

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**CAMILA LASCHIWITZ BEGHETTO**

**APLICAÇÃO DO EXTRATO SALINO DE *Moringa oleifera* E POLICLORETO DE  
ALUMÍNIO PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA  
2018**

CAMILA LASCHIWITZ BEGHETTO

APLICAÇÃO DO EXTRATO SALINO DE *Moringa oleifera* E POLICLORETO DE ALUMÍNIO PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Controle e Monitoramento Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lucila Adriani Coral

CURITIBA  
2018

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

B416a Beghetto, Camila Laschiwitz  
2018 Aplicação do extrato salino de Moringa oleifera e policloreto de alumínio para remoção de cianobactérias em água de abastecimento / Camila Laschiwitz Beghetto.-- 2018.  
95 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Linha de Pesquisa: Monitoramento e Gestão Ambiental, Curitiba, 2018.

Bibliografia: f. 80-93.

1. Cianobactéria - Controle. 2. Moringa oleifera. 3. Policloreto de alumínio. 4. Coagulantes. 5. Água - Purificação - Flotação por ar dissolvido. 6. Flotação. 7. Abastecimento de água - Controle de qualidade. 8. Tecnologia ambiental - Dissertações. I. Coral, Lucila Adriani, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. III. Título.

CDD: Ed. 23 -- 363.7

**Biblioteca Central do Câmpus Curitiba – UTFPR**  
**Bibliotecária: Luiza Aquemi Matsumoto CRB-9/794**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 099

A Dissertação de Mestrado intitulada *APLICAÇÃO DO EXTRATO SALINO DE Moringa oleifera E POLICLORETO DE ALUMÍNIO PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO*, defendida em sessão pública pela candidata **Camila Laschowitz Beghetto**, no dia 28 de março de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, área de concentração Tecnologias e Processos Ambientais, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental.

### BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Lucila Adriani Coral - Presidente – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Fatima de Jesus Bassetti – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Marcelo Fernandes Vieira – UEM

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 28 de março de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

## AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho foi possível graças à ajuda e compreensão de muitas pessoas que disponibilizaram seu tempo e conhecimento, e às quais venho aqui prestar meus sinceros agradecimentos:

À professora Lucila Adriani Coral pela disponibilidade e prontidão para que o trabalho ocorresse da melhor maneira possível. Principalmente pela paciência, compreensão, ajuda nas coletas e incentivo para que eu pudesse seguir meus objetivos.

À professora Fátima de Jesus Bassetti pela ajuda constante na elaboração do trabalho e por seus conhecimentos com coagulantes naturais; à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Bittencourt de Oliveira (USP) por ceder a cepa de *M. aeruginosa*; e ao Prof. Dr. Leonardo Rubi Rörig (UFSC) pelas cepas de *C. raciborskii*.

Aos professores Giselle Maria Maciel; Karina Querne de Carvalho Passig; Thomaz Aurélio Pagioro e a Servidora Rubia Bottini, pelo auxílio nas análises realizadas no Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ) e pela constante atenção em qualquer necessidade. Também aos demais professores e funcionários do Departamento Acadêmico de Química e Biologia, pelo incentivo e apoio durante o trabalho, atuando direta ou indiretamente para minha formação pessoal e profissional.

Aos colegas do Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água (LTPA), Jonas, Lucicleide, Raquel, Ana, Mariana, Luciana, Bruno e Gabrielle por toda a ajuda, paciência, erros e acertos que tivemos juntos.

Aos meus pais João e Lia, meu namorado Ivan, minha amiga Maria Faust e todos os meus familiares e amigos, por todo o apoio e incentivo para que eu pudesse seguir com meus objetivos, e principalmente pelo entendimento nos momentos de ausência e nervosismo.

Ao CNPq, por conceder a bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora, Professora Fátima de Jesus Bassetti (UTFPR) e Professor Marcelo Fernandes Vieira (UEM), pela disponibilidade em participar e pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

*“Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos”.*

**Albert Einstein.**

## RESUMO

BEGHETTO, Camila Laschiwitz. **Aplicação do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio para remoção de cianobactérias em água de abastecimento.** 95 f. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água podem, dentre outros aspectos, implicar no aumento da dosagem do coagulante químico para que a qualidade da água tratada atenda ao estabelecido na Legislação vigente. Este aumento na dosagem do coagulante metálico pode acarretar em problemas de saúde em virtude da presença de concentrações residuais de alumínio, além de elevar os custos do tratamento. Diante dos fatos apresentados, buscou-se avaliar a aplicabilidade do coagulante natural de *Moringa oleifera* Lam puro e associado ao policloreto de alumínio na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*, por meio de flotação por ar dissolvido. As amostras consistiram em água proveniente de manancial da Região Metropolitana de Curitiba acrescida de concentrado de células das cianobactérias estudadas, visando atingir valores iniciais de turbidez de 40 uT e densidade celular de  $5,0 \times 10^5$  cel mL<sup>-1</sup>. O trabalho foi dividido em três etapas, em que, na primeira avaliou-se a eficiência do coagulante natural para a remoção de turbidez, cor e densidade celular das cianobactérias estudadas isoladamente; na segunda etapa foram avaliadas diferentes proporções dos coagulantes *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio na remoção de turbidez, cor e densidade celular das espécies isoladamente; e por fim, foram realizados ensaios avaliando a influência de uma variação das populações de cianobactérias no tratamento quando aplicada a melhor proporção dos coagulantes. Na primeira etapa, verificou-se que a melhor dosagem do coagulante natural para a remoção de turbidez, cor e densidade celular foi a de 20 mg L<sup>-1</sup> (eficiência de remoção de 81% de turbidez; 67 - 76% de cor; e 89 - 97% de células). Para a segunda etapa, estabeleceu-se a proporção de 75% de *Moringa oleifera* e 25% do policloreto de alumínio como a melhor para a remoção de células (95%) e menor residual de alumínio na água tratada (0,030 mg L<sup>-1</sup>). Na terceira etapa, a proporção de células de 50% *M. aeruginosa* e 50% *C. raciborskii* foi a que resultou em melhor remoção de turbidez (94%), cor (80%) e densidade celular (aproximadamente 99%); entretanto, de acordo com testes estatísticos, não foi observada diferença significativa entre as proporções celulares avaliadas. Em função dos resultados obtidos para todas as etapas, pode-se considerar que o extrato salino de *Moringa oleifera* se mostrou um coagulante eficiente para a remoção das espécies de cianobactérias estudadas, tendo-se observado um aumento na eficiência quando associado ao coagulante químico. Em relação à associação das cianobactérias pode-se sugerir que não houve interferência da densidade celular nem das diferentes morfologias celulares avaliadas na eficiência do tratamento.

**Palavras-chave:** *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Microcystis aeruginosa*. Coagulante natural. Flotação por Ar Dissolvido.

## ABSTRACT

BEGHETTO, Camila Laschiwitz. **Application of *Moringa oleifera* saline extract and aluminum polychloride to remove cyanobacteria from drinking water.** 95 p. Thesis. Postgraduate Program in Environmental Science and Technology. Federal University of Technology - Paraná. Curitiba, 2018.

Cyanobacterial bloom in water supply sources may, among other aspects, imply increasing the dosages of chemical coagulants to the treated water achieve the quality established in the current Legislation. This increase in the dosage of metallic coagulants may results in health problems due to the presence of aluminum residuals, besides increase the treatment costs. Thus, it was tried to evaluate the applicability of the natural coagulant of *Moringa oleifera* Lam as a pure solution or when associated to the aluminum polychloride in the removal of cells of *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii* by dissolved air flotation. The samples consisted of water from a source of supply located in the Metropolitan Region of Curitiba plus cyanobacteria cells, aiming to have a initial turbidity value of 40 NTU and cellular density of  $5.0 \times 10^5$  cells mL<sup>-1</sup>. The study was developed in three stages: in the first one it was evaluated the efficiency of the natural coagulant for the removal of turbidity, color and cell density of each species of cyanobacteria studied; in the second stage, proportions of *Moringa oleifera* and aluminum polychloride coagulants were evaluated for turbidity, color and cell density removal of each cyanobacteria species; and finally, experiments were carried out evaluating the influence of a variation of cyanobacteria populations on the treatment when applied to the better proportion of coagulants. In the first step it was found that the better dosage of the natural coagulant for the removal of turbidity, color and cell density was 20 mg L<sup>-1</sup> (removal efficiency of 81% for turbidity, 67 - 76% for color and 89 - 97% for cells). For the second stage, the proportion of 75% *Moringa oleifera* and 25% aluminum polychloride was established as the better for cell removal (95%) and the lowest aluminum residual in the treated water (0.030 mg L<sup>-1</sup>). In the third step, the proportion of 50% *M. aeruginosa* and 50% *C. raciborskii* cells resulted in the better removal of turbidity (94%), color (80%) and cell density (approximately 99%); however, according to statistical tests, no significant difference was observed between the cellular proportions evaluated. Due to the results obtained for all the steps, it is possible to consider that the saline extract of *Moringa oleifera* proved to be an efficient coagulant for the removal of the studied cyanobacteria species, with an increase in efficiency when associated to the chemical coagulant. In relation to the association of cyanobacteria, it can be suggested that there was no interference of cell density or different cellular morphologies evaluated in the treatment efficiency.

**Keywords:** *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Microcystis aeruginosa*. Natural coagulant. Dissolved Air Flotation.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Imagem microscópica das espécies <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (a) e <i>Microcystis aeruginosa</i> (b).....	<b>21</b>
<b>Figura 2</b> - Fluxograma com as etapas do tratamento convencional ou ciclo completo de uma estação de tratamento de água.....	<b>26</b>
<b>Figura 3</b> - Fotografias evidenciando: a) muda da espécie <i>M. oleifera</i> com aproximadamente 3 meses de idade; b) sementes de <i>M. oleifera</i> com tegumento (casca) e c) sementes de <i>M. oleifera</i> após a remoção do tegumento .....	<b>31</b>
<b>Figura 4</b> - Cepas de <i>M. aeruginosa</i> cultivada em meio ASM1 em câmara isolada sob condições controladas.....	<b>38</b>
<b>Figura 5</b> - Fluxograma de preparo do coagulante natural a partir de sementes de <i>Moringa oleifera</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura 6</b> - Imagem do equipamento de flotação por ar dissolvido (FAD) utilizado para a execução dos ensaios.....	<b>41</b>
<b>Figura 7</b> - Fluxograma ilustrando as etapas do estudo proposto.....	<b>42</b>
<b>Figura 8</b> - Esquema representativo da identificação de picos e regiões de excitação-emissão de fluorescência.....	<b>47</b>
<b>Figura 9</b> - Imagens evidenciando a diferença da coloração dos cultivos de <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> com aproximadamente 15 dias de crescimento. Em a) Cepa de <i>M. aeruginosa</i> , $\lambda_{455nm} = 1.512$ ; b) cepa de <i>C. raciborskii</i> , $\lambda_{455nm} = 0,276$ .....	<b>50</b>
<b>Figura 10</b> - Variação da turbidez residual (uT) nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente .....	<b>51</b>
<b>Figura 11</b> - Variação da cor residual (uH) nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente .....	<b>52</b>
<b>Figura 12</b> - Eficiências de remoção de células (%) e densidade celular (cel mL <sup>-1</sup> ) para os ensaios de melhor dosagem do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente.....	<b>53</b>
<b>Figura 13</b> - Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros de qualidade da água para cada espécie de cianobactéria avaliada a partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, considerando a água inicial e após o processo de C/F/FAD. ....	<b>56</b>
<b>Figura 14</b> - Relação do aumento da condutividade com a dosagem do extrato salino de sementes de <i>M. oleifera</i> aplicado no tratamento C/F/FAD .....	<b>58</b>
<b>Figura 15</b> - Densidade celular (cel mL <sup>-1</sup> ) e eficiências de remoção de células (%) para as proporções do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e policloreto de alumínio para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente .....	<b>60</b>
<b>Figura 16</b> - Variação da turbidez residual (uT) nos ensaios de proporção do extrato salino de <i>M. oleifera</i> e do Policloreto de Alumínio (MO:PAC) .....	<b>61</b>

<b>Figura 17</b> - Variação da cor residual (uH) nos ensaios de proporção do extrato salino de <i>M. oleifera</i> e do Policloreto de Alumínio (MO:PAC) .....	<b>62</b>
<b>Figura 18</b> - Residual de alumínio solúvel (mgAl L <sup>-1</sup> ) para as proporções do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e policloreto de alumínio para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente.....	<b>63</b>
<b>Figura 19</b> - Condutividade elétrica da água (µS cm <sup>-1</sup> ) para as proporções do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e policloreto de alumínio para as espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> isoladamente.....	<b>64</b>
<b>Figura 20</b> - Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros de qualidade da água para cada espécie de cianobactéria avaliada a partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, considerando a água inicial e após o processo de C/F/FAD. ....	<b>64</b>
<b>Figura 21</b> - Residual de cor (uH) e turbidez (uT) para a proporção de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% de policloreto de alumínio para as diferentes proporções celulares das espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> .....	<b>70</b>
<b>Figura 22</b> - Eficiências de remoção celular para a proporção de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% de policloreto de alumínio para as diferentes proporções celulares das espécies <i>M. aeruginosa</i> e <i>C. raciborskii</i> .....	<b>71</b>
<b>Figura 23</b> - Residual de alumínio (mgAl L <sup>-1</sup> ) nas amostras de proporções de células avaliadas aplicando-se a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% policloreto de alumínio.....	<b>72</b>
<b>Figura 24</b> - Carbono orgânico dissolvido residual (mg L <sup>-1</sup> ) das amostras de proporções de células avaliadas aplicando-se a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% de policloreto de alumínio.....	<b>73</b>
<b>Figura 25</b> - Espectros de fluorescência usado para analisar a fluorescência da matéria orgânica presente na água de estudo inicial e após o tratamento de C/F/FAD aplicando a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% policloreto de alumínio.....	<b>74</b>
<b>Figura 26</b> - Espectros de fluorescência sincronizada usado para analisar a fluorescência da matéria orgânica presente na água de estudo inicial e após o tratamento de C/F/FAD aplicando a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e 25% policloreto de alumínio. ....	<b>75</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Classificação dos corpos d'água e os valores máximos permitidos de clorofila *a* e cianobactérias para água doce.....**25**
- Tabela 2** - Caracterização da água de estudo utilizada nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera*, para as espécies de cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* .....**49**
- Tabela 3** - Caracterização da água de estudo utilizada nos ensaios de diferentes proporções dos coagulantes do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio (PAC) para as espécies de cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*. .....**59**
- Tabela 4** - Caracterização das águas de estudo iniciais com e sem presença de cianobactérias utilizadas nos ensaios de proporções celulares das espécies *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*. .....**67**
- Tabela 5** - Proporções celulares das espécies *Microcystis aeruginosa* (MC) e *Cylindrospermopsis raciborskii* (CR) avaliadas.....**68**
- Tabela 6** - Valores residuais e eficiências obtidas para cor e turbidez, iniciais e após o tratamento com C/F/FAD, nos ensaios de proporção celular para as águas com ou sem presença de cianobactérias .....**69**

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** - Valor máximo permitido (VMP) de cianotoxinas nas águas de abastecimento público segundo a PRC N° 5 – Anexo XX.....**24**
- Quadro 2** - Estado da arte sobre estudos envolvendo coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em água ou efluente (obtenção de biomassa de algas) na presença ou ausência de algas e cianobactérias .....**34**
- Quadro 3** - Parâmetros analíticos avaliados e seus respectivos métodos de análise e equipamentos.....**44**
- Quadro 4** - Intervalos de emissão e excitação para casa tipo de componente presente na MON.....**46**
- Quadro 5** - valores de  $SUVA_{254nm}$  correspondentes a cada tipo de matéria orgânica natural predominante na água.....**48**

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AH – Ácido Húmico

AF – Ácido Fúlvico

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – Sulfato de Alumínio

C/F/FAD – Coagulação/ Floculação/ Flotação por ar Dissolvido

$\text{CaCl}_2$  – Cloreto de Cálcio

COT – Carbono Orgânico Total

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CR – *Cylindrospermopsis raciborskii*

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAD – Flotação por Ar Dissolvido

$G_{mr}$  – Gradiente de Mistura Rápida

$G_{ml}$  – Gradiente de Mistura Lenta

M – Molar

MC – *Microcystis aeruginosa*

mL – Mililitro

$\text{mg L}^{-1}$  – Miligramas por litro

mm – Milímetro

$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}$  – Metro cúbico por metro quadrado por dia

MON – Matéria Orgânica Natural

MOE – Matéria Orgânica Extracelular

pH – Potencial Hidrogeniônico

$P_{\text{sat}}$  – Pressão de Saturação

PAC – Policloreto de Alumínio

R – Taxa de Recirculação

RPM – Taxa de Recirculação

SUVA – Absorbância Específica da Luz Ultravioleta

$T_{mr}$  – Tempo de Mistura Rápida

$T_{ml}$  – Tempo de Mistura Lenta

UV – Ultravioleta

uH – Unidade Hazen

$V_f$  – Velocidade de Flotação

$\mu\text{m}$  - Micrômetros

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>3 PERGUNTAS E HIPÓTESES</b> .....	<b>18</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
4.1 Cianobactérias .....	19
4.2 Inter-relação cianobactéria / ambiente aquático continental .....	22
4.3 Legislação brasileira para controle e monitoramento de cianobactérias.....	23
4.4 Sistema de tratamento de água.....	26
4.5 Flotação por ar dissolvido e sua aplicação remoção de cianobactérias .....	27
4.6 <i>Importância dos coagulantes no tratamento de água</i> .....	29
4.6.1 Coagulante natural de <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	<b>30</b>
4.7 <i>Estado da arte</i> .....	32
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
5.1 <i>Materiais utilizados</i> .....	37
5.1.1 Cultivo de <i>Microcystis aeruginosa</i> e <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .....	<b>37</b>
5.1.2 Coleta e preparo da Água de Estudo .....	<b>38</b>
5.1.3 Coagulantes.....	<b>39</b>
5.1.4 Equipamento de flotação por ar dissolvido (FAD).....	<b>40</b>
5.2 <i>Desenvolvimento experimental</i> .....	41
5.2.1 Estudo da remoção de cianobactérias pela flotação por ar dissolvido.....	<b>42</b>
5.3 <i>Métodos Analíticos</i> .....	43
5.3.1 Contagem de células de cianobactérias.....	<b>44</b>
5.3.2 Análise de fluorescência. ....	<b>46</b>
5.3.4. Análise estatística .....	<b>48</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
6.1 Avaliação da melhor dosagem do extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> para remoção das cianobactérias avaliadas isoladamente .....	49

6.2 Aplicação de diferentes proporções dos coagulantes extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> e policloreto de alumínio (PAC) na remoção das cianobactérias avaliadas isoladamente .....	59
6.3 Avaliação da influência da variação sazonal das populações de cianobactérias na eficiência dos coagulantes associados .....	67
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>78</b>
7.1 Conclusões .....	78
7.2 Recomendações .....	78
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A - PROTOCOLO DE PREPARO DAS SOLUÇÕES ESTOQUE PARA O MEIO DE CULTIVO ASM-1 .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE B - VARIAÇÃO DOS OS VALORES REFERENTES AOS PARÂMETROS INICIAIS AVALIADOS PARA CADA PROPORÇÃO CELULAR TESTADA NA TERCEIRA ETAPA. ....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A eutrofização, causada principalmente por ações antrópicas, vem promovendo mudanças na qualidade da água. Estas alterações, juntamente com fatores bióticos, favorecem o aumento na proliferação de espécies de algas e cianobactérias, onde pode ocorrer o domínio de poucas ou até mesmo uma só espécie de cianobactéria e induzir ao declínio da diversidade fitoplanctônica local (AZEVEDO et al., 1994; CARVALHO, 2013).

O crescimento excessivo de algas e cianobactérias em reservatórios de água, fenômeno conhecido como floração, pode desencadear graves problemas de saúde pública, uma vez que muitas das espécies destes organismos são potencialmente produtoras de cianotoxinas (AZEVEDO; VASCONCELOS, 1998; BEASLEY et al., 1989). Além da produção de cianotoxinas, as cianobactérias podem produzir na água compostos de sabor e odor desagradáveis, os quais não são eliminados pelos sistemas de tratamento convencionais (PETERSON et al., 1995; WATSON, 2003; ZOSCHKE et al., 2011).

No Brasil, dentre os gêneros mais frequentemente observados nas florações de cianobactérias, destacam-se a *Cylindrospermopsis raciborskii* e a *Microcystis aeruginosa* (BELÓ, 2015; PRADO, 2016; WOJCIECHOWSKI, 2013). Este fato pode estar relacionado à alta capacidade invasora de ambas as espécies e à ampla plasticidade fenotípica (BRIAND et al., 2004). A espécie *C. raciborskii* é uma espécie de cianobactéria filamentosa, que tem capacidade de fixar nitrogênio e produzir cianotoxinas. A *M. aeruginosa* é um organismo unicelular cocóide, que pode sintetizar metabólitos secundários como geosmina, MIB (2-metil-isoborneol) e cianotoxina (microcistina) (CARVALHO et al., 2007; WOJCIECHOWSKI, 2013).

As florações também ocasionam problemas para as estações de tratamento de água (ETAs), uma vez que as diferentes morfologias das espécies e o elevado número de células de cianobactérias dificultam o processo de coagulação, sendo necessário aplicar maiores dosagens do coagulante para verificar a eficiência do processo (DRIKAS et al., 2001). Embora as células de cianobactérias sejam removidas no sistema de tratamento convencional, durante este processo pode ocorrer lise celular e difusão de cianotoxinas na água (DRIKAS, 1994). Diante desta problemática, a flotação por ar dissolvido (FAD) tem se mostrado uma técnica



eficiente na remoção das células intactas de cianobactérias quando comparada ao processo de sedimentação (OLIVEIRA, 2005).

Assim como na sedimentação, a eficiência da FAD está diretamente relacionada à eficiência das etapas prévias de coagulação e floculação, tanto em termos operacionais quanto em relação ao coagulante utilizado. No Brasil, os coagulantes mais empregados nas ETAs são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PAC). Embora o residual de alumínio na água quando do uso do PAC seja menor que quando utilizado o sulfato de alumínio, ambos os coagulantes podem ser considerados inconvenientes de serem utilizados no tratamento de água, uma vez que o residual de alumínio deixado por esses coagulantes tem sido relacionado a casos de iniciação e progressão da doença de Alzheimer (BONDY, 2016). Neste contexto, uma alternativa que surge é a utilização de coagulantes naturais, que apresentam vantagens aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis, produzirem menor quantidade de lodo, não inserção de alumínio (na água tratada e no lodo gerado) e não alterarem o pH do meio (AMARAL et al., 2006).

Sementes de *Moringa oleifera* contêm componentes ativos com excelentes propriedades de coagulação atribuídas aos vários compostos presentes na semente, sendo as mais conhecidas as proteínas solúveis que agem como polieletrólitos catiônicos naturais (BONGIOVANI et al., 2014; KWAAMBWA, 2011; MADRONA et al., 2010). Embora a não inserção de metais na água a partir do uso do coagulante obtido das sementes de *M. oleifera* seja uma vantagem, por ser um coagulante natural, verifica-se que seu uso aumenta significativamente a concentração da matéria orgânica na água, o que pode ser considerado uma desvantagem no processo. Desta forma, estuda-se a associação do coagulante natural com os coagulantes químicos (BINA et al., 2010; VALVERDE et al., 2013; VALVERDE et al., 2016), considerando-se que essa associação minimiza o residual de metais e também a carga orgânica oriunda do uso do coagulante natural, melhorando a qualidade da água e reduzindo as implicações que os coagulantes químicos trazem ao ambiente e à saúde humana.

Diante do exposto, torna-se necessária a investigação da eficiência do coagulante natural da semente de *Moringa oleifera* e a sua associação a coagulantes químicos juntamente com o processo de clarificação por flotação por ar dissolvido, principalmente quando são consideradas alterações na qualidade da água em virtude da espécie de cianobactéria presente no meio.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* por flotação por ar dissolvido usando como coagulantes o extrato salino da *Moringa oleifera* e o policloreto de alumínio (PAC).

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar a melhor dosagem do coagulante natural de *M. oleifera* para remoção de células de *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente, assim como os demais parâmetros de qualidade de água;
- Determinar a eficiência da associação do coagulante obtido das sementes de *M. oleifera* com o Policloreto de Alumínio em diferentes proporções para remoção de células de *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente; e
- Avaliar a influência da variação sazonal das duas populações de cianobactérias na eficiência dos coagulantes associados.

### 3 PERGUNTAS E HIPÓTESES

Os questionamentos que nortearam a realização deste trabalho de pesquisa são apresentados a seguir:

1. O extrato salino de sementes de *Moringa oleifera* é eficiente para a remoção de cianobactérias, em situação de floração, pelo processo de flotação por ar dissolvido?
2. A mistura do coagulante natural extrato salino de *M. oleifera* com o coagulante químico (PAC) influencia na eficiência do tratamento aplicado?
3. A variação específica na população de cianobactérias interfere na eficiência do processo de coagulação/floculação e flotação por ar dissolvido quando utilizado como coagulante o associado do extrato salino de *Moringa oleifera* e PAC?

Diante das perguntas norteadoras, foram formuladas as hipóteses nulas ( $H_0$ ) e as hipóteses alternativas ( $H_n$ ) para cada questão levantada. As hipóteses alternativas são apresentadas a seguir:

#### **Hipótese alternativa ( $H_1$ )**

- O extrato salino de *M. oleifera* atua como um coagulante eficiente na remoção de cianobactérias quando em situações de floração.

#### **Hipótese alternativa ( $H_2$ )**

- A mistura do extrato salino de *M. oleifera* com o coagulante químico (PAC) melhora a qualidade da água tratada.

#### **Hipótese alternativa ( $H_3$ )**

- A morfologia da espécie de cianobactéria e/ou a densidade celular de cada espécie influencia no processo de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido nas condições estudadas.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 *Cianobactérias*

As cianobactérias são organismos procariontes, fotoautotróficos e aeróbios, denominados como Cyanophyceae (BICUDO; MENEZES, 2005). Acredita-se que surgiram no planeta há aproximadamente 3,5 bilhões de anos (ADAMS, 2000) e, embora haja muita controvérsia nesta estimativa, os primeiros indícios da presença desses organismos são baseados em biomarcadores lipídicos de materiais fósseis, que datam de aproximadamente 2,85 milhões de anos (SUMMONS et al., 1999). Essas cianobactérias podem ser filamentosas ou cocóides, ocorrendo isoladamente ou em colônias. A grande maioria das espécies apresenta melhor crescimento em águas neutro-alcálinas (pH entre 6,5 e 9), com alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e temperaturas entre 15 e 30 °C (WOJCIECHOWSKI, 2013).

Alguns grupos de cianobactérias possuem estruturas que lhes conferem vantagens adaptativas, como a presença da bainha de mucilagem, que evita o dessecação e a predação por protozoários, e em alguns casos pode exercer atividade aderente em substratos sólidos (ESTEVES, 1998; MELCHER, 2007; THAJUDDIN; SUBRAMANIAN, 2005).

A presença de aerótopos em muitas espécies planctônicas lhes confere vantagem de mobilidade vertical na coluna d'água. Isso permite a exploração de recursos nutricionais depositados nas camadas mais profundas dos corpos d'água e é uma estratégia de proteção destas espécies da irradiação, evitando danos celulares por foto-oxidação (WALSBY, 1994). Outra estrutura que confere vantagem competitiva é a presença de heterocistos, células especializadas em fixar nitrogênio em condições anóxicas (ESTEVES, 1998; THAJUDDIN; SUBRAMANIAN, 2005).

Um ambiente quando em processo de eutrofização pode favorecer o crescimento exacerbado de cianobactérias, o que é denominado como floração ou *bloom* (ESTEVES, 1998). As florações de cianobactérias provocam alterações nos ecossistemas aquáticos, uma vez que alteram a transparência do meio, podendo conduzir a desoxigenação dos corpos d'água. Tais eventos podem se apresentar de duas formas: *scums* ou natas, que se caracterizam pela elevada concentração de clorofila *a*, com duração de poucas horas ou dias e com espessura de poucos

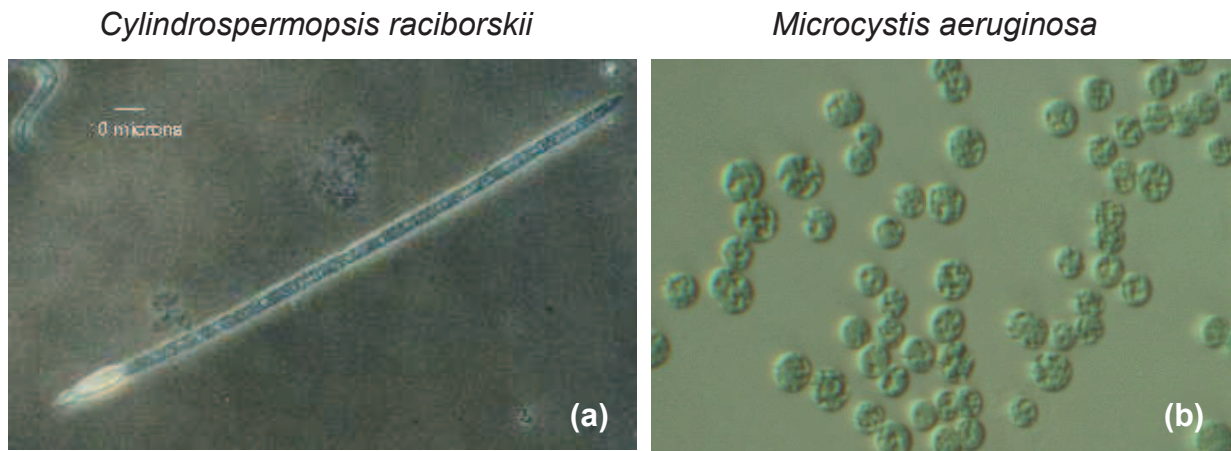
milímetros; e *hyperscums*, caracterizada por uma massa flutuante de células com espessura entre 50 e 75 cm, densamente compactada, com duração de semanas até meses (ZOOHARY; ROBARTS, 1990).

Durante o período de floração, as cianobactérias podem produzir cianotoxinas, que representam um grave problema para a saúde pública, e alguns metabólitos, como geosmina (trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol) e MIB (2-metil-isoborneol), os quais provocam alteração no odor e no sabor da água mesmo após tratamento (AWWA, 1964; CARMICHAEL, 1994).

No Brasil, várias espécies de cianobactérias foram descritas como potencialmente produtoras de toxinas. Dos gêneros já identificados estão *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum* (anteriormente classificada com *Anabaena*), *Planktothrix* e *Aphanizomenon* (CARVALHO, 2013). Dentre as espécies, a *Cylindrospermopsis raciborskii* e a *Microcystis aeruginosa* são as que possuem maior distribuição e representação nos reservatórios brasileiros (ARAGÃO-TAVARES et al., 2013; ARAGÃO-TAVARES et al., 2015; COSTA, 2015). A espécie *C. raciborskii* (Figura 1a) pertencente à ordem Nostocales e família Nostocaceae, possui grande plasticidade fenotípica e rápida expansão geográfica e tende a dominar regiões tropicais e subtropicais da África, Austrália, Cuba, Índia, Indonésia, Ásia Central e América do Norte (ARAGÃO-TAVARES et al., 2013; GARCIA, 2007; WOJCIECHOWSKI, 2013). A *C. raciborskii* é uma cianobactéria filamentosa, com capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, alta afinidade e habilidade de estocar fósforo, extremamente tolerante ao sombreamento, possui aerótopos e é resistente a grandes variações na temperatura (BRIAND et al., 2004; PADISÁK; REYNOLDS, 1998; REYNOLDS et al., 2002). Entre as cianotoxinas produzidas por essa espécie estão a cilindrospermopsina (CYL) (SAKER; THOMAS; NORTON, 1999), a saxitoxina (SAX) (LAGOS et al., 1999) e a anatoxina-a (ANA-a) (CHORUS; BARTRAN, 1999).

A espécie *Microcystis aeruginosa* (Figura 1b) pertence à ordem Chroococcales e a família Myrocystaceae. São organismos unicelulares, normalmente coloniais com bainha mucilaginosa e aerótopos (BICUDO; MENEZES, 2005). A principal cianotoxina produzida pela *M. aeruginosa* é a microcistina, que possui alto potencial tóxico para animais e seres humanos.

**Figura 1** - Imagem microscópica das espécies *Cylindrospermopsis raciborskii* (a) e *Microcystis aeruginosa* (b)



Fonte: Cyanosite.bio (2017).

As cianotoxinas são classificadas em três grupos: neurotoxinas, hepatotoxinas ou dermatotoxinas.

- Neurotoxinas são compostos alcaloides que agem no organismo bloqueando a transmissão do sinal nervoso neurônio – neurônio, provocando um efeito no organismo muito rápido (AZEVEDO, 1998). São conhecidos três tipos de neurotoxinas: anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas. Podem causar paralisia progressiva, dificuldade para respirar, cianose, fraqueza muscular e até morte (SIVONEN; JONES, 1999).
- Hepatotoxinas são polipeptídeos cíclicos, produzidos por espécies dos gêneros *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc* e *Cylindrospermopsis*, sendo três as hepatotoxinas: microcistinas, nodularinas e cilindrospermopsina (BRASIL, 2003). Se ingeridas podem causar diarreia, vômito, pilo ereção, fraqueza e palidez (SIVONEN; JONES, 1999).
- Dermatotoxinas são lipopolissacarídeos (LPS) produzidos por todas as espécies de cianobactérias. O contato do lipopolissacarídeo com a pele pode provocar vermelhidão, lesões, irritação nos olhos, conjuntivite, urticária, obstrução nasal e asma (SIVONEN; JONES, 1999).

A maior parte das toxinas produzidas é intracelular e pode ser liberada para o meio através da lise celular, que pode ocorrer devido à ação de algicidas, como o sulfato de cobre. Algumas espécies de cianobactérias, em condições fisiológicas

normais, podem excretar a toxina intracelular para o meio, cuja quantidade é dependente da espécie (CARMICHAEL, 1994).

#### **4.2 Inter-relação cianobactéria / ambiente aquático continental**

A diversidade da fauna/flora do ambiente aquático está diretamente relacionada com os mecanismos de funcionamento e as inúmeras características do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, e com a origem das águas naturais que compõem os sistemas lânticos e lóticos (HENRY; CURY, 1981).

Em um ambiente aquático, a variação sazonal das populações ocorre naturalmente, sendo que esses eventos vêm sendo mais frequentes devido a alterações no ciclo hidrológico, provocados pelas mudanças climáticas, e pela eutrofização cultural (PRIMAVESI et al., 2007). Essas rápidas mudanças produzem uma completa reorganização do sistema em pouco tempo (dias ou horas), favorecendo o desenvolvimento de algumas espécies do fitoplâncton e inibindo outras.

Uma característica que é importante para os serviços de tratamento e distribuição de água é justamente essa variação sazonal das populações causada pelas variações das estações do ano (AWWA, 1964). Sabe-se que as Diatomáceas são abundantes na primavera e no outono, e as Chlorophytas e Cyanophytas, no verão, quando as temperaturas são mais elevadas, variando entre 25 e 30 °C (AWWA, 1964).

Gomes et al. (2012) relatam que a composição da comunidade de cianobactérias é afetada por mudanças sazonais, relacionadas à alternância de estações secas e chuvosas, fazendo com que mais de uma espécie de cianobactéria disputem os recursos presentes do meio. Costa (2015), em trabalho avaliando a dinâmica temporal das cianobactérias em um reservatório urbano hipertrófico, verificou três florações distintas em diferentes momentos: uma provocada por *C. raciborskii* predominantemente no período chuvoso, outra provocada pelas Choococcales *Microcystis aeruginosa* e *Sphaerocavum brasiliense* ao final do período seco, e a floração de *Planktothrix isoethrix* (Oscillatoriales) no final de 2012, cujo aparecimento ocorreu devido à modificação do padrão do reservatório. As análises estatísticas resultaram em uma clara separação entre o período chuvoso



e seco, sugerindo que as mudanças nos parâmetros ambientais entre as estações climáticas podem resultar em modificações na composição da comunidade de cianobactérias.

A sazonalidade das populações de cianobactérias é um fator limitante no tratamento da água, pois existem legislações específicas que determinam a densidade celular e a concentração de toxina que podem conter na água.

#### **4.3 Legislação brasileira para controle e monitoramento de cianobactérias**

Os reservatórios de água podem ser utilizados para diferentes finalidades. Entretanto, o abastecimento público e a recreação são as atividades que requerem maior atenção, já que as principais formas de exposição às cianotoxinas incluem via oral e dérmica (CARVALHO, 2013).

A primeira Norma legal a obrigar o monitoramento de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água no Brasil foi a Portaria 1469/2000 (BRASIL, 2000a), a qual foi revogada e substituída pela Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004). Atualmente, a legislação vigente é a Portaria de Consolidação nº 5 (PRC Nº 5) que em seu anexo XX trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

Na portaria em vigência é determinado, de acordo com o Artigo 40 (frequência do monitoramento de células de cianobactérias), que os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas de abastecimento supridos por mananciais superficiais, monitorem as cianobactérias no ponto de captação de água mensalmente, quando o número de células de cianobactérias não exceder 10.000 células mL<sup>-1</sup> e semanalmente, quando o número de células de cianobactérias exceder este valor. Neste também, é exigido que quando o número de células de cianobactérias no ponto de captação exceder 20.000 células mL<sup>-1</sup> seja realizada a análise semanal de cianotoxina, devido ao seu efeito agudo e carcinogênico (BRASIL, 2011a). Os valores máximos permitidos (VMP) de cianotoxinas nas águas de abastecimento público, segundo a PRC Nº 5 - Anexo XX (BRASIL, 2017), encontram-se representados no Quadro 1.

Segundo o Artigo 40, parágrafo 6 da PRC Nº 5 – Anexo XX, é proibido o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias em



mananciais de abastecimento ou qualquer outra intervenção que provoque a lise das células, devido aos riscos à saúde associados às cianotoxinas intracelulares liberadas para o meio e ao fato da maioria das estações de tratamento de água (ETA) brasileiras não conseguirem remover de forma eficiente as cianotoxinas (BRASIL, 2017).

**Quadro 1** - Valor máximo permitido (VMP) de cianotoxinas nas águas de abastecimento público segundo a PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017)

<b>Cianotoxinas</b>	<b>Condição</b>	<b>Valor máximo permitido</b>
<b>Microcistinas</b>	Análise obrigatória em água para consumo humano	1,0 µg L <sup>-1</sup> (1)
<b>Saxitoxinas (STX)</b>		3,0 µg equivalente STX L <sup>-1</sup>
<b>Cilindrospermopsina</b>	Recomendação de análise em água para consumo humano quando forem observadas cianobactérias potencialmente produtoras	1,0 µg L <sup>-1</sup>
<b>Anatoxina-a (s)</b>		Valor não estabelecido

(1) O valor representa o somatório das concentrações de todas as variantes de microcistina.

**Fonte:** Brasil (2011a).

A Resolução CONAMA 357/2005, do Ministério do Meio Ambiente, dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, com o objetivo de preservar o equilíbrio dos ambientes e das comunidades aquáticas (BRASIL, 2005). Na Tabela 1 tem-se indicada a classificação dos corpos d'água e os valores máximos permitidos de clorofila *a* e cianobactérias para água doce.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011b), que dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes e complementa e altera a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), o órgão ambiental competente poderá definir os padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos de água com histórico de florações de cianobactéria, visto que o fósforo é um fator limitante para o crescimento de algas e cianobactérias (LAMPARELLI, 2004).

Com relação ao uso da água para recreação, faz-se uso da Resolução CONAMA 274/2000, do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2000b). Embora

nesta Resolução não sejam indicados valores para florações de cianobactérias, consideram-se sujeitos de interdição trechos dos corpos d'água em que ocorram florações de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana.

**Tabela 1** - Classificação dos corpos d'água e os valores máximos permitidos de clorofila *a* e cianobactérias para água doce

Classes (Uso Destinado)	Clorofila <i>a</i>	Cianobactéria
<b>Classe 1</b> (Abastecimento após tratamento simplificado, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças consumidas cru).	10 µg L <sup>-1</sup>	20.000 cel mL <sup>-1</sup> 2 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>
<b>Classe 2</b> (Abastecimento após tratamento convencional, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e frutíferas, aquicultura e pesca).	30 µg L <sup>-1</sup>	50.000 cel mL <sup>-1</sup> 5 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>
<b>Classe 3</b> (Abastecimento após tratamento convencional ou avançado, recreação de contato secundário, dessedentação de animais).	60 µg L <sup>-1</sup>	100.000 cel mL <sup>-1</sup> 10 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>  50.000 cel mL <sup>-1</sup> 5 mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>

**Fonte:** Brasil (2005).

Diante do exposto, é de suma importância que se estabeleçam padrões e limites para a qualidade e potabilidade da água, através de leis e normativas, uma vez que o crescimento demográfico e o desenvolvimento social e econômico aumentam a demanda por água e provocam alterações de ordem física, química e biológica nos ecossistemas aquáticos. Segundo Tucci (2008), o Brasil passa por um processo de urbanização que gera problemas relacionados à infraestrutura de tratamento de água e esgoto, os quais favorecem a deterioração da qualidade da água, criando potenciais riscos ao abastecimento da população. Para que se façam cumprir as exigências legais em termos de qualidade da água tratada, os processos de tratamento devem atender as expectativas de eficiência.

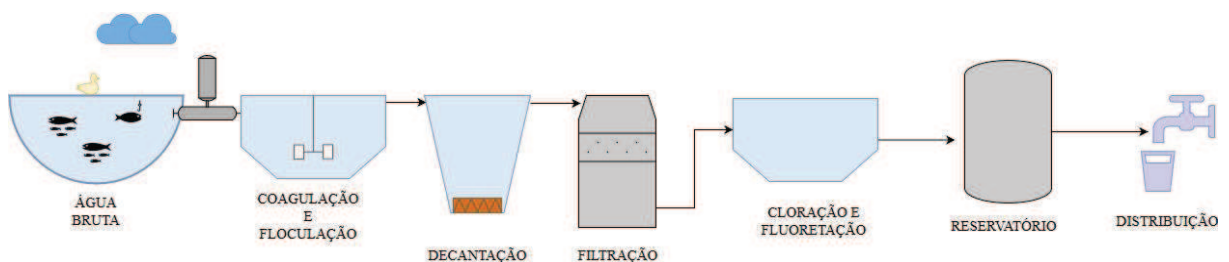
#### 4.4 Sistema de tratamento de água

Para produzir uma água potável, a escolha do processo de tratamento deve garantir a remoção ou redução de determinados componentes indesejáveis da água bruta. Assim, os aspectos determinantes na escolha dos processos de tratamento a serem adotados são a natureza da água bruta e a qualidade desejada para a água tratada (RICHTER, 2009).

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008a), do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, teoricamente, transformada em água potável, porém, os gastos e a confiabilidade na operação e manutenção dos equipamentos podem inviabilizar totalmente o uso de um determinado curso de água para abastecimento público. Outro fator que pode interferir na transformação da água bruta em água potável é a eficiência do processo de tratamento escolhido, que vai depender da qualidade e das características da água bruta.

O aumento da degradação dos recursos hídricos enquadra a maioria dos corpos d'água (AMORIM et al., 2016; COALIAR, 2013), segundo a Resolução CONAMA 357/2005 para classificação das águas doces, nas classes 2, 3 e 4 (BRASIL, 2005). Os corpos d'água que se enquadram nas classes 2 e 3 devem passar por um tratamento de ciclo completo (Figura 2), também chamado de tratamento convencional, para atender aos valores máximos permitidos conforme a PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017). O ciclo completo, diferente do tratamento simplificado, permite remover de forma eficiente a turbidez, cor, clorofila *a*, sólidos suspensos totais, entre outros, sendo um dos métodos mais utilizados para o tratamento de água (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a).

**Figura 2** - Fluxograma com as etapas do tratamento convencional ou ciclo completo de uma estação de tratamento de água



Fonte: autoria própria.

Ainda analisando a Figura 2, no ciclo completo de tratamento, a água bruta é primeiramente submetida ao processo de coagulação, geralmente com um sal de alumínio ou de ferro, no mecanismo de varredura, onde ocorre a formação de precipitados do metal do coagulante, nos quais são aprisionadas as impurezas presentes na água (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a). Em seguida, a água coagulada é submetida à agitação lenta durante o tempo necessário para que os flocos alcancem o tamanho e a massa específica suficientes para que sejam retirados por sedimentação (nos decantadores) ou por flotação (nos flotadores) (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a).

Os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa. Os primeiros são grandes tanques, de escoamento horizontal ou vertical, enquanto os últimos são unidades menores que empregam módulos plásticos ou placas planas paralelas. No caso da flotação, o método por ar dissolvido (com pressurização da água de recirculação) é o mais empregado no sistema, sendo as microbolhas produzidas pela redução de pressão da água saturada com ar (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a).

A água clarificada, produzida nos decantadores ou flotadores, é finalmente filtrada em unidades de escoamento descendentes ou ascendentes, contendo materiais granulares com granulometria apropriada – geralmente areia ou antracito e areia. Ao fim do tratamento é feita ainda a cloração e a fluoretação da água (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a) para posterior armazenamento e distribuição.

#### ***4.5 Flotação por ar dissolvido e sua aplicação remoção de cianobactérias***

O processo de flotação é aplicado há mais de 100 anos na indústria de mineração para separar minérios de uma mistura heterogênea. No entanto, o uso da flotação para o tratamento de água é recente, introduzida há aproximadamente 30 anos na Suécia e África do Sul. Já no Brasil, a primeira indústria a utilizar esse tipo de tratamento foi a Döhler em 1992, com uma estação com capacidade inicial de  $250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (RICHTER, 2009).

Os tipos de flotação mais utilizados são: a flotação por ar disperso, a flotação eletrolítica e a flotação por ar dissolvido (FAD). O que difere em cada tipo é a forma de geração das bolhas (OLIVEIRA, 2005). Na flotação por ar disperso, as bolhas são

formadas através da introdução de gás na fase líquida por meio de um impulsor forçando a mistura e gerando bolhas de 400 a 2000  $\mu\text{m}$  (CARISSIMI, 2007). Este tratamento não é utilizado para a potabilização de água, uma vez que o diâmetro relativamente grande das bolhas gera alta turbulência e aumenta a chance de quebra dos flocos, além de gerar lodo com baixa concentração de sólidos (OLIVEIRA, 2005). As bolhas geradas na flotação eletrolítica geralmente são menores que as obtidas na flotação por ar disperso e na flotação por ar dissolvido, de modo que a menor turbulência causada por estas microbolhas torna esta técnica vantajosa para a remoção de flocos frágeis e pouco densos. Contudo, na flotação eletrolítica ocorre dissolução do material dos eletrodos, o que pode acarretar em contaminação da água com metais pesados, inviabilizando seu emprego na clarificação de água destinada ao abastecimento público (HELLER; PÁDUA, 2006).

Dentre as técnicas citadas, a flotação por ar dissolvido (FAD) é a mais aplicada para o tratamento de água e consiste no processo de separação de partículas sólidas de um meio líquido pela aplicação de microbolhas de ar. As partículas sólidas do meio formam um agregado com as microbolhas, o qual apresenta menor densidade que a água, permitindo a formação de uma espuma na superfície da água, sendo esta removida constantemente (METCALF; EDDY, 2003).

A flotação por ar dissolvido é uma alternativa recomendada para a remoção de células intactas de cianobactérias, uma vez que o processo de coagulação em águas contendo algas produz flocos cuja velocidade de sedimentação é baixa, aumentando o tempo de contato do coagulante com a parede celular do organismo, podendo provocar a lise celular e a consequente difusão das cianotoxinas para o meio (DRIKAS, 1994). A eficiência da FAD para a remoção das mais variadas espécies de cianobactérias, depende da característica morfológica da cianobactéria presente na água (AMARAL, 2011; DRIKAS, 1994; OLIVEIRA, 2005).

Oliveira (2005), em estudo comparando a remoção de *C. raciborskii* por meio de sedimentação e flotação por ar dissolvido, observou que a FAD resultou em uma maior remoção de células de *C. raciborskii*, tendo-se alcançado valor de remoção de clorofila *a* de 93%, superior à obtida com a sedimentação (86%).

Teixeira e Rosa (2006) compararam a FAD com a sedimentação, usando água de torneira inoculada com *M. aeruginosa* com densidade celular de  $10^5$  cel mL<sup>-1</sup>. Os resultados para os ensaios com a FAD apresentaram uma eficiência de remoção de

clorofila entre 93 e 98%, e de 69 a 94% quando aplicado o processo de sedimentação.

Henderson et al. (2010) avaliaram, por meio de flotação por ar dissolvido, a influência que quatro diferentes algas e cianobactérias (*Asterionella formosa*, *Melosira* sp., *Microcystis aeruginosa* e *Chlorella vulgaris*) poderiam causar no processo de coagulação. Como resultado do estudo, os autores observaram que quanto maior era a densidade celular, maior a dosagem do coagulante sulfato de alumínio requerida para um resultado eficiente de remoção celular. Essa condição sugeria que a eficiência do tratamento pode ser influenciada pelas densidades celulares, mas não pela morfologia dos organismos presente na água. Contrapondo o trabalho apresentando, Moreti et al. (2015b), verificaram que a morfologia das algas (*C. vulgaris* e *A. flos-aquae*) alterou a dosagem de pó de *Moringa oleifera* requerida para a remoção dos parâmetros cor, turbidez, clorofila *a* e compostos de absorção em UV<sub>254nm</sub>.

#### **4.6 Importância dos coagulantes no tratamento de água**

Um dos primeiros passos para o tratamento de água em uma estação de tratamento é a coagulação, que tem por finalidade remover as partículas em suspensão, reduzir a carga de matéria orgânica, inorgânica, bem como a turbidez da água. Para isso, são adicionados coagulantes ao meio, os quais têm como função desestabilizar os coloides (PAVANELLI, 2001; RICHTER, 2009).

A coagulação e a floculação desempenham um papel dominante no processo de tratamento de água, principalmente na preparação da decantação ou da flotação e, assim, na filtração que se segue. Diante disso, a escolha do coagulante é de suma importância para a obtenção de uma água tratada de qualidade (RICHTER, 2009).

Os sais de alumínio e ferro são os agentes mais usados no tratamento de água, por serem de baixo custo e apresentarem melhor desempenho como coagulantes (CARVALHO, 2013; RICHTER, 2009). Os coagulantes mais empregados no tratamento de água atualmente são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PAC).

O PAC é um coagulante inorgânico catiônico pré-polimerizado a base de cloreto de poli alumínio, de fórmula bruta  $Al_n(OH_m)Cl_{(3n-m)}$ , sendo o  $(3n-m)$  indicador da sua basicidade (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008b). Este coagulante possui algumas vantagens como, por exemplo: não provoca alterações bruscas no pH da água tratada; maior eficiência na remoção de matéria orgânica e inorgânica presente na água bruta; e a formação de flocos grandes e pesados, elevando a velocidade de decantação (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA et al., 2005).

Apesar das vantagens apresentadas, o PAC ainda pode deixar um residual de alumínio na água tratada, embora em concentrações menores quando comparado ao residual do sulfato de alumínio (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA et al., 2005). No entanto, ambos os coagulantes podem ser considerados inconvenientes no tratamento de água, uma vez que o residual de alumínio deixado por esses tem sido relacionado a casos de iniciação e progressão da doença de Alzheimer (BONDY, 2016; MARTYN et al., 1989).

A alternativa que surge nesse contexto é a utilização de coagulantes naturais, os quais apresentam vantagens aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis, não tóxicos, produzirem menor quantidade de lodo com concentrações de metais reduzidas, e não alterarem o pH e a condutividade do meio (AMARAL et al., 2006; KAWAMURA, 1991). Um exemplo de coagulante natural que vem sendo estudado é o coagulante obtido a partir das sementes da *Moringa oleifera* Lam, que contém agentes ativos com propriedades coagulantes.

#### **4.6.1 Coagulante natural de *Moringa oleifera* Lam**

A *Moringa oleifera* Lam (Figura 3) é uma árvore de origem Indiana e foi introduzida no Brasil em 1950, no estado do Maranhão. É uma planta tropical pertencente à família Moringaceae que possui 14 espécies identificadas. Seu crescimento é rápido, podendo alcançar doze metros de altura e desenvolve-se em temperaturas de 24 a 30 °C (GALLÃO, 2006).

A semente é a parte que apresenta melhor potencial como coagulante, devido à presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, que promove a desestabilização de partículas sólidas presentes na água bruta, formando os flocos que em seguida decantam (GALLÃO, 2006).



Segundo Valverde et al. (2014), o ideal é que as sementes utilizadas para preparar o coagulante sejam recentemente colhidas, para garantir a eficácia do tratamento de água, pois a eficiência da coagulação diminui com o tempo de armazenamento das sementes, sendo o período máximo recomendado igual a 18 meses, diminuindo o potencial coagulante das sementes significativamente e tornando-se ineficiente após 24 meses.

**Figura 3** – Fotografias evidenciando: a) muda da espécie *M. oleifera* com aproximadamente 3 (três) meses de idade; b) sementes de *M. oleifera* com tegumento (casca) e c) sementes de *M. oleifera* após a remoção do tegumento

a) Muda de *Moringa oleifera*



b) Semente com tegumento



c) Semente sem tegumento



**Fonte:** autoria própria (julho de 2017).

As proteínas catiônicas que conferem às sementes de *M. oleifera* a capacidade de ser um ótimo coagulante natural podem ser extraídas tanto por solução aquosa quanto por soluções salinas, sendo esta última a mais recomendada para a extração proteica em geral. No entanto, o pó da semente de *M. oleifera* também resulta em ótimas eficiências na clarificação de águas (GHEBREMICHAEL et al., 2005; NISHI et al., 2011).

Lima et al. (2015), avaliando a eficiência de diferentes dosagens do pó da semente de *M. oleifera* em um tratamento com sedimentação, verificou uma eficiência de redução de 100% da turbidez para a concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> para um tempo de sedimentação de 2 horas, bem como os demais parâmetros físico-químicos: pH e condutividade elétrica.

Moreti et al. (2015a), em estudo avaliando a remoção de *Dolichospermum flo-saquae* utilizando como coagulante natural pó integral da semente de *M. oleifera* Lam, observaram que as sementes de *M. oleifera* trituradas, na dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup>, foram eficientes na remoção de cor (78%), turbidez (78%) e clorofila a (96%) da



água tratada pelos processos de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido. De acordo com Silva et al. (2007), a solução de *M. oleifera* tem sido eficiente como agente coagulante na remoção de patógenos de águas brutas.

Camacho et al. (2012), em estudo avaliando a remoção de cianobactérias e cianotoxinas em água de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração, concluíram que a FAD, com o emprego de extrato salino de *M. oleifera* em condições ótimas, permitiu atingir uma eficiência de remoção de células do gênero *Microcystis* acima de 80%.

Carvalho et al. (2016), em estudo avaliando a aplicação de dois extratos salinos de *M. oleifera*, verificaram que o extrato coagulante obtido a partir de cloreto de cálcio apresentou melhor resultado em relação ao extrato obtido com solução de cloreto de sódio na remoção de células de *M. aeruginosa*.

Para avaliar o tratamento de água inserindo os coagulantes naturais, é interessante fazer uma avaliação dos estudos já realizados envolvendo o uso de coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em águas ou efluentes em diferentes condições, este levantamento é exposto na seção 4.7 - Estado da arte.

#### **4.7 Estado da arte**

O estado da arte é um compilado de estudos utilizados para obter informações e dados pertinentes ao estudo proposto. No Quadro 2 são apresentados estudos envolvendo o uso de coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em água ou efluente (obtenção de biomassa de algas) na presença ou ausência de algas e cianobactérias.

Através deste levantamento, foi possível verificar que a maioria dos trabalhos aborda o tratamento de água convencional, utilizando a etapa de sedimentação como método de clarificação. Embora existam vários trabalhos que utilizam a *Moringa oleifera* como coagulante, ainda há poucos relatos sobre sua eficiência quando obtido a partir da extração salina de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Poucos foram os trabalhos encontrados associando o coagulante natural a um coagulante químico para a remoção de cianobactérias. E poucos foram os trabalhos encontrados, em escala de bancada ou real, avaliando a influência de mais de uma espécie de

cianobactéria no sistema Coagulação/Floculação/FAD. Diante do exposto, o presente trabalho visa estudar essa lacuna encontrada na literatura, avaliando a associação de um coagulante natural a um coagulante químico, e verificando se a interação de duas espécies de cianobactérias interfere na eficiência do tratamento, mais precisamente na etapa de coagulação.

**Quadro 2** - Estado da arte sobre estudos envolvendo coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em água ou efluente (obtenção de biomassa de algas) na presença ou ausência de algas e cianobactérias

Referência	Presença de Cianobactérias	Processo de Tratamento	Coagulante	Resultados
Barroso (2015)	Biomassa de algas	Remoção da biomassa de algas por Coagulação/ Floculação e Flotação	Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio, Sulfloc 5000 e Tanfloc SG	Cloreto Férrico: em pH neutro eficiência de remoção de microalgas entre 85-90%; em pH básico (9,2) a eficiência de remoção foi de 82-84%. Sulfato de alumínio: eficiência de 73-82% para o pH neutro (7,0) e 66-78% para o pH básico (9,2). Sulfloc 5000: remoções entre 62-77% em pH neutro (7,1) e 60-75% em pH básico (9,0); Tanfloc SG: eficiência de remoção de microalgas entre 82-92% em pH neutro (7,12) e 78-89% em pH básico (9,0).
Barrado-Moreno; Beltran-Heredia, Martín-Gallardo (2015)	<i>Chlorella</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oocystis</i> e <i>Scenedesmus</i>	Coagulação e Floculação	Extrato salino (NaCl) de <i>M. oleifera</i>	O extrato salino teve bons resultados para remoção de células. Para dosagens acima de 25 mg L <sup>-1</sup> obteve-se 90% de remoção de clorofila a.
Camacho et al. (2012)	<i>C. raciborskii</i>	Coagulação/ Floculação e Sedimentação	Solução salina (NaCl) de <i>Moringa oleifera</i> (MO) e coagulante comercial Tanfloc SG	Os resultados mostraram que o coagulante à base de semente de MO é tão eficiente quanto o Tanfloc SG e pode se constituir em uma alternativa adequada para o tratamento de águas com florações de cianobactérias.

**Quadro 2** - Estado da arte sobre estudos envolvendo coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em água ou efluente (obtenção de biomassa de algas) na presença ou ausência de algas e cianobactérias (continuação)

Referência	Presença de Cianobactérias	Processo de Tratamento	Coagulante	Resultados
Camacho et al. (2017)	Águas com e sem células de <i>M. aeruginosa</i>	Coagulação/ Floculação e Sedimentação	Pó integral de <i>Moringa oleifera</i> (MO), Extrato salino de MO (NaCl) e sementes de MO com óleo reduzido	Através dos resultados foi observado que não é necessário fazer a extração do óleo, Remoção de 85% de turbidez e células, para águas com alta turbidez usando o pó integral de MO. Para águas com baixa turbidez o extrato salino foi mais eficiente.
Carvalho et al. (2016)	<i>M. aeruginosa</i>	Coagulação/ Floculação/ Flotação por ar dissolvido	Extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> usando com sais o NaCl e o CaCl <sub>2</sub>	O extrato salino de <i>Moringa oleifera</i> usando o sal CaCl <sub>2</sub> foi mais eficiente que o sal NaCl, com uma remoção de célula de 78,9%, cor de 77,9% e turbidez de 57,9%, para uma dosagem de 50 mg L <sup>-1</sup> .
Hamid et al. (2016)	Água acrescida de microalga <i>Chlorella sp.</i> , para obtenção de biomassa	Coagulação/ Floculação e Sedimentação	Sementes sem óleo e com a proteína concentrada de <i>Moringa oleifera</i>	97% de recuperação de biomassa, 34% a mais do que verificado para o coagulante metálico.
Miranda et al. (2017)	<i>C. raciborskii</i> e <i>M. aeruginosa</i>	Coagulação/ Floculação e Sedimentação.	PAC (Policloreto de Alumínio) e Quitosana, sozinhos e combinado lastro (lantânio e bentonita modificada)	Os tratamentos com PAC foram eficientes para reduzir a biomassa da coluna d'água, independente da espécie de cianobactéria. Já a quitosana foi ineficiente na remoção de biomassa da espécie <i>C. raciborskii</i> , promovendo o rompimento celular da cianobactéria e a liberação de saxitoxina. Para a espécie <i>M. aeruginosa</i> , a quitosana se mostrou um bom coagulante, desde que a água se apresente ligeiramente alcalina.

**Quadro 2** - Estado da arte sobre estudos envolvendo coagulantes naturais e químicos, empregando processos de sedimentação ou flotação em água ou efluente (obtenção de biomassa de algas) na presença ou ausência de algas e cianobactérias (continuação)

Referência	Presença de Cianobactérias	Processo de Tratamento	Coagulante	Resultados
Moreti (2015a)	<i>Dolichospermum flos aquae</i>	Coagulação/ Floculação e Flotação	Pó de semente de <i>M. oleifera</i>	Através dos resultados obtidos observou-se que sementes de <i>M. oleifera</i> trituradas e aplicadas na dosagem de 0,1 g L <sup>-1</sup> são eficientes no que se refere a remoção de cor, turbidez e clorofila <i>a</i> da água tratada pelo processo avaliado.
Gonzalez- Torres et al. (2014)	<i>M. aeruginosa</i>	Coagulação e Floculação	Sulfato de alumínio e cloreto férrico	O cloreto férrico resultou em flocos maiores e em maior remoção de células de cianobactérias
Valverde et al. (2015)	-	Coagulação/ Floculação e Sedimentação	Solução aquosa de <i>M. oleifera</i> e sulfato de alumínio	Obteve-se bons resultados na associação do coagulante natural com o Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .
Zablonsky (2012)	<i>M. aeruginosa</i>	Coagulação/ Floculação e Sedimentação	Extrato aquoso de <i>Moringa oleifera</i>	Os resultados indicam que as melhores condições de coagulação e floculação foram com 2 minutos de coagulação a 80 rpm, e 18 minutos para floculação a 13 rpm tendo uma remoção de células de 95,6% e uma redução da turbidez de 97,5% para um tempo de sedimentação de 60 minutos e uma dosagem de coagulante de 70 mg de <i>M. oleifera</i> .

## 5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado dentro do contexto de outros estudos desenvolvidos no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água (LTPA), envolvendo cianobactérias, bem como o uso de coagulantes naturais. O laboratório encontra-se nas dependências do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBi) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O estudo foi conduzido em escala de bancada, sendo todos os ensaios feitos em triplicatas.

### 5.1 Materiais utilizados

#### 5.1.1 Cultivo de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*

As cepas tóxicas das espécies *M. aeruginosa* (BCCUSP232) e *C. raciborskii* (LP2) utilizadas nessa pesquisa foram cedidas pelo Departamento de Ciências Biológicas - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Bittencourt de Oliveira - Coleção Brasileira de Cianobactérias da Universidade de São Paulo (BCCUSP)) e pelo Laboratório de Ficologia (LAFIC - Centro de Ciências Biológicas) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (Prof. Dr. Leonardo Rubi Rörig), respectivamente.

Os cultivos celulares de *C. raciborskii* e *M. aeruginosa* foram realizados no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água (LTPA), onde foram mantidos em câmara isolada, sob condições de máxima assepsia, temperatura controlada em torno de 25 (1) °C, fotoperíodo de 16h/8h e sob agitação manual, a qual era realizada de uma a duas vezes ao dia, em erlenmeyer de 500 mL (Figura 4).

O cultivo foi realizado em meio inorgânico ASM-1 (descrição do meio ASM-1 em anexo no apêndice A) (GORHAM et al., 1964). Todo o material usado para o procedimento de inoculação foi devidamente higienizado e autoclavado a 121 °C por 15 minutos, o processo de inoculação ocorreu em

câmara de fluxo laminar esterilizada com álcool 70% e luz ultravioleta por 15 minutos a cada 15 dias. O cultivo que foi utilizado para os ensaios de C/F/FAD possuía aproximadamente quinze dias a partir da inoculação, estando na sua fase exponencial de crescimento.

**Figura 4** – Visão geral do cultivo de cianobactérias cultivadas em meio ASM1 em câmara isolada sob condições controladas



**Fonte:** autoria própria (julho de 2017).

### 5.1.2 Coleta e preparo da Água de Estudo

A água de estudo foi composta por água natural acrescida de um volume de concentrado de células das cianobactérias avaliadas. A água foi coletada em manancial localizado no município de Curitiba, Paraná. Logo após a coleta, a água era filtrada em uma rede de fitoplâncton de 20 micra para retenção de materiais mais grosseiros e alguns organismos que pudessem advir da água natural. As coletas foram feitas imediatamente antes da realização dos ensaios.

O concentrado de células era obtido a partir da centrifugação do cultivo de cianobactérias puro (centrifuga Daiki DT4500), na rotação de 4000 rpm durante 10 minutos, em tubos *falcon* contendo 40 mL de cultivo. Após a centrifugação, o sobrenadante era descartado em galões de 5 litros contendo cloro a 5%, para descontaminação. O concentrado de células era então ressuspensionado em água

do manancial na proporção adequada à densidade celular desejada. Esse procedimento foi adotado de forma a melhor representar uma condição natural de floração de cianobactérias e reduzir a interferência dos metabólitos extracelulares do cultivo laboratorial.

Após o processo de preparo do concentrado de células, procedeu-se a determinação da densidade celular a partir da contagem de células em microscópio óptico e com auxílio de câmara de Neubauer ou Sedgewick rafter, a fim de definir o volume do concentrado necessário para se obter a densidade de  $5,0 \times 10^5$  cel mL<sup>-1</sup>. A turbidez inicial foi mantida em aproximadamente 40 uT, temperatura da água em 20 (1) °C e o pH em 8,0.

### 5.1.3 Coagulantes

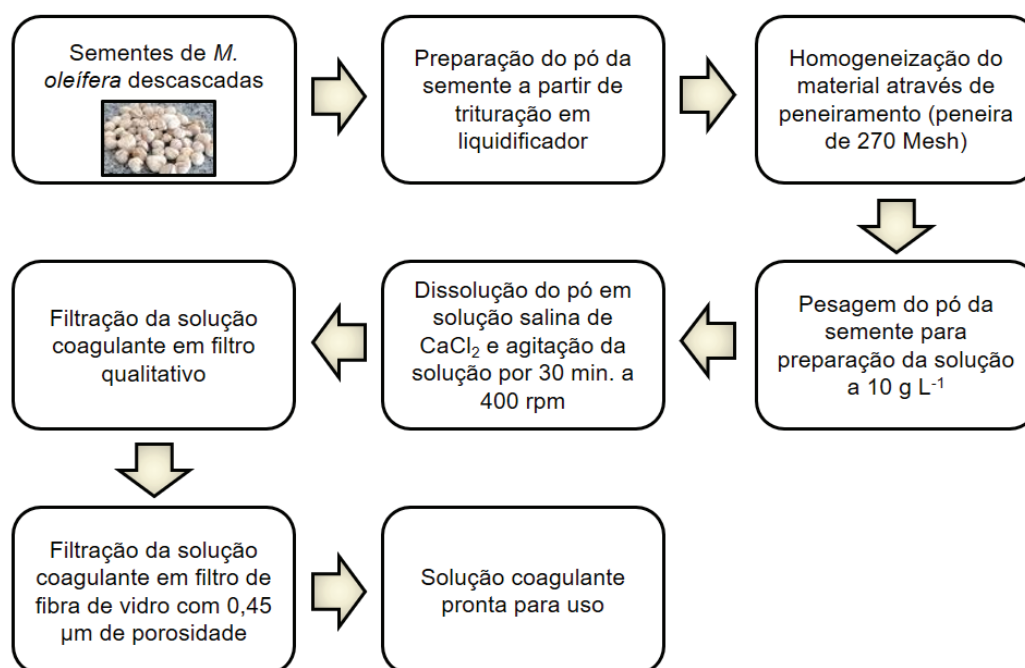
Foram utilizados como coagulantes o extrato salino de sementes de *Moringa oleifera* e o policloreto de alumínio (PAC).

O coagulante natural foi preparado a partir de sementes de *M. oleifera*, cedidas pelo professor Dr. Gabriel Francisco da Silva, da Universidade Federal de Sergipe (UFS), de acordo com metodologia estabelecida por Beltrán-Heredia e Sánchez-Matín (2009), no qual os peptídeos catiônicos responsáveis pela coagulação foram extraídos a partir de solução de 1M do sal CaCl<sub>2</sub> (CARVALHO et al., 2016), conforme fluxograma apresentado na Figura 5. A solução estoque foi preparada na concentração de 10 g L<sup>-1</sup> (pó da semente), a partir da massa inicial do pó da semente, que, de acordo com a literatura, tem validade de uma semana (VALVERDE et al., 2014). Para o extrato salino adotou-se a validade de um dia, uma vez que após este período pode ocorrer a degradação das proteínas, o que diminui a eficiência do coagulante.

Foi adotado o extrato salino de CaCl<sub>2</sub> no presente trabalho, baseado em estudos já realizados no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água (CARVALHO et al., 2016), os quais resultaram em eficiências melhores que os demais extratos salinos estudados, como por exemplo o NaCl.



**Figura 5** - Fluxograma de preparo do coagulante natural a partir de sementes de *Moringa oleifera*



**Fonte:** Adaptado de Beltrén-Heredia; Sánchez-Martín (2009).

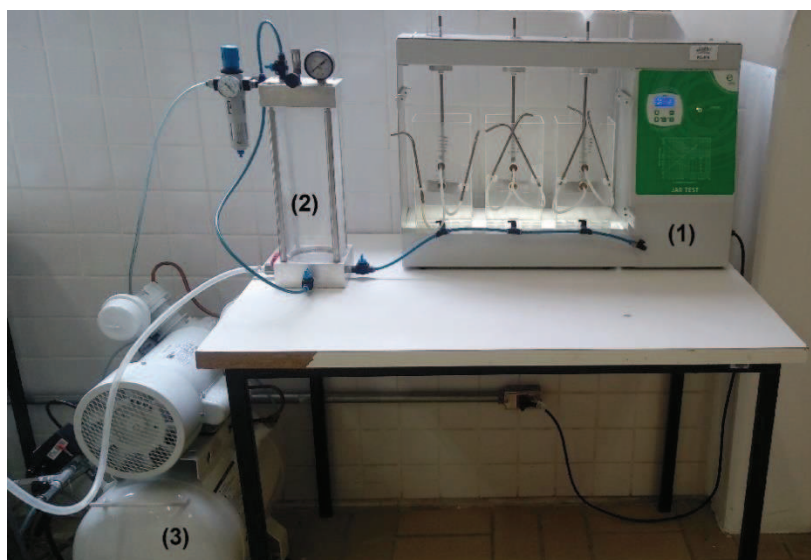
O PAC foi cedido pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), na forma líquida, com basicidade de 64,25% e teor de alumínio entre 10,50 e 12,00%. Para a realização dos ensaios, foi previamente preparada uma solução do coagulante a 10 g L<sup>-1</sup> e, a partir desta, foram obtidos os volumes referentes às dosagens avaliadas. A validade de uso recomendada pela Sanepar para o PAC puro é de seis meses, e a solução estoque preparada foi utilizada em até sete dias.

#### 5.1.4 Equipamento de flotação por ar dissolvido (FAD)

Os ensaios de tratabilidade por coagulação/floculação e flotação por ar dissolvido foram realizados utilizando o equipamento *Jar Test* M. 218 LDBF, da empresa *Ethik Technology* (Figura 6), constituído por uma câmara de pressurização e jarros para coagulação/floculação/flotação em acrílico transparente. A base de cada jarro é composta por duas placas em acrílico

espaçadas em 5 cm, contendo 121 orifícios que proporcionam perda de carga suficiente para que ocorra a distribuição da água saturada, obtida a partir de câmara de saturação acoplada ao sistema, em que o ar inserido na câmara para saturação da água é obtido por meio de um compressor de ar.

**Figura 6** - Imagem do equipamento de flotação por ar dissolvido (FAD) utilizado para a execução dos ensaios



**Legenda:** (1) Equipamento Jar test; (2) Câmara de saturação de água; (3) Compressor de ar.

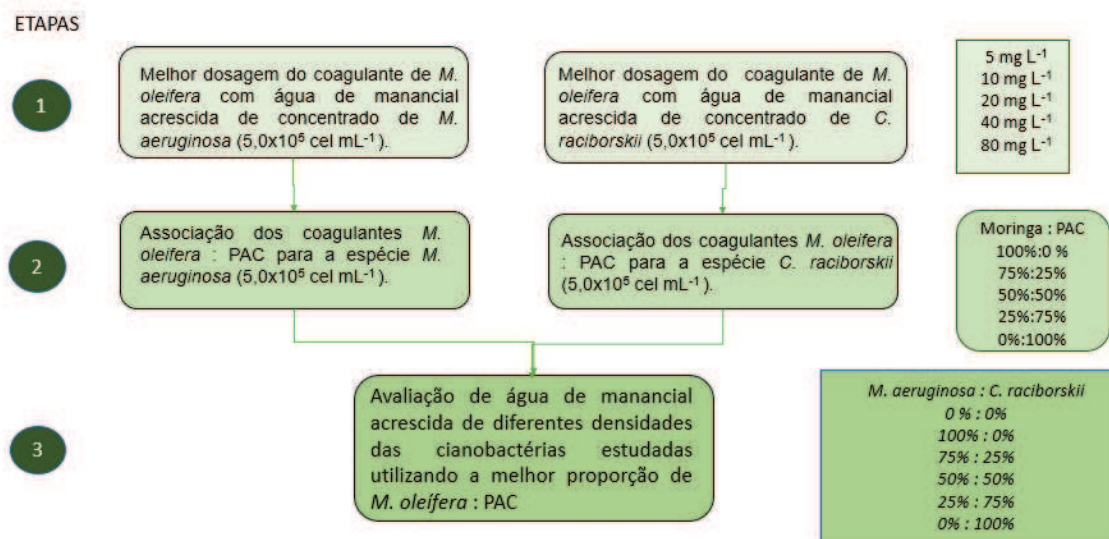
**Fonte:** autoria própria (dezembro/2017).

## 5.2 Desenvolvimento experimental

Os experimentos foram divididos em 3 (três) etapas principais, conforme evidenciado no fluxograma da Figura 7.

Em todas as etapas foram avaliadas as eficiências do tratamento aplicado, baseando-se no monitoramento da qualidade da água. Foram avaliados, em triplicatas, os parâmetros pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, absorvância ao UV<sub>254nm</sub> e densidade celular. Para a segunda etapa foram avaliados ainda os parâmetros: carbono orgânico dissolvido (COD), alumínio residual, absorvância específica à luz ultravioleta (SUVA) e fluorescência. Estas análises foram realizadas para as triplicatas de cada ensaio e para a água de estudo antes do tratamento.

**Figura 7** - Fluxograma ilustrando as etapas do estudo proposto



Fonte: autoria própria.

Na terceira etapa, foram realizados testes avaliando-se a eficiência do sistema C/F/FAD com a dosagem ótima encontrada da associação dos coagulantes (*M. oleifera*:PAC) em uma água de estudo simulando condição de variação sazonal das populações de cianobactérias.

### 5.2.1 Estudo da remoção de cianobactérias pela flotação por ar dissolvido

Foram realizados ensaios com as duas espécies de cianobactérias de interesse para determinar a melhor dosagem do coagulante natural na densidade celular de  $5,0 \times 10^5$  cel mL<sup>-1</sup>. As dosagens testadas do coagulante foram: 5, 10, 20, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup>. A melhor dosagem do coagulante natural foi determinada levando-se em consideração, em ordem crescente de importância, as eficiências dos parâmetros: densidade celular > turbidez > cor. Determinada a melhor dosagem, foram realizadas as avaliações da associação dos coagulantes (*M. oleifera*:PAC) em cinco diferentes proporções (100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75% e 0%:100%).

Por fim, foram realizados ensaios avaliando a eficiência da FAD para uma água de estudo simulando uma condição de variação sazonal das populações de cianobactérias, tendo-se igualmente considerado a água do reservatório em condições naturais, ou seja, sem floração de cianobactéria. Para simular a variação sazonal proposta, foram consideradas diferentes proporções celulares das duas espécies estudadas sendo: 100% MC:0% CR; 75% MC:25% CR; 50% MC:50% CR; 25% MC:75% CR; e 0% MC:100% CR.

Foram adotados os parâmetros operacionais de C/F/FAD indicados em estudos de Centurione Filho (2002) e Centurione Filho e Di Bernardo (2003), exceto para gradiente e tempo de floculação, em que foram adotados valores obtidos em estudos de Madrona et al. (2010), conforme indicado abaixo:

- Gradiente de mistura rápida ( $G_{mr}$ ):  $1000 \text{ s}^{-1}$
- Tempo de mistura rápida ( $T_{mr}$ ): 10 s
- Gradiente de mistura lenta ( $G_{ml}$ ):  $15 \text{ s}^{-1}$
- Tempo de mistura lenta ( $T_{ml}$ ): 15 min
- Tempo de saturação ( $T_{sat}$ ): 8 min
- Taxa de recirculação (R): 10%
- Velocidade de flotação ( $V_f$ ):  $5 \text{ cm min}^{-1}$  ( $72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}$ )

### **5.3 Métodos Analíticos**

Diferentes métodos analíticos foram aferidos em função dos experimentos. Os parâmetros de qualidade da água que foram avaliados e os métodos e equipamentos que foram utilizados para os procedimentos, estão relacionados no Quadro 3.

A determinação dos parâmetros pH, cor, turbidez, condutividade elétrica e contagem de células foram realizadas empregando-se os procedimentos recomendados no *Standard Methods* (APHA, 2005). As análises de carbono orgânico dissolvido e fluorescência foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ) do DAQBi - UTFPR. As demais análises foram realizadas no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água.

**Quadro 3** - Parâmetros analíticos avaliados e seus respectivos métodos de análise e equipamentos

<b>Parâmetro</b>	<b>Método de análise</b>	<b>Equipamento</b>
1. Absorbância ao ultravioleta específico (AUVE)	Absorbância ( $\lambda=254$ nm)	Espectrofotômetro UV/Vis (Global trade technology)
2. Alumínio residual ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Colorimétrico – método ECR (kit)	Espectrofotômetro UV/Vis
3. Carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Oxidação a dióxido de carbono por digestão com persulfato de sódio	Analizador Thermo Hiper TOC- UTFPR
4. Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Condutância entre dois eletrodos inertes	Conduvímeter digital
5. Contagem de células ( $\text{cel mL}^{-1}$ )	Contagem microscópica utilizando câmara de Neubauer ou Sedgewich Rafter	Microscópio óptico
7. Cor (uH)	Redução da intensidade da luz ao atravessar a amostra	Espectrofotômetro UV/Vis
8. pH	Potenciométrico	pHmetro
9. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	-	Termômetro de mercúrio
10. Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro
11. Fluorescência	Espectrométrico	Espectrofluorímetro

**Fonte:** Autoria própria.

Nas seções a seguir têm-se detalhadas as metodologias para contagem de células, obtenção dos gráficos de fluorescência, absorbância específica à luz ultravioleta (SUVA) e análise estatística.

### 5.3.1 Contagem de células de cianobactérias

Para a determinação da densidade celular de ambas as cianobactérias avaliadas, as amostras foram inicialmente fixadas em formol a 2% e mantidas sob refrigeração. Quando da análise, uma pequena fração de solução de lugol (5%) foi adicionada à amostra para permitir a sedimentação dos organismos mais rapidamente na câmara de contagem. Amostras que apresentavam elevada concentração de células, particularmente provenientes do cultivo puro,

foram diluídas em água destilada em até 10 vezes, de forma a facilitar o procedimento de contagem.

Para efetuar a contagem das células de *M. aeruginosa*, utilizou-se a câmara de Neubauer, com capacidade de 1 µL e dimensões de 3 x 3 mm x 0,1 mm de profundidade. A câmara possui quatro quadrantes com 16 compartimentos médios, totalizando 64 compartimentos. Após a preparação da amostra, uma alíquota da mesma foi transferida para a câmara de contagem, de acordo com o procedimento descrito no *Standard Methods* (APHA, 2005). Em seguida, procedeu-se a contagem das cianobactérias presentes nas amostras. A densidade de células, indicada na unidade cel mL<sup>-1</sup> é obtida a partir da Equação 1:

$$\text{Densidade celular} = \left( \frac{\text{Soma dos quadrantes}}{\text{n}^{\circ} \text{ de quadrantes contados}} \right) \times \text{Diluição} \times 10^4 \quad (\text{Eq.1})$$

A contagem de células da espécie *C. raciborskii* foi realizada na câmara de Sedgwick Rafter, com capacidade para 1 mL. Após a preparação da amostra, a mesma (1 mL) era transferida para a câmara de contagem, de acordo com o procedimento descrito no *Standard Methods* (APHA, 2005), permanecendo em repouso por aproximadamente 10 minutos para a sedimentação dos organismos. Em seguida, procedia-se a contagem das cianobactérias presentes nas amostras, tendo-se o resultado final em número de indivíduos por mL, a partir da Equação 2 (APHA, 2005).

$$N_0 = \frac{C \times 1000 \text{ mm}^3}{A \times D \times F} \quad (\text{Eq.2})$$

em que:  $N_0$  é o número de indivíduos por mL;  $C$  é o número de organismos contados;  $A$  é a área do campo (mm<sup>2</sup>);  $D$  é a profundidade de cada quadrado ou da câmara (mm); e  $F$  é o número de campos contados.

Previamente à contagem de células da *C. raciborskii*, procedeu-se a quantificação do número de células por filamento. Este número foi determinado a partir da contagem de célula de 30 tricomas aleatórios. A partir dos valores obtidos, fez-se a média do número de células por tricoma, tendo-se, portanto, o

número médio de células por indivíduo. Obteve-se um número médio de 9 células para cada filamento.

### 5.3.2 Espectroscopia de fluorescência

As análises de fluorescência foram realizadas em espectrofluorímetro modelo Cary Eclipse (Varian Inc), utilizando cubeta de quartzo multifacetada com caminho ótico de 1 cm, com varredura de 200 a 750 nm, e água ultrapura para controle analítico. As intensidades de excitação-emissão de fluorescência foram normalizadas em unidade Raman, absorvidade específica e concentração de COD (CARSTEA, 2012). A coleta das amostras foi realizada em frascos inertes, lavados com ácido nítrico e calcinados em forno mufla a 500 °C por cinco horas. Após a coleta, as amostras eram filtradas em membrana de acetato celulose 0,45 µm e então acidificadas com ácido clorídrico 1 mol L<sup>-1</sup> até um pH de aproximadamente 3.

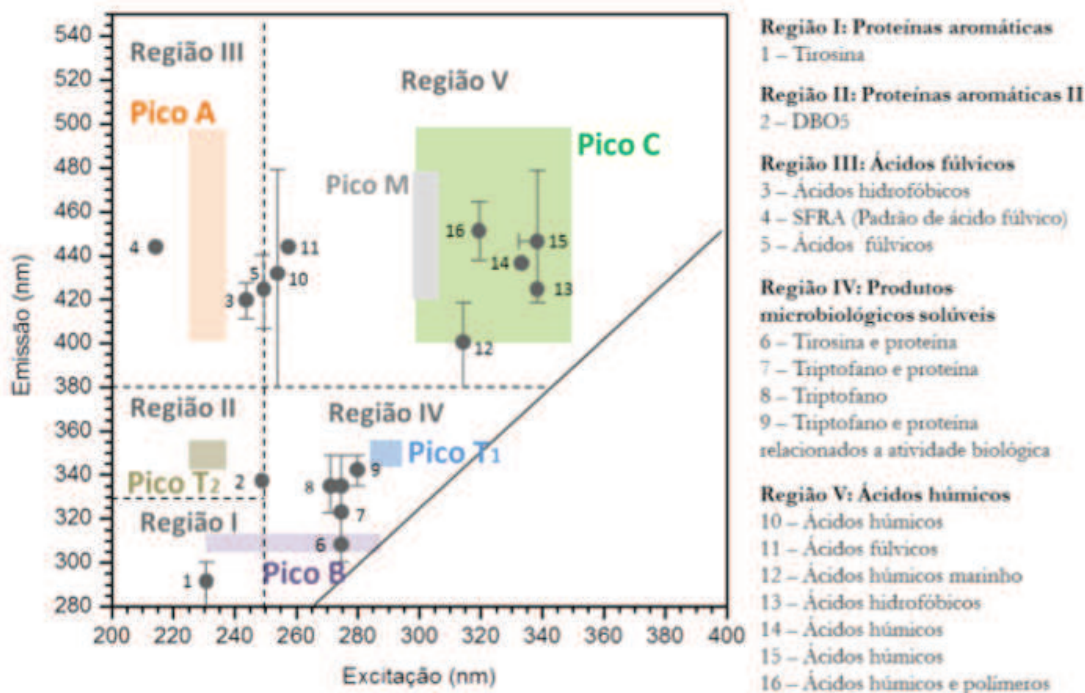
Para a geração dos gráficos da fluorescência, utilizou-se o software *Origin* versão 8 e a interpretação dos gráficos foi realizada usando os intervalos de emissão e excitação para cada tipo de componente da matéria orgânica natural (MON) presente na água de estudo (Quadro 4). Na Figura 8 tem-se representado um esquema das diferentes áreas que podem ser relacionadas à presença dos vários compostos de matéria orgânica.

**Quadro 4** - Intervalos de emissão e excitação para cada tipo de componente presente na MON

Intervalo de excitação (nm)	Intervalo de emissão (nm)	Tipo do componente	Referências
220 – 280	310 – 360	Proteínas	Baker <i>et al.</i> (2007); Coble (1996); Spencer <i>et al.</i> (2007).
320 – 350	400 – 450	Ácido fúlvico	Baker <i>et al.</i> (2007); Spencer <i>et al.</i> (2007).
330 – 390	420 – 500	Ácido húmico	Coble (1996); Spencer <i>et al.</i> (2007).



**Figura 8** – Esquema representativo da identificação de picos e regiões de excitação-emissão de fluorescência



Fonte: Knapik; Fernandes; Azevedo (2014).

Para a realização das medidas de Espectroscopia de Fluorescência Sincronizada foi utilizado uma célula de quartzo com caminho óptico de 1 cm e quatro faces polidas. Os gráficos do sincronizado foram feitos através do software *Origin* versão 8, estes foram obtidos pela varredura simultânea da faixa espectral do comprimento de onda - excitação e emissão - apresentado um intervalo constante entre eles.

### 5.3.3. Absorbância específica à luz ultravioleta (SUVA)

A medida de absorbância específica à luz ultravioleta (SUVA) fornece uma maneira simples de caracterizar a natureza da matéria orgânica natural (MON) da água e é calculada a partir da absorbância da amostra ao  $UV_{254nm}$  dividida pela concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) na amostra, conforme descrito na Equação 3 (EDZWALD; TOBIASON, 2011). Os valores de SUVA são expressos em unidades de absorbância  $cm^{-1}$  por  $mg L^{-1}$  de COD.



$$SUVA = \frac{UV_{254nm} \times 100}{COD} \quad (\text{Eq.3})$$

em que: SUVA é a absorvância específica, em  $\text{cm}^{-1}/\text{mg L}^{-1}$ ;  $UV_{254nm}$  é a absorvância da amostra no comprimento de onda 254 nm, em  $\text{cm}^{-1}$ ; e COD é o carbono orgânico dissolvido, em  $\text{mg L}^{-1}$ .

De acordo com os valores de  $SUVA_{254nm}$  obtidos (Quadro 5), pode-se determinar o tipo de matéria orgânica natural predominante na água.

**Quadro 5** - valores de  $SUVA_{254nm}$  correspondentes a cada tipo de matéria orgânica natural predominante na água

<b><math>SUVA_{254nm}</math></b>	<b>Predominância</b>
<b>5 e 7</b>	Ácidos Húmicos
<b>3 e 4</b>	Ácidos Fúlvicos
<b>&lt; 4</b>	Substâncias neutras hidrofílicas
<b>Próximos a 3</b>	Bases hidrofílicas
<b>Próximos a 1</b>	Ácidos hidrofílicos
<b>&lt; 1</b>	Substâncias neutras e bases hidrofóbicas

Fonte: Edzwald; tobiason (2011).

#### **5.3.4. Análise estatística**

Para cada ensaio, os resultados obtidos, em triplicatas, são apresentados na forma de média e desvio padrão. Foi verificada a distribuição normal dos dados através do teste de Shapiro Wilk - W. Quando confirmada a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de ANOVA com efeitos aleatórios e pós-teste de Tukey, para avaliar a correspondência entre as dosagens sobre as respostas analisadas. Foi feito também teste de correlação e análise de componentes principais (PCA).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Avaliação da melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera* para remoção das cianobactérias avaliadas isoladamente

Os dados de qualidade inicial da água utilizada encontram-se indicados na Tabela 2. Vale ressaltar que os ensaios não foram realizados todos no mesmo dia. No entanto, a água foi acondicionada de forma a evitar alterações bruscas. O cultivo não era o mesmo em todos os ensaios, porém nos testes foram utilizados cultivos na mesma fase de crescimento (exponencial), mantendo-se assim as características desta fase. O extrato salino de *Moringa oleifera*, conforme indicado na seção 5.1.3, era preparado diariamente; por esta razão, pode haver alguma pequena variação na eficiência. Todos os testes foram realizados dentro do prazo de três dias, de forma a utilizar a água natural proveniente de uma mesma coleta e manter a qualidade da água final o mais semelhante possível.

**Tabela 2** - Caracterização da água de estudo utilizada nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera*, para as espécies de cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*

Parâmetros da água de estudo	Média e Desvio padrão para MC	Média e Desvio padrão para CR
Turbidez (uT)	41,43 (1,28)	42,08 (1,38)
pH	8,09 (0,04)	7,78 (0,08)
Cor (uH)	228,33 (11,78)	171,66 (10,27)
Ab <sub>S254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0,049 (0,005)	0,052(0,003)
Densidade celular (cel mL <sup>-1</sup> )	5,73 x 10 <sup>5</sup> (4,04 x 10 <sup>4</sup> )	5,47 x 10 <sup>5</sup> (4,5 x 10 <sup>4</sup> )
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	150,0 (0,050)	120,0 (0,050)

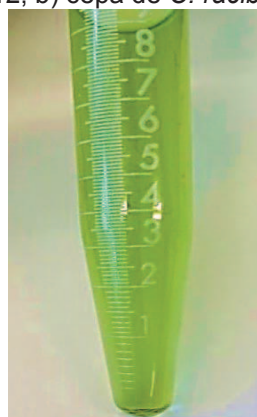
**Legenda:** número amostral de 3 réplicas; os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

A turbidez da água inicial adotada foi de 40 uT e a densidade celular de 5,0 x 10<sup>5</sup> cel mL<sup>-1</sup>, baseado em trabalhos que simularam florações de cianobactérias (BAPTISTA et al., 2017; BELÓ, 2015; DRIKAS et al., 2001). Beló (2015), comparando florações de cianobactérias e parâmetros físicos, químicos e biológicos na represa de Alagados em Ponta Grossa - PR verificou

que quando havia floração de cianobactérias no corpo d'água, a turbidez era elevada, ficando próxima a 35 uT e em casos extremos chegando a até 96 uT.

Para o parâmetro cor, verificou-se uma diferença nos valores obtidos entre as diferentes águas de estudo inicial, o que pode ser justificado devido ao tipo de cianobactéria avaliada e a quantidade de pigmento natural produzido por cada espécie. Esta diversidade de pigmentos é resultante das diferenças na composição de seus principais receptores de luz, chamados de ficobilisomas (SIX et al., 2007). As ficobilisomas são complexos macromoleculares solúveis em água que consistem em um núcleo central que ancora pelo menos seis hastes de radiação feitas de várias ficobiliproteínas distintas, ou seja, proteínas às quais contém enzimas específicas (ficobilinas liases) que conterão covalentemente cromóforos chamados de ficobilinas (ONG; GLAZER., 1991; SIDLER, 1994; SIX et al., 2007). A fim de verificar a variação na coloração do cultivo puro, para cada uma das espécies de cianobactérias, foram feitas medições do parâmetro em espectrofotômetro no comprimento de onda de 455 nm, cujos valores e imagens podem ser observados na Figura 9.

**Figura 9** – Imagens evidenciando a diferença da coloração dos cultivos de *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* com aproximadamente 15 dias de crescimento. Em a) Cepa de *M. aeruginosa*,  $\lambda_{455\text{nm}} = 1,512$ ; b) cepa de *C. raciborskii*,  $\lambda_{455\text{nm}} = 0,276$



a) *Microcystis aeruginosa*



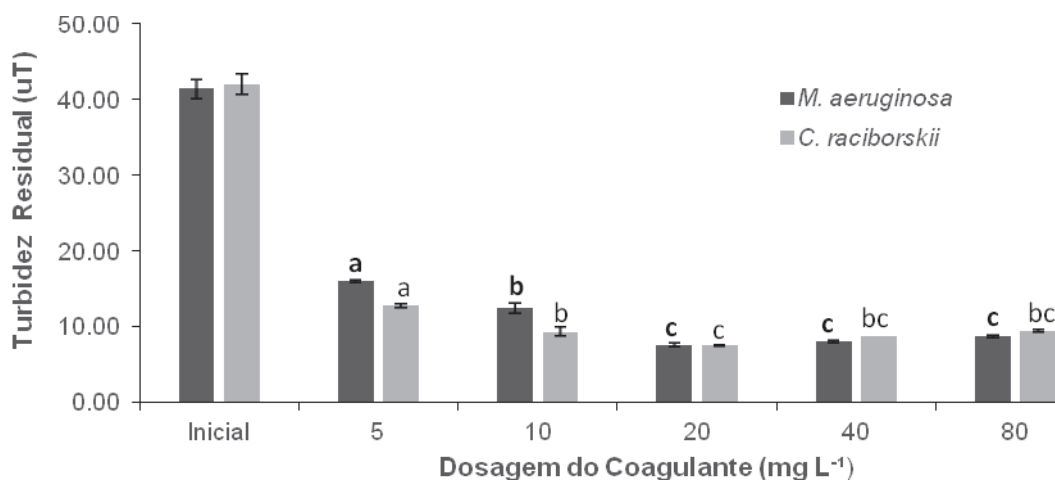
b) *Cylindrospermopsis raciborskii*

**Fonte:** autoria própria (janeiro de 2018).

No presente estudo, a remoção dos parâmetros físicos da água (turbidez, cor e densidade celular) foi diretamente influenciada pela dosagem aplicada do extrato salino de sementes de *M. oleifera* ( $p = <0,05$  para o fator dosagem do coagulante) em relação à água de estudo inicial. Na Figura 10 tem-se

representado o comportamento do residual de turbidez da água para as duas espécies de cianobactérias avaliadas isoladamente.

**Figura 10** - Variação da turbidez residual (uT) nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera* para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente



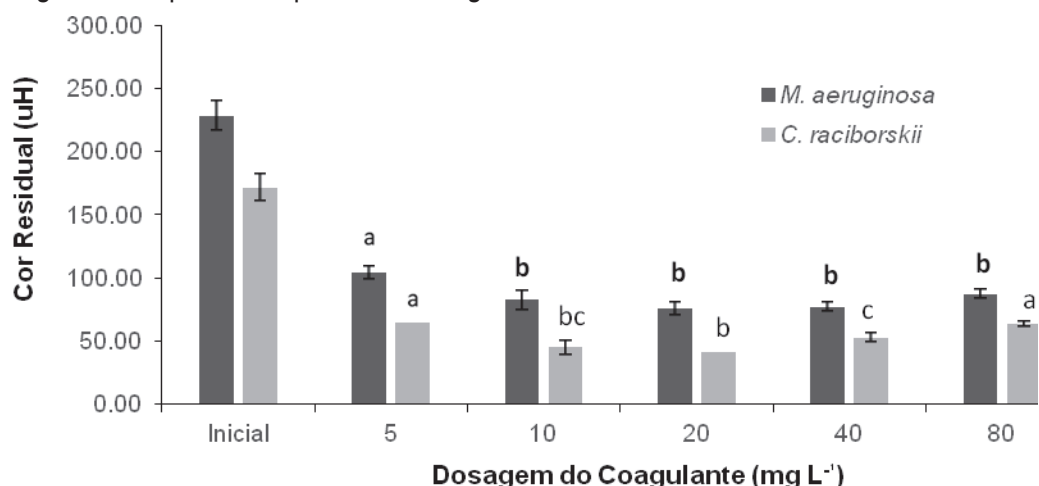
	Inicial	5 mg L <sup>-1</sup>	10 mg L <sup>-1</sup>	20 mg L <sup>-1</sup>	40 mg L <sup>-1</sup>	80 mg L <sup>-1</sup>
<i>M. aeruginosa</i> (turbidez- uT)	41,43 (1,27)	16,08 (0,23)	12,52 (0,64)	7,67 (0,23)	8,08 (0,15)	8,81 (0,22)
<i>C. raciborskii</i> (turbidez - uT)	42,08 (1,38)	12,82 (0,27)	9,35 (0,56)	7,56 (0,06)	8,79 (0,04)	9,48 (0,15)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais de turbidez e o desvio padrão (valores entre parênteses).

Analisando as diferentes dosagens do coagulante aplicadas, a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> foi a que resultou em melhor eficiência de remoção da turbidez para ambas as espécies de cianobactérias avaliadas (MC – 81%; CR – 82%). No entanto, de acordo com o teste de *Tukey*, não existe diferença significativa na remoção de turbidez das amostras da espécie de cianobactéria *M. aeruginosa* entre as dosagens de 20, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup>.

Na Figura 11 estão indicados os remanescentes de cor obtidos nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de sementes de *M. oleifera* para as cianobactérias estudadas.

**Figura 11** - Variação da cor residual (uH) nos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera* para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente



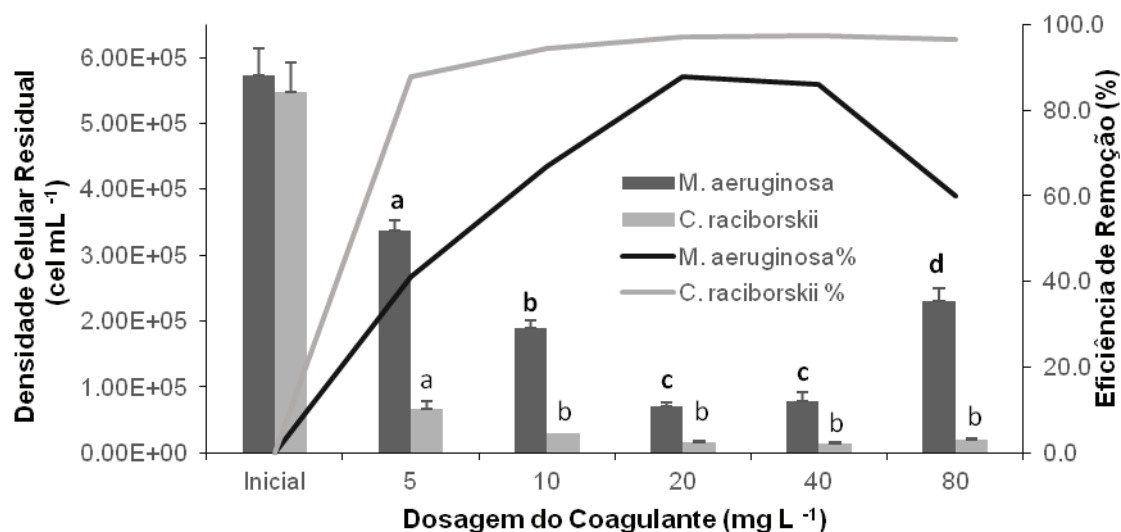
	Inicial	5 mg L <sup>-1</sup>	10 mg L <sup>-1</sup>	20 mg L <sup>-1</sup>	40 mg L <sup>-1</sup>	80 mg L <sup>-1</sup>
<i>M. aeruginosa</i> (cor - uH)	228,33 (11,78)	103,89 (5,09)	82,77 (7,70)	76,11 (5,09)	77,22 (3,85)	87,33 (3,75)
<i>C. raciborskii</i> (cor - uH)	171,66 (10,27)	65,00 (0,87)	45,00 (5,77)	41,66 (0,60)	52,78 (3,85)	63,89 (1,93)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais de cor e ao desvio padrão (valores entre parênteses).

A melhor remoção do parâmetro cor foi obtida com a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> para ambas as espécies de cianobactérias avaliadas (MC – 67%; CR – 76%). Porém, de acordo com o teste *Tukey*, não houve diferença significativa na remoção da cor entre as dosagens de 10, 20, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> para a espécie *M. aeruginosa*. Assim como para a espécie *C. raciborskii*, as dosagens de 10, 20 e 40 mg L<sup>-1</sup> não resultaram em remoção de cor significativamente diferentes entre si.

As eficiências de remoção e as densidades celulares, durante o tratamento com C/F/FAD na etapa de melhor dosagem do extrato salino de *M. oleifera* são apresentados na Figura 12.

**Figura 12** - Eficiências de remoção de células (%) e densidade celular ( $\text{cel mL}^{-1}$ ) para os ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *Moringa oleifera* para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente



	Inicial	5 mg L <sup>-1</sup>	10 mg L <sup>-1</sup>	20 mg L <sup>-1</sup>	40 mg L <sup>-1</sup>	80 mg L <sup>-1</sup>
<i>M. aeruginosa</i> ( $\text{cel mL}^{-1}$ )	5,73E+05 (4,04E+04)	3,37E+05 (1,53E+04)	1,90E+05 (1,00E+04)	7,13E+04 (5,13E+03)	7,87E+04 (1,26E+04)	2,30E+05 (2,00+04)
<i>C. raciborskii</i> ( $\text{cel mL}^{-1}$ )	5,47E+05 (4,50E+04)	6,64E+04 (1,25E+04)	3,00E+04 (6,61E+01)	1,60E+04 (2,66E+03)	1,45E+04 (1,33E+03)	1,90E+04 (2,77E+03)
<i>M. aeruginosa</i> (%)	0,0	41,0	67,0	88,0	86,0	60,0
<i>C. raciborskii</i> (%)	0,0	87,8	94,5	97,1	97,3	96,5

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais de densidade de células (desvio padrão entre parênteses) e em seguida estão expostas as eficiências de remoção de células.

Analisando as dosagens avaliadas, a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> foi a que resultou em melhor eficiência de remoção para a espécie *M. aeruginosa*; no entanto, segundo o teste de *Tukey*, não há diferença significativa entre a dosagem de 20 e 40 mg L<sup>-1</sup>. Para a espécie *C. raciborskii*, a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> foi a que proporcionou melhor eficiência de remoção celular; no entanto, as dosagens de 10, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> também foram eficientes, não havendo uma diferença significativa entre estas dosagens. A dosagem de 80 mg L<sup>-1</sup> resultou em uma eficiência de remoção de 96,5%, muito próximo do que foi obtido para as dosagens de 20 e 40 mg L<sup>-1</sup>; a queda na eficiência pode ser atribuída a uma dosagem excessiva do coagulante. Porém, não é possível concluir a partir dos resultados apresentados, sendo necessários novos estudos avaliando dosagens maiores.

Avaliando-se os três parâmetros simultaneamente, pode-se sugerir que os melhores resultados foram obtidos para a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> do extrato salino de *M. oleifera* com remoção de turbidez de 81% para *M. aeruginosa* e 82% para *C. raciborskii* (7,67 e 7,56 uT, respectivamente); cor de 67% para *M. aeruginosa* e 76% para *C. raciborskii* (82,77 e 45,00 uH, respectivamente) e densidade celular de 89% para *M. aeruginosa* e 97% para *C. raciborskii* (7,13 x 10<sup>4</sup> e 1,60 x 10<sup>4</sup> cel mL<sup>-1</sup>, respectivamente). De acordo com a PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017), os valores máximos permitidos para os parâmetros turbidez e cor são respectivamente 5,0 uT e 15,0 uH; esses valores são referentes a um sistema de tratamento completo com uma etapa de filtração ao final do processo. Analisando os resultados de turbidez e cor do presente estudo, ambos estão fora do permitido pela PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017). Contudo, as análises foram feitas até a etapa de flotação por ar dissolvido, não sendo analisada a cor e turbidez residual após a filtração.

Camacho et al. (2012), utilizando um extrato salino (NaCl) de *M. oleifera* e tratamento por FAD, obtiveram remoção de 77,3% de turbidez, 80% de remoção de cor e 92% de remoção de células de *M. aeruginosa* quando a turbidez inicial era igual a 50 uT; no entanto, foi aplicada dosagem de 175 mg L<sup>-1</sup> do extrato salino de *M. oleifera*, muito superior ao obtido no presente estudo, em que resultado semelhante foi obtido para uma dosagem inferior. Este fato pode ser justificado devido ao tipo de sal utilizado na extração da proteína. Carvalho et al. (2016) não verificaram diferença na quantidade de proteína extraída entre os sais NaCl e CaCl<sub>2</sub>; no entanto, atribuíram os melhores resultados obtidos com o extrato salino de CaCl<sub>2</sub> à formação de uma rede de flocos com as proteínas extraídas, capaz de capturar as partículas em suspensão.

Zablonsky (2012), avaliando a remoção de cianobactérias e cianotoxinas em água natural por C/F/sedimentação, utilizando extrato aquoso de sementes de *M. oleifera* na remoção de células de *M. aeruginosa* (10<sup>6</sup> cel mL<sup>-1</sup>), obteve 90% de remoção de células em água com turbidez de 250 uT para uma quantidade de extrato aquoso de *M. oleifera* de 70 mg L<sup>-1</sup>.

Carvalho (2015), empregando uma dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> de extrato salino (CaCl<sub>2</sub>) de *M. oleifera* no processo de C/F/FAD para remoção de *M. aeruginosa*, alcançou eficiência de remoção de 78,9%, turbidez de 57,9% e

77,9% para cor aparente, sendo a turbidez inicial de 25 uT e a cor aparente de 282 uH. No presente trabalho, aplicando-se dosagem inferior, obteve-se melhores eficiências de remoção de células de *M. aeruginosa* e turbidez, o que pode estar relacionado ao fato de que no presente estudo, optou-se por adotar turbidez inicial de 40 uT (superior ao estudo de Carvalho (2015)), e, como evidenciado por outros autores, a eficiência do coagulante natural de *M. oleifera* é maior para águas com maior turbidez (MORETI et al., 2013). Outro fator de diferença entre os estudos, é que Carvalho (2015) utilizou o cultivo puro para a preparação da água de estudo, enquanto no presente estudo, o cultivo celular adicionado na água inicial era concentrado, havendo, assim, uma inserção menor do material extracelular presente no meio de cultivo, o qual pode interferir no processo de C/F/FAD.

Camacho et al. (2012), em estudo avaliando o processo de coagulação/floculação para remoção de turbidez, cor e densidade celular de *C. raciborskii* utilizando como coagulantes o extrato salino (NaCl) de sementes de *M. oleifera* e o Tanfloc SG, verificaram que o extrato salino foi tão eficiente quanto o Tanfloc no tratamento. Para uma turbidez de 50 uT, a média de remoção da turbidez foi de 85%, enquanto que para uma turbidez de 450 uT, as melhores remoções obtidas foram para dosagens de 25 a 75 mg L<sup>-1</sup>, com uma eficiência de 61,5 a 80%. No presente estudo, aplicando-se 20 mg L<sup>-1</sup> do extrato salino (CaCl<sub>2</sub>), obteve-se uma remoção de turbidez de 82%, muito semelhante ao encontrado no estudo citado.

Moreti et al. (2015a), empregando sementes trituradas de *M. oleifera* em um processo de C/F/FAD, alcançaram remoção de 96,4% de células de *A. flos-aquae* com melhor dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup> com turbidez inicial de 30 uT e cor aparente de 224 uH. No presente trabalho, avaliando-se a eficiência de remoção da cianobactéria filamentosa *C. raciborskii*, foi obtida uma eficiência de 97% de remoção, semelhante ao alcançado pelos referidos autores.

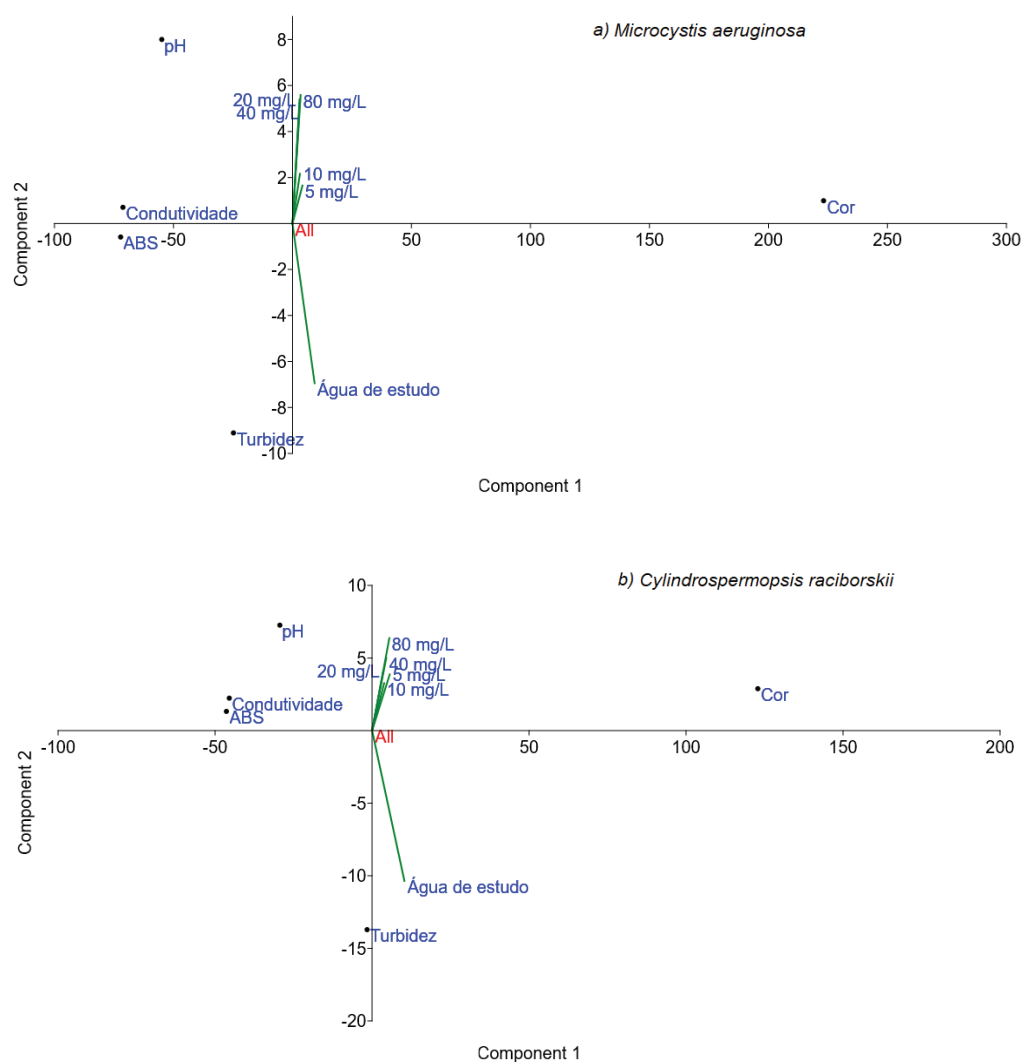
Com o objetivo de confirmar estatisticamente a semelhança da água de estudo ao longo dos processos e entre os testes, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (PCA), com intervalo de confiança de 95% para cada espécie de cianobactéria estudada (Figura 13).

Na Figura 13a é possível verificar que estatisticamente, considerando os parâmetros avaliados, as dosagens de 20, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> do extrato salino de



*M. oleifera* são influenciados pelas características de cor, pH e condutividade, corroborando com os resultados apresentados anteriormente, para as quais, não existe diferença significativa entre os três tratamentos. As dosagens de 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> foram influenciadas fortemente pelos parâmetros cor e condutividade, e a água inicial é influenciada fortemente pela turbidez. Na Figura 13b, para a espécie *C. raciborskii*, pode-se observar que todas as dosagens do extrato salino de *M. oleifera* são fortemente influenciados pela cor, seguido do pH, condutividade e absorvância ao UV<sub>254nm</sub>.

**Figura 13** - Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros de qualidade da água para cada espécie de cianobactéria avaliada a partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, considerando a água inicial e após o processo de C/F/FAD



**Legenda:** Análise realizada com 95% de confiança.

**Fonte:** Past 3.11.

É possível sugerir, através da análise de PCA e dos demais resultados apresentados, que apesar da melhor dosagem do coagulante natural ser a de 20 mg L<sup>-1</sup> para ambas as espécies avaliadas, o resultado de remoção das células de cianobactérias durante o tratamento por C/F/FAD foi diferente. Henderson, Parsons e Jefferson (2010) sugerem que a morfologia celular pode interferir na eficiência do processo de C/F/FAD, pois os mecanismos de coagulação que atuam sobre as diferentes morfologias variam. Cianobactérias que apresentam estruturas esféricas ou cocóides e com superfícies lisas, como é o caso da *M. aeruginosa*, podem ser desestabilizadas pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, enquanto que para a remoção de organismos não esféricos, grandes e filamentosos, como a *C. raciborskii*, há o predomínio do mecanismo de varredura.

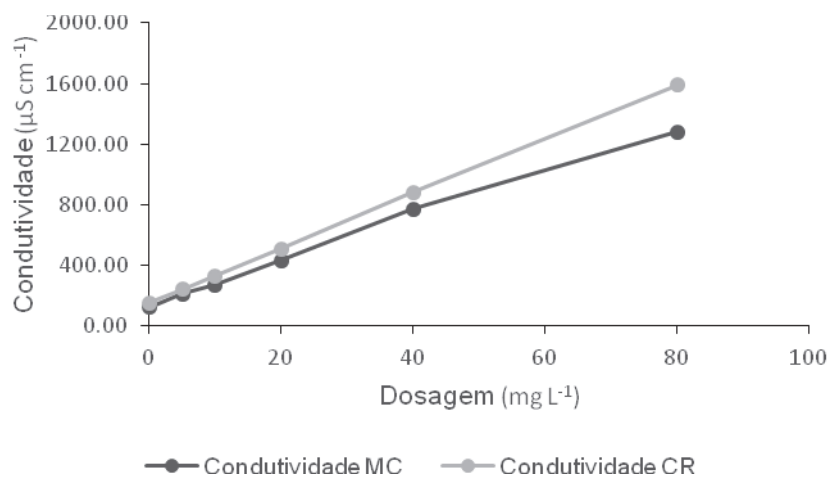
Edzwald (1993) sugere que a coagulação e a floculação são as etapas mais críticas quando se refere à remoção de cianobactérias. Estas etapas do processo podem resultar em baixas eficiências devido à interação eletrostática repulsiva e pelo efeito estérico. Outro fator que pode interferir na remoção de células de cianobactérias é a reduzida eficiência do coagulante de *M. oleifera* quando utilizado em águas com baixa turbidez, e ao tipo de matéria orgânica presente na água (MORETI et al., 2013).

Durante os ensaios, a adição do coagulante natural não influenciou no pH da água, apresentando uma redução no pH no valor máximo de 0,05%, corroborando com a literatura (CAMACHO et al., 2012; NDABIGENGESERE et al., 1995).

Quanto ao parâmetro condutividade, os valores observados para a água inicial foram elevados (120 e 150  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) quando comparado com a literatura, em que águas naturais podem apresentar valores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (Silva, 2012). Segundo Pizarro (1996), a medida de condutividade elétrica pode ser aplicada para estimar a salinidade da água, estando a média dos rios do planeta em 117  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; este trabalho relata que águas com condutividade elevada, possuem alta salinidade, o que torna essas águas totalmente improdutivas. No presente trabalho, foi verificado que o aumento da dosagem do extrato salino de *M. oleifera* resultou no aumento da condutividade elétrica da água (Figura 14). A análise de correlação linear foi

positiva (99%), confirmando que existe uma forte correlação entre a dosagem do coagulante natural e o aumento da condutividade elétrica.

**Figura 14** - Relação do aumento da condutividade com a dosagem do extrato salino de sementes de *M. oleifera* aplicado no tratamento C/F/FAD



Shan et al. (2017), de encontro com o presente trabalho, verificaram que o uso do coagulante aquoso de sementes de *M. oleifera* (sem óleo) no tratamento de águas residuais, promoveu um aumento de até 8% da condutividade da água tratada, nas maiores dosagens do coagulante utilizadas (30 mg L<sup>-1</sup>), atribuindo esse aumento a inserção de sais na água, proveniente do pré-tratamento das sementes utilizadas no coagulante. No presente estudo, para as maiores dosagens testadas (40 e 80 mg L<sup>-1</sup>), foi observado um aumento maior que 100% da condutividade da água. Esse aumento pode estar relacionado ao cloreto de cálcio utilizado para o preparo do coagulante; no entanto, não foi observada interferência na eficiência do processo por conta da condutividade elétrica, visto que as eficiências de remoção para as dosagens de 20, 40 e 80 mg L<sup>-1</sup> não resultaram em diferenças significativas.

Diante dos resultados apresentados, adotou-se a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> como dosagem mais eficiente na remoção de turbidez, cor e densidade celular (para ambas as espécies) do extrato salino de sementes de *M. oleifera*.

## 6.2 Aplicação de diferentes proporções dos coagulantes extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio (PAC) na remoção das cianobactérias avaliadas isoladamente

A caracterização da água de estudo utilizada nesta etapa encontra-se na Tabela 3. Os ensaios não foram realizados todos no mesmo dia, e por essa razão, há uma pequena variação nos parâmetros. Para manter as características da água inicial, os ensaios foram realizados em no máximo três dias, para que fosse utilizada a água natural proveniente de uma mesma coleta.

**Tabela 3** – Características da água de estudo utilizada nos ensaios de diferentes proporções dos coagulantes do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio (PAC) para as espécies de cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*

Parâmetros da água de estudo	Média e Desvio padrão para MC	Média e Desvio padrão para CR
Turbidez (uT)	41,50 (0,87)	43,20 (1,53)
pH	7,83 (0,13)	7,62 (0,06)
Cor (uH)	205,20 (7,58)	175,66 (5,47)
Abs <sub>254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0,056 (0,02)	0,049 (0,02)
Densidade celular (cel mL <sup>-1</sup> )	6,60 x 10 <sup>5</sup> (1,73 x 10 <sup>4</sup> )	5,68 x 10 <sup>5</sup> (5,46 x 10 <sup>4</sup> )
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	130,00 (0,010)	140,00 (0,050)
Residual de Alumínio (mg L <sup>-1</sup> )	0,00	0,00

**Legenda:** número amostral de 3 réplicas; os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Baseado nos resultados dos ensaios de melhor dosagem do extrato salino de *M. oleifera*, assumiu-se como melhor dosagem para remoção dos parâmetros turbidez, cor e densidade celular a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup>, onde as eficiências de remoção foram: turbidez 81% MC e 82% CR; cor 67% MC e 76% CR e densidade celular 89% MC e 97% CR. Diante disso, foram aplicadas as proporções pré-determinadas (100% *Moringa oleifera* (MO):0% PAC; 75% MO:25% PAC; 50% MO:50% PAC; 25% MO:75% PAC; e 0% MO:100% PAC), com base na melhor dosagem, de *M. oleifera* e Policloreto de alumínio (PAC) a serem avaliadas para cada espécie de cianobactéria estudada.

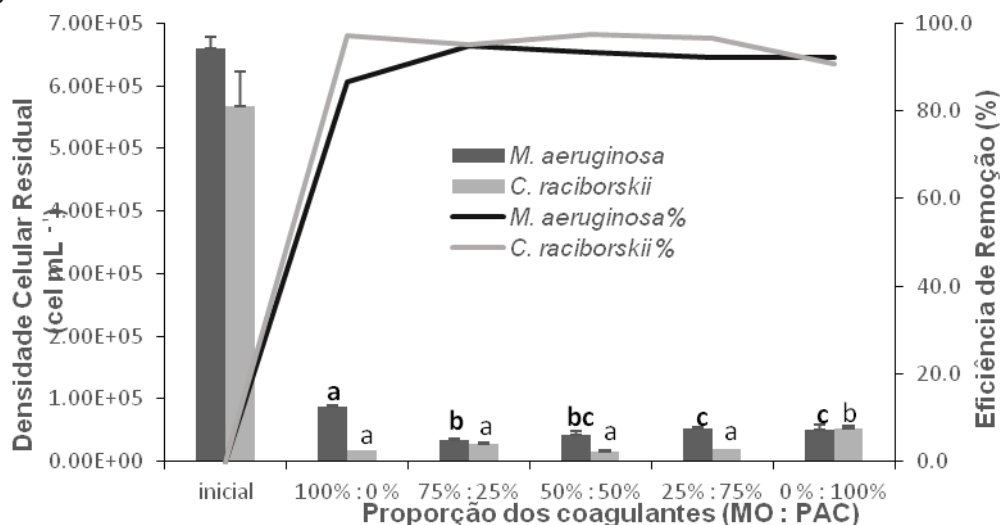
Adotou-se o PAC como coagulante metálico, pois além deste ser um dos coagulantes químicos mais utilizados nas estações de tratamento de água, a

hidrólise do cátion alumínio é lenta, quando comparado com o sulfato de alumínio, facilitando assim a interação de cargas do coagulante com as partículas presentes na água (JIANG; GRAHAM, 1996). Deste modo, esperava-se que o PAC aumentasse a interação com a rede proteica formada pela *M. oleifera*, os contaminantes e o próprio alumínio liberado pelo PAC.

Para os ensaios de proporção dos coagulantes avaliados, a remoção dos parâmetros turbidez, cor e densidade celular foi diretamente influenciada pela dosagem aplicada do extrato salino de sementes de *M. oleifera* ( $p = <0,05$  para o fator dosagem do coagulante) em relação à água de estudo sem tratamento.

Os dados referentes à densidade celular remanescente e as eficiências (%) de remoção de células durante o tratamento com C/F/FAD aplicando diferentes proporções do extrato salino de *M. oleifera* e do policloreto de alumínio são apresentados na Figura 15.

**Figura 15** - Densidade celular ( $\text{cel mL}^{-1}$ ) e eficiências de remoção de células (%) para as proporções do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente

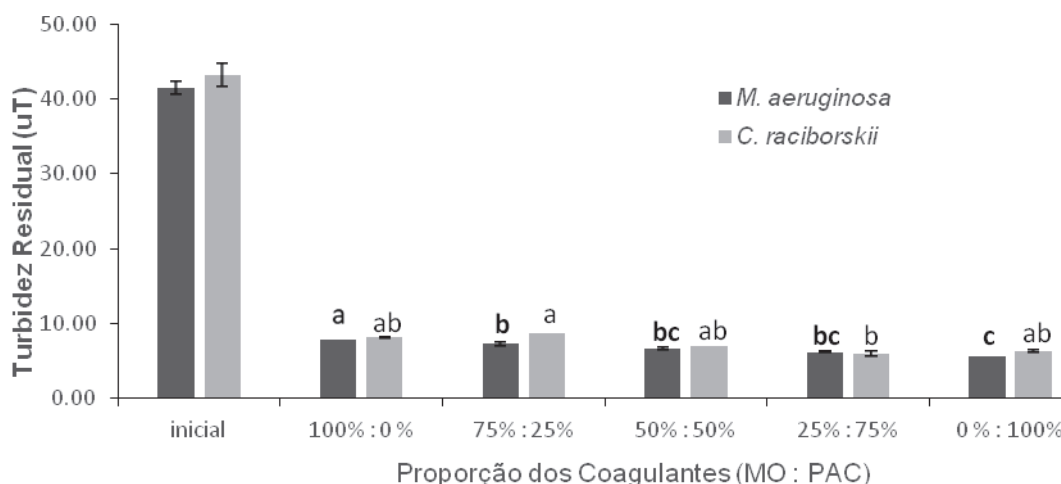


	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<i>M. aeruginosa</i> ( $\text{cel mL}^{-1}$ )	6,60E+05 (1,76E+04)	8,70E+04 (2,65E+03)	3,30E+04 (2,08E+03)	4,30E+04 (4,93E+03)	5,20E+04 (2,00E+03)	5,10E+04 (8,14E+03)
<i>C. raciborskii</i> ( $\text{cel mL}^{-1}$ )	5,68E+05 (5,46E+04)	1,65E+04 (9,65E+02)	2,70E+04 (2,39E+03)	1,50E+04 (1,82E+03)	1,90E+04 (1,13E+03)	5,20E+04 (3,88E+03)
<i>M. aeruginosa</i> (%)	0,0	86,8	95,0	93,5	92,1	92,3
<i>C. raciborskii</i> (%)	0,0	97,1	95,2	97,4	96,7	90,8

**Legenda:** Os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais da densidade de células (desvio padrão entre parênteses) e em seguida estão expostas as eficiências de remoção de células.

Conforme representado nas Figuras 16 e 17, existe uma tendência dos melhores resultados de remoção de turbidez e cor serem melhores conforme se aumenta a proporção do policloreto de alumínio, sendo em um contexto geral para estes dois parâmetros a melhor proporção a de 0% MO 100% PAC. No entanto, a associação do PAC ao extrato salino de *Moringa oleifera*, resultou em uma remoção de cor e turbidez satisfatórias. Esta associação dos coagulantes tem como vantagem a redução do alumínio solúvel na água tratada, juntamente com a redução do alumínio particulado retido no lodo gerado, tornando este biodegradável e passível de um destino mais nobre que o de cobertura para aterro sanitário, por exemplo (MOTTA et al., 2005).

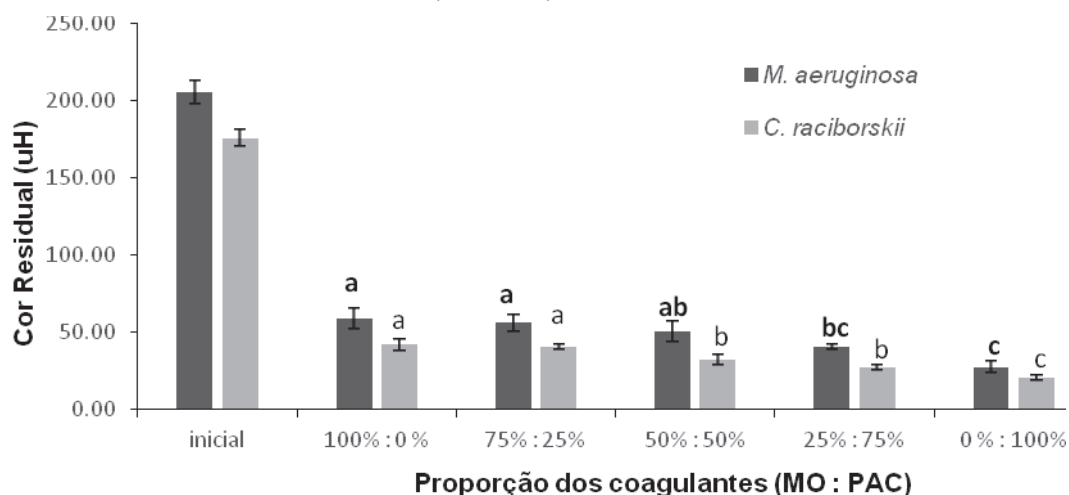
**Figura 16** - Variação da turbidez residual (uT) nos ensaios de proporção do extrato salino de *M. oleifera* e do Policloreto de Alumínio (MO:PAC)



	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<b><i>M. aeruginosa</i></b> (turbidez - uT)	41,50 (0,87)	7,84 (0,06)	7,25 (0,21)	6,63 (0,14)	6,20 (0,09)	5,61 (0,04)
<b><i>C. raciborskii</i></b> (turbidez - uT)	43,20 (1,53)	8,11 (0,11)	8,70 (0,05)	6,99 (0,06)	6,01 (0,34)	6,24 (0,15)

**Legenda:** Os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais de turbidez e ao desvio padrão (entre parênteses).

**Figura 17** - Variação da cor residual (uH) nos ensaios de proporção do extrato salino de *M. oleifera* e do Policloreto de Alumínio (MO:PAC)



	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<i>M. aeruginosa</i> (cor - uH)	205,20 (7,57)	58,33 (6,67)	55,88 (5,17)	50,55 (6,94)	40,55 (1,92)	27,44 (3,66)
<i>C. raciborskii</i> (cor - uH)	175,66 (5,47)	41,66 (3,34)	40,55 (1,92)	31,66 (3,34)	27,22 (1,93)	20,55 (1,92)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da figura correspondem aos valores residuais de cor e desvio padrão (entre parênteses).

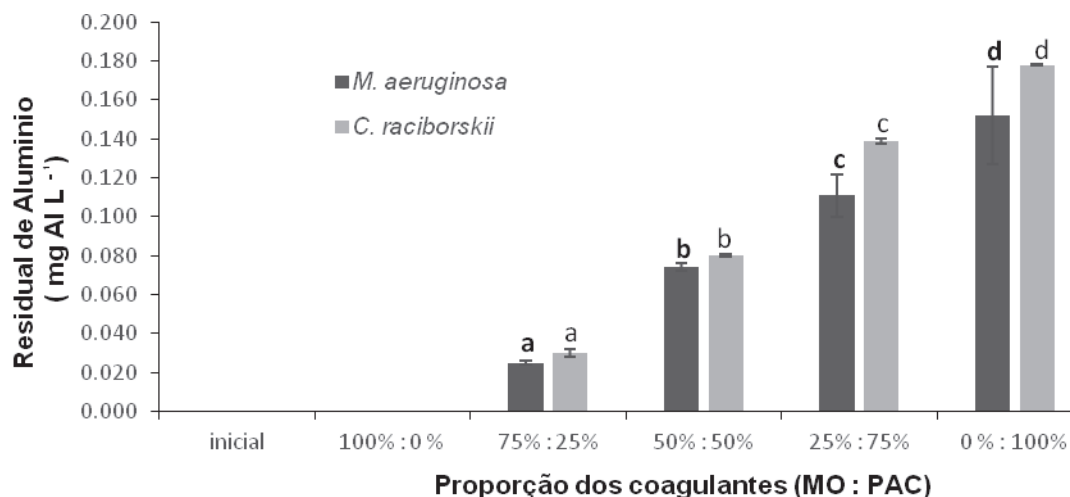
No presente trabalho, os ensaios onde foram aplicadas as proporções com maiores dosagens de PAC foram mais eficientes na remoção de cor e turbidez; no entanto, o residual do alumínio solúvel foi maior, como pode ser observado na Figura 18.

Embora os resultados para o residual de alumínio solúvel, nas maiores proporções de PAC, estejam abaixo do valor máximo permitido na PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017) ( $0,2 \text{ mgAl L}^{-1}$ ), existe a necessidade de reavaliar a utilização deste coagulante químico devido à presença do residual de alumínio, seja ele solúvel ou particulado. O alumínio solúvel na água pode acarretar sérios problemas de saúde pública (DAHL et al., 2014; DZULFAKAR et al., 2011) e o alumínio insolúvel estar acumulado no lodo gerado durante o tratamento, inviabilizando seu uso para insumo.

Como já era esperado, não houve alterações significativas no pH da água tratada, independentemente da proporção dos coagulantes, apresentando uma redução no pH no valor máximo de 0,07%. Moreti et al. (2013) também não verificaram alterações no pH da água tratada, independentemente das dosagens do coagulante natural aplicadas. Era esperado que o coagulante PAC diminuísse o pH; porém, o coagulante químico cedido pela Sanepar

possuía alta basicidade, não alterando o pH da água e evitando o uso de alcalinizantes no tratamento.

**Figura 18** - Residual de alumínio solúvel ( $\text{mgAl L}^{-1}$ ) para as proporções do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente



	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<i>M. aeruginosa</i> ( $\text{mgAl L}^{-1}$ )	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,025 (0,001)	0,074 (0,002)	0,111 (0,011)	0,152 (0,025)
<i>C. raciborskii</i> ( $\text{mgAl L}^{-1}$ )	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,030 (0,002)	0,080 (0,005)	0,139 (0,001)	0,178 (0,001)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores residuais de Alumínio e o desvio padrão (entre parênteses).

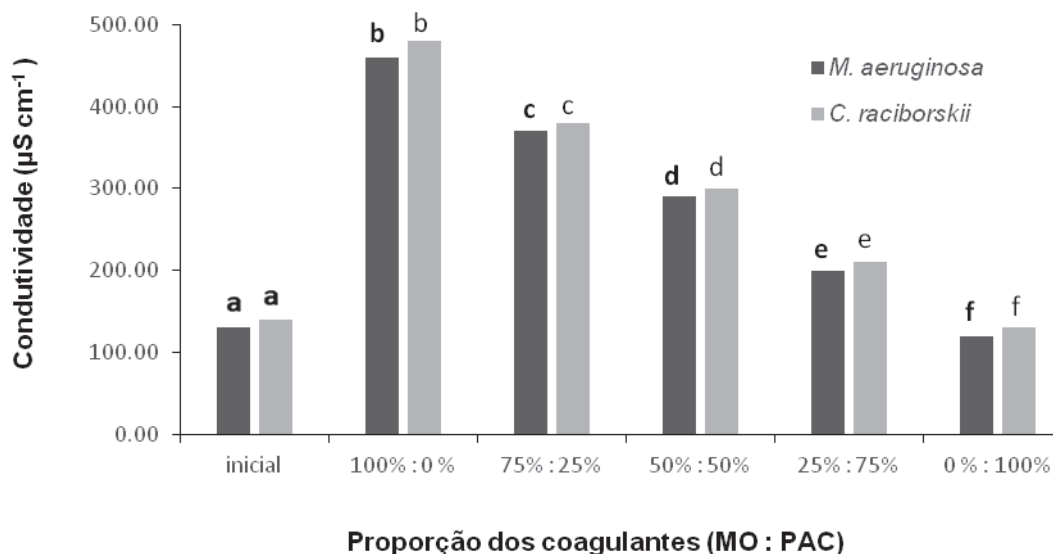
Os valores aferidos para o parâmetro condutividade elétrica são expostos na Figura 19. Foi possível verificar que a condutividade elétrica diminuía conforme aumentava a proporção do PAC, confirmando que o aumento observado no parâmetro condutividade está relacionado ao extrato salino de  $\text{CaCl}_2$ .

Com o objetivo de confirmar estatisticamente a semelhança das águas ao longo dos processos e entre os testes, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (PCA), com intervalo de confiança de 95% para cada espécie de cianobactéria estudada (Figura 20).

Na Figura 20 pode-se observar que estatisticamente, considerando os parâmetros avaliados, todas as proporções foram fortemente influenciadas pelas características de cor e pH da água, independentemente do tipo celular analisado, e que não foi observada diferença entre as proporções dos coagulantes aplicadas.



**Figura 19** - Condutividade elétrica da água ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) para as proporções do extrato salino de *Moringa oleifera* e policloreto de alumínio para as espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii* isoladamente

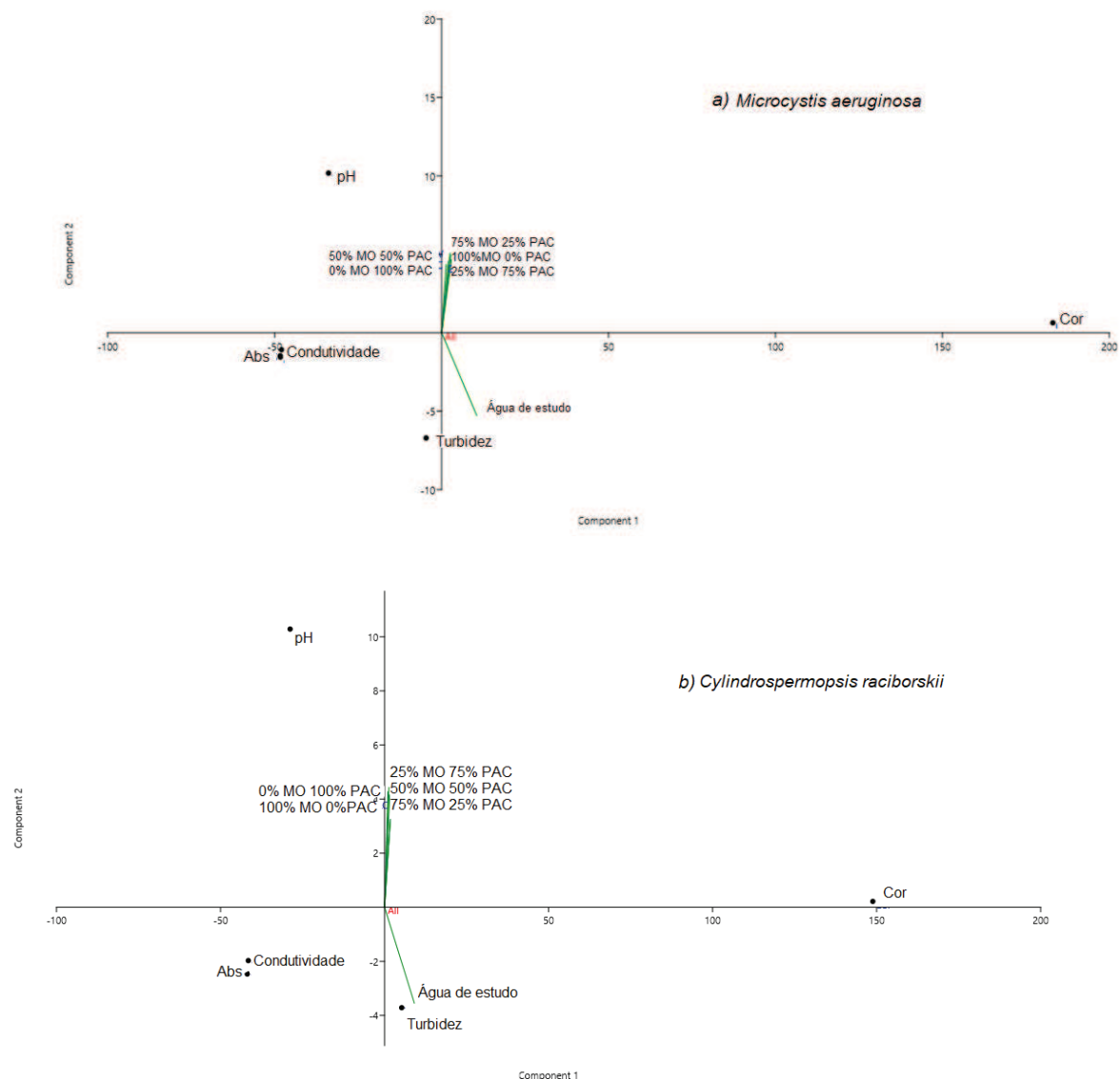


	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<i>M. aeruginosa</i> ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	130,00 (0,005)	460,00 (0,025)	370,00 (0,003)	290,00 (0,006)	200,00 (0,000)	120,00 (0,006)
<i>C. raciborskii</i> ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	140,00 (0,005)	480,00 (0,025)	380,00 (0,000)	300,00 (0,006)	210,00 (0,006)	130,00 (0,006)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores de condutividade da água e o desvio padrão (entre parênteses).

Carvalho (2015), avaliando a remoção de células de *M. aeruginosa* com diferentes proporções dos coagulantes de *M. oleifera* e de PAC, verificou que nas proporções em que o coagulante químico era acrescido em mais que 30%, as eficiências de remoção eram reduzidas, devido ao tamanho e densidade dos flocos que eram formados com a aplicação de maiores dosagens do PAC, dificultando a remoção dos flocos por flotação, os quais permaneciam no clarificado. Segundo o autor, para a proporção de 70% MO:30% PAC, foi obtida uma eficiência de remoção de turbidez de 75% e densidade celular de 80%, considerando uma dosagem de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de *M. oleifera*. No presente estudo, obteve-se melhor resultado de remoção de turbidez e densidade celular para a proporção de 75% MO:25% PAC, com uma eficiência de remoção de 83% de turbidez e 95% para células de *M. aeruginosa*, e de 80% para turbidez e 95% para células de *C. raciborskii*.

**Figura 20** - Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros de qualidade da água para cada espécie de cianobactéria avaliada a partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, considerando a água inicial e após o processo de C/F/FAD



**Legenda:** Análise realizada com 95% de confiança.

**Fonte:** Past 3.11.

Miranda et al. (2017), em um estudo comparando a eficiência da associação do PAC, ou da Quitosana, com bentonita para a remoção de *C. raciborskii* e *M. aeruginosa*, em florações alternadas, verificaram que os tratamentos com o PAC foram eficientes na remoção da biomassa de cianobactérias, independentemente se associado ou isolado. O autor relatou ainda que o uso do PAC associado não promoveu a lise celular e a liberação das cianotoxinas, como foi observado com quitosana. No presente estudo, a

associação do PAC ao extrato salino de *Moringa oleifera* melhorou a eficiência de remoção da densidade celular, quando comparado ao uso do PAC isolado.

Outros trabalhos que não utilizaram cianobactérias, mas que utilizaram *Moringa oleifera* e PAC associados demonstraram que a associação destes coagulantes resulta em boas eficiências de remoção dos parâmetros cor e turbidez.

Valverde et al. (2015), em estudo de C/F/Sedimentação utilizando água natural sem cianobactérias, avaliaram a associação do PAC ao pó de *M. oleifera*, com turbidez inicial de 72,9 uT e cor inicial de 386 uH. As melhores eficiências de remoção foram: 95,8% para turbidez e 97,1% para cor, para uma proporção de 60% PAC e 40% MO. No presente estudo foram obtidas menores eficiências para remoção de turbidez ( $\pm 83\%$ ) e cor ( $\pm 77\%$ ) para uma proporção que continha menor dosagem do coagulante PAC (75% MO e 25% PAC). Estas baixas eficiências podem ser justificadas devido ao processo de tratamento aplicado (Flotação por ar dissolvido), o qual não favorece a remoção de flocos grandes, os quais são formados quando utilizado o PAC.

Awad, Wang e Li (2013), em um estudo preliminar sobre a associação do extrato salino de *M. oleifera* e PAC para o tratamento de C/F/Sedimentação em água natural com turbidez inicial de 61 uT, verificaram que a associação ótima dos coagulantes foi de 30 mg L<sup>-1</sup> PAC com 300 mg L<sup>-1</sup> de *Moringa oleifera*, obtendo uma eficiência de remoção de turbidez muito semelhante a obtida pelo PAC isolado.

Segundo Valverde et al. (2016), é possível obter uma redução de até 40% do coagulante químico (PAC) quando associado ao coagulante natural *M. oleifera*, isso sem comprometer as eficiências de remoção de cor e turbidez. Estes autores, avaliando a clarificação por sedimentação da água do Rio Pirapó, de Maringá – PR, sem cianobactérias e com cor inicial de 426 uH e turbidez de 74,9 uT, obtiveram como melhor associação dos coagulantes PAC e *M. oleifera* a proporção de 60%:40% (eficiências de remoção de cor: 90% e turbidez de 80%).

Diante dos resultados expostos, assumiu-se como melhor proporção, para remoção da densidade celular e menor residual de alumínio na água, a proporção de 75% *M. oleifera* e 25% PAC, onde as eficiências de remoção foram: turbidez, 83% MC e 80% CR; cor, 73% MC e 77% CR, densidade

celular, 95% MC e 95% CR; e o alumínio residual foi de 0,025 mg L<sup>-1</sup> para *M. aeruginosa* e 0,030 mg L<sup>-1</sup> para *C. raciborskii*. Diante disso, foi aplicada a proporção de 75% *M. oleifera* e 25% de PAC para avaliar a influência da variação sazonal das populações de cianobactérias na eficiência dos coagulantes associados.

### 6.3 Avaliação da influência da variação sazonal das populações de cianobactérias na eficiência dos coagulantes associados

A água inicial, para os ensaios de proporções celulares, teve suas características de turbidez, pH, condutividade, absorvância e residual de alumínio iguais as águas das etapas prévias, com ressalva da cor, a qual teve uma variação quando a água continha ou não cianobactérias. Em relação à água inicial sem cianobactérias, está resultou em uma cor média inferior quando comparada a água com cianobactérias. Já a água que continha as diferentes proporções celulares, não resultou em diferenças bruscas nos resultados, como foi observado na seção 6.1. Diante disso, optou-se por trabalhar com a média do parâmetro cor. A variação dos valores referentes aos parâmetros iniciais avaliados para cada proporção encontra-se no Apêndice B.

Todos os valores médios dos parâmetros iniciais para as proporções avaliadas são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Caracterização das águas de estudo iniciais com e sem presença de cianobactérias utilizadas nos ensaios de proporções celulares das espécies *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*

Parâmetros da água de estudo	Água sem cianobactéria	Água com cianobactérias
Turbidez (uT)	38,85 (2,02)	41,34 (1,66)
pH	7,81 (0,09)	7,87 (0,11)
Cor (uH)	73,33 (3,05)	114,33 (6,41)
Abs <sub>254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0,045 (0,002)	0,039 (0,002)
Condutividade (mS cm <sup>-1</sup> )	160 (0,040)	140 (0,044)
Residual de Alumínio (mg L <sup>-1</sup> )	0,00	0,00
Carbono Orgânico Dissolvido		
COD (mg L <sup>-1</sup> )	5,35 (0,60)	5,62 (0,42)
SUVA <sub>254nm</sub> (L cm <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )	0,841	0,781

**Legenda:** número amostral de 3 réplicas; os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Com a devida caracterização das águas de estudo iniciais, pode-se sugerir que, a cor na água inicial sem cianobactérias é oriunda de substâncias húmicas e fúlvicas, produto da decomposição de sedimentos e matéria vegetal (LETTERMAN; AMIRTHARAJAH; O'MELIA, 1999). A cor da água inicial com cianobactérias é devida à presença de substâncias húmicas e fúlvicas, presente na água natural do manancial; porém a inserção das cianobactérias acarreta no aumento deste parâmetro devido ao pigmento produzido por esses microrganismos, chamado ficocianina.

O carbono orgânico dissolvido (COD), para ambas as águas apresentadas, está de acordo com o encontrado na literatura, onde a concentração de carbono orgânico dissolvido na água de rios naturais a nível mundial encontra-se geralmente entre 2 e 10 mg L<sup>-1</sup> (ZOSCHKE et al., 2011). Com os valores de COD e Abs<sub>254nm</sub> foi calculado o valor de SUVA<sub>254nm</sub>, podendo-se sugerir que a água coletada do manancial com ou sem adição de cianobactérias, é uma água com característica da matéria orgânica natural relativa a substâncias neutras ou bases hidrofóbicas (EDZWALD; TOBIASON, 2011).

Nesta etapa do projeto, a densidade celular foi diferenciada para simular uma variação sazonal das populações de cianobactérias. Na Tabela 5 são apresentadas as proporções e respectivas densidades celulares.

**Tabela 5** - Proporções celulares das espécies *Microcystis aeruginosa* (MC) e *Cylindrospermopsis raciborskii* (CR) avaliadas

<b>Proporções celulares (%)</b>	<b>Densidade celular de MC (cel mL<sup>-1</sup>)</b>	<b>Densidade celular de CR (cel mL<sup>-1</sup>)</b>
<b>0:0</b>	Não contém	Não contém
<b>100:0</b>	5,15 x 10 <sup>5</sup>	0,00
<b>75:25</b>	3,76 x 10 <sup>5</sup>	1,20 x 10 <sup>5</sup>
<b>50:50</b>	2,60 x 10 <sup>5</sup>	2,80 x 10 <sup>5</sup>
<b>25:75</b>	1,30 x 10 <sup>5</sup>	3,80 x 10 <sup>5</sup>
<b>0:100</b>	0,00	5,36 x 10 <sup>5</sup>

Considerando-se os resultados apresentados na etapa anterior, onde foram levados em consideração a remoção de células e o menor residual de alumínio, a melhor proporção foi a de 75% MO e 25% PAC, tendo esta sido escolhida para avaliar se haveria influência das diferentes proporções celulares na eficiência do tratamento.

Na Tabela 6 estão indicados os valores residuais e as eficiências obtidas para cor e turbidez, iniciais e após o tratamento com C/F/FAD, nos ensaios de proporção celular para as águas com ou sem presença de cianobactérias.

**Tabela 6** - Valores residuais e eficiências obtidas para cor e turbidez, iniciais e após o tratamento com C/F/FAD, nos ensaios de proporção celular para as águas com ou sem presença de cianobactérias

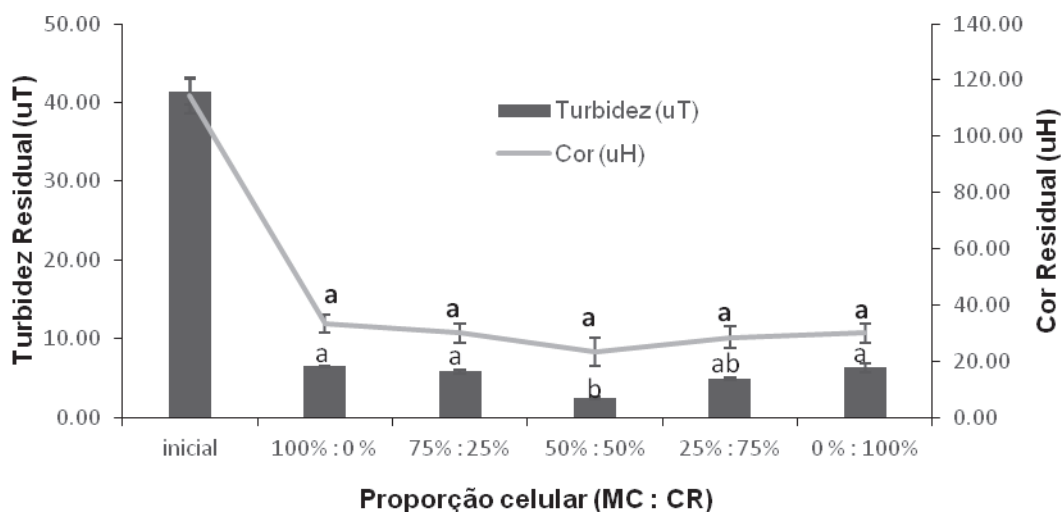
<b>Condições Avaliadas</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Cor (uH)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
<b>Água inicial sem cianobactéria</b>	38,85 (2,00)	0,0	73,33 (5,45)	0,0
<b>Água pós trat. sem cianobactéria</b>	4,61 (0,530)	88,1	11,66 (4,36)	84,0
<b>Água inicial com cianobactéria</b>	41,34 (1,66)	0,0	114,33 (6,41)	0,0
<b>100% MC:0% CR</b>	6,45 (0,131)	84,3	33,33 (3,34)	70,8
<b>75% MC:25% CR</b>	5,85 (0,252)	85,8	30,00 (3,33)	73,7
<b>50% MC:50% CR</b>	2,44 (1,75)	94,0	23,33 (5,09)	79,5
<b>25% MC:75% CR</b>	4,91 (0,203)	88,1	28,33 (3,85)	75,2
<b>0% MC:100% CR</b>	6,33 (0,539)	84,6	30,00 (3,33)	73,7

Legenda: valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Analisando a Tabela 6, pode-se perceber que a eficiência de remoção do parâmetro cor foi reduzida quando da presença de cianobactérias na água. Este fato pode ser justificado pela presença destes microrganismos na água, uma vez que as cianobactérias são carregadas negativamente, assim como parte da matéria orgânica natural; desta forma, elas competem pelos sítios ativos do coagulante disponíveis, reduzindo a eficiência do processo de coagulação (TEIXEIRA; ROSA, 2006).

Na Figura 21 estão indicados os residuais de cor e turbidez obtidos nos ensaios de proporção celular.

**Figura 21** - Residual de cor (uH) e turbidez (uT) para a proporção de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% de policloreto de alumínio para as diferentes proporções celulares das espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii*



	Inicial	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
<b>Turbidez (uT)</b>	41,34 (1,66)	6,45 (0,131)	5,85 (0,252)	2,44 (0,175)	4,91 (0,203)	6,33 (0,539)
<b>Cor (uH)</b>	114,33 (6,41)	33,33 (3,34)	30,00 (3,33)	23,33 (5,09)	28,33 (3,85)	30,00 (3,33)

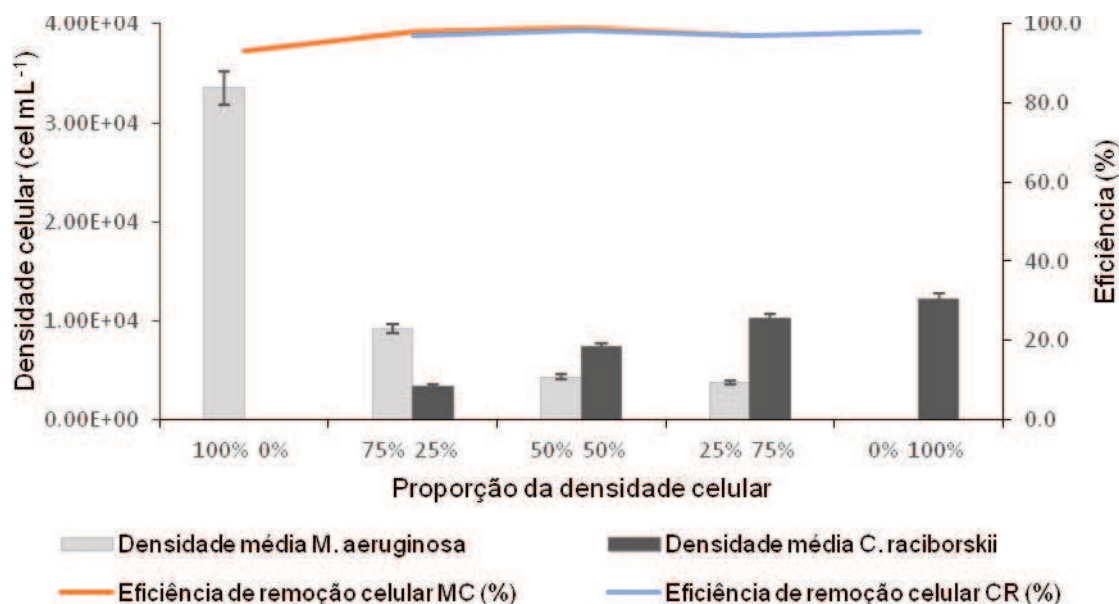
**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores de turbidez e cor e seus respectivos desvios padrões.

É importante destacar que a água inicial, apresentada na figura, é referente à água com cianobactérias.

Analisando a Figura 21, é possível verificar que não houve diferença significativa para a remoção de cor entre as diferentes proporções de células avaliadas. Já para o parâmetro turbidez, a melhor remoção foi obtida para a proporção de 50% de *M. aeruginosa* e 50% de *C. raciborskii* (eficiência de remoção 94% da turbidez). É importante ressaltar que quando da ausência de cianobactérias na água de estudo, foram obtidas eficiências de remoção de cor (cor inicial 73,33 uH; cor residual de 11,66 uH); e 88% de remoção da turbidez (turbidez inicial de 38,85 uT; turbidez residual de 4,61 uT).

A eficiência de remoção celular para as diferentes proporções de células estudadas é apresentada na Figura 22.

**Figura 22** - Eficiências de remoção celular para a proporção de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% de policloreto de alumínio para as diferentes proporções celulares das espécies *M. aeruginosa* e *C. raciborskii*



	100% :0%	75% :25%	50% :50%	25% :75%	0% :100%
<b>Eficiência (%) MC</b>	93,1	98,0	99,0	97,0	0,0
<b>Eficiência (%) CR</b>	0,0	97,0	98,5	97,0	98,0
<b>Dens. Cel. MC</b>	3,36E+04 (3,59E+03)	9,18E+03 (3,53E+02)	4,32E+03 (1,10E+03)	3,79E+03 (2,49 E +02)	0,00E+00 (0,00E+00)
<b>Dens. Cel. CR</b>	0,00E+00 (0,00E+00)	3,37E+0,3 (6,40E+02)	7,35E+03 (1,32E+03)	1,02E+04 (7,90E+02)	1,22E+04 (1,59E+03)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores de eficiência de remoção celular (%) e densidade residual de células e seus respectivos desvios padrões (entre parênteses).

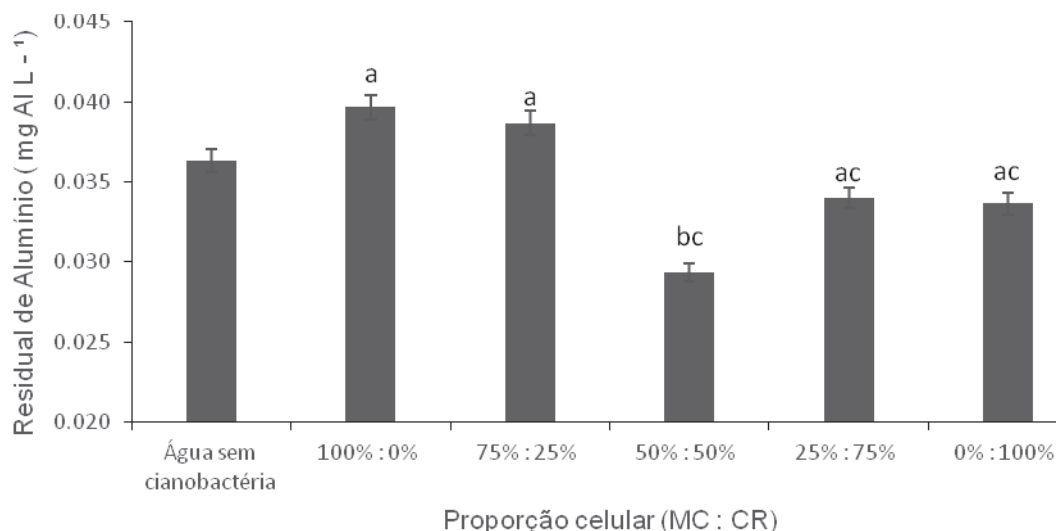
A partir do teste de *Tukey*, não foi observada diferença significativa entre as eficiências de remoção celular; no entanto, a proporção de 50% de *M. aeruginosa* e 50% de *C. raciborskii* foi a que resultou em aproximadamente 99% de remoção de ambas as células. É importante ressaltar que as amostras não passaram por um sistema de filtração, tendo esta proporção um residual de  $4,32 \times 10^3$  cel mL<sup>-1</sup> de *M. aeruginosa* e  $7,35 \times 10^3$  cel mL<sup>-1</sup> de *C. raciborskii*; se houvesse a aplicação da filtração após a flotação, a remoção seria maior, senão completa das células de cianobactérias.

A concentração de alumínio residual foi novamente avaliada, tendo-se verificado mais uma vez que esta ficou abaixo do exigido PRC N° 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017). Na Figura 23 estão expostos os resultados referentes aos residuais de alumínio; os dados obtidos sugerem, neste caso, que o residual



seja menor para as proporções com maior densidade de *C. raciborskii*. No entanto, embora os ensaios tenham sido realizados em triplicata, os dados são inconclusivos, necessitando-se de mais estudos.

**Figura 23** - Residual de alumínio ( $\text{mg Al L}^{-1}$ ) nas amostras de proporções de células avaliadas aplicando-se a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% policloreto de alumínio



	Água sem cianobactéria	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
Residual de Alumínio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,036 (0,005)	0,04 (0,005)	0,039 (0,005)	0,029 (0,002)	0,034 (0,004)	0,034 (0,002)

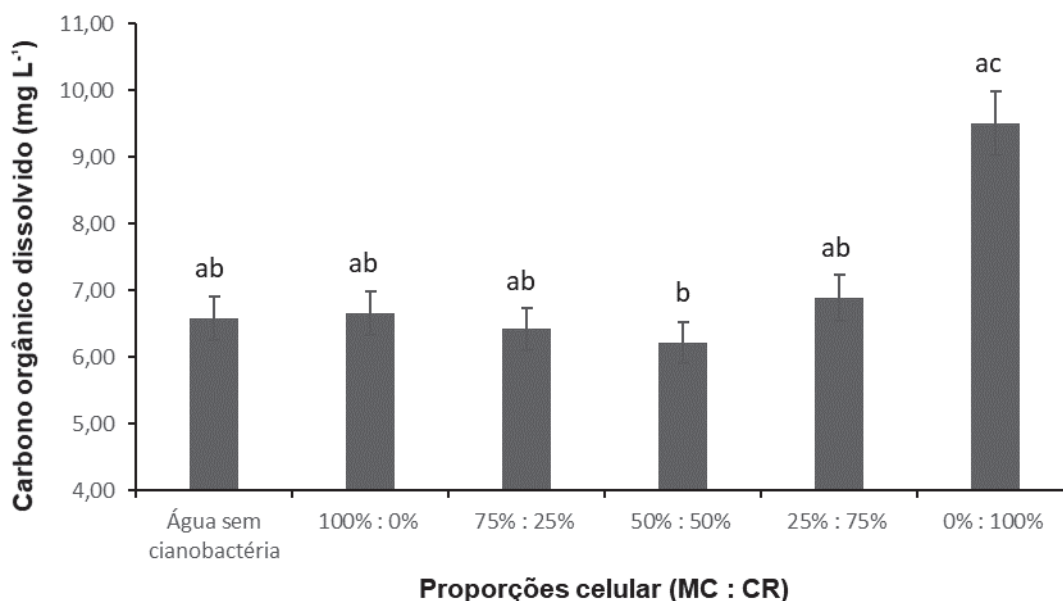
**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores de residual de alumínio na água tratada e desvio padrão (entre parênteses).

O carbono orgânico dissolvido (COD) foi avaliado nesta etapa para verificar qual seria a inserção de carbono pelo coagulante natural associado ao PAC, e também para saber se haveria diferença na concentração de COD para as diferentes proporções celulares avaliadas. Na Figura 24 estão expostos os resultados obtidos para o parâmetro COD.

Analisando-se os resultados obtidos, é possível verificar que após o tratamento, o residual de carbono orgânico dissolvido, exceto para a proporção 0% MC e 100% CR, manteve-se entre 6 e 7  $\text{mg L}^{-1}$ . O acréscimo do COD observado, quando comparado com a água de estudo inicial (com cianobactérias: 5,62  $\text{mg L}^{-1}$ ; sem cianobactéria: 5,35  $\text{mg L}^{-1}$ ), pode ser atribuído a inserção de proteínas provenientes do coagulante natural. O maior valor observado do COD para a proporção celular de 0% MC e 100% CR pode ser

atribuído a alguma contaminação durante a análise, visto que nas análises de contagem direta em microscópio não foi observado rompimento celular. Além disso, verificando os dados de  $Abs_{254nm}$ , os mesmos ficaram semelhantes aos encontrados para as demais proporções de células analisadas, sugerindo que a concentração de matéria orgânica para esta proporção seria próxima a encontrada para as demais proporções avaliadas.

**Figura 24** - Carbono orgânico dissolvido residual ( $mg L^{-1}$ ) das amostras de proporções de células avaliadas aplicando-se a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% de policloreto de alumínio



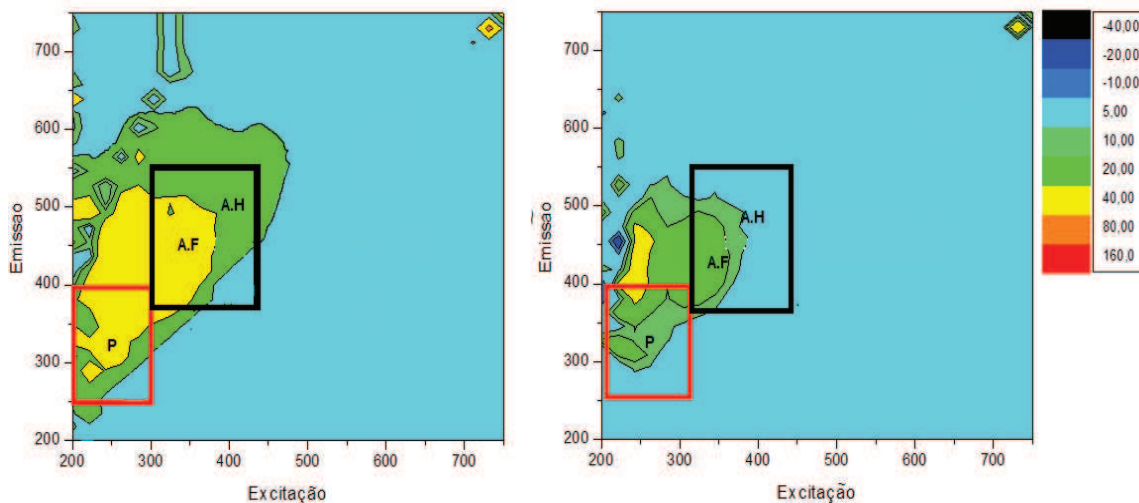
	Água sem cianobactéria	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
COD ( $mg L^{-1}$ )	6,58 (0,04)	6,66 (1,10)	6,42 (0,72)	6,22 (1,30)	6,89 (0,71)	9,50 (0,01)

**Legenda:** os valores indicados logo abaixo da Figura correspondem aos valores de carbono orgânico dissolvido na água (desvio padrão entre parênteses).

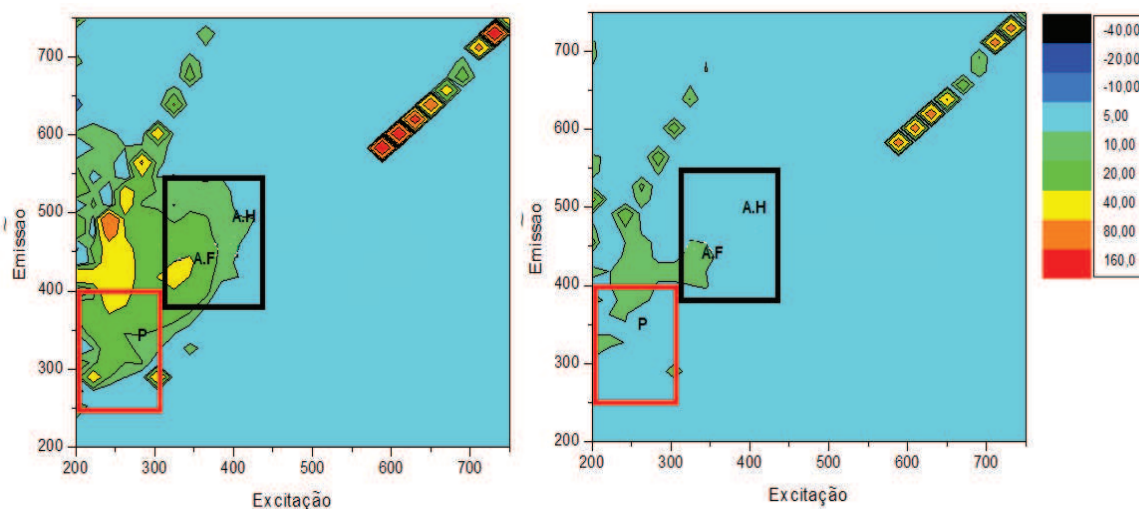
Para complementar os dados, foram feitos os espectros de fluorescência a fim de descrever a mudança de fluorescência da matéria orgânica presente na água de estudo inicial e após o tratamento por C/F/FAD, com (50% MC e 50% CR) e sem cianobactérias (Figura 25).

**Figura 25** - Espectros de fluorescência usados para analisar a fluorescência da matéria orgânica presente na água de estudo inicial e após o tratamento de C/F/FAD aplicando a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% policloreto de alumínio

a) Água sem cianobactérias antes e após o tratamento de C/F/FAD.



b) Água com 50% de MC e 50% CR antes e após o tratamento de C/F/FAD



**Legenda:** P representa a faixa das proteínas (Excitação: 220-285 nm e Emissão: 310-360 nm); A.F representa a faixa dos ácidos fúlvicos (Excitação: 320-350 nm e Emissão: 400-450 nm); e A.H representa a faixa dos ácidos húmicos (Excitação: 330-390 nm e Emissão: 420-500 nm).

Analisando as figuras apresentadas, é possível verificar que para ambas as águas de estudo, sem e com cianobactérias, o tratamento por C/F/FAD, aplicando a proporção de 75% *M. oleifera* e 25% PAC, removeu de forma eficiente ácidos húmicos, fúlvicos e proteínas presentes na água. Ainda, de acordo com o gráfico de fluorescência, pode-se sugerir que: a área correspondente aos comprimentos de onda de excitação e emissão de 600 nm a 700 nm representa a presença de cianobactérias na água, visto que para a

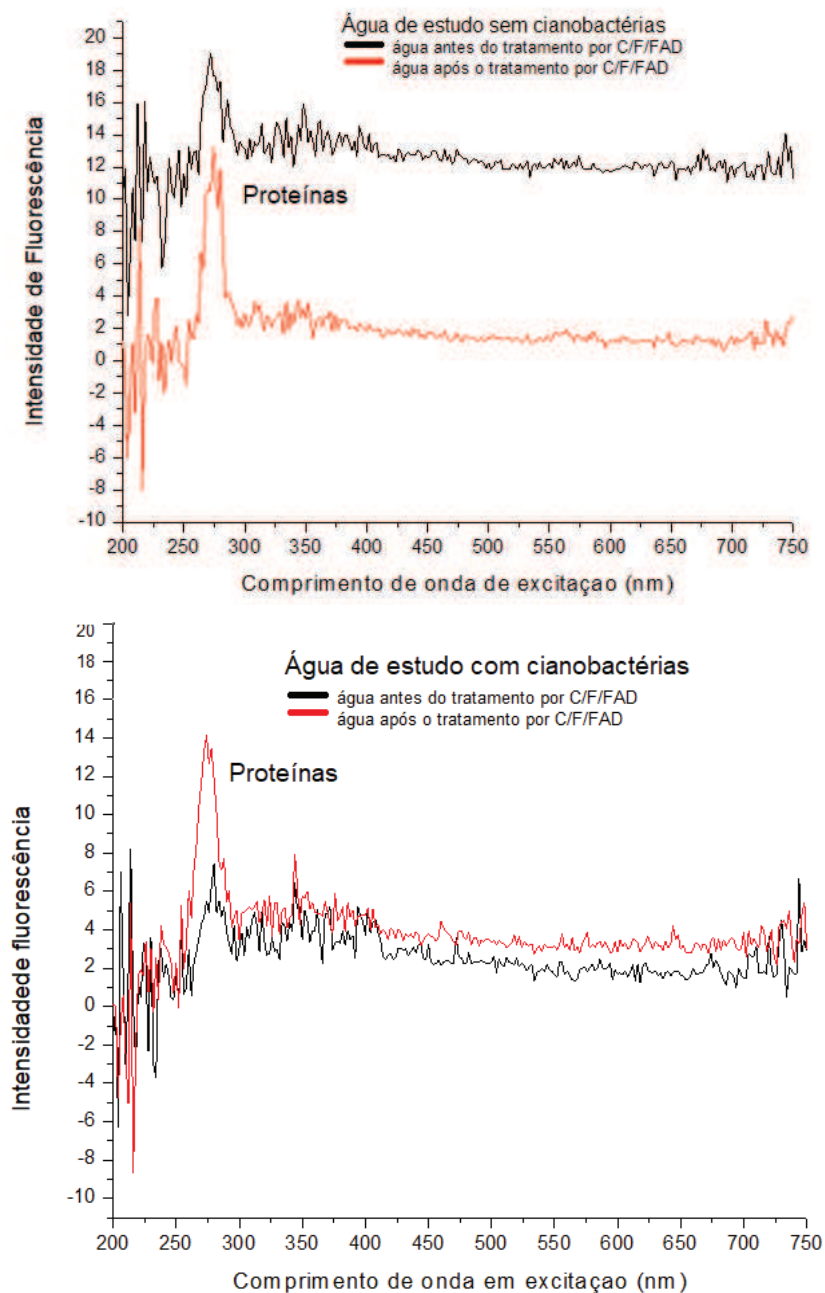
água de estudo sem as cianobactérias, nesta mesma área de emissão e excitação, não se verificou formação destes picos. De acordo com alguns autores, os pigmentos de cianobactérias são excitados em comprimentos de onda mais altos, com um máximo de excitação de 550-680 nm e com emissão de 640-680 nm, como verificado no presente estudo (ASAI et al., 2001; GREGOR; MARSÁLEK 2005; GREGOR, MARSÁLEK; SIPKOVÁ, 2006; PINTO et al., 2001).

Para complementar a interpretação dos gráficos de fluorescência, foram feitos os gráficos de espectroscopia de fluorescência sincronizada para a água de estudo sem e com cianobactérias, os quais são apresentados na Figura 26.

Analisando a Figura 26, pode-se verificar que a água de estudo, com ou sem a presença de cianobactérias, apresentou um pico na faixa de comprimento de onda de excitação de 275 nm - 300 nm, sugerindo que a água do manancial já continha uma concentração inicial de proteínas. Após o tratamento, houve um aumento considerável nesta faixa de excitação, que pode ser atribuída a proteína proveniente do coagulante natural. De acordo com o gráfico sincronizado, é possível sugerir que a faixa de comprimento de onda de 700 nm a 750 nm representa a presença de cianobactérias na água, visto que para a água de estudo sem as cianobactérias não houve a presença deste pico. Diante dos resultados apresentados, pode-se sugerir que as melhores remoções foram obtidas para as amostras que continham, na água inicial, a proporção de 50% de *M. aeruginosa* e 50% de *C. raciborskii*; no entanto, não foram observadas diferenças significativas nas remoções dos parâmetros avaliados, para as diferentes proporções celulares.

Henderson et al. (2008), em estudo avaliando a influência da *Asterionella formosa*, *Melosira* sp., *Microcystis aeruginosa* e *Chlorella vulgaris*, no processo de coagulação, observaram que quanto maior era a densidade celular, maior era a dosagem do coagulante requerida para um resultado eficiente de remoção celular. Esses resultados podem ser justificados, pois, em seu trabalho, os autores utilizaram o cultivo celular puro, o que pode sugerir um aumento da matéria orgânica extracelular (MOE), a qual pode interferir na etapa de coagulação.

**Figura 26** - Espectros de fluorescência sincronizada usados para analisar a fluorescência da matéria orgânica presente na água de estudo inicial e após o tratamento de C/F/FAD aplicando a proporção de coagulante de 75% do extrato salino de *Moringa oleifera* e 25% policloreto de alumínio



Segundo Henderson et al. (2010), a eficiência de remoção celular está mais correlacionada a carga elétrica da matéria ou microrganismo, do que com a morfologia celular propriamente dita. No estudo, os autores obtiveram uma remoção de 99% das células, controlando somente a estabilidade da emulsão, através do potencial zeta.

Barrado-Moreno; Beltran Heredia e Martín Gallardo (2015), avaliando a remoção de quatro diferentes algas pelo extrato salino (NaCl) de *Moringa oleifera*, verificaram que a concentração de algas afetava positivamente a porcentagem de remoção destas em um sistema de tratamento por C/F/FAD. Estes autores obtiveram, com o extrato salino de *M. oleifera*, uma remoção de 90% da clorofila *a* aplicando uma dosagem de 25 mg L<sup>-1</sup>. No presente trabalho, obteve-se uma eficiência de remoção celular de aproximadamente 99% das células, isso quando associando o coagulante natural ao químico.

Hoeger et al. (2004), avaliando em escala real as eficiências de remoção de três espécies de cianobactérias, verificaram que a estação de tratamento de água, utilizando o tratamento de C/F/Sedimentação, era capaz de remover 99% das células, não havendo diferença nas eficiências entres as espécies. O presente trabalho obteve eficiências de remoção semelhantes, no entanto, utilizando a flotação por ar dissolvido e a associação dos coagulantes.

Em todas as etapas do processo, as eficiências de remoção foram satisfatórias. Contudo, somente as etapas de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido não são suficientes para atender aos valores estabelecidos pela PRC Nº 5 – Anexo XX (BRASIL, 2017), segundo a qual, a água potável deve conter turbidez máxima de 1,0 uT, para filtração rápida e menor ou igual a 2,0 uT para filtração lenta; cor máxima de 0,5 uH para água filtrada por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), assim como o valor máximo permitido de 1,0 uH para água filtrada por filtração lenta; e valor máximo de alumínio residual de 0,2 mg L<sup>-1</sup>. Sendo assim, é importante acrescentar a etapa de filtração para melhorar a qualidade da água tratada e garantir o devido padrão de potabilidade.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 Conclusões

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que o extrato salino de *Moringa oleifera* apresentou-se como excelente coagulante para remoção dos parâmetros turbidez, cor e densidade celular, sendo a dosagem de 20 mg L<sup>-1</sup> a que resultou em melhores eficiências de remoção.

Para a segunda etapa dos ensaios, obtiveram-se resultados satisfatórios quando aplicadas as proporções dos coagulantes (extrato salino e PAC) para a remoção de células das cianobactérias estudadas, tendo-se obtido como melhor proporção a de 75% do extrato salino e 25% de PAC. Concluindo que a associação dos coagulantes pode ser aplicada para o tratamento por C/F/FAD.

Na terceira etapa do trabalho não foi verificada diferença significativa nas remoções de célula nas diferentes proporções avaliadas, podendo-se sugerir que a morfologia das espécies de cianobactérias estudadas não interferiu na etapa de coagulação.

Assim, conclui-se este trabalho, afirmando que dentre as hipóteses alternativas apontadas, apenas a hipótese H<sub>3</sub> é tida como nula, tendo em vista que não foi observada influência da morfologia da cianobactéria (filamentosa ou cocóide) ou da densidade celular de cianobactérias no processo de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido quando utilizado o extrato salino de *Moringa oleifera* associado ao PAC.

### 7.2 Recomendações

Diante da realização deste trabalho de pesquisa, podem-se considerar algumas sugestões:

- Avaliar a eficiência do processo aplicando-se as proporções dos coagulantes com outras espécies de cianobactérias;
- Avaliar o comportamento da matéria orgânica extracelular durante o processo de tratamento;

- Analisar o tratamento completo, com a filtração ao final, para verificar se haverá atendimento aos valores máximos permitidos na Legislação vigente;
- Analisar a remoção de toxinas no processo, assim como a ocorrência de lise celular durante o tratamento.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D. G. Heterocyst formation in cyanobacteria. **Curr. Opin. Microbiol.**, v. 3, n. 6, p. 618–624, 2000.

AMARAL, L. A.; ROSSI JÚNIOR, O. D.; SOARES E BARROS, L. S.; LORENZON, C. S.; NUNES, A. P. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleifera* e radiação solar. **Arq. Inst. Biol.**, v. 73, n. 3, p. 287-293, 2006.

AMARAL, P. A. P. D. **Utilização da flotação por ar dissolvido associada a microfiltração para remoção de cianobactérias em águas de abastecimento**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AWWA. Água: tratamento e qualidade. Rio de Janeiro: Ao **Livro Técnico**, 1964. 465p.

AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Ordination and evaluation of the water quality index for the creeks Rabo de Porco and Precuá, located in the Premium I Refinery area, municipality of Bacabeira (MA), Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, AHEAD, p. 1-9, 2016.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>a</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ARAGÃO-TAVARES, N. K. C.; MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. Cianobactérias planctônicas formadoras de florações em reservatórios do nordeste do Brasil. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 662-668, 2013.

ARAGÃO-TAVARES, N. K. C.; SEVERINO, J. S.; MOURA, A. N. Phytoplankton composition of the Itaparica and Xingó reservoirs, São Francisco River, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 75, n. 3, p. 616-627, 2015.

ASAI, R.; HORIGUCHI, Y.; YOSHIDA, A.; MCNUVEB, S.; TAHIRA, P.; IKEBUKURO, K.; UCHIYAMA, S.; MASUDA, Y.; KARUBE, I. Detection of phycobilin pigments and their seasonal change in Lake Kasumigaura using a sensitive in situ fluorometric sensor. **Anal Lett**, v. 34, n. 14, p. 2521-2533, 2001.

AWAD, M.; WANG, H.; LI, F. Preliminary study on combined use of *Moringa* seeds extract and PAC for water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 2, n. 8, p. 52-55, 2013.

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

AZEVEDO, S. M. F. O.; VASCONCELOS, V. M. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. **Medicina on-line**, v. 3, n. 1, p. 1-19, 1998.

BAKER, A.; ELLIOTT, S.; LEAD, J. R. Effects of filtration and pH perturbation on freshwater organic matter fluorescence. **Chemosphere**, v. 67, n. 10, p. 2035-2043, 2007.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* Lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.

BARRADO-MORENO, M. M.; BELTRAN-HEREDIA, J.; MARTÍN-GALLARDO, J. Microalgae removal with *Moringa oleifera*. **Toxicon**, v. 110, p. 68-73, 2015.

BARROSO, J. A. **Produção de Biomassa de Algas em Lagoas de Alta Taxa Alimentadas com Esgoto Sanitário com Posterior Separação por Flotação Por Ar Dissolvido**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

BEASLEY, V. R.; COOK, W. O.; DAHLEM, A. M.; HOOSER, S. B.; LOVELL, R. A.; VALENTINE, W. M. Algae intoxication in livestock and waterfowl. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 5, n. 2, p. 345-361, 1989.

BELÓ, A. **Comparação de floração de cianobactérias e níveis de parâmetros físicos, químicos e biológicos na represa de Alagados, Ponta Grossa – PR**. 2015. 168 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. **J. Hazard. Mat.**, v. 164, p. 713-719, 2009.

BICUDO, C. E. M; MENEZES, M. **Gêneros de Algas continentais do Brasil. Chave para identificação e descrições.** São Carlos: Ed. Rima, 489, 2005.

BINA, B.; MEHDINEJAD, M. H.; DALHAMMER, G.; RAJARAO, G.; NIKAEEN, M.; ATTAR, H. M. Effectiveness of *Moringa oleifera* coagulant protein as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 4, n. 7, p. 261-263, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria N° 1469, de 29 de Dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 Dez. 2000. (a)

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 274, de 29 de novembro de 2000. Revisa os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71. (b)

\_\_\_\_\_. **Cianobactérias tóxicas: impactos na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Portaria N° 518, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 Mar. 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 53, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Alterada pelas Resoluções n° 370, de 2006, n° 397, de 2008, n° 410, de 2009, e n° 430, de 2011. Complementada pela Resolução n° 393, de 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017. Dispõe sobre a Consolidação das normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União Nº 190, República Federativa do Brasil, DF, 03 out. 2017. Seção 1, Suplemento – p. 360.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de Maio de 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 – CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 mai. 2011. (b)

BONDY, S. C. Low levels of aluminum can lead to behavioral and morphological changes associated with Alzheimer's disease and age-related neurodegeneration. **Neurotoxicology**, v. 52, p. 222-229, 2016.

BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; NISHI, L.; COLDEBELLA, P. F.; VALVERDE, K. C.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R. Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* Lam with anionic polymer in water treatment. **Environ. Technol.**, v. 4, p. 1-10, 2014.

BRIAND, J. F.; LÉBOULANGER, C.; HUMBERT, J. F.; BERNARD, C.; DUFOUR, P. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming?. **Journal of Phycology**, v. 40, n. 2, p. 231-238, 2004.

CAMACHO, F. P.; STROHER, A. P.; MORETI, L. SILVA, F. A.; WURZLER, G. T.; NISHI, L. BERGAMASCO, R. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração. **E-xacta**, v. 5, n. 2, p. 127-138, 2012.

CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R.; TEIXEIRA, M. R. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 226-237, 2017.

CARISSIMI, E. **Desenvolvimento do reator gerador de flocos (GRF): aspectos teóricos e aplicações no tratamento e reúso de águas e efluentes**. 2007. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

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

CARSTEA, E. M. Fluorescence spectroscopy as a potential tool for in-situ monitoring of dissolved organic matter in surface water systems. In: **Water pollution**. InTech, 2012.

CARVALHO, L. R.; SANT'ANNA, C. L.; GEMELGO, M. C. P.; AZEVEDO, M. P. Cyanobacterial occurrence and detection of microcystin by planar chromatography in surface water of Billings and Guarapiranga Reservoirs, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 141-148, 2007.

CARVALHO, M. C.; AGUJARO, L. F.; PIRES, D. A.; PICOLI, C. **Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientação para o monitoramento e aspectos ambientais**. São Paulo: CETESB, 2013. 47 p.

CARVALHO, M. S. **Aplicação da *Moringa oleifera* na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e metabólitos por flotação por ar dissolvido seguida de filtração**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

CARVALHO, M. S.; ALVES, B. R. R.; SILVA, M. F.; BERGAMASCO, R.; CORAL, L. A.; BASSETTI, F. J.  $\text{CaCl}_2$  applied to the extraction of *Moringa oleifera* seeds and the use for *Microcystis aeruginosa* removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 304, p. 469-475, 2016.

CENTURIONE FILHO, P. L. **Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento**. 2002. 313 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. **London: Spon E & EN**, 1999.

COALIAR. Resolução nº 4 do comitê das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira – coaliar, 11 de julho de 2013.

COBLE, P. G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. **Marine Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 325-346, 1996.

COSTA, N. B. "**Dinâmica temporal das cianobactérias em um reservatório urbano hipereutrófico: uma abordagem morfológica e molecular.**" 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

CYANOSITE.BIO. Biological Sciences at Purdue University and by Wichita State University. Disponível em: <<http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/>>. Acessado em: 08 de agosto de 2017.

DAHL, C.; SOGAARD, A. J.; TELL, G. S.; FLATEN, T. P.; HONGVE, D.; OMSLAND, T. K.; HOLVIK, K.; MEYER, H. E.; AAMODT, G. Do cadmium, lead, and aluminum in drinking water increase the risk of hip fractures? A NOREPOS study. **Biol. Trace Elem. Res.**, v. 157, n. 1, p. 14-23, 2014.

DZULFAKAR, M. A.; SHAHARUDDIN, M. S.; MUHAIMIN, A. A.; SYAZWAN, A. I. Risk assessment of aluminum in drinking water between two residential areas. **Water**, v. 3, n. 4, p. 882-893, 2011.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. 878p. (Vol.1). (a).

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. 682p. (Vol. 2). (b).

DRIKAS, M.; HRUDEY, S.; Management of Cyanobacteria within raw water sources. In: STEFFENSEN, D. A.; NICHOLSON, B. C.; (eds.) Toxic Cyanobacteria Current Status of Research and Management. Proceed. of an internation. **Workshop**, Austrália, p.125-126, 1994.

DRIKAS, M. C.; CHRISTOPHER, W. K.; HOUSE, J; BURCH, M. D. Using coagulation, flocculation, and settling to remove toxic cyanobacteria. **Journal AWWA**, v. 93, n. 2, p. 100-111, 2001.

EDZWALD, J. K. Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants. **Water Science and Technology**, v. 27, n. 11, p. 21-35, 1993.

EDZWALD, J. K.; TOBIASON, J. E. Chemical principles, source water composition, and watershed protection. In: EDZWALD, J. K. (Editor). Water quality & treatment. A handbook on drinking water. **American Water Works Association (AWWA)**. 6ª edição, Mac Graw Hill, 2011.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos da limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação Química e Estrutural da Semente de *Moringa*. **Cien. Agron. Fortaleza**, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GARCIA, F. C. **Estudos ecológicos da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju no Lago Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil**. 2007. 89 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 39, n. 11, p. 2338-2344, 2005.

GREGOR, J.; MARSÁLEK, B. A simple in vivo fluorescence method for the selective detection and quantification of freshwater cyanobacteria and eukaryotic algae. **Acta Hydrochimica Hydrobiologica**, v. 33, n. 2, p. 142-148, 2005.

GREGOR, J.; MARSÁLEK, B.; SIPKOVÁ, H. Detection and estimation of potentially toxic cyanobacteria in raw water at the drinking water treatment plant by in vivo fluorescence method. **Water Research**, v. 41, n. 1, p. 228-234, 2007.

GOMES L. N. L., OLIVEIRA S. M. A. C., GIANI A., VON SPERLING E. Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. **Environ. Monit. Assess.**, v. 184, p. 4635- 4645, 2012.



GONZALEZ-TORRES, A.; PUTNAM, J.; JEFFERSON, B.; STUETZ, R. M.; HENDERSON, R. K. Examination of the physical properties of *Microcystis aeruginosa* flocs produced on coagulation with metal salts. **Water research**, v. 60, p. 197-209, 2014.

GORHAM, P. R.; MCLACHLAN, J.; HAMMER, U. T.; KIM, W. K. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lyng) de Breb. Verh. Int. Verein. **Limnol.**, v. 15, p. 796-804, 1964.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001. **PAST, versão 3.11.**

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bio-flocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, p. 310-317, 2016.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006.

HENDERSON, R. K.; PARSONS, S. A.; JEFFERSON, B. Successful removal of algae through the control of zeta potential. **Separation Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1653-1666, 2008.

HENDERSON, R. K.; PARSONS, S. A.; JEFFERSON, B. The impact of differing cell and algogenic organic matter (AOM) characteristics on the coagulation and flotation of algae. **Water research**, v. 44, n. 12, p. 3617-3624, 2010.

HENRY, R.; CURY, P. R. P. Influências de parâmetros climatológicos sobre alguns fatores físico-químicos da água na represa do Rio Pardo. (Botucatu-SP). **Rev. Bras. Biol.**, v. 41, n. 2, p. 209-306, 1981.

HOEGER, S. J.; SHAW, G.; HITZFELD, B. C.; DIETRICH, D. R. Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants. **Toxicon**, v. 43, n. 6, p. 639-649, 2004.

JIANG, J. Q.; GRAHAM, N. J. D. Enhanced coagulation using Al/Fe (III) coagulants: effect of coagulant chemistry on the removal of colour-causing NOM. **Environmental technology**, v. 17, n. 9, p. 937-950, 1996.



KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; DE AZEVEDO, J. C. R. Aplicabilidade de técnicas de espectroscopia e da concentração de carbono orgânico dissolvido na caracterização da matéria orgânica em rios urbanos. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 214-225, 2014.

KWAAMBWA, H. M.; RENNIE, A. R.; Interactions of surfactants with a water treatment protein from *Moringa oleifera* seeds in solution studied by zeta-potential and light scattering measurements. **Biopolymers**, v. 97, p. 209-218, 2011.

LAGOS, N.; ONODERA, H.; ZAGATTO, P. A.; ANDRINOLO, D.; AZEVEDO, S. M. F. Q.; OSHIMA I. The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* isolated from Brazil. **Toxicon**, v. 37, p. 1359-1373, 1999.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LETTERMAN, R. D.; AMIRTHARAJAH, A.; O'MELIA, C.R. Coagulation and Flocculation in: Water quality and treatment, **American Water Works Association**, 5<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Inc., 1999.

LIMA, N. M. **Aplicação da *Moringa oleifera* no tratamento de água com turbidez**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2015.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water, Air & Soil Pol.**, v. 211, n. 4, p. 409-415, 2010.

MARTYN, C. N.; BARKER, D. J.; OSMOND, C.; HARRIS, E. C.; EDWARDSON, J. A.; LACEY, R. F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. **Lancet**, v. 1, n. 8629, p. 59-62, 1989.

MELCHER, S. S. **Estudos morfológicos e moleculares de cianobactérias potencialmente tóxicas dos gêneros *Cylindrospermopsis Aphanizomenon* e *Raphidiopsis* (Nostocales)**. 2007. 204 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

METCALF; EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4<sup>a</sup> ed. New York: McGraw-Hill Companies, p. 1819, 2003.

MIRANDA, M.; NOYMA, N.; PACHECO, F. S.; DE MAGALHÃES, L.; PINTO, E.; SANTOS, S.; SOARES, M. F. A.; HUSZAR, V. L.; LURLING, M.; MARINHO, M. M. The efficiency of combined coagulant and ballast to remove harmful cyanobacterial blooms in a tropical shallow system. **Harmful Algae**, v. 65, p. 27-39, 2017.

MORETI, L. D. O. R.; CAMACHO, F. P.; BONGIOVANI, M. C.; STROHER, A. P.; NISHI, L.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R. Emprego das sementes de *Moringa oleifera* LAM, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **E-xacta**, v. 6, n. 1, p. 153-165, 2013.

MORETI, L. O. R.; CAMACHO, F. P.; COLDEBELLA, P. F.; VALVERDE, K. C.; SILVA, M.F.; ARAKAWA, F. S.; SANTOS, T. R. T.; SHIMABUKU, Q. L.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de remoção de *Dolichospermum flos-aquae* utilizando como coagulante natural pó integral da semente de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Tecnológica - Edição Especial**, p. 227-236, 2015a.

MORETI, L.; CAMACHO, F. P.; SILVA<sup>1</sup>, M. O.; NISHI<sup>1</sup>, L.; SILVA<sup>1</sup>, M. F.; BERGAMASCO<sup>1</sup>, R. comparação entre o teor lipídico do lodo gerado por *Anabaena flos-aquae* e *Chlorella vulgaris* nos processos de tratamento de água. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 2001-2008, 2015b.

MOTTA, A. C. V.; HOPPEN, C.; ANDREOLI, C. V.; TAMANINI, C. R.; FERNANDES, C. V. S.; PEGORINI, E. S.; SOCCOL, V. T. **Parecer técnico. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água**. Curitiba. UFPR, p. 43. 2005.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NISHI, L.; MADRONA, G. S.; GUILHERME, A. L. F.; VIEIRA, A. M. S.; ARAÚJO, A. A.; UGRI, M. C. B. A.; BERGAMASCO, R. Cyanobacteria removal by coagulation/flocculation with seeds of the natural coagulant *Moringa oleifera* Lam. **Chem. Eng. Trans.**, v. 24, p. 1129-1134, 2011.

OLIVEIRA, J. M. B. **Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de sedimentação e flotação: avaliação em escala de bancada**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ONG, L. J.; GLAZER, A. N. Phycoerythrins of marine unicellular cyanobacteria. I. Bilin types and locations and energy transfer pathways in *Synechococcus* spp. phycoerythrins. **Journal of Biological Chemistry**, v. 266, n. 15, p. 9515-9527, 1991.

PADISÁK, J.; REYNOLDS, C. S. Selection of phytoplankton associations in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. **Hydrobiologia, The Hague**, v. 384, p. 41-53, 1998.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PETERSON, H. G.; HRUDEY, S. E.; CANTIN, I. A.; PERLEY, T. R.; KENEFICK, S. L. Physiological toxicity, cell membrane damage and the release of dissolved organic carbon and geosmin by *Aphanizomenon flos-aquae* after exposure to water treatment chemicals. **Water Research**, v. 29, n. 6, pp. 1515-1523, 1995.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). goteo, microaspersión y exudación**. 3. ed. rev.y amp. Madrid: Mundi-Prensa. p. 513, 1996.

PRADO, N. S. **Avaliação em escala de bancada da eficiência da quitosana e do sulfato de alumínio na remoção de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* por sedimentação e da liberação e degradação de cianotoxinas em função do tempo de armazenamento do lodo**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Blucher. p. 340, 2009.

SAKER, M. L.; THOMAS, A. D.; NORTON, J. H. Cattle mortality attributed to the toxic Cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* in an outback region of the North Queensland. **Environmental Toxicology**, v. 14, n. 1, p. 179-182, 1999.

SHAN, T. C.; AL MATAR, M.; MAKKY, E. A.; ALI, E. N. The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal. **Applied Water Science**, v. 7, n. 3, p. 1369-1376, 2017.

SIDLER, W. A. Phycobilisome and phycobiliprotein structures. In: **The molecular biology of cyanobacteria**. Springer, Dordrecht, p. 139-216, 1994.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

SILVA, C. B. **Usos potenciais de *Moringa oleifera* Lam, uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido Nordeste**. 2012. 117f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2012.

SIVONEN, K.; JONE, G. Cyanobacterial toxins. In: Chorus, I.; Bartran, J. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. **E & FN SPON**, London, 55-124, 1999.

SIX, C. T.; GARCZAREK, J. C.; OSTROWSKI, M. L.; DUFRESNE, A.; BLOT, N.; PARTENSKY, F. Diversity and evolution of phycobilisomes in marine *Synechococcus* spp.: a comparative genomics study. **Genome biology**, v. 8, n. 12, p. R259, 2007.

SPENCER, R. G.; PELLERIN, B. A.; BERGAMASCHI, B. A.; DOWNING, B. D.; KRAUS, T. E.; SMART, D. R.; HERNES, P. J. Diurnal variability in riverine dissolved organic matter composition determined by in situ optical measurement in the San Joaquin River (California, USA). **Hydrological Processes**, v. 21, n. 23, p. 3181-3189, 2007.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with polyaluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects**, v. 260, p. 17-28, 2005.

SUMMONS, R. L.; JAHNKE, J. H.; HOPE, J. M.; LOGAN, G. A. 2-Methylhopanoids as biomarkers for cyanobacterial oxygenic photosynthesis. **Nature**, v. 400, p. 554-557, 1999.

TEIXEIRA, M. R.; ROSA, M. J. Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*: Part II. The effect of water background organics. **Separation and Purification Technology**, v. 52, n. 1, p. 84-94, 2006.

THAJUDDIN, N.; SUBRAMANIAN, G. Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology. **Current Science**, v. 89, n. 1, p. 47-57, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97 – 112. 2008.

VALVERDE, K. C.; DOS SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de clarificação da água bruta por meio de diagramas de coagulação, empregando a associação *Moringa oleifera* Lam e Cloreto Férrico. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 55-64, 2013.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; NISHI, L.; MADRONA, G. S.; CAMACHO, F. P.; SANTOS, T. R. T.; SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do tempo de degradação do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam. em pó no tratamento de água superficial. **E-xacta**, v. 7 n. 1, p. 75-82, 2014.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; NISHI, L.; SANTOS, T. R. T.; SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Otimização dos parâmetros de operação no processo de coagulação/floculação e sedimentação no tratamento de água com a associação PAC e *Moringa oleifera* Lam. **Engevista**, v. 17, n. 4, p. 491-499, 2015.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; SILVA, M. F.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Estudo da clarificação da água superficial por meio da associação dos agentes coagulantes *Moringa oleifera* Lam e policloreto de alumínio. **E-xacta**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2016.

WALSBY, A. E. Gas Vesicles. **Microbiol. Mol. Biol. Rev.** vol. 58; no. 1, p. 94-144; March 1994.

WATSON, S. B. Cyanobacterial and eukaryotic algal odour compounds: signals or byproducts? A review of their biological activity. **Phycol.**, v. 42, n. 4, p. 332-350, 2003.

WOJCIECHOWSKI, J. **Efeitos da Temperatura, Fósforo e Luz no crescimento da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju do reservatório de Alagados, Paraná.** 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ZABLONSKY, J. R. **Avaliação da remoção de cianobactérias e cianotoxinas de ambientes eutrofizados por coagulação e membranas filtrantes.** 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ZOHARY, T.; ROBERTS R.D. Hyperscums and the population dynamics of *Microcystis aeruginosa*. **Journal of Plankton Research**, v. 12, p. 423-432, 1990.

ZOSCHKE, K.; ENGEL, C.; BÖRNICK, H.; WORCH, E. Adsorption of geosmin and 2methylisoborneol onto powdered activated carbon at non-equilibrium conditions: Influence of NOM and process modelling. **Water Research**, v. 45, p. 4544-4550, 2011.

**APÊNDICE A - PROTOCOLO DE PREPARO DAS SOLUÇÕES ESTOQUE PARA O MEIO DE CULTIVO ASM-1**

<b>Solução A com Nitrogênio</b>	
Nitrato de sódio (NaNO <sub>3</sub> )	1,70 g
Sulfato de magnésio hepta-hidratado (MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	0,49 g
Cloreto de magnésio hexa-hidratado (MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O)	0,41 g
Cloreto de cálcio di-hidratado (CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)	0,29 g
Volume final da solução:	200 mL

<b>Solução B</b>	
Fosfato de potássio bibásico anidro (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	0,87 g
Fosfato de sódio monobásico mono-hidratado (NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O)	0,70 g
Volume final da solução:	100 mL

<b>Solução C</b>	
Ácido bórico (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	2,48 g
Cloreto de manganês tetra-hidratado (MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O)	1,39 g
Cloreto de ferro III hexa-hidratado (FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O)	1,08 g
Cloreto de zinco (ZnCl <sub>2</sub> )	0,333 g
Cloreto de cobalto hexa-hidratado (CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O)	0,019 g
Cloreto de cobre di-hidratado (CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)	0,0014 g
Volume final da solução:	100 mL

<b>Solução D</b>	
EDTA	1,86 g
Volume final da solução:	100 mL

<b>Para preparar 1 L de meio</b>	
Solução estoque A	20 mL
Solução estoque B	2,0 mL
Solução estoque C	0,1 mL
Solução estoque D	0,4 mL
<b>Completar com água destilada para 1 L e por fim ajusta o pH para 7</b>	

**APÊNDICE B - VARIAÇÃO DOS VALORES REFERENTES AOS PARÂMETROS INICIAIS AVALIADOS PARA CADA PROPORÇÃO CELULAR TESTADA NA TERCEIRA ETAPA.**

<b>Águas de estudo</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor (uH)</b>	<b>Abs<sub>254nm</sub> (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>COD (mg L<sup>-1</sup>)</b>
<b>Sem cianobactérias</b>	7,81	38,85	73,33	0,045	5,35
<b>100% <i>M. aeruginosa</i></b>	7,85	40,55	125,00	0,037	4,92
<b>75% <i>M. aeruginosa</i> 25% <i>C. raciborskii</i></b>	7,79	41,30	111,66	0,038	4,60
<b>50% <i>M. aeruginosa</i> 50% <i>C. raciborskii</i></b>	8,00	41,40	111,66	0,038	4,94
<b>25% <i>M. aeruginosa</i> 75% <i>C. raciborskii</i></b>	7,95	41,60	115,00	0,044	5,66
<b>100% <i>C. raciborskii</i></b>	7,74	41,85	108,33	0,040	7,96