualmente a formação de grande quantidade de sedimentos no fundo da câmara durante e após a flotação, o que tornaria seus valores de eficiência pouco representativos em relação à remoção de sólidos. Não foram coletadas amostras para análises complementares (Figura 36). O fato pode estar associado à menor vazão de recirculação utilizada, ou seja, um menor volume de líquido saturado com ar, e, conseqüentemente, menor número de bolhas disponíveis, prejudicando o arraste. Flocos mais densos são suscetíveis a maior sedimentação.

Figura 36 - Flotação sem polímero, sedimentando.



Fonte: Do autor (2013).

Em resumo comparativo a Tabela 11 contem os resultados de eficiência do processo FAD para todas as condições operacionais testadas no plano experimental. Observando a mesma, temos que as melhores eficiências foram encontradas nos experimentos 5 e 7 (Figura 37 a 40), obtendo-se baixíssima turbidez, <4UNT, menos de 600NMP/100mL de *E. coli*, menos de 40mg/L de DQO. Em ambas as faixas aplicadas ocorreram formação de uma larga camada de espuma de sólidos esverdeada, na maior razão de recirculação testada. Provavelmente a maior taxa de recirculação forneceu uma maior quantidade de bolhas, proporcionando melhor arraste.

Os valores encontrados mostram bons resultados, em ambas as concentrações de coagulantes, aplicações de 100ppm e 120 ppm de PAC, adicionado de 1ppm de polímero. Em relação às variações de tempo, não houve diferenças significativas entre os dois intervalos de tempo analisados, de uma ou duas horas de flotação. Quanto à taxa de recirculação, os resultados se apresentaram semelhantes, contudo o uso de taxas maiores de recirculação pode proporcionar economia na aplicação dos coagulantes, contudo pode significar maiores custo com energia.

Tabela 11 - Comparação características efluente após FAD.

|          | Tempo | PAC   | Polímero | Recirculação | Turbidez | DQO    | DBO    | ST     | SD     | SS     | SSedT    | Observação       |
|----------|-------|-------|----------|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|------------------|
|          | (h)   | (ppm) | (ppm)    | (%)          | (UNT)    | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mL/L)   |                  |
| Efluente |       | -     | -        |              | 129      | 186    | 78,6   | 611    | 527    | 84     | <0,1mL/L |                  |
| Teste1   | 1     | 0     | 0        | 15%          | -        | -      | -      | -      | -      | -      | -        | Não flotou.      |
| Teste 2  | 1     | 100   | 0        | 15%          | 40,9     | -      | -      | -      | -      | -      | -        | Flocos disformes |
| Teste 3  | 1     | 100   | 1        | 15%          | 6,2      | 37,5   | 26,9   | 601,3  | 596,4  | 4,9    | <0,1mL/L |                  |
| Teste 4  | 2     | 100   | 1        | 15%          | 4,8      | 39,6   | 23,4   | 587,2  | 584,7  | 5,2    | <0,1mL/L |                  |
| Teste 5  | 1     | 100   | 1        | 30%          | 3,1      | 30,4   | 14,4   | 487,5  | 483,5  | 4      | <0,1mL/L |                  |
| Teste 6  | 2     | 100   | 1        | 30%          | 3,1      | 32,4   | 16,1   | 512,4  | 505,9  | 6,5    | <0,1mL/L |                  |
| Teste 7  | 1     | 120   | 1        | 30%          | 3,9      | 38,1   | 19,1   | 493,5  | 487,1  | 6,4    | <0,1mL/L |                  |
| Teste 8  | 2     | 120   | 1        | 30%          | 3,1      | 42,3   | 17,3   | 481,8  | 476,3  | 5,3    | <0,1mL/L |                  |

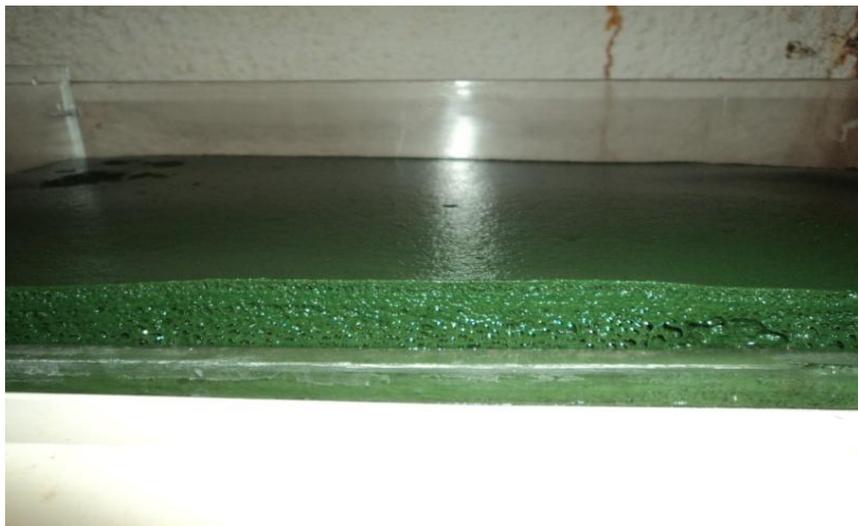
Fonte: Do autor (2013).

Figura 37 – Fotografia dos melhores resultados de flotação, testes 5 e 7.



Fonte: Do autor (2013).

Figura 38 - Espessa camada de lodo flotado (Teste 5).



Fonte: Do autor (2013).

Figura 39 – Comparação da retenção de flocos na câmara de flotação e câmara de saída com efluente clarificado.



Fonte: Do autor (2013).

Figura 40 - Comparação da turbidez e cor entre o efluente pré e pós F.A.D.



Fonte: Do autor (2013).

Baseado em Dos Santos (2007), quando relata que a DBO efluente de lagoas facultativas (FAC) está compreendida entre 50 e 80mg/L, a melhoria na qualidade do efluente foi bastante significativa, podendo ser observado tanto visualmente como com dados de análises de parâmetros necessários ao controle de lançamento de efluentes em corpos hídricos. A menor taxa de remoção foi do parâmetro DBO, com a liberação de um clarificado com apenas 27% da DBO original. Baseado na média

de DQO final, a remoção média foi de 80%; os parâmetros Turbidez e Sólidos Suspensos melhoraram em mais de 90% em termos de remoção (Tabela 12).

Tabela 12 – Comparação entre os valores de parâmetros observados para lançamento de efluentes pré e pós clarificação via F.A.D e percentual de remoção.

|   | EFLUENTE          | CLARIFICADO       | REMOÇÃO |
|---|-------------------|-------------------|---------|
| <b>Turbidez (NTU)</b>                   | 129               | 4,03              | 97%     |
| <b>DQO (mg/L)</b>                       | 186               | 36,7              | 80%     |
| <b>DBO (mg/L)</b>                       | 78,6              | 20,7              | 73%     |
| <b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b>         | 84                | 5,4               | 93%     |
| <b>Coliformes Totais (nmp)</b>          | $3,9 \times 10^6$ | $3,8 \times 10^5$ | 90%     |
| <b>C. Termotolerantes (nmp)</b>         | $4,8 \times 10^3$ | $5,4 \times 10^2$ | 98,8    |
| <b>Densidade de organismos (ind/mL)</b> | 54277,60          | 591,9             | 98%     |

Fonte: Do autor (2013)

A análise da redução da quantidade de indivíduos fitoplanctônicos foi muito grande. A redução atinge 99,4%, com algumas amostras que entravam com mais de  $5 \times 10^3$  indivíduos e saíam com menos de 300 organismos (Tabela 13). A biomassa removida proporciona a formação de uma espessa camada de lodo, que poderia ser aplicada em diversos fins. Parte do material flotado foi analisado em pesquisa de doutorado paralela do mesmo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, na busca de concentrações de lipídios e seus precursores, com resultados prévios bastante animadores (Dados ainda não publicados).

Estudos de viabilidade de polimento do efluente de lagoas facultativas através de coagulação/floculação/decantação utilizando lodo regenerado de ETA efetuados por Rocha *et al.* (1999), mostraram que os dados obtidos em escala laboratorial, DQO menor que 90mg/L e SST, menor que 30mg/L, indicaram o tratamento físico-químico como uma excelente alternativa para polimento de efluentes de lagoas de estabilização.

Silva *et al.* (2001) apontam para a necessidade de reavaliação do uso sem critérios da tecnologia de lagoas de estabilização e ressaltam a necessidade de limites mais rigorosos para os padrões de qualidade dos efluentes de lagoas de estabilização. Avaliando formas de polimento usando tratamento físico-químico, reiteram o estudos de Rocha *et al.* (1999), confirmando remoções elevadas de DQO

e coliformes, com uso de lodo regenerado de ETA e reforçando o uso dessa técnica como indicada para o atendimento a níveis de exigência mais elevados.

Tabela 13 – Comparação entre as características do efluente da Lagoa de Maturação - b e após clarificação via FAD.

|          | <b>Tempo</b> | <b>PAC</b> | <b>Polímero</b> | <b>C. Totais</b>  | <b>E. coli</b>    | <b>Dens. Organismos</b> |            |
|----------|--------------|------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------|
|          | (h)          | (ppm)      | (ppm)           | (NMP)             | (NMP)             | (Ind/mL)                | (cel/mL)   |
| Efluente |              | -          | -               | $3,9 \times 10^6$ | $4,8 \times 10^3$ | 54.277,60               | 3181162,40 |
| Teste 1  | 1            | 0          | 0               | -                 |                   |                         |            |
| Teste 2  | 1            | 100        | 0               | -                 |                   |                         |            |
| Teste 3  | 1            | 100        | 1               | >241960           | 770,1             | 1021,7                  | 56.307,87  |
| Teste 4  | 2            | 100        | 1               | $4,4 \times 10^5$ | 410,6             | 970,6                   | 53242,57   |
| Teste 5  | 1            | 100        | 1               | >241960           | 547,5             | 308,04                  | 17.158,44  |
| Teste 6  | 2            | 100        | 1               | $4,5 \times 10^5$ | 488,4             | 621,4                   | 34.295,68  |
| Teste 7  | 1            | 120        | 1               | $2,3 \times 10^5$ | 517,2             | 291,43                  | 15.196,47  |
| Teste 8  | 2            | 120        | 1               | $4,1 \times 10^5$ | 531,4             | 338,42                  | 17.270,19  |

Fonte: Do autor (2013).

Dias *et. al.* (2006) afirmam que em diversas cidades do Brasil tem-se implantado o sistema de flotação por ar dissolvido como um método para melhorar a qualidade da água a ser tratada e para remover algas fitoplanctônicas, especialmente cianobactérias, frequentes em mananciais de abastecimento com muitas linhagens tóxicas. No trabalho realizado pelos autores, a flotação associada a sulfato de alumínio e PAC – policloreto de alumínio promoveu elevada eficiência (até 89%) de remoção de algas fitoplanctônicas, incluindo as cianobactérias. Contudo, a matriz analisada era água bruta e não efluente de lagoas de estabilização.

No que tange às concentrações do grupo *Coliforme* encontradas neste trabalho, é importante observar que o processo promoveu uma considerável queda na presença dos mesmos. Houve a redução de pelo menos 1log para cada um dos grupos coliformes analisados (Tabela 13). *E. coli* foi encontrada com menos de 500NMP/100mL. Estes níveis indicam a possibilidade de reúso irrestrito, caso, em análises futuras, as concentrações de ovos de helmintos sejam também levantadas e que confirmem a sua ausência, o que teoricamente já pode ser considerado, dada

a conformação do sistema, constituído de quatro lagoas em série, permite a produção de efluentes com menos de 1 ovo de helminto/L, limite estabelecido na Portaria 154 da SEMACE.

Rocha *et al.*, (1999), testaram o uso de coagulantes regenerados de ETAs para polimento de efluentes, conseguindo remoções similares para coliformes, da ordem de  $10^2$  NMP/100mL. Bastos (1996) apud Silva *et al.* (2001), considera que, de acordo com legislações rigorosas sobre reuso de efluentes tratados na agricultura, no tocante apenas ao item coliformes fecais, densidades de microrganismos inferiores a  $10^3$  NMP/100ml viabilizam a irrigação irrestrita e são consideradas perfeitamente aceitáveis como critério de balneabilidade em diversos países.

Silva *et al.* (2001), utilizando cloreto férrico como coagulante, conseguiram melhorar as características de efluentes com concentrações de SST atingindo 20mg/L, remoção de 96% dos coliformes termotolerantes e apenas  $10^2$  NMP/100mL. Reiteram que tais níveis possibilitariam o uso irrestrito desses efluentes na agricultura.

Tessele *et al.* (2005), testando o polimento de lagoas por F.A.D, encontraram remoções de 70% de DQO e superiores a 95% para Sólidos Suspensos e DBO, com taxas de recirculação de apenas 20%. Os mesmos comentam ainda que a aplicação dessa tecnologia é bastante competitiva, comparada com outras técnicas de tratamento terciário existentes. Para eles, a flotação por ar dissolvido é uma alternativa importante para a adequação da qualidade da água de efluentes de lagoas de estabilização, especialmente quando se trata de lagoas já implementadas, com pouco espaço físico disponível para a etapa de polimento.

Baseado nos parâmetros de lançamento exigidos na Portaria 154 da SEMACE, verifica-se que o pós-tratamento testado promove a produção de um efluente com 1/3 da DBO e 1/5 da DQO aceitável para lançamento. O líquido clarificado é constituído ainda por apenas 5 mg/L de sólidos suspensos, em média, concentração cerca de 150 vezes menores que a exigida para lançamento.

A Portaria nº 154/02 da SEMACE, tem como limite  $5 \times 10^3$  NMP/100mL de *E. coli*. para lançamentos em corpos de água classe – II. Jordão e Pessoa (2005) relatam concentrações esperadas dos efluentes de lagoas da ordem de  $10^6$  a  $10^7$  NMP/100mL. O efluente clarificado por FAD neste estudo apresentou média de  $4 \times 10^2$  NMP/100mL.

Os dados obtidos na pesquisa são indicativos de que o pós-tratamento com

coagulação e flotação com ar dissolvido é uma alternativa adequada para ETEs. Os resultados obtidos indicam que, o tratamento físico-químico é uma excelente alternativa para polimento de efluentes de lagoas de estabilização, indicando que sem grandes investimentos, é possível se adequar ETEs, obtendo-se um efluente final de excelente qualidade.

Nesse trabalho foi bastante significativa a melhoria do efluente estudado. A obtenção de efluentes que apresentam remoções de DQO e SS acima de 80% torna o processo bastante competitivo em relação a qualquer outro tipo de processo de nível terciário, principalmente pela relativa simplicidade do conjunto de tratamento, quando comparado a outros processos de nível terciário existentes no mercado.

Buscando a inserção nos modernos conceitos de desenvolvimento sustentável preconizado pela estratégia global proposta para o meio ambiente pela Organização Mundial da Saúde, verifica-se a real potencialidade de reúso do efluente produzido quando se consideram as diretrizes recomendadas pela OMS para a qualidade microbiológica de esgotos sanitários (Tabela 14)

Ainda que preliminares e necessitando de mais avaliações, os dados obtidos até então, em relação ao item Coliformes termotolerantes resultaram em concentrações de microrganismos inferiores a  $10^2$  NMP/100ml. Comparando com as recomendações da WHO, para esse quesito, viabiliza-se a aplicação em irrigação irrestrita (Bastos, 1996 *apud* Rocha *et al.* 1999).

De acordo com as diretrizes para a utilização da água de reúso em uso urbano não potável sugeridas por Semura *et al.* 2001, o efluente produzido poderia ser usado em:

- ✓ Irrigação de áreas verdes com restrições de acesso ao público (canteiros de praças e vias públicas);
- ✓ Lavagem e desobstrução de dutos;
- ✓ Compactação do solo e controle de poeiras na construção civil;
- ✓ Lavagem de vias públicas.

Tabela 14 - Diretrizes recomendadas pela OMS para a qualidade microbiológica de esgotos sanitários utilizados na agricultura.

| Categoria | Condições de aproveitamento   | Grupo exposto                                  | Nematóides intestinais <sup>(2)</sup> (ovos/L) <sup>(3)</sup> | Coliformes fecais (CF/100 mL) <sup>(4)</sup> | Tratamento requerido  |
|-----------|---|--|---|--|---|
| A         | Culturas consumidas cruas, campos esportivos, jardins públicos                  | Trabalhadores, consumidores e público em geral | ≤ 1   | ≤ 1000 <sup>(5)</sup>                        | Série de Lagoas de estabilização (ou tratamento equivalente)        |
| B         | Culturas de cereais, industriais e forrageiras, prados e árvores <sup>(6)</sup> | Trabalhadores                                  | < 1   | Não se recomenda nenhuma norma               | Lagoas de estabilização por 8 a 10 dias (ou tratamento equivalente) |
| C         | Categoria B, sem os trabalhadores e o público estarem expostos                  | Nenhum   | Não se aplica   | Não se aplica                                | Sedimentação Primária   |

<sup>(1)</sup> Em casos específicos, deve-se considerar os fatores epidemiológicos e sócio-culturais de cada região, e modificar os padrões, de acordo com a sua exigência.

<sup>(2)</sup> Espécies: *Ascaris*, *Trichuris* e *Ancilostomas*. Calculado como média aritmética do número de ovos/L.

<sup>(3)</sup> Durante o período de irrigação.

<sup>(4)</sup> Calculado como média geométrica do número de CF/100 mL

<sup>(5)</sup> Convém estabelecer uma diretriz mais restrita (<200 CF/100mL) para espaços públicos, como os hotéis, onde o público pode entrar em contato direto.

<sup>(6)</sup> No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes da colheita da fruta e esta não deve ser colhida na superfície do solo. Não é conveniente irrigar por aspersão

Fonte: Cavalcanti *et al.* (2001).

## 6. CONCLUSÕES

De maio a dezembro de 2011, o sistema de lagoas da ETE - AQUIRAZ foi povoado por 36 espécies de algas microscópicas pertencentes a seis classes taxonômicas. As Chlorophyceae apresentaram a maior riqueza de espécies, com 14 spp. (38,8%), seguido das Euglenophyceae, com 11 spp. (30,5%), depois Cyanophyceae, com 7 spp. (19,4%) e Bacillariophyceae, com 2 spp. (5,5%), Cryptophyceae, 1 sp.(2,7%) Chlamydomonadales, com apenas 1 spp. (2,7%).

Chlorophyceae possui o maior número de representantes, mas as Cianobactérias dominam em densidade em todas as lagoas. À medida em que o tratamento do efluente ocorre, há gradual crescimento da classe Cyanophyceae em detrimento das demais classes, de uma lagoa para outra, enquanto há amplo decréscimo da participação das algas verdes da primeira para a última lagoa.

Durante o período de estudo observou-se forte empobrecimento da riqueza de espécies entre as lagoas e a biomassa fototrófica ficou restrita à participação de apenas 3 ou 4 espécies na lagoa de maturação B.

Há uma constante floração de cianobactérias na Lagoa de Maturação-B, o que representa um risco potencial à saúde humana, uma vez que os valores de densidade celular tenderam a ultrapassar, muitas vezes, os valores máximos de lançamento recomendados pela legislação brasileira.

*Planktothrix agardhii* foi a espécie dominante durante todo o período, respondendo quase totalmente pela variação da biomassa fitoplanctônica. Foi a espécie mais frequente e com a maior densidade em todas as lagoas. Esta espécie tem a capacidade fixar nitrogênio da atmosfera, conferindo-lhe maior competitividade. A mesma possui cepas confirmadamente produtoras de hepatotoxinas.

As lagoas se comportam como meios de cultura de grande porte, selecionando algas potencialmente produtoras de toxinas. Assim, o conceito apenas positivo da presença das algas presentes nas lagoas de estabilização deve ser renovado. A visão restrita de que a comunidade apenas contribui para o bem, influenciando na eficiência de remoção de nutrientes e extermínio de patógenos no tratamento de águas residuárias, temática recorrente em livros textos e discursos da área, já não é suficiente. É necessário saber quais as espécies de algas compõem os nossos sistemas de tratamento de esgotos e em que concentrações

determinadas espécies podem ser encontradas, uma vez que parte da matéria orgânica oriunda do efluente bruta é convertida em biomassa e essa pode acumular metabólitos secundários indesejáveis que podem ser lançadas de volta ao corpo hídrico e esse ser fonte de água para abastecimento.

Acredita-se que anterior à preocupação com a remoção de microalgas no tratamento de águas para abastecimento, deve-se fortalecer a descoberta de informações sobre origem e disseminação de possíveis inóculos desses organismos e se inserindo dentro do conceito de formação de barreiras múltiplas contra o potencial danoso desses organismos.

É preciso voltar ao caminho para um desenvolvimento sustentável, aprimorando ações que permitam a utilização integrada dos sistemas aquáticos e suas bacias, sem prejudicar a sociedade ou os ecossistemas existentes. A Lei 9.433 de 1997, chamada de Lei das Águas, estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos da água em bacias hidrográficas brasileiras.

Há um acúmulo de informações produzidas no Brasil, nas duas últimas décadas, sobre as cianobactérias, que sugerem questões controversas sobre os pontos positivos das lagoas e o impacto ambiental indireto influenciado por elas. Se por um lado as mesmas continuam sendo propaladas como tecnologia barata, sendo a alternativa tecnológica de tratamento de esgotos mais empregada na região, por outro, tem-se um crescente número de mananciais que devem ser monitorados semanalmente obrigatoriamente por força de instrumento legal, devido às elevadas densidades de cianobactérias que possuem. Isso trás embutida a necessidade de uma reflexão sobre as principais causas do crescimento desses organismos nos mananciais públicos e a consequente elevação dos registros de cepas tóxicas, determinando a necessidade de estudos integrados entre sistemas de tratamento de água, efluentes, corpos receptores e mananciais

Apesar de muitos textos se referirem taxativamente, resumindo e definindo as espécies “típicas” de lagoa A ou B, o que se observa é uma ampla heterogeneidade nas composições e listagem de espécies em várias regiões brasileiras. Alternâncias de comunidades e populações, de acordo com a estação do ano e comunidade dominantes divergindo de acordo com a latitude. O que era pra ser esperado, dada a diversidade de climas, bacias hidrográficas, pluviosidade, tipos de solos, contextos sociais locais e outros aspectos influenciáveis pela continentalidade do País.

A avaliação de alternativas tecnológicas para a remoção da comunidade

fitoplanctônica por processo F.A.D foi bastante positiva e os resultados foram excelentes. O processo de coagulação-floculação e flotação por ar dissolvido para a remoção de algas, DQO, DBO, turbidez, sólidos suspensos e E. coli é viável e apresenta eficiência bastante competitiva. A mínima remoção foi para DBO, de 73%, e a máxima remoção alcançada foi para o parâmetro: Coliformes Termotolerantes, com mais de 98% de redução.

A realização de testes de jarros e a experiência dos técnicos da Gerência de Pesquisa da CAGECE proporcionaram a realização de um menor número de experimentos, reduzindo tempo e custo, sendo os níveis encontrados nesta pesquisa, úteis, podendo ser usados como referência para novos testes empregados futuramente.

Os efluentes não flotaram sem o auxílio de coagulantes e auxiliares de flotação. Os produtos Policloreto de Alumínio (PAC 23) e Polímero Catiônico (FO4140) foram efetivos auxiliares na formação de flocos, possibilitando a ação do processo F.A.D. Os coagulantes são os mesmos utilizados no tratamento de água bruta na ETA-Gavião.

A melhor faixa de concentração de coagulantes e floculantes encontrada ficou entre 100ppm e 120ppm de Policloreto de Alumínio (PAC 23) e de 1ppm de Polímero Catiônico (FO4140).

A melhor taxa de recirculação foi de 30%, com o próprio efluente clarificado. Ensaio com apenas 15% de recirculação podem ser considerados bons, Contudo, taxas menores não proporcionaram boa flotação e observou-se sedimentação. A recirculação com água tratada não foi considerada, por falta de sentido em consumir água limpa para ser pressurizada e lançada como efluente em corpo receptor, além de proporcionar falsos resultados de remoção, pela redução de parâmetros devido a diluição.

O efluente clarificado final ficou constituído por apenas 12% do conteúdo de microalgas presentes no efluente oriundo da lagoa de maturação B.

As características do efluente clarificado, de acordo com recomendações da OMS, permitem indicar seu reúso para fins de irrigação irrestrita considerando as propostas brasileiras para reúso urbano não-potável seria possível o seu uso em irrigação de áreas verdes de praças e vias públicas, para lavagens e desobstrução de dutos e na construção civil, na compactação do solo e controle de poeiras.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se:

- ✓ As Companhias de saneamento realizem levantamento das concentrações de cianobactérias lançadas pelas lagoas que operam construindo um plano de monitoramento observando o parâmetro densidade de organismos;
- ✓ Aplicar a técnica FAD em sistemas críticos, quanto às cianobactérias, onde o corpo receptor de efluentes de lagoas de estabilização também seja utilizado como fonte de água bruta para abastecimento humano;
- ✓ Realizar testes de toxicidade aquática em efluentes de ETEs usando lagoas de estabilização;
- ✓ Avaliar a presença de cianotoxinas, principalmente microcistinas, nos efluentes de lagoas de estabilização;
- ✓ Monitorar as concentrações de cianobactérias a montante e jusante de corpos receptores de efluentes de lagoas de estabilização;
- ✓ Testar outras técnicas de remoção algal, como o uso de filtros grosseiros e filtração em areia, efetuando análises comparativas de eficiência e viabilidade econômica.
- ✓ Avaliar outros agentes coagulantes e condições operacionais de baixo custo;
- ✓ Inserir a etapa de polimento em projetos de sistemas de lagoas;
- ✓ Avaliar a aplicação de lodo regenerado de ETAs como coagulantes em polimento físico-químico de sistemas de lagoas de estabilização.
- ✓ Testar o aproveitamento de lodo flotado (produção de biodiesel, biofertilizante, biomassa)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAGNOSTIDIS, K. & KOMÁREK, J. 1988. **Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 3: Oscillatoriales**. *Algol. Stud.* 50: 327-472, 1988.
- APHA. AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington, 2005.
- AQUINO, E. P.; OLIVEIRA, E. C. C.; FERNANDES, U. L. & LACERDA, S. R. **Fitoplâncton de uma lagoa de estabilização no nordeste do Brasil**. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 15(1):71-77. 2011.
- AQUINO, E.P.; LACERDA, S.R.; FREITAS, A.I.G. **Cianobactérias das lagoas de tratamento de esgoto no semi-árido nordestino (Ceará, Brasil)**. *INSULA* 39: 34-46. 2010.
- ARAÚJO, L. F. P. **Reúso com Lagoas de estabilização, potencialidades no Ceará – Fortaleza**: SEMACE, p.132. 2000.
- ARCE. **Relatório de fiscalização RF/CSB/0009/2012 - Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário do Município de Aquiraz**. Coordenadoria de saneamento básico. Fortaleza, 2012.
- ASSIS, R. S. S. **Remoção de Microcystis aeruginosa e microcistinas por flotação por ar dissolvido – estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes**. Brasília: UNB. Dissertação Mestrado, 2006.
- AZEVEDO, S. M. F. O. **Toxiccyanobacteria and the Caruaru tragedy**. In: IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxicologia - Livro de Resumos, 1996.
- AZEVEDO, S.M.F.O. **Toxinas de cianobactérias: causas e conseqüências para a saúde pública**. *Medicina on-line*, 1(3), disponível on line em<[http://medonline.com.br/med\\_ed/med3/microcis.htm](http://medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm)>, 1998.

- BARBOSA, M.D. SANTOS, C.R.A.; REIS, R.C.; GUIMARAES, F.D.; SILVA, D.C. **Caracterização limnológica e comunidade fitoplanctônica em lagoa de estabilização no município de Trindade.-Go.** In: 47º Congresso Brasileiro de Química. Anais. 2007.
- BICUDO, C.E.M. & MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições.** 2ª edição. Rima, São Carlos, 502 p., 2005.
- BICUDO, C.E.M. & SANTOS, C.I.. **Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP.** Algas, 15: Chlorophyceae (Trentepohliales). Hoehnea 28:183-190, 2001.
- BOTELHO, P. M. A.; VON SPERLING & CHERNICHARO, C. A. L. **Avaliação de dados físico – químicos e fitoplâncton da lagoa de maturação em escala piloto da ETE Nova Vista - Itabira - MG** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, Abes, 1997.
- BOURRELLY, P. **Les Algues d'EauDouce II. Les Algues Jaunes et Braunes, Chrysophycées, Phaeophycées, Xanthophycées et Diatomées.** Rev. Edn. Boubée, Paris. 438p, 1981.
- BOURRELLY, P. **Les Algues d'EauDouce I. Les Algues Vertes.** Boubée, Paris. 572 pp. 1972.
- BOURRELLY, P. **Les Algues d'EauDouce. III. Les Algues Bleues et Rouges, Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines.** Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris. 606 pp. 1985.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de**

**águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.** Publicado no D.O.U. 2005.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano.** Ministério da Saúde. Brasília – BR, 2003.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano.** Brasília: Funasa, 126 p.: il. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914,** de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011.

BRATBY, J. R. **Aplicação de flotação a ar dissolvido em tratamento de água e esgoto.** In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 12, Camboriú, SC. SEEBLA, 27p, 1983.

CAGECE. **Plano Anual de Monitoramento de Esgoto.** GECOQ. 2011.

CAIXETA, C. E. T. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no Estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Ceará. 2010.

CALIJURI. M.C.; ALVES. M.S.A.; SANTOS, A.C.A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais.** Rima. São Carlos, 109p, 2006.

CASALI, S. P. **Variabilidade temporal da comunidade fitoplanctonica em lagoas facultativas de dois sistemas de tratamento de esgotos com diferentes configurações. (Baixo Ribeira de Iguape, SP.)** Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2008.

CAVALCANTI F.P.F; VAN HAANDEL, A; KATO M.T.; VON SPERLING, M., LUDUVICE, M.L. & MONTEGGIA, L.O. **Pós-Tratamento de efluentes de reatores Anaeróbios por lagoas de polimento. Cap. 3.** In: Chernicharo C. A. L. (Coordenador). Pós-Tratamento de efluentes de reatores Anaeróbios. FINEP / PROSAB, Rio de Janeiro, Brasil, 544 p. 2001.

CEARÁ. GOVERNO DO ESTADO. **Portaria 154, de 22/07/2002.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. 2002

CEBALLOS, B. S. O.; SOUSA, M. S. M.. KONIG, A., **Influência da Biomassa Algal nas Flutuações de Qualidade de Água e do Efluente Final no Ciclo Diário de uma Lagoa Facultativa Primária.** 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu. 1997.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. **Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 8, Nº 1, p. 39-44, 2003.

CETESB. **Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização.** 1 ed. Séries Manuais. São Paulo, CETESB, 1990.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 388/2010/P. Aprova premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo.** 21/Dezembro/2010.

CETESB. **Norma técnica L5.303. Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo - Métodos de ensaio.** 2005.

CHERNICARO, C. A. de L. (Coord.). **Pós-tratamento de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte. Projeto Prosab. 2001.

CHORUS, I. & BARTRAM, J. (Eds.) **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.** New York: Spon

Press, p. 1-40. 1999.

CONAMA. **Resolução nº. 357/2005 – Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes.** Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília. 2005.

CONAMA. **Resolução nº. 430/2011 – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357,** de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011.

CORAL. L. A. **Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração.** Florianópolis: UFSC. Dissertação Mestrado, 2009.

COSTA, I.A.S.; AZEVEDO, S.M.F.O.; SENNA, P.A.C. ; BERNARDO, R.R.; COSTA, S.M. &CHELLAPPA, N.T. **Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a brazilian semiarid reservoir.** Braz. J. Biol. 66 (1) : 211-219. 2006.

CRUZ, L. S.; SOUZA, W. G.; KELLER, R. ;CASSINI, S.T.A.; GONÇALVEZ, R. F. **Variação temporal quali-quantitativa das comunidades fitoplanctônicas em uma lagoa de polimento de efluente anaeróbio.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005.

CRUZ, L.S.; DIAS JÚNIOR, C., KELLER, R., CASSINI, S. T. A. & GONÇALVES, R. F. **Variações temporais do fitoplâncton e de parâmetros físico-químicos em lagoas de estabilização facultativas tratando esgotos sanitários em regime de batelada.** In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. Abes, 2004.

CURTIS, T. P.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. **Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sun-light to damage faecal coliforms in waste stabilization pond water.** Appl. Environ. Microbiol. 58(4): 1335-1343, 1992.

- CUTOLO, S. A. & ROCHA, A. A. – **Reflexões sobre o uso de águas residuárias na cidade de São Paulo – Saúde e Sociedade** 11(2): 89-105, 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/sausoc/v11n2/07.pdf>. Acesso em 22/10/2012.
- CYBIS, L. F.; BENDATI, M. M; MAIZONAVE, C. R. M; & WERNER, V. R.; DOMINGUES, C. D. **Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba de Sabão e lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro: ABES, 64p, 2006.
- DE RIJK S. E.; VAN DER GRAAF, J. H. J. M.; DEN BLANKEN, J. G. **Bubble Size in Flotation Thickening.** Water Research., v.28, n.2, p.465-473, 1994.
- DELAZARI-BARROSO, A., OLIVEIRA, F. F. MARQUES, M. A. M.; SANTOS, S. M., BREDA, F., PERIM, C. A. B. **Avaliação temporal do fitoplâncton na lagoa de polimento de uma estação de tratamento de esgoto do tipo biosistemas integrados, em Alto Caxixe, Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil.** Revista Científica Faesa, v. 5, n. 1, p. 7-16, 2009.
- DI BERNARDO, L. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento.** ABES. Rio de Janeiro. 140p, 1995.
- DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A. D. B. **Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento.** LDiBe Editora. Rio de Janeiro. São Carlos. 536p, 2010.
- DIAS, V. O. M. C.; ÁLVARES, M. L. P.; LORDELO, M. S. LOUREIRO, A. L. ; DIAS NETO, A. A; CRUZ, C. S.; SILVA; R. M. L. ; SANTANA, R. A.; CRUZ, F.; GOMES, F. S. **Potencial de floração de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no Estado do Espírito Santo (Reservatório Duas Bocas).** In Brasil. Fundação Nacional de Saúde. 2º Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública / Fundação Nacional de Saúde. - Brasília: Funasa, 2006.
- EDZWALD, J.K. **Algae, Bubbles, Coagulants, and Dissolved Air Flotation.** Water

Science Technology, 27:10:67-81, 1993.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Liminologia**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, FINEP, 1998.

FALCO, P. B. **Estrutura da comunidade microbiana (algas e bactérias) em um sistema de lagoas de estabilização em duas escalas temporais: nictemeral e sazonal**. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2005.

FALCONER, I. R. & HUMPAGE, A. R. **Health Risk Assessment of Cyanobacterial (Blue-green Algal) Toxins in Drinking Water**. J. Environ. Res. Public Health 2(1), 43–50, 2005.

FERNANDES, H. **Análise da Dinâmica Fitoplanctônica em uma lagoa de estabilização secundária para tratamento de lixiviado de aterro sanitário** -. XXXI CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS. Santiago, CHILE. 2008.

FERNANDES, L. F.; LAGOS, P.D.; WOSIACK, A.C.; PACHECO, C. V.; DOMINGUES, L.; COQUEMALA, V. **Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos**. In ANDREOLI, C. & CARNEIRO, C. (Eds) Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba: Sanepar. Finep. 2005.

FERNANDES, L. F.; WOSIACK, A.C.; PACHECO, C. V.; DOMINGUES, L. ; LAGOS, P.D.; **Cianobactérias e cianotoxinas**. In ANDREOLI, C. & CARNEIRO, C. (Ed) Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba: Sanepar. Finep. 2005.

FRANCESCHINI, I.M.; BURLIGA, A.L.; REVIERS, B.; PRADO, J.F.; RÉZIG, S.H. **Algas – uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica**. ARTMED, Porto Alegre, 2010.

FUNCEME. **Histórico e Quadros de Precipitação Pluviométrica**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2011.

FURTADO, A. L. F. F.; CALIJURI, M. C.; LORENZI, A. S.; HONDA, R. Y.; GENUÁRIO, D. B.; FIORE, M. F. **Morphological and molecular characterization of cyanobacteria from a Brazilian facultative wastewater stabilization pond and evaluation of microcystin production.** Hydrobiologia, Vol. 327, p. 195-209, 2009.

FURTADO, A. L. L. **Isolamento, morfologia, análises moleculares e testes toxicológicos de cianobactérias em lagoa facultativa de sistema de estabilização (Cajati – São Paulo).** Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. 2007.

GIORDANE, S. **Possibilidades de reúso dos efluentes domésticos gerados nas Bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira - Região de Curitiba-Paraná.** Sanare. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.19, n.19, p. 06-14, jan./jun. 2003.

GONÇALVES, E. A. P; CUNHA, M. C. C. JÚNIOR, A. T. M.; GAVAZZA, S. & KATO, M. T. **Identificação de cianobactérias e suas relações ecológicas em lagoa de maturação.** 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Recife, 2009.

GONÇALVEZ, R. F. **Variação temporal quali-quantitativa das comunidades fitoplanctônicas em uma lagoa de polimento de efluente anaeróbio.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005.

GOUVEIA, L.; OLIVEIRA, A.C. **Microalgae as a raw material for biofuelsproduction,** J. Ind. Microbiol. Biotechnol, v.36, p. 269-274, 2009.

GRANADO, D. C. **Variações Nictemerais e sazonais na estrutura da comunidade fez uma avaliação de variações nictemerais na estrutura da comunidade fitoplanctônica de um sistema de lagoas de estabilização (Novo Horizonte, SP).** Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2004.

GRASSI, M. T. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. Maio de 2001. Disponível em [WWW.ceset.unicamp.br/~mariaaacm/ST114/aguas.pdf](http://WWW.ceset.unicamp.br/~mariaaacm/ST114/aguas.pdf). Acesso em 23/09/2012.

GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. **AlgaeBase - Mundial publicação eletrônica, National University of Ireland, Galway**. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acessado em 30 de junho de 2012.

HESPAHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Bahia Análise e Dados, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 411-437, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Saneamento 2011**. Rio de Janeiro. 2011.

IBGE. **Pesquisa Nacional por amostragem de domicílios**. 2011. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=222&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=222&id_pagina=1). Acesso em 21/10/2012.

JARDIM, F. A. et al. **Metodologia para a contagem de cianobactérias em células/mL: um novo desafio para o analista de laboratório**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3/4, p. 109-111, 2002.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos. Associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental**. 4ª edição. 890p, 2005.

KOMÁREK J, ANAGNOSTIDIS, K. **Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2- Chroococcales**. Archivfür Hydrobiologie, Suppl. 73 Algological Studies 43: 157-226, 1986.

KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota II. Teil, 2nd Part: Oscillatoriales**. In Süßwasserflora von Mitteleuropa (B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner & M. Schagerl, eds.). Elsevier/Spektrum, Heidelberg, v.19/2, p.1-759, 2005.

- KOMÁREK, J. & HAUER T.: CyanoDB.cz - **On-line database of cyanobacterial genera. - Word-wide electronic publication.** Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, Disponível em <http://www.cyanodb.cz> . Acesso em 10/11/2012
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales.** In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Möllenhauer (eds.). Sübwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 1- 548. 1998.
- KÖNIG, A. **Biologia das lagoas.** In: Mendonça, S.R. 1990. Lagoas de estabilização aeradas mecanicamente: novos conceitos. Ed Universitária da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 388p. 1990.
- KONIG, A. **Biología de las lagunas de estabilización: Algas** In: Rolim, S. M. Sistemas de lagunas de estabilización: Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego. Santafé de Bogotá, McGraw Hill. p.44-67, 2000.
- LAPOLLI, F. R., CORAL, L. A. RECIO, M. A. L. **Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção.** Revista DAE 185. Ano LIX. Janeiro de 2011.
- MANCUSO, P. C. S; SANTOS, H. F. (ED). **Reuso de água.** Barueri, SP: Malone, p. 125 – 126, 2003.
- MARA, D. D.; PEARSON, H. W. **Waste stabilization pond research: experimental methods and data analysis.** In: Seminário regional de investigación sobrelagunas de estabilizacion. Anais, Lima. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária y Ciencias del ambiente. Pp145-157, 1986.
- MASSI, L.. SOUSA, S. R., LALUCE, C. E JAFELICCI JR., M. **Fundamentos e aplicação da flotação como técnica de separação de misturas.** Química nova na escola. N° 28, maio 2008.
- METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** McGraw-Hill. 4. edition. 1848p, 2002.

MOLICA, R., ONODERA, H., GARCÍA, C., RIVAS, M., ANDRINOLO, D., NASCIMENTO, S., MEGURO, H., OSHIMA, Y., AZEVEDO, S., LAGOS, N. **Toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) isolated from Tabocas reservoir in Caruaru, Brazil, including demonstration of a new saxitoxin analogue.** *Phycology*, Vol. 41, Nº 6, p. 606-611, 2002.

MORGAN, S. M. & VESILIND, P. A. **Introdução à engenharia ambiental.** Tradução da 2ª Edição norte-Americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

MOTA, S.; AQUINO, AQUINO, M. D. DE; SANTOS, A. B. DOS (Org.). **Reúso de águas em irrigação e piscicultura.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia, 350p, 2007.

MOTA, S.; Menezes, M. A. S.; CAIXETA, C. E. T.; VASCONCELOS, M. M. **O Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reuso de águas.** In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (Organizadores). Reúso de águas em irrigação e piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007.

NUNES, D. G. FRANÇA, S. C., COUTO H. J. B. **Estudo da distribuição do tamanho de bolhas do processo de flotação por ar dissolvido para a recuperação de finos da indústria mineral.** Anais da XIV Jornada de Iniciação científica – CETEM, Rio de Janeiro, 2007.

OLIVEIRA, F. F. - **Remoção de algas e nitrificação terciária de efluente de lagoa de estabilização facultativa através de biofiltros aerados submersos.** Vitória, Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 1996.

- OLIVEIRA, F. F. E GONÇALVES, R.F. **Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização.** Anais da III Exposição de trabalhos técnicos da ASSEMAE. Vitória (ES) – junho de 1998.
- OLIVEIRA, F. F., PIRES, A.C.M. E GONÇALVES, R.F. **Polimento de efluentes de lagoas facultativas em meios granulares submersos (aerados ou não aerados).** Anais do II SIBESA, Gramado, Rio Grande do Sul. 1996.
- OLIVEIRA, F. F.; GONÇALVES, R. F. **Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização.** In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Rio de Janeiro, 1999.
- OLIVEIRA, J. M. B. **Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de sedimentação e flotação: avaliação em escala de bancada.** Brasília: UNB. Dissertação Mestrado, 2005.
- OLIVEIRA, M. S. R. **Avaliação da comunidade fitoplanctônica da lagoa facultativa do módulo III da estação de tratamento de esgoto de Mangabeira (João Pessoa – PB).** Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2010.
- PARRA, O. & BICUDO, C.E.M. **Introducción a la biología y sistemática de las algas de aguas continentales.** Ediciones Universidad de Concepción. 269p, 1996.
- PEARSON, H. W. **Microbiology of waste stabilization pond. 14-45p.** In: **SHILTON, A. Pond Treatment Technology.** Ed. IWA, London, UK. 479p., 2005.
- PEARSON, H. W.; MARA, D. D., MILLS, S. W.; SMALLMAN, D. J. **Physico-chemical parameters influencing faecal bacterial survival in waste stabilization ponds.** Wat. Sci. Technol. 31(12): 129-139. 1987.
- PEARSON, H. W.; MARA, D. D.; CAWLEY, L. R.; ARRIDGE, H. M.; SILVA, S. A. **The performance of innovative tropical experimental waste stabilization pond**

- system operating at high organic loadings.** Wat. Sci. Technol. 33(7): 63-73, 1996.
- PIVELLI, R. P., LÉO, L. F. R., FABRETI, A. A., MACEDO, M. F. **Pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização através de processos físico-químicos objetivando reúso.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.
- POLPRASERT, C.; AGARWALLA, B. K. **Significance of biofilm activity in facultative pond design and performance.** Wat. Sci. Tec., 31(12): 119-128, 1995.
- PREFEITURRA MUNICIPAL DE AQUIRAZ. **Mapas municipais.** 2012. Disponível em: <http://www.aquiraz.ce.gov.br/mapas.asp>. Acessado em 23/08/2012.
- RAMOS, E. C; MOURA, A. N.; LIMA, C. S.; COSTA, B. R. A E DA SILVA, M. F. B. **Identificação e controle de algas em Lagoas de Estabilização de esgotos domésticos (ETE – Nazaré da Mata).** 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal.** 7 ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- REVIERS, B. **Biologia e Filogenia das Algas.** ARTMED, Porto Alegre, 2006.
- REYNOLDS, C. S. **Ecology of phytoplankton.** Cambrigde: Cambrigde University Press. 535p, 2006
- RIBEIRO, P. C. **Análise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Área de concentração: Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, 2007.
- ROCHA M.L.A. F. **Remoção de algas, DQO, fósforo e Coliformes do efluente de lagoas facultativas através de coagulação / floculação / decantação.** XXVI

Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS). Lima (Peru), 1998.

ROCHA, M. L. A.; RIBEIRO, E. N.; VERONEZ, F. A.; RORIZ, G. M.; GONÇALVES, R. F. **Polimento do efluente de lagoas facultativas através de coagulação/floculação/decantação**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, p.1-12, Ilus, tab., 1999.

ROCHA, M.L.A. F. **Remoção de algas, DQO, fósforo e Coliformes do efluente de lagoas facultativas através de coagulação / floculação / decantação**. XXVI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS) - Nov 98 – Lima (Peru), 1998.

ROUND, F. E. **Biologia das algas**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. & SORMUS, L. **Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos**. Hoehnea 16: 89-131. 1989.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P.; WERNER, V. R.; DOGO, C. R.; RIOS, F. R.; CARVALHO, L. R. **Review of toxic species of cyanobacteria in Brazil**. Algological Studies, Vol. 126, p. 251-265, 2008.

SANT'ANNA, C.L., AZEVEDO, M.T.P., AGUJARO, L.F., CARVALHO, M.C., CARVALHO, L.R. & SOUZA, R.C.R. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Interciência/ Sociedade Brasileira de Ficologia – SBFic, São Paulo, 58p. 2006.

SANT'ANNA, C.L., **Chlorococcales (Chloophyceae) do Estado de São Paulo, Brasil**. Germany: Stauss & Cramer, 348p. 1984.

SCHEFFE, M.; RINALDI, S.; GRAGNANI, A.; MUR, L.R. & VAN NES, E. H. **On the**

**dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes.** Ecology, 78: 272-282, 1997.

SEMURA, K. A.; RICITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. **Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETEs da RMSP.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Abes. 2005.

SHILTON, A. (Editor) **Pond Treatment Technology.** IWA Publishing. London. 479p. 2005.

SILVA, F. J. A. & SILVA, S. A. **Lagoas de estabilização no Ceará: Prospectos e tendências.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999.

SILVA, S. A., MARA, D., **Sewage treatment in waste stabilization ponds: recent research in Northeast Brazil.** Progress in watertechnology; 11(1/2): 341-4, 1979.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Rio de Janeiro. ABES, 1979.

SILVA, V. V.; OLIVEIRA, F. F.; GONÇALVES, R. F. **Polimento do efluente final de um sistema australiano de lagoas de estabilização através do processo compacto físico-químico do tipo coagulação/floculação/decantação.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; p.1-9, Ilus, tab. 2001.

SOLDATELLI, V. F. **Avaliação da comunidade fitoplanctonica de lagoas de estabilização usadas para tratamento de efluentes domésticos. Estudo de caso – ETE UCS.** Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

SOUSA, A. A. P. **Remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e indicadores bacteriológicos em lagoas de estabilização em escala real.** Campina Grande Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 1994.

TEIXEIRA, M. R.; ROSA, M. J. **Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa* Part I: The key operating conditions.** Separation and Purification Technology, Vol. 52, Nº 1, p. 84-94, 2006.

TESSELE, F., ROSA, J. J. da, RUBIO, J. **Os avanços da flotação no tratamento de águas, esgotos e efluentes.** SANEAMENTO AMBIENTAL. , v.102, p.30 – 36. 2004.

TESSELE, F.; MONTEGGIA, L. O.; NEDER, K. D.; CASTRO JUNIOR, J. M.; ROSA, J. J. **Polimento de efluentes d e lagoas de estabilização por flotação por ar dissolvido.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 1 CD, II-213.pdf. Campo Grande. 2005.

TESSELE, F.; MONTEGGIA, L. O.; NEDER, K. D.; CASTRO JUNIOR, J. M.; ROSA, J. J. **Polimento de efluentes d e lagoas de estabilização por flotação por ar dissolvido.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 1 CD, II-213.pdf. Campo Grande. 2005.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. **Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas.** São Paulo: CETESB – Série manuais. 91p, 1989.

VASCONCELOS, V.M.; PEREIRA, E. **Cyanobacteriadiversity and toxicity in a wastewatertreatmentplant (Portugal).** Water Science and Technology, v.35, n.5, p.1354-1357, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos,** v.1, 3ª Ed. Belo Horizonte, 452 p. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de**

**Esgotos**. 2ed. Rev. Belo Horizonte: UFMG/DESA. 243p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; V.1, 1996.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**, v.3, 2ª Ed. Belo Horizonte, 196 p. 2002.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: UFMG/DESA. 211p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; V.2, 1996.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Barcelona: Ediciones Omega, 1981.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts**. Technical report series N° 517. Genebra, 1973.