



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
INSTITUTO DE BIOFÍSICA CARLOS CHAGAS FILHO – IBCCF
WALLACE ALBERTO DA SILVA DE ANDRADE

TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA REMOÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

RIO DE JANEIRO

2019

WALLACE ALBERTO DA SILVA DE ANDRADE

TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA REMOÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional de Formação para a Pesquisa Biomédica, Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Formação para a Pesquisa Biomédica

Orientador: Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo

Coorientação: Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

RIO DE JANEIRO

2019

CIP - Catalogação na Publicação

A553t Andrade, Wallace Alberto da Silva de
TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO
SEMENTES DE Moringa oleifera PARA REMOÇÃO DE
FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS / Wallace Alberto da
Silva de Andrade. -- Rio de Janeiro, 2019.
67 f.

Orientadora: Sandra Maria Feliciano de Oliveira
e Azevedo.

Coorientadora: Ana Claudia Pimentel de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas
Filho, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Biológicas, 2019.

1. Comunicação científica. 2. Tratamento
alternativo de água. 3. Universidade Federal do Rio
de Janeiro. I. Azevedo, Sandra Maria Feliciano de
Oliveira e, orient. II. Oliveira, Ana Claudia
Pimentel de, coorient. III. Título.

Wallace Alberto da Silva de Andrade

TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA REMOÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada ao Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Formação para a Pesquisa Biomédica.

Rio de Janeiro, 04 de junho de 2019.

Dr^a. Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo (Orientadora)
Professora Titular do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

Dr^a. Ana Cláudia Pimentel de Oliveira (Co-orientadora)
Professora TI – Universidade Castelo Branco

Dr^a Ana Beatriz Furlanetto Pacheco (Revisora)
Professora Adjunta do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

Dr. Ronaldo da Silva Mohana Borges
Professor Associado do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

Dr^a. Daniele Kasper
Professora Adjunta do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

Dr. Rodrigo Ornelas Meire
Professor adjunto do PROFBIO em Rede Nacional - UFRJ Campus Duque de Caxias

Rio de Janeiro

2019

Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano, sempre que alguém descobre esse poder algo antes considerado impossível se torna realidade.

Albert Einstein

Dedicatória

Dedico esta Dissertação de Mestrado à minha esposa Rosângela, a qual agradeço muito a Deus por ter em minha vida essa pessoa tão especial, que está sempre levantando o meu astral, pelo apoio nas horas difíceis, por me ouvir quando eu mais precisava desabafar, que me fez acreditar que posso ser capaz, quando eu já estava desistindo. Muito obrigado, meu amor!

A memória de meus pais Luiz e Myriam, pelo amor, dedicação e carinho sempre disponíveis e pela preciosa lição de que sem dignidade de caráter e sem luta por um ideal é impossível vencer.

Aos meus familiares e amigos, que acreditaram em mim, do início ao fim; por me apoiar quando as coisas não aconteciam exatamente como planejado; respeitar meu silêncio, concentração, principalmente nos momentos difíceis. Vocês nunca deixaram faltar nada, especialmente amor e generosidade.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelas coisas boas que recebo, por menor que elas sejam, sei que sempre tem o dedo de Deus em tudo.

A pessoa mais especial do mundo, minha esposa Rosângela, por todo amor, apoio e confiança que dedica a mim, por apoiar minhas ideias desde quando nos conhecemos.

A minha orientadora Sandra M.F.O Azevedo, pessoa a qual eu tive a honra de ser orientado, uma pessoa que com sua amizade, dedicação e paciência, sempre me incentivou a fazer o meu melhor, sempre com as palavras certas e sendo um exemplo de pessoa e profissional a ser seguido.

A minha coorientadora Ana C. P. de Oliveira, pela sua disponibilidade, pelo seu incentivo e igualmente pelo seu apoio na elaboração deste trabalho.

A todos os membros do Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias em especial, professora Valéria pela ajuda nas análises, Ricardo Guedes por toda ajuda nas coletas de campo, Roberta Guedes, Rogers, Mauro, Flávia, Alan, Daniel, César e Thiago pelas ideias para o trabalho e a amizade.

A todos os amigos que participaram dessa etapa importante da minha vida agradeço a cada um de vocês.

Obrigado!!

TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA REMOÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

RESUMO

A *Moringa oleifera* é um vegetal originário da Índia já bem estudado e reconhecido pelo seu alto valor nutricional, bem como pela capacidade de suas sementes de atuarem como coagulante no tratamento de água. Atualmente existem na literatura diversos estudos que comprovam a capacidade das sementes de *Moringa oleifera* na remoção de florações de cianobactérias. O objetivo desse trabalho foi verificar a eficiência de um tratamento alternativo de água, para remoção de florações de cianobactérias e outros contaminantes microbiológicos, buscando-se propor uma metodologia simples e eficiente para o tratamento de água em situações de saneamento básico convencional inadequado. A partir da aplicação de três concentrações de sementes trituradas e peneiradas de *M. oleifera* (10, 25 e 100 mg/L), inicialmente foi realizado um experimento com equipamento jar-test, utilizando células em cultivo da espécie *Microcystis aeruginosa* (cepa NPLJ-4). Para verificar a eficiência do processo foram testados diferentes valores de pH entre 5 e 9, onde em tempos distintos (1, 6, 24 e 48 horas) foram analisadas turbidez (UNT), concentrações de clorofila-*a* e microcistinas. Em seguida, utilizando diferentes concentrações de sementes moídas e peneiradas de moringa (25, 50 e 100 mg/L), foram realizados dois experimentos com água bruta contendo floração natural, coletadas no reservatório do Funil (RJ). Para avaliar a eficiência das sementes, em tempos distintos (6 e 24 h), foram realizadas no primeiro experimento as análises de turbidez (UNT), concentração de clorofila-*a* e microcistinas, já no segundo, foram analisadas turbidez (UNT), coliformes totais e *Escherichia coli*. Embora os resultados para a remoção de coliformes totais e *E. coli* não tenham sido eficientes, os resultados mostraram que as sementes trituradas e peneiradas de *M. oleifera* podem ser utilizadas como tratamento alternativo para melhorar a qualidade de água bruta contendo floração natural de cianobactérias, no entanto, recomenda-se que após o tratamento com as sementes, a água seja filtrada e clorada antes de consumo.

Palavras-chave: Tratamento alternativo de água, *Moringa oleifera*, florações de cianobactérias, microcistinas, clorofila-*a*, coliformes totais, *Echerichia coli*, turbidez, qualidade de água.

Abstract

Moringa oleifera is a plant species native from India that has been well studied and recognized for its high nutritional value. The ability of its seeds also is known to act as a coagulant of water impurities. Currently, several studies prove the capacity of *Moringa oleifera* seeds to remove cyanobacteria blooms. The objective of this study was to verify the efficiency of *M. oleifera* seeds as an alternative water treatment for removal of cyanobacteria blooms and other microbiological contaminants. The final aim was to propose a simple and efficient methodology for the treatment of water in situations of inadequate conventional basic sanitation. Initially, an experiment was performed with jar-test equipment, using cells from the *Microcystis aeruginosa* species (NPLJ-4 strain). To verify the efficiency of the process, three concentrations of ground and sieved seeds of *M. oleifera* (10, 25 and 100 mg/L) were tested using water with different pH values (5 to 9). Water samples were harvested at various intervals (1, 6, 24 and 48 hours) to determine turbidity (uT), concentration of chlorophyll-a and microcystins. Two other experiments were performed using raw water containing a natural cyanobacterial bloom from Funil reservoir (RJ). In both experiments, the concentration of the ground and sieved moringa seeds were 25, 50, or 100 mg/L. In the first experiment, the efficiency of the seeds was measured by the turbidity values (uT), chlorophyll-a and microcystins concentration at two intervals (6 and 24h). For the second experiment, variations of turbidity (uT), total coliforms, and *Escherichia coli* were analyzed. The removal of total coliforms and *E. coli* was not efficient. But the results showed that seeds of *M. oleifera* can be used as an alternative treatment to improve the quality of raw water containing natural cyanobacteria blooms. However, after the treatment with the seeds, the water needs to be filtered and chlorinated before consumption.

Keywords: Alternative treatment of water, *Moringa oleifera*, blooms of cyanobacteria, microcystins, chlorophyll-a, coliforms, *Escherichia coli*, turbidity, water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotos retiradas no dia 10 de janeiro de 2019 demonstrando floração apresentada no local de coleta das amostras (Reservatório do Funil-RJ).	18
Figura 2: <i>Moringa oleifera</i>	22
Figura 3: Estrutura utilizada para realização do experimento com floração natural.	27
Figura 4: Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.....	35
Figura 5: Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	36
Figura 6: Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	36
Figura 7: Concentrações de Clorofila-a (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	39
Figura 8: Concentrações de Clorofila-a (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	39
Figura 9: Concentrações de Clorofila-a (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	40
Figura 10: Concentrações de microcistinas (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção	

de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	42
Figura 11: Concentrações de microcistinas (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	43
Figura 12: Concentrações de microcistinas (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>Microcystis aeruginosa</i> e de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.	43
Figura 13: Resultado do tratamento dado à floração de <i>Microcystis aeruginosa</i> amostrada na lagoa de Jacarepaguá após a adição de diferentes concentrações de sementes de <i>Moringa oleifera</i> , após 03 horas de contato...	44
Figura 14: Resultado do tratamento dado à floração de <i>Microcystis aeruginosa</i> amostrada na lagoa de Jacarepaguá após a adição de diferentes concentrações de sementes de <i>Moringa oleifera</i> , após 24 horas de contato....	45
Figura 15: Imagem de microscopia óptica de amostra de água do reservatório do Funil (RJ) mostrando colônia de células de <i>Microcystis</i> – A ; filamento de <i>Dolichospermum</i> – B e colônia de <i>Microcystis</i> e filamento de <i>Dolichospermum</i> – C	46
Figura 16: Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 1, após 6 horas de adição das sementes.	47
Figura 17: Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 1, após 24 horas de adição das sementes.	48
Figura 18: Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25, 50 e 100 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de floração com densidade celular de 10^6 células/mL em diferentes tempos amostrais.	48
Figura 19: Valores de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), após 6 e 24 horas de adição das sementes, analisado na condição controle e no tratamento com 100 mg/L de sementes moídas e peneiradas de <i>M. oleifera</i>	50
Figura 20 – Valores de microcistinas ($\mu\text{g/L}$), após 24 horas de adição das sementes, analisado na condição controle e no tratamento com 100 mg/L de sementes moídas e peneiradas de <i>M. oleifera</i>	51

Figura 21: Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2 , antes da adição das sementes.	52
Figura 22: Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2 , com resultados obtidos após 6 horas de adição das sementes.	52
Figura 23: Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2 , com resultados obtidos após 24 horas de adição das sementes.	52
Figura 24: Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25, 50 e 100 mg/L de sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de floração com densidade celular de $1,8 \times 10^5$ células/mL e turbidez de 101 UNT, nos diferentes tempos amostrais.	53
Figura 25: Análise da presença de coliformes totais na amostra inicial (A) da água coletada no Reservatório do Funil; após 6h com 100 mg/L de sementes (B) e após 24 h com 50 mg/L de sementes (C)	54
Figura 26: Análise da presença de <i>E. coli</i> na amostra inicial (A) da água coletada no Reservatório do Funil; após 6h com 100 mg/L de sementes (B) e após 24 h com 50 mg/L de sementes (C)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Painel de saneamento no Brasil.	20
Tabela 2: Quadro resumo dos experimentos realizados.	32
Tabela 3: Dados referentes aos percentuais de redução de turbidez em relação ao controle, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>M. aeruginosa</i>	34
Tabela 4: Dados referentes aos percentuais da redução da concentração de clorofila-a em relação ao controle nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>M. aeruginosa</i>	38
Tabela 5: Dados referentes aos percentuais de remoção de microcistinas, em relação à condição controle, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de <i>M. oleifera</i> para a remoção de 10^6 células/mL de <i>M. aeruginosa</i>	40
Tabela 6: Valores de turbidez da água durante o tratamento dado à floração de <i>Microcystis aeruginosa</i> amostrada na lagoa de Jacarepaguá, após a adição de diferentes concentrações de sementes de <i>Moringa oleifera</i> , após 03 e 24 horas de contato.	45
Tabela 7: Dados referentes aos percentuais de redução de turbidez, em relação ao controle, com amostra de água coletada no reservatório do Funil, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de <i>M. oleifera</i> , para a remoção de 10^6 células/mL de Cianobactérias.	48
Tabela 8: Dados referentes aos percentuais de remoção de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), em relação ao controle, com amostra de água coletada no reservatório do Funil, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de <i>M. oleifera</i> , para a remoção de $4,8 \times 10^6$ células/mL de Cianobactérias.	49
Tabela 9: Dados referentes aos percentuais de redução de turbidez (UNT), em relação à condição controle, durante o segundo experimento realizado no Reservatório do Funil, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes moídas de <i>M. oleifera</i> para a remoção de cianobactérias.	53

Tabela 10: Dados referentes às análises de remoção de coliformes totais, em relação à condição controle, realizado no tratamento que apresentou o melhor resultado para redução turbidez em cada tempo amostral.	56
Tabela 11: Dados referentes às análises de remoção de <i>E. coli</i> , em relação à condição controle, realizados no controle e o tratamento que apresentou o melhor resultado para turbidez em cada tempo amostral.	56

LISTA DE ABREVIATURAS e SIGLAS

M. oleifera – *Moringa oleifera*

M. aeruginosa – *Microcystis aeruginosa*

E.coli – *Escherichia coli*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMS – Organização Mundial da Saúde

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

CEGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

IBCCF – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Cianobactérias	18
1.2 tratamento convencional de água	20
1.3 Coagulantes naturais	21
1.4 <i>Moringa oleifera</i>	22
2. OBJETIVOS	24
2.1 - Objetivo geral	24
2.2 - Objetivos específicos	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 – Obtenção de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	25
3.2 - Cultivo de <i>M. aeruginosa</i>	25
3.3 - Coleta de água em ambientes naturais	26
3.4 - Parâmetros analisados	27
3.4.1 - Turbidez	27
3.4.2 - Clorofila	27
3.4.3 - Concentração de Microcistinas	28
3.4.4 - Coliformes totais e <i>E. coli</i>	28
3.4.5 - Composição do fitoplâncton	29
3.5 - Análise estatística	29
3.6 - Desenho experimental	29
3.6.1 - Uso de sementes de <i>M. oleifera</i> para promover a coagulação das células <i>Microcystis aeruginosa</i> e remoção de microcistinas.	29
3.6.2. Experimento utilizando florações naturais de cianobactérias	30
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 – Uso de sementes de <i>M. oleifera</i> para promover a coagulação das células em cultivo de <i>Microcystis aeruginosa</i> e remoção de microcistinas	33
4.1.1 - Valores de turbidez	33
4.1.2 – Concentração de Clorofila-a	37
4.1.3 – Concentração de microcistinas	40

4.2 - Uso de sementes de <i>M. oleifera</i> para promover a coagulação, floculação e sedimentação de floração natural de cianobactérias da Lagoa de Jacarepaguá.	44
4.2.1 – Água bruta da Lagoa de Jacarepaguá	44
4.3 Uso de sementes de <i>M. oleifera</i> para promover a floculação, coagulação e sedimentação de células de cianobactérias, coliformes totais e <i>E. coli</i> de amostra de água do Reservatório do Funil.	46
4.3.1- Água bruta do Reservatório do Funil.	46
4.3.2 - Valores de turbidez	47
4.3.3 - Concentração de Clorofila- <i>a</i>	49
4.3.4 - Concentração de microcistinas	50
4.3.5 - Análise de Coliformes totais e <i>E. coli</i>	54
Manual didático, para tratamento alternativo de água utilizando sementes de <i>Moringa oleifera</i> para remoção de florações de cianobactérias.	57
5. CONCLUSÕES	60
Referências	61

1 – Introdução

1.1 - Cianobactérias

Cianobactérias são microrganismos procariotos fotossintetizantes que em razão de sua longa história evolutiva (primeiros registros fósseis de cianobactérias datados em 3,5 bilhões de anos) foram capazes de colonizar praticamente todos os ecossistemas do planeta (Whitton e Potts, 2000 apud MOLICA e AZEVEDO, 2009). Existem cianobactérias planctônicas, bentônicas, terrestres e até em simbiose com plantas e animais. Além disso, apresentam uma distribuição geográfica bastante ampla, o que se reflete na diversidade genotípica e fenotípica do grupo.

A presença de florações de cianobactérias e seus subprodutos em rios, lagos e reservatórios destinados ao abastecimento público interfere diretamente na qualidade da água, podendo ter efeitos negativos, tanto de ordem estética e organoléptica, pela produção de cor, odor e sabor, como de saúde pública, devido à produção de compostos potencialmente tóxicos e carcinogênicos (SÁ *et al.*, 2010)



Figura 1 – Fotos retiradas no dia 10 de janeiro de 2019 mostrando floração no local de coleta das amostras (Reservatório do Funil-RJ)

Alguns gêneros de cianobactérias são capazes de produzir metabólitos secundários altamente prejudiciais à saúde humana e de animais. Estas toxinas têm sido classificadas, de acordo com os sintomas observados em vertebrados, em hepatotoxinas (microcistinas e nodularina), neurotoxinas (anatoxina-a, anatoxina-a(S), saxitoxinas e β -Metilamino-L-alanina - BMMA), citotoxinas (cilindropermopsina) e dermatotoxinas (lygbyatoxina e aplysiatoxinas) (Dittmann, Fewer e Neilan, 2013).

As cianotoxinas podem afetar a saúde humana, por ingestão de água contendo essas toxinas, por contato em atividades de recreação no ambiente aquático ou por consumo de peixes contaminados (VEIGA, 2008). A ingestão de água contaminada por cianotoxinas pode acarretar distúrbios orgânicos de distintas naturezas. Em caso de acesso direto à corrente sanguínea a sua atuação pode ser fatal, como demonstrou o conhecido caso dos pacientes de uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru, Pernambuco em 1996 (VIANA-VERONEZI *et al.* 2009). Azevedo *et al.* (2002), relataram que dos 123 pacientes, 116 apresentaram sintomas relacionados à intoxicação por microcistinas, com 54 mortes até cinco meses após os primeiros indícios, causados por falência das funções hepáticas.

Segundo Sivonen (2009), as cianotoxinas são produzidas e armazenadas no interior das células das cianobactérias produtoras. A liberação das toxinas para o ambiente, na forma de toxina dissolvida, ocorre com a morte, lise ou senescência das células. As toxinas extracelulares diluem-se rapidamente pela massa d'água, principalmente quando há mistura da água pela ação de ventos e correntes. Entretanto, a concentração de cianotoxinas na água pode ser muito alta, quando a floração está na fase de senescência.

Em dezembro de 2000, o Ministério da Saúde publicou a Portaria nº 1.469, que dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dentre os parâmetros a serem monitorados, a referida Portaria determinou, de forma inédita, a obrigatoriedade do monitoramento de cianobactérias e microcistinas na água bruta captada e na água distribuída para consumo humano. Recentemente, esse procedimento foi reforçado com a publicação da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, onde, em seu Artigo 29, anexo XX, estende ao Sistema Único

de Saúde (SUS), com base na legislação atual, Portaria-MS 2.914/11, o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

O tipo mais comum de intoxicação envolvendo cianobactérias é ocasionado por hepatotoxinas, que apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte num intervalo de poucas horas a poucos dias (Molica e Azevedo 2009), destacando-se as microcistinas – MICYSTs (Kuroda *et al* 2005). Por isso, são necessárias ações de controle da qualidade da água destinada ao abastecimento público, tendo em vista, que a ocorrência de florações de cianobactérias vem sendo observada em diversos corpos hídricos.

1.2 - Tratamento convencional da água

Em todo o mundo, cerca de três em cada 10 pessoas (2,1 bilhões) não têm acesso a água potável e disponível em casa e seis em cada 10, ou 4,5 bilhões, carecem de saneamento seguro, de acordo com novo relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). A contaminação das águas naturais representa um dos principais riscos à saúde pública, sendo amplamente conhecida a estreita relação entre a qualidade de água e inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento (Libânio, Chernicharo e Nascimento 2005).

De acordo com o site Trata Brasil (2019), 83,5% dos brasileiros são atendidos com o abastecimento de água tratada (tabela 1), de modo que os dados registram um menor percentual de atendimento nas regiões Norte (57,49%) e Nordeste (73,25%). Já as regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste apresentam cobertura maior, onde de acordo com os dados correspondem a 89,68%, 90,13% e 91,25%, respectivamente.

Tabela 1 – Painel de saneamento no Brasil (Site Trata Brasil, acessado em 04 de junho de 2019)

População do Brasil (IBGE/2017)	(SNIS / 2017)		
	207.660.929 (pessoas)	Pessoas sem acesso à água 33.274.514	População sem coleta de esgoto 95.775.598
	Parcela da População sem acesso à água 16,6 %	Parcela da População sem coleta de esgoto 47,6 %	Esgoto tratado sobre água consumida 45,1 %

O tratamento de águas naturais para abastecimento público, segundo Lima (2015), consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente prejudiciais à saúde humana, aos menores custos de implementação, operação e manutenção, gerando o menor impacto ambiental ao entorno.

As cianotoxinas podem ser removidas da água durante o tratamento por uma variedade de métodos, como por exemplo, a filtração por membrana (TEIXEIRA e ROSA 2005; GIJSBERTSEN-ABRAHAMSE *et al.* 2006), adsorção em carvão ativado (HUANG, *et al.*, 2007), oxidação por permanganato (RODRÍGUEZ *et al.* 2007) e ozonização (ONSTAD *et al.* 2007). No entanto, os métodos de tratamento convencionais, quando utilizados isoladamente, não são capazes de remover completamente as cianotoxinas. Diante disso, quando diferentes métodos de tratamento são combinados, a eliminação das cianotoxinas torna-se um processo complexo e caro.

Segundo Coral, Bergamasco, e Bassetti (2009), nos sistemas de tratamento de água convencionalmente são empregados coagulantes inorgânicos, constituídos por sais de ferro e alumínio, como o sulfato de alumínio - $Al_2(SO_4)_3$, sulfato férrico - $Fe_2(SO_4)_3$ e o cloreto férrico - $FeCl_3$. Estes coagulantes são efetivos para remoção de uma ampla variedade de impurezas na água, incluindo partículas coloidais e substâncias orgânicas dissolvidas. De acordo com Lo Monaco *et al.* (2010), no Brasil o sulfato de alumínio destaca-se como o coagulante químico mais utilizado no tratamento de água para o abastecimento público, em razão da alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e pelo relativo baixo custo para a sua aquisição. No entanto, seu uso pode tornar-se inviável, uma vez que o lodo gerado é muito rico em alumínio, o que dificulta a sua disposição final no meio ambiente.

Contudo, esse método convencional de tratamento não é aconselhável quando se verifica a presença de uma floração intensa por levar à lise celular das cianobactérias e posterior liberação das cianotoxinas para a fração dissolvida. A cloração, a adsorção de carvão ativado ou a ozonização podem ser aplicadas para eliminar as cianotoxinas dissolvidas (PAN *et al.*, 2011).

1.3 - Coagulantes naturais

Amagloh & Benang (2009), afirmam que o método convencional de tratamento de água utilizando coagulantes à base de sais de ferro ou alumínio pode tornar inviável

o tratamento de água em países em desenvolvimento, devido à necessidade de importar tais produtos, o que torna o processo caro e além do alcance de populações de comunidades pequenas. Para regiões menos favorecidas e com carência de sistemas de tratamento de água e saneamento, um dos tratamentos recomendados para melhoria da qualidade da água é o uso de coagulantes naturais, que podem ser obtidos de plantas. São várias as espécies de plantas utilizadas, das quais destacam-se as plantas das famílias: *Papilionideae*, *Cactaceae*, *Capparidacea*, *Moringaceaea*, *Tiliaeae*, *Anacardiaceae*, *Malvaceae*, *Annonaceae*, *Acanthaceae*, *Araceae* (MENDES; COELHO, 2007).

1.4 *Moringa oleifera*

Muito comum no Nordeste do Brasil, a espécie *Moringa oleifera* (Figura 2), pertencente à família *Moringaceae*, é uma planta de múltiplos usos, originária da Índia, que alcança em torno de 10m de altura, sendo denominada de “Árvore Milagrosa” pois possui altos teores de proteínas, carboidratos, potássio, ferro, cobre e vitaminas A e C, além de todos os aminoácidos necessários aos seres vivos (GONÇALVES; PASA, 2010). Na região do Nordeste brasileiro, a *M. oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é “Quiabo de Quina” (OKUDA, BAES, NISHIJIMA, e OKADA, 1999).



Figura 2 – *Moringa oleifera* - A; folhas – B; flor – C; vagem – D e sementes - E

As sementes de *M.oleifera* possuem propriedades coagulantes, uma vez que contêm proteínas solúveis em água que podem ser utilizadas para tratamento de água potável ou águas residuais. Para Ndabigengesere, Narasiah, e Talbot (1995), a propriedade coagulante se deve à presença da pectina, uma proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e coagula os colóides.

De acordo com Amagloh e Benang (2009), o coagulante à base de sementes de *M.oleifera*, por ser de origem natural, apresenta melhor desempenho quando comparado ao coagulante químico, sulfato de alumínio - $Al_2(SO_4)_3$, principalmente para pequenas comunidades, uma vez que pode ser preparado no mesmo local. Os extratos das sementes também demonstraram ter propriedades antimicrobianas para várias bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli* (ASHRAF *et al.*, 2008; VIERA *et al.*, 2010). Além disso, apresenta função larvicida (DE OLIVEIRA *et al.*, 2016), potencial analgésico e atividade anti-inflamatória (MARTÍNEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2017), e ação antioxidante (WANG *et al.*, 2017)

De acordo com Ali *et al.*, (2010), os coagulantes de ocorrência natural geralmente são considerados seguros para a saúde humana. Para Bongiovani, Valverde, e Bergamasco (2013), o uso das sementes de *M.oleifera* para a purificação de água é uma alternativa econômica viável.

Segundo Nishi *et al.* (2011), a utilização de sementes de *M.oleifera* no tratamento de água apresentou eficiências na remoção de turbidez e cor de até 97,4% e 99,2%, respectivamente, especialmente para água com alta turbidez inicial (350 e 450 uT), e com altas concentrações de sementes de moringa (175 – 200 mg/L). Além disso, o processo de coagulação / floculação com sementes de *M.oleifera* deu resultados satisfatórios na redução do número de células de cianobactérias com densidade que variou de $1,0 \times 10^5$ a $2,0 \times 10^6$ células/mL, apresentando remoção de até 91%. Já de acordo com Moreti *et al.* (2016), a utilização de sementes de *M.oleifera* foi eficiente, removendo quase todas as células de *Anabaena flos-aquae* (96,4%) com densidade inicial de 10^4 células/mL. A variação da concentração de coagulante mostrou que houve uma diferença estatística entre as dosagens e que 100 mg L^{-1} forneceu a melhor eficiência de remoção (96,4%, 80,5% e 78,1%) dos parâmetros testados que foram: clorofila, cor e turbidez, respectivamente.

De acordo com Nishi *et al.* (2012), a coagulação / floculação com moringa pode ser aplicada à água com alta turbidez, apresentando alta remoção de cor, turbidez e células de *Microcystis* sp., atingindo mais de 99% quando este processo for

combinado com ultra filtração. Entretanto, não se tem conhecimento de trabalhos semelhantes para as condições brasileiras.

Portanto, *M. oleífera* é uma alternativa viável para reduzir o uso de coagulantes inorgânicos na clarificação de águas superficiais, o que representa uma boa opção sustentável para o gerenciamento no tratamento de água (CAMACHO, SOUSA, BERGAMASCO e RIBAU TEIXEIRA, 2017).

Frente a essas informações e considerando que em muitas áreas rurais e de pequenas comunidades brasileiras ainda é muito precário o acesso ao saneamento básico, e que o acesso à água potável é um fator limitante para a saúde de grande número de pessoas e que muitas vezes a presença de florações de cianobactérias é o principal fator comprometedor da qualidade da água, o trabalho aqui proposto visará otimizar um método fácil e eficiente para a remoção de células de cianobactérias da água bruta e posterior produção de água potável.

2. OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Verificar a eficiência de um tratamento alternativo de água para remoção de células de *Microcystis aeruginosa*, florações de cianobactérias, cianotoxinas e outros contaminantes microbiológicos com a aplicação de sementes de *M.oleífera*, buscando-se propor uma metodologia simples e eficiente para a coagulação da água em situações de saneamento básico convencional inadequado.

2.2 - Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar a eficiência das sementes de *M. oleífera* para a remoção de células de *Microcystis aeruginosa*.
- ✓ Avaliar a eficiência das sementes de *M. oleífera* para a remoção de florações de cianobactérias.
- ✓ Avaliar a eficiência das sementes de *M. oleífera* para a remoção de turbidez da água.
- ✓ Avaliar a eficiência das sementes de *M. oleífera* para a remoção de cianotoxinas.

- ✓ Avaliar a eficiência das sementes de *M. oleifera* para a remoção de coliformes totais e *E. coli*.
- ✓ Propor um manual didático, para tratamento de água utilizando sementes moídas e peneiradas de *M. oleifera*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Obtenção de sementes de *M. oleifera*

As sementes de *M. oleifera*, que foram gentilmente cedidas por pessoal técnico da CEGECE, foram descascadas, trituradas e peneiradas em rede de malha 0,21mm para posterior uso experimental. As concentrações de sementes de *M. oleifera* testadas variaram de 10 mg/L a 1000 mg/L conforme o experimento, sendo o peso médio de uma semente de 100 mg.

3.2 - Cultivo de *M. aeruginosa*

Uma linhagem da espécie *Microcystis aeruginosa* (NPLJ-4), mantida no banco de linhagens do Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias (IBCCF, UFRJ) foi utilizada nos experimentos. Esta foi isolada da Lagoa de Jacarepaguá (RJ), já tendo sido confirmada como produtora de microcistinas. Esta cepa vem sendo cultivada em condição monoespecífica, em meio ASM-1, pH 8,0 (Gibson & Smith, 1982), sob intensidade luminosa de 55 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas. Ao atingir a fase exponencial de crescimento (de 15 a 20 dias de cultivo), as células foram concentradas através de um filtrador tangencial, logo após esse concentrado de célula teve a sua densidade celular determinada através de contagem em microscópio ótico, e este concentrado utilizado nos testes descritos a seguir. Todos os testes foram realizados em triplicatas.

A escolha de *M. aeruginosa* foi baseada no fato desta ser uma das espécies de cianobactéria de maior ocorrência em florações em ecossistemas de água doce brasileiros. A densidade de *M. aeruginosa* testada foi de 10^6 células/mL, buscando simular a condição de uma densa floração.

3.3 - Coleta de água em ambientes naturais

Para o experimento com a linhagem NPJL-4, a água bruta utilizada foi coletada em um manancial considerado de boa qualidade, localizado no Clube dos Macacos-RJ (22°96' e 71°97'S; 43°23' e 97°44'W), cujo o nome é originário do rio dos Macacos que nasce na Floresta da Tijuca e banha os fundos da área do Clube. Foram coletados 120 litros de água da superfície em galões plásticos de 20 litros, sendo em seguida armazenados em geladeira até a realização dos experimentos.

Para a realização de um experimento piloto com água de um ambiente com floração, foi coletada água da lagoa de Jacarepaguá, uma lagoa salobra com ocorrências de florações de cianobactérias reportadas desde a década de 90 (Fernandes 1993). A coleta foi realizada em julho de 2017, onde 10 litros de água foram coletados da subsuperfície com um balde de 5 litros e acondicionadas em um galão plástico de 20 litros e mantidos em geladeira até a realização do experimento no dia seguinte. A lagoa de Jacarepaguá pertence ao complexo lagunar de Jacarepaguá, que possui 130km² de extensão e é formado por três lagoas principais alongadas: Jacarepaguá, Tijuca e Marapendi, e pela lagoa de Camorim (Domingos 2001). O complexo localiza-se na planície Costeira de Jacarepaguá, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro (43°17' e 43°30'W; 22°55' e 13°00'S) (Gomes *et al* 2009). Ela apresenta uma área de 3,7Km², profundidade média de 3,3m e comunica-se com o mar através das lagoas do Camorim, da Tijuca e do canal artificial da Joatinga (Domingos 2001).

Para testar a eficiência das sementes na remoção de uma floração de cianobactérias e outros contaminantes, como coliformes totais e *E. coli*, amostras de água foram coletadas no reservatório do Funil nos dias 09 de janeiro e 25 de março de 2017. O reservatório está situado no município de Resende-RJ, e é formado pelo Rio Paraíba do Sul na divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Sua bacia de drenagem é de cerca de 16.680km², a maior parte da qual situada em território paulista. O lago do reservatório possui cerca de 40km² e uma profundidade média de 22m e máxima de 70m na área próxima à barragem. Este reservatório vem apresentando intensas florações de cianobactérias há mais de 3 décadas, sendo algumas espécies potencialmente produtoras de toxinas (FERRÃO-FILHO *et al.*, 2009) (figura 1). Em cada amostra foram coletados 25 litros de água da superfície em

galões plásticos de 20 litros, sendo em seguida armazenados em geladeira até a realização dos experimentos no dia seguinte.

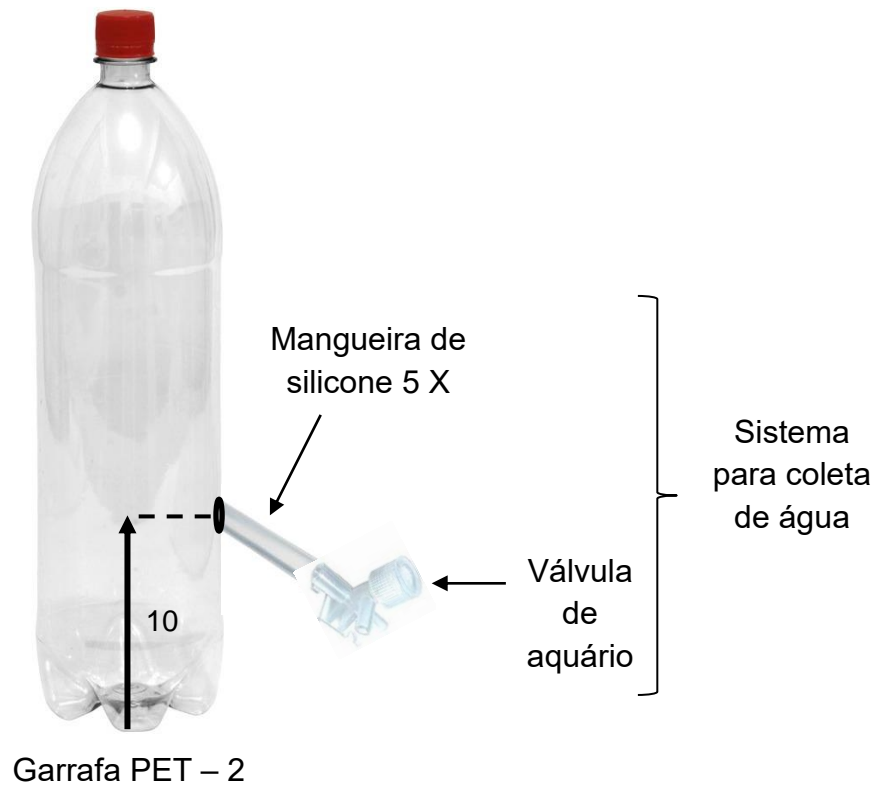


Figura 3 – Estrutura utilizada para realização do experimento com floração natural.

3.4 - Parâmetros analisados

3.4.1 - Turbidez

O valor de turbidez das amostras (5 mL) foi determinado utilizando o Turbidímetro marca HACH modelo 2100P, seguindo o procedimento descrito no equipamento.

3.4.2 – Clorofila

No experimento com a linhagem NPLJ-4, a concentração de clorofila-a foi determinada após a filtração de um volume conhecido da amostra em filtro de borosilicato. A este filtro foram adicionados 5 mL de metanol PA 100% e, após a agitação em vortex, a suspensão incubada durante 15 minutos no escuro à temperatura ambiente. Em seguida, essa suspensão foi centrifugada a 1600g por 10

minutos, em centrífuga HITACHI, modelo CR 22G III. O sobrenadante foi recolhido e a determinação da concentração de clorofila-a foi determinada por espectrofotometria (Lorenzen, 1967). O cálculo da concentração da clorofila-a foi feito através da aplicação do coeficiente de extinção determinado por Mackinney (1941).

As análises de clorofila-a na água bruta com floração foram realizadas com o equipamento Phyto-PAM (Heinz Walz GmbH), equipado com a unidade de detecção PHYTO-EDF, o qual foi utilizado para a determinação da fluorescência. Amostras de cada condição experimental (3 mL) foram retiradas nos tempos amostrais de 6 e 24 horas para medida de fluorescência. A partir do valor obtido, a clorofila foi quantificada em µg/L.

3.4.3 - Concentração de Microcistinas

A quantificação de microcistinas totais (fração particulada + dissolvida) foi realizada após a amostra sofrer um processo de lise por ultra-som, de forma a possibilitar a liberação das microcistinas intracelulares para a fração dissolvida o que possibilitou a utilização do método de imunoenensaio do tipo ELISA, seguindo o protocolo de Kits comerciais (Beacon Analytical Systems INC.) e a de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. As condições cromatográficas utilizadas foram as mesmas descrita em Barco (2005).

Nos experimentos com floração natural, a fim de reduzir os custos, as análises dos parâmetros acima citados, somente foram realizadas nas amostras que apresentaram o melhor resultado para redução de turbidez.

3.4.4 - Coliformes totais e *E. coli*

A análise microbiológica para coliformes totais e *E. coli* foi realizada com a utilização do quite Colilert IDEXX para ausência ou presença. A mesma foi realizada na condição controle e na condição que apresentou o melhor resultado para turbidez, onde foram amostradas alíquotas de 100 mL, e a estas foi adicionado o reagente Colilert com uma pastilha de tiosulfato de sódio. Em seguida as amostras foram incubadas em estufa regulada a 35 °C, e após 24h foi realizada a leitura em lâmpada de UV de 365 nm e 6 W de potência.

3.4.5 - Composição do fitoplâncton

A identificação dos gêneros fitoplanctônicos foi feita utilizando chaves taxonômicas específicas para cada grupo algal. A quantificação do fitoplâncton foi realizada segundo o método de sedimentação proposto por Utermöhl, 1958 (citado em Paxinos *et al.*, 2000), com contagem do número de células por meio de campos aleatórios (UEHLINGER, 1964) em microscópio invertido sob aumento de 400 X. O número de campos contados seguiu o estabelecido por Lund *et al.*, 1958 (Citado em Paxinos *et al.*, 2000). A densidade do fitoplâncton foi expressa em número de células por mL (células/mL). Essa parte do trabalho foi realizada pela bióloga Gisele Gômara.

3.5 - **Análise estatística**

A análise foi realizada por teste de ANOVA e ANOVA com medidas repetidas com post-test de Tukey e $p < 0,05$ utilizando o programa PRISM 7

3.6 - **Desenho experimental**

3.6.1 - Uso de sementes de *M. oleifera* para promover a coagulação das células *Microcystis aeruginosa* em condições de cultivo e remoção de microcistinas.

A eficiência das sementes para promover o processo de remoção de células de cianobactérias foi verificada em meio aquoso (água bruta coletada em um manancial considerado de boa qualidade) com valores de pH variando de 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0.

Estes valores foram obtidos adicionando-se ácido clorídrico 0,1M ou hidróxido de sódio 0,1M. A escolha dessa faixa de pH é justificada por abranger a maioria dos valores usualmente encontrados em ambientes aquáticos brasileiros. Após ajustar a água natural ao pH desejado foi adicionado o concentrado de células da cepa NPLJ-4 para uma densidade de 10^6 células/mL.

Os testes foram realizados em equipamento para teste de jarros (“Jar test”). Para cada condição foram adicionados 1950 mL da água natural com o pH desejado e 50 mL do concentrado de cultura da cepa NPLJ-4, esta solução foi agitada durante 10 segundos a 67 rpm. Em seguida foram adicionadas as sementes trituradas e esta mistura novamente foi agitada durante 30 segundos a 265 rpm. A velocidade de

rotação foi então reduzida para 82 rpm e assim permaneceu durante 25 minutos. Todos esses parâmetros são usualmente utilizados nos testes convencionais para estabelecimento das condições ótimas de coagulação em estações de tratamento de água. Após esse período, a mistura foi mantida em repouso por 48 horas, para verificar-se a eficiência do processo de coagulação, floculação e sedimentação das células de *M. aeruginosa* e liberação de microcistinas para a fração aquosa.

Alíquotas de 5,0 mL foram amostradas nos tempos 1, 6, 24 e 48 horas para avaliar a eficiência do tratamento na clarificação a água. Essa análise foi realizada através da determinação dos valores de turbidez (uT) e de clorofila-a.

3.6.2. - Experimento utilizando florações naturais de cianobactérias

Previamente à realização dos experimentos com florações naturais, foi realizado um experimento piloto com água da lagoa de Jacarepaguá para se verificar a eficiência das sementes na remoção de turbidez de água bruta contendo florações naturais. Tal experimento se deu a partir da coleta de 10 L de água deste corpo hídrico, onde em seguida foram distribuídos 1,5 L da amostra em seis garrafas PETs de 2 litros (Figura 3). Em cada uma das garrafas foram adicionadas diferentes concentrações de sementes trituradas e peneiradas (controle, 200, 400, 500, 750 e 1000 mg/L), passando em seguida por um processo de agitação manual durante 30 segundos e depois deixadas em repouso por até 24 horas.

Após a adição das sementes, foram realizadas amostragens após 3 e 24h, para se avaliar a eficiência das sementes na remoção de turbidez.

As mesmas condições experimentais dos testes de bancada com as sementes de *M. oleifera* para a remoção de células *M. aeruginosa* e de microcistinas foram aplicadas nas amostras de água coletadas no reservatório do Funil (figura 1). Os experimentos foram realizados em garrafas PETs de 2 litros. Para cada condição experimental foi utilizado um volume final de 2,0 L com 10^6 e 10^5 células/mL de cianobactérias. A este volume foram adicionadas as sementes nas concentrações 100, 50 e 25 mg/L. Em seguida, a garrafa PET contendo essa mistura foi agitada manualmente durante 30 segundos, a fim de permitir uma maior homogeneização e contato entre as sementes e as células em suspensão. Após essa etapa, a mistura

permaneceu em repouso por até 24 horas para verificar a eficiência do processo de coagulação / floculação das células de cianobactérias e outros contaminantes microbiológicos, bem como avaliar a potencial liberação de cianotoxinas para a água. A condição controle do tratamento foi realizada sem a adição das sementes.

Tabela 2 - Quadro resumo dos experimentos realizados

	Concentrações de sementes (mg/L)	Tempo de amostragem (horas)	Parâmetros analisados	Densidade de Cianobactérias
1 - Experimento com células de <i>M. aeruginosa</i> em cultivo	0; 10; 25 e 100	1; 6; 24 e 48	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez (UNT) • Clorofila-a (µg/L) • Microcistina (µg/L) 	10 ⁶ Células/mL
2 - Experimento piloto com água da Lagoa de Jacarepaguá	0; 200; 400; 500; 750 e 1000	3 e 24	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez (UNT) 	10 ⁹ Células/mL
3 - Experimento com água do Reservatório do Funil	3.1- Experimento (I)	0; 25; 50 e 100	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez (UNT) • Clorofila-a (µg/L) • Microcistina (µg/L) 	10 ⁶ Células/mL
	3.2- Experimento (II)	0; 25; 50 e 100	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez (UNT) • Coliformes totais • <i>E. coli</i> 	10 ⁵ Células/mL

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Uso de sementes de *M. oleífera* para promover a coagulação das células em cultivo de *Microcystis aeruginosa* e remoção de microcistinas

A seguir, estão apresentados os resultados dos valores de turbidez, concentrações de clorofila-a e microcistinas dos experimentos com cultura de *Microcystis aeruginosa* em densidade de 10^6 células/mL dos tratamentos utilizando as concentrações de 100, 25 e 10 mg/L de sementes de *M. oleífera* para coagulação das células em suspensão, em valores de pH variando de 5,0 a 9,0.

4.1.1 - Valores de turbidez

No tratamento com aplicação de 100 mg/L de sementes de *M. oleífera* (Figura 4 e tabela 3), no tempo amostral de 24 horas, o menor valor de turbidez foi 4,9 UNT o que representa remoção de 91,26% (pH 5.0). Esse valor foi superior ao obtido por Nishi *et al.* (2011), que utilizando a mesma concentração (100 mg/L de sementes), alcançaram um percentual de remoção de 79,9% para redução de *Microcystis protocystis*. Já Camacho *et al.* (2016), obtiveram resultados distintos, em seus testes contendo células de *Microcystis aeruginosa* com baixa turbidez, 5 -10 UNT, e com 30 - 60 UNT turbidez inicial, utilizando concentrações de 50 e 100 mg/L de pó integral de *M. oleífera*. A concentração de 50 mg se mostrou mais eficiente do que a de 100 mg, e a remoção de turbidez foi maior que 80% nas amostras com alta turbidez inicial, variando de 30 UNT a 60 UNT.

Para o tempo amostral de 48 horas, os percentuais de remoção variaram de 78,73% (pH 9.0) a 91,29% (pH 5.0). De acordo com os resultados do tratamento estatístico somente as amostras de pH 5.0 e pH 8.0 (24 horas) apresentam diferenças significativas ($p < 0.05$). Todas as amostras nos diferentes pHs com 48 horas apresentam valores de turbidez iguais ($p > 0.05$).

Nos meios mais ácidos, pH 5.0 e pH 6.0 pode-se verificar que a eficiência do processo de clarificação da água ocorreu a partir da amostragem de 6 horas (Figura 4 e tabela 3). De acordo com a análise estatística não houve diferenças significativas ($p > 0.05$) nos resultados obtidos para estes valores de pH nos demais tempos amostrais, 24 e 48 horas (Tabela 3). Para as demais condições de pH (7,0; 8,0; 9,0),

os melhores resultados foram obtidos nas amostragens de 24 e 48 horas e estas não apresentaram diferenças significativas ($p > 0.05$).

Tabela 3 – Dados referentes aos percentuais de redução de turbidez em relação ao controle, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *M. aeruginosa*.

Condição experimental		% de redução de turbidez em relação ao controle			
		1 hora	6 horas	24 horas	48 horas
100 mg/L de sementes	pH 5,0	11,8	83,1	91,26	91,29
	pH 6,0	6,40	72,40	88,69	91,16
	pH 7,0	-21,20	30,50	84,01	83,41
	pH 8,0	-12,80	24,40	79,0	81,32
	pH 9,0	-13,30	32,70	82,12	78,73
25 mg/L de sementes	pH 5,0	9,7	78,00	93,03	89,98
	pH 6,0	5,80	59,50	93,06	92,73
	pH 7,0	0,30	57,60	93,36	91,62
	pH 8,0	-05,60	49,80	92,30	91,56
	pH 9,0	-0,04	9,00	93,61	90,86
10 mg/L de sementes	pH 5,0	-03,10	61,10	83,54	85,33
	pH 6,0	-0,80	40,5	79,46	82,93
	pH 7,0	9,70	48,1	85,85	89,0
	pH 8,0	0,90	27,60	73,83	74,48
	pH 9,0	-01,20	19,30	73,87	83,35

Valores negativos (-) indicam aumento de turbidez em relação à condição controle

O tratamento utilizando 25 mg/L de sementes apresentou os melhores resultados pra remoção nas amostras de 24 e 48 horas. Sendo os melhores percentuais de remoção ocorridos no tempo de 24 horas, variando de 92,30 % a 93,61%.

A análise estatística das amostras do experimento 25 mg/L de sementes (Figura 5 e Tabela 3) permitiu verificar que não há diferenças significativas entre os tratamentos com diferentes valores de pH nos tempos amostrais de 24 e 48 horas.

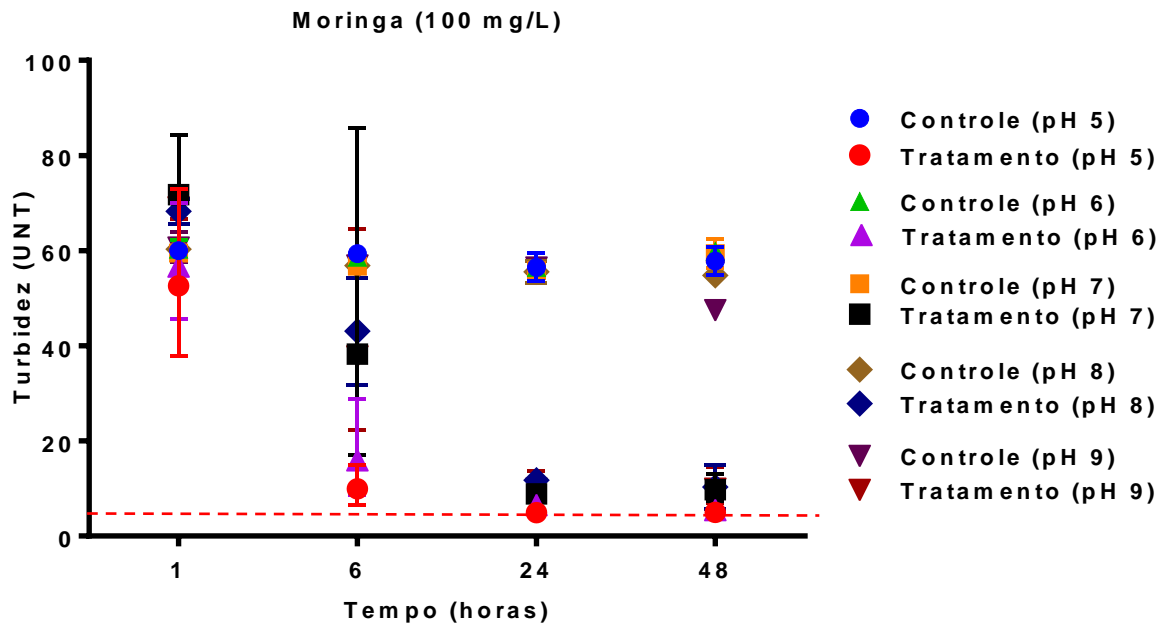


Figura 4 – Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa* em diferentes valores de pH e tempos amostrais.

----- **5 UNT** - Valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria 2.914/11 – MS

Lédo (2008), utilizando concentração de 50 mg/L de extrato aquoso de *M. oleifera* em diferentes faixas de pHs (6,4; 7,0 e 8,0), verificou que a eficiência na remoção de turbidez era maior em valores de pH mais elevados (pH 8,0), o que favoreceu a redução de turbidez que variou de 74% a 88%.

Nishi *et al* (2011), utilizando diferentes concentrações de extrato aquoso de *M. oleifera*, que variaram de 25 a 300 mg/L, testou a eficiência das sementes em água deionizada, artificialmente contaminada com inóculo da cianobactérias da espécie *Microcystis protocystis*, até obter turbidez inicial de 50, 150, 250, 350 e 450 UNT. A densidade celular variou de $1,0 \times 10^5$ a $2,0 \times 10^6$ células / mL. A eficiência na remoção de turbidez variou de 0 a 97,4%, onde as melhores reduções foram obtidas com altas concentrações de moringa (a partir de 175 mg/L), para amostras com alta turbidez inicial (350 e 450 UNT). Esses dados se assemelham aos obtidos neste trabalho, o

qual obteve bons resultados para remoção de turbidez, o qual variou de 73,87% a 93,61% nos testes utilizando concentrações de sementes de 10 e 25 mg/L, respectivamente.

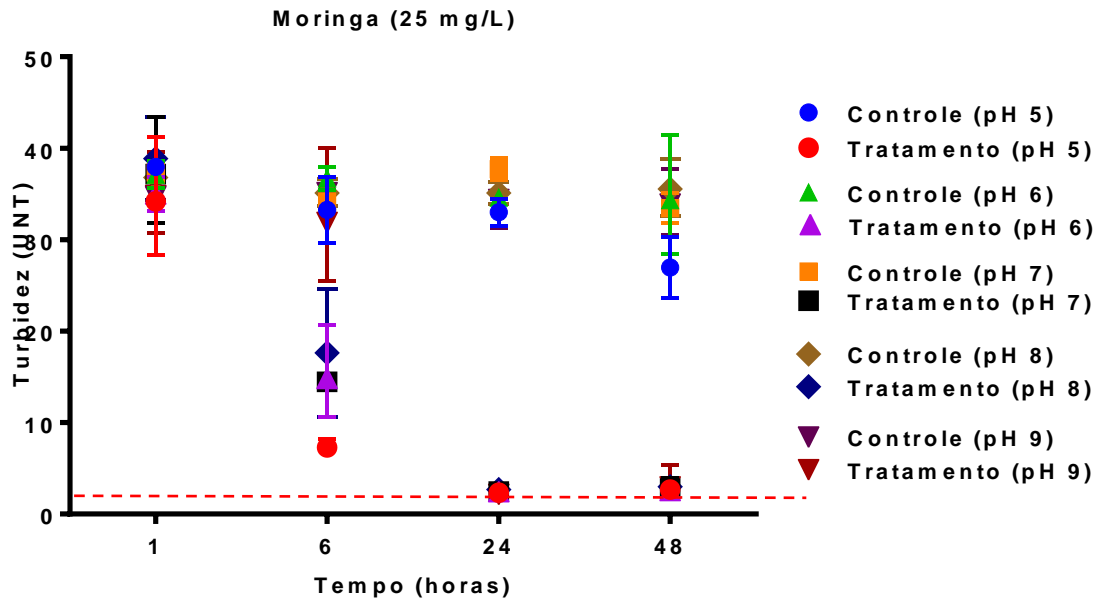


Figura 5 – Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa*, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

----- 5 UNT - Valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria 2.914/11 – MS

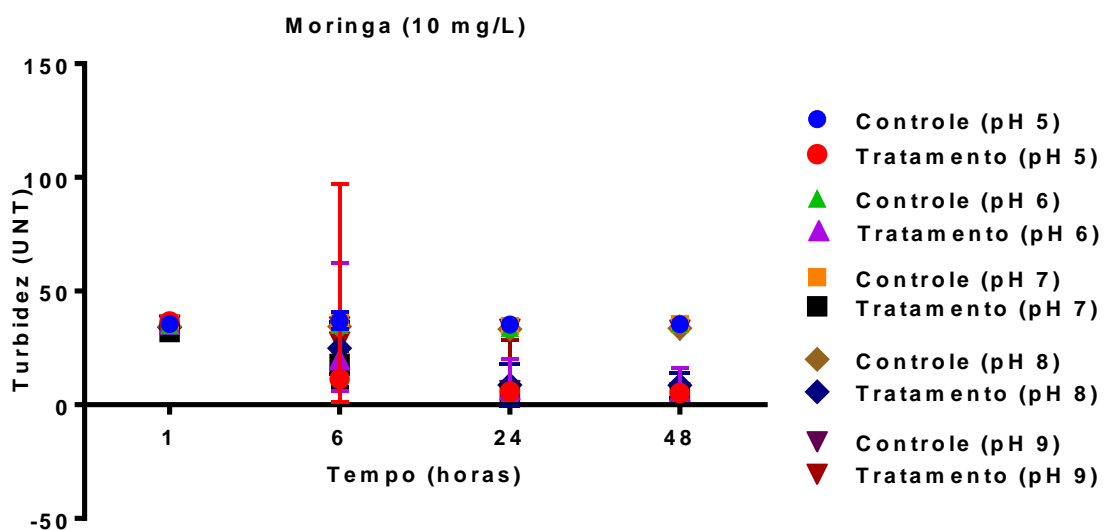


Figura 6 – Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa*, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

O tratamento utilizando 10 mg/L de sementes (figura 6, tabela 3) promoveu percentuais de remoção variando de 73,8% (pH 8.0 e pH 9.0) a 85,85% (pH 7.0) na amostragem de 24 horas, e 74,48% (pH 8.0) a 89.0% (pH 7.0) na amostragem de 48 horas (Figura 6 e Tabela 3). A análise estatística realizada com os dados apresentados na figura 5 indicou que no tempo amostral de 48 horas somente as condições de pH 7.0 e 8.0 foram significativamente diferentes ($p < 0.05$), entretanto não apresentam diferenças significativas ($p > 0.05$) quando comparados no tempo amostral de 24 horas.

Esses valores foram inferiores aos obtidos por Oladoja e Pan (2015), que utilizando extrato aquoso de sementes de *Moringa oleifera*, para a remoção de células *M. aeruginosa*, mostraram que a eficiência de remoção aumentou com a dosagem até 14,6 mg/L, onde 95% da concentração inicial de células *M. aeruginosa* foi reduzida. Esta dosagem foi considerada ótima para a remoção, pois essa começou a diminuir para valores mínimos (32,44%) na dosagem mais alta (50 mg/L) utilizada.

4.1.2 – Concentração de Clorofila-a

A figura 7 e a tabela 4 mostram que o tratamento com 100 mg/L de sementes também foi eficiente para a redução de células de *M. aeruginosa* com percentuais variando de 89.76% (pH 9.0) a 97,80% (pH 6.0 e pH 7.0) e 88.51% (pH 5.0) a 98.85% (pH 6.0), respectivamente, nos tempos amostrais de 24 e 48 horas. O tratamento estatístico dado aos resultados obtidos não mostrou diferenças significativas nas amostragens de 24 e 48 horas entre as diferentes condições de pH ($p > 0.05$).

Esses resultados foram similares aos obtidos por Camacho *et al.* (2016), que utilizando sementes de *M. oleifera* obtiveram percentuais de remoção células de *M. aeruginosa* superiores a 80%.

Tabela 4 – Dados referentes aos percentuais da redução da concentração de clorofila-a em relação ao controle nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *M. aeruginosa*.

Condição experimental		% de redução de clorofila-a em relação ao controle			
		1 hora	6 horas	24 horas	48 horas
100 mg/L sementes	pH 5,0	-33,33	76,19	93,92	88,51
	pH 6,0	-79,16	76,19	97,87	98,85
	pH 7,0	-148,88	25,25	97,79	94,11
	pH 8,0	-55,55	33,33	94,40	95,27
	pH 9,0	-126,66	43,13	89,76	92,74
25 mg/L sementes	pH 5,0	52,06	66,66	94,59	100
	pH 6,0	-14,28	46,26	100	100
	pH 7,0	-7,40	100	86,17	100
	pH 8,0	32,50	58,62	94,59	100
	pH 9,0	4,05	-14,89	100	100
10 mg/L sementes	pH 5,0	21,25	33,33	95,74	95,40
	pH 6,0	12,64	33,33	89,65	93,87
	pH 7,0	33,33	100	100	100
	pH 8,0	-2,70	16,66	77,50	95,74
	pH 9,0	0	14,86	72,50	91,08

Valores negativos (-) indicam aumento da concentração de clorofila em relação à condição controle

As concentrações de clorofila-a do experimento com 25 mg/L de semente (Figura 8), nos tempos amostrais de 24 e 48 horas permitiram verificar a eficiência de 100% de redução nos meios com pH 6.0 e pH 9.0 em 24 horas e em todos os pHs em 48 horas (Tabela 4). De acordo com a análise estatística não houve diferenças significativas ($p > 0.05$) entre todos os resultados obtidos nos tempos amostrais de 24 e 48 horas.

O tratamento utilizando 10 mg/L de sementes (figura 9) favoreceu percentuais de redução de clorofila-a de 100% em pH 7.0, nos tempos amostrais de 6, 24 e 48

horas. Entretanto, a análise estatística não mostrou diferenças significativas entre os diferentes valores de pH nos tempos amostrais de 24 e 48 horas.

Cabe ainda comentar que os valores de clorofila acima dos valores determinados na condição controle, nos primeiros tempos amostrais (1 e 6 horas) foram possivelmente decorrentes da maior agregação das células ainda na fração dissolvida, em decorrência do início do processo de coagulação, o que acabou interferindo na amostragem das células em suspensão.

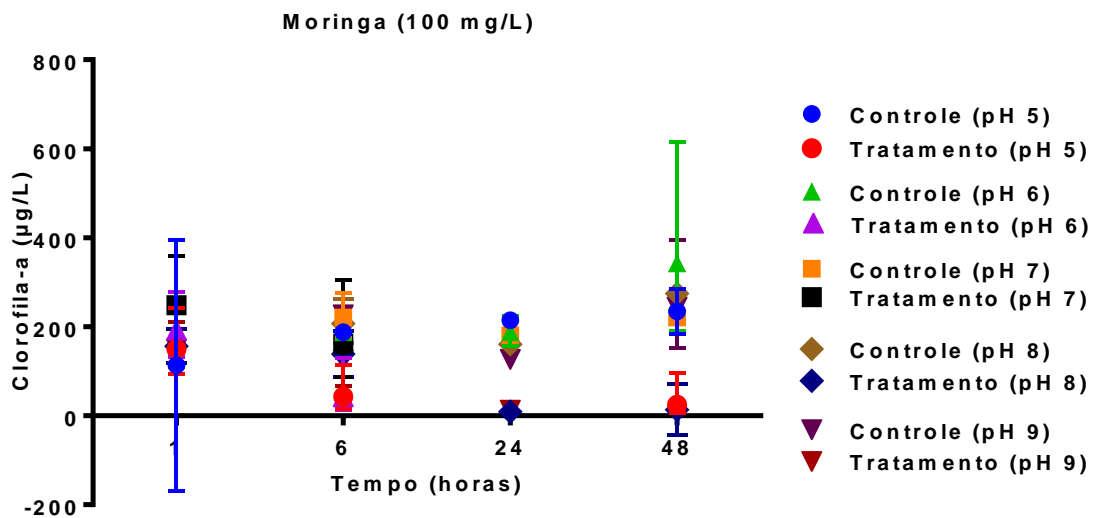


Figura 7 – Concentrações de Clorofila-a (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa*, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

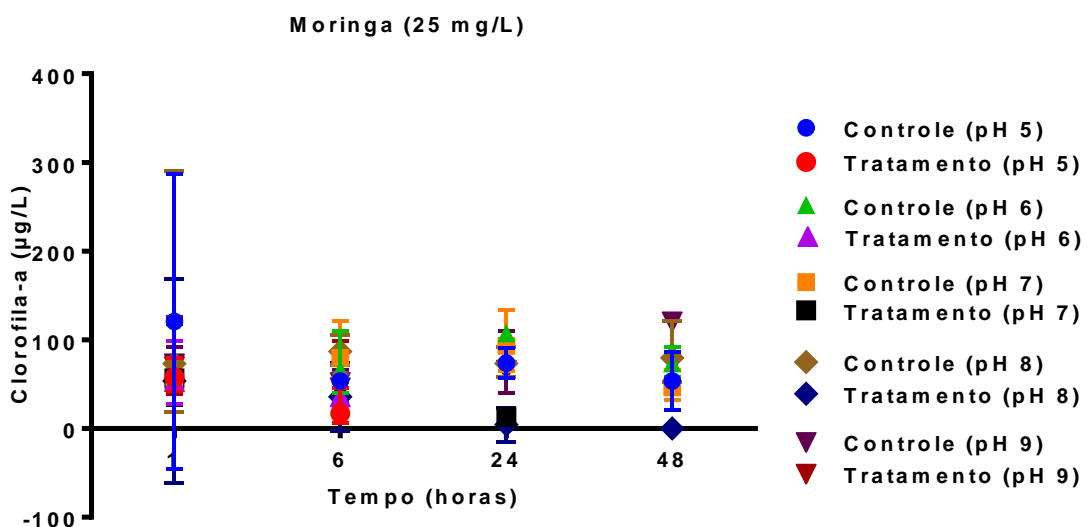


Figura 8 – Concentrações de Clorofila-a (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa*, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

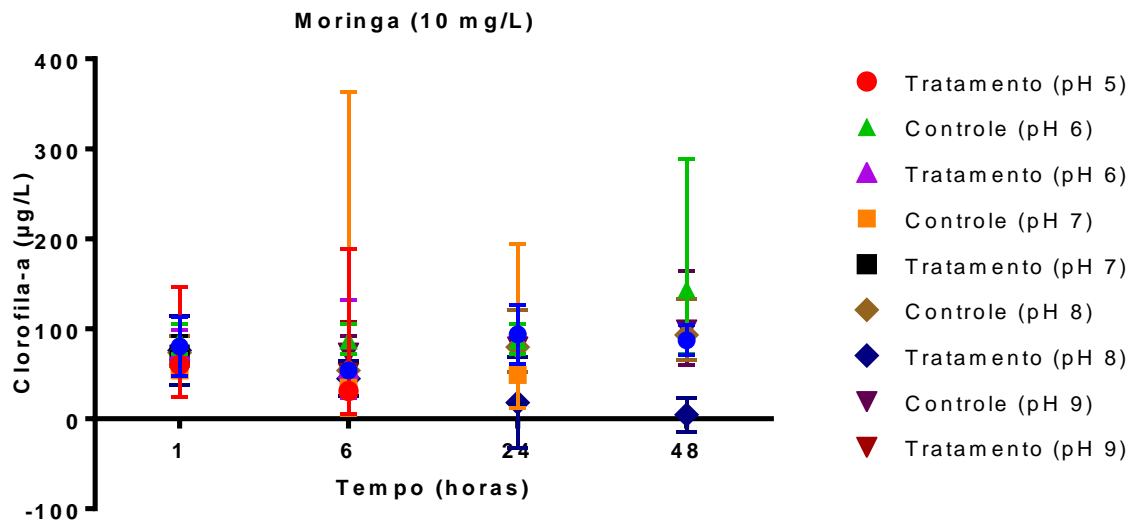


Figura 9 – Concentrações de Clorofila-a (µg/L) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de *M. oleífera* para a remoção de 10^6 células/mL de *Microcystis aeruginosa*, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

4.1.3 – Concentração de microcistinas

A tabela 5 apresenta os resultados das concentrações de microcistinas determinadas nas amostragens de 6, 24 e 48 horas, nos tratamentos realizados com diferentes concentrações de sementes de *M. oleífera*.

O tratamento estatístico realizado com todos esses dados microcistinas indica que estes não apresentam diferenças significativas nas amostragens de 24 e 48 horas nos diferentes valores de pH ($p > 0.05$).

Tabela 5 – Dados referentes aos percentuais de remoção de microcistinas, em relação à condição controle, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de *M. oleífera* para a remoção de 10^6 células/mL de *M. aeruginosa*.

Condição experimental		% remoção de microcistinas em relação ao controle		
		6 horas	24 horas	48 horas
100 mg/L sementes	pH 5,0	81,74	91,55	84,75
	pH 6,0	82,22	94,21	89,21
	pH 7,0	64,62	86,95	84,90
	pH 8,0	70,07	77,89	82,48
	pH 9,0	-19,91	82,47	76,80

Condição experimental		% remoção de microcistinas em relação ao controle		
		6 horas	24 horas	48 horas
25 mg/L sementes	pH 5,0	12,19	86,86	83,05
	pH 6,0	-5,68	85,81	80,48
	pH 7,0	-35,68	91,55	86,91
	pH 8,0	-35,94	87,44	80,62
	pH 9,0	-130,48	89,76	82,36
10 mg/L sementes	pH 5,0	43,66	57,87	62,06
	pH 6,0	24,26	71,62	88,10
	pH 7,0	53,67	72,33	85,55
	pH 8,0	-26,59	60,98	53,00
	pH 9,0	33,09	57,40	83,50

Valor negativo (-) indica um percentual da concentração de microcistinas maior no tratamento do que a determinada no controle.

A aplicação de 100 mg/L de sementes também se mostrou eficiente para a redução na concentração de microcistinas (Figura 10) já no tempo amostral de 6 horas nos meios de pH 5.0 e pH 6.0. Estas condições de pH favoreceram a remoção de microcistinas em percentuais de 81,74% e 82,22%, respectivamente (Tabela 5).

De acordo com a análise estatística, nos meios mais ácidos (pH 5.0 e pH 6.0), a eficiência de remoção de microcistinas foi igual em todos os tempos amostrais ($p>0,05$) (Figura 10). Já nos meios de pH 7.0, pH 8.0 e pH 9.0, o processo de remoção foi maior somente nas duas últimas amostragens (1 e 2 dias), e estes não apresentam diferenças significativas entre si ($p>0,05$).

Também foi possível verificar uma redução nas concentrações de microcistinas utilizando 25 mg/L de sementes, nas amostragens de 24 e 48 horas (Tabela 5 e Figura 11). Estas variaram de 12,40 µg/L (91,55% de redução, pH 7,0) a 18,46 µg/L (85,81% de redução, pH 6,0) em 24 horas e 19,20 µg/L (86,9% de redução, pH 7,0) a 33,40 µg/L (80,62% de redução, pH 8,0) em 48 horas. Nestes tempos amostrais não foram verificadas diferenças significativas entre os diferentes pHs ($p>0,05$).

Esses resultados foram melhores do que os obtidos por Camacho *et al.* (2014), que utilizando a mesma concentração de Moringa (25 mg/L) avaliaram a eficiência dos processos de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (C/F/FAD), seguido de nanofiltração, para remoção das células da cianobactéria *M. protocystis* e microcistina. A maior eficiência na remoção de microcistina foi de 52,1% (10^6 células/mL) e 36,7% (10^7 células/mL) para solução com NaCl e 41,3% (10^6 células/mL) e 28,7% (10^7 células/mL) para a solução KCl

Os resultados apresentados na figura 12 mostram que 10 mg/L de sementes promoveu a remoção de microcistinas com percentuais de remoção variando de 53,00% (pH 8.0) e 88,10% (pH 6.0) no tempo amostral de 48 horas (Tabela 5). A análise estatística indicou que somente os dados referentes às condições de pH 6.0 e pH 8.0 (48 horas) são significativamente diferentes ($p > 0.05$) (Tabela 5 e Figura 12).

Barros (2017), utilizando diferentes concentrações de extrato aquoso de *M. oleifera* (100, 350, 600 e 750 mg/L) teve como melhores percentuais de remoção de microcistinas totais o equivalente à 70% e 67,89% nos tratamentos com 350 e 700 mg/L de Moringa, respectivamente.

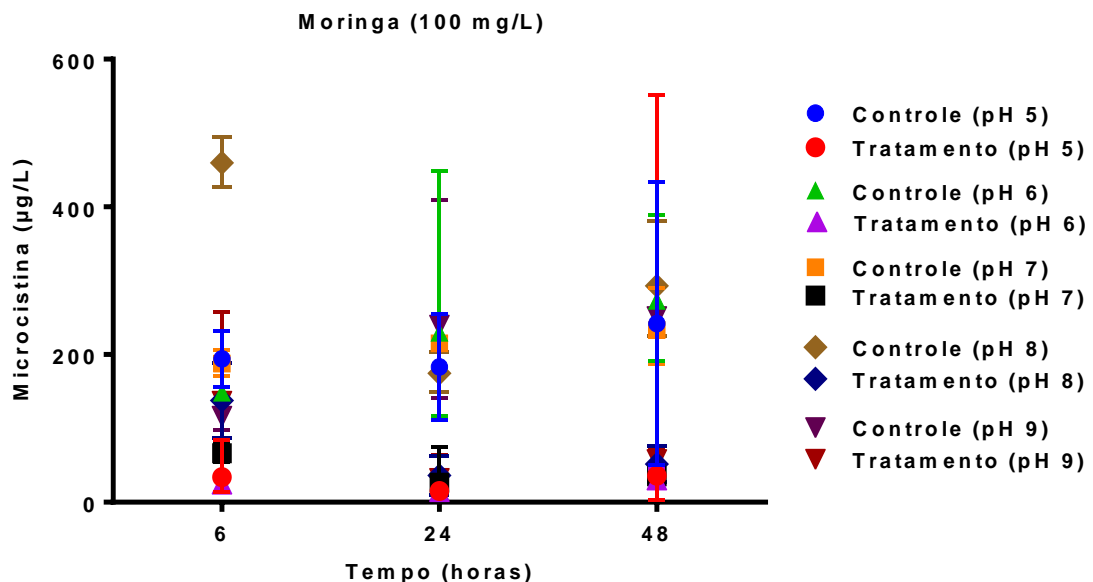


Figura 10 – Concentrações de microcistinas (ug/L) das amostras do tratamento utilizando 100 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

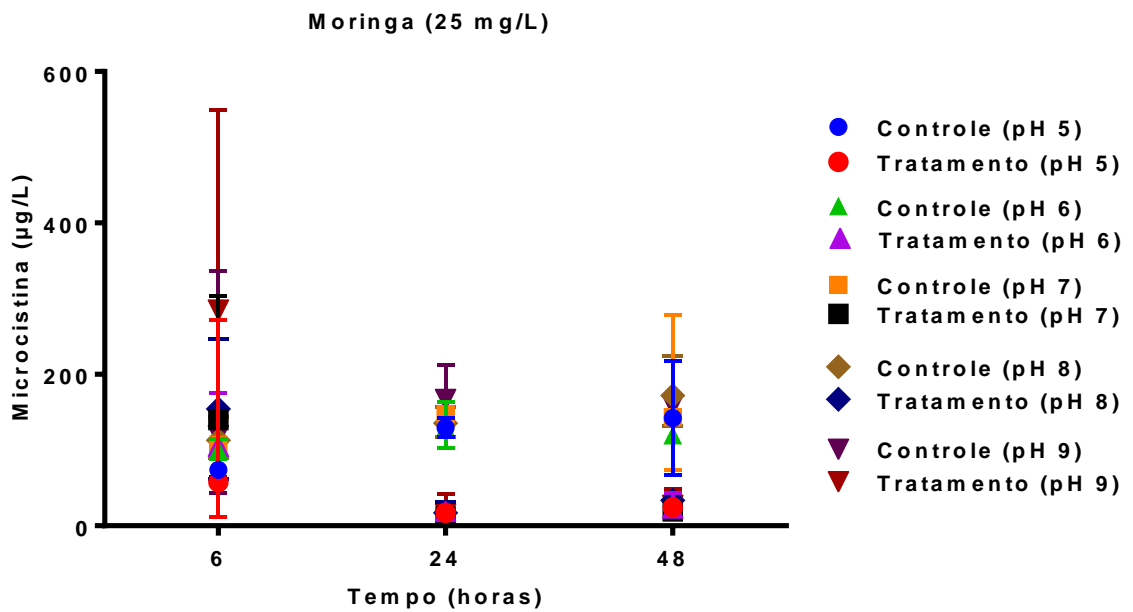


Figura 11 – Concentrações de microcistinas ($\mu\text{g/L}$) das amostras do tratamento utilizando 25 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

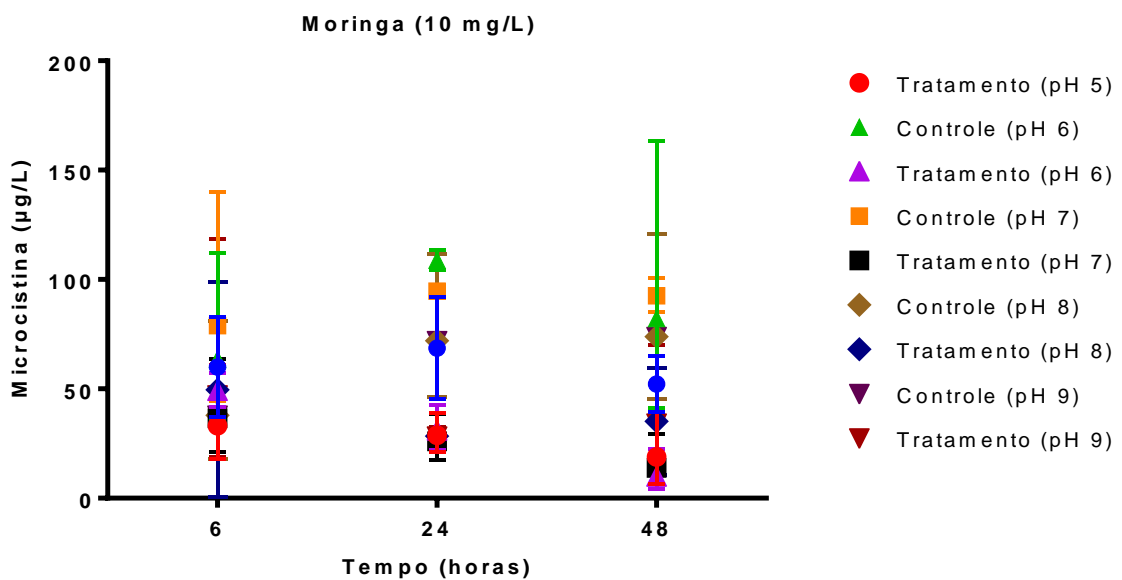


Figura 12 – Concentrações de microcistinas ($\mu\text{g/L}$) das amostras do tratamento utilizando 10 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de microcistinas, em diferentes condições de pH e tempos amostrais.

4. 2 - Uso de sementes de *M. oleífera* para promover a coagulação, floculação e sedimentação de floração natural de cianobactérias da Lagoa de Jacarepaguá.

4.2.1 – Água bruta da Lagoa de Jacarepaguá

Este corpo hídrico foi escolhido por ser uma área de estudo do laboratório (Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias – LETC), bem como apresentar registros de florações frequentes de cianobactérias desde a década de 90 (Fernandes 1993, Ferrão-Filho *et al.* 2002).

A análise quali-quantitativa da amostra de água, coletada no dia 01 de agosto de 2017 da Lagoa de Jacarepaguá, mostrou que a floração era composta de 100% da espécie *Microcystis aeruginosa* e apresentava densidade celular de 1.138.888.160 células/mL (10^9 células/mL).

As concentrações de sementes moídas de *M. oleífera* testadas foram 200, 400, 500, 750 e 1000 mg/L. As Figuras 12 e 13 mostram os resultados dos experimentos para avaliar a eficiência desse tratamento alternativo para remoção de cianobactérias após 3 e 24 horas de contato das células com as sementes, respectivamente (Figuras 13 e 14).

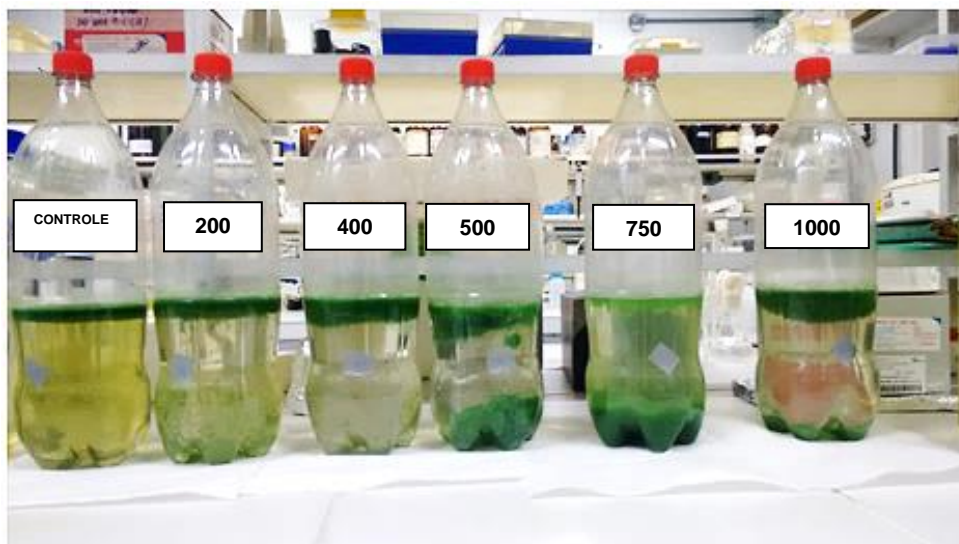


Figura 13 - Resultado do tratamento dado à floração de *Microcystis aeruginosa* amostrada na lagoa de Jacarepaguá após a adição de diferentes concentrações de sementes de *Moringa oleífera*, após 03 horas de contato

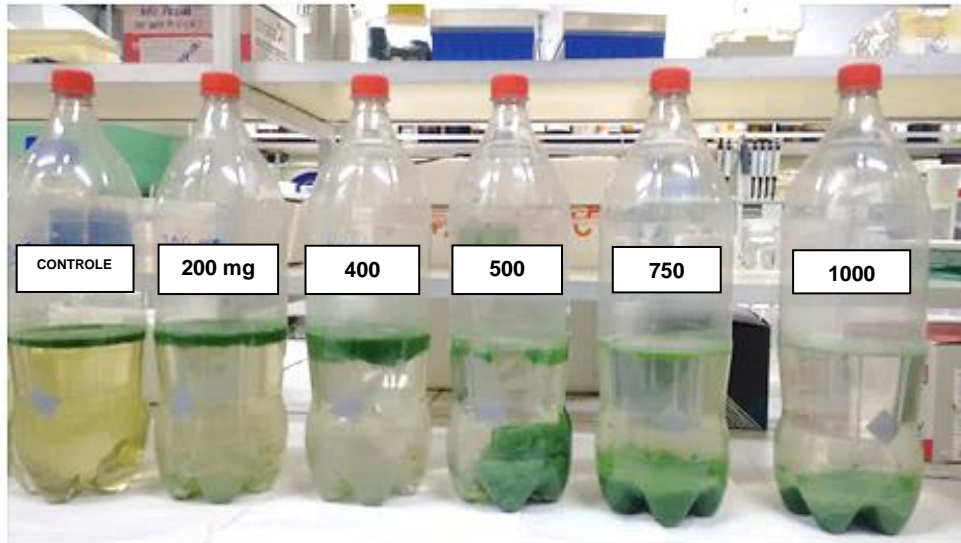


Figura 14 - Resultado do tratamento dado à floração de *Microcystis aeruginosa* amostrada na lagoa de Jacarepaguá com diferentes concentrações de sementes de *Moringa oleifera*, após 24 horas de contato

A figura 13 evidencia a capacidade das sementes de *M. oleifera* promoverem a coagulação e sedimentação das células de *M. aeruginosa* presentes na amostra da floração natural, em todas as concentrações testadas. Esses resultados podem ser confirmados com os dados de turbidez apresentados na tabela 6, onde o ótimo de remoção foi de 88,84% para o tratamento com 500 mg/L de sementes de *M. oleifera*, com 03 horas de contato (figura 13). Na análise de 24 horas (figura 14), os tratamentos com 200, 400 e 500 mg/L de *M. oleifera* tiveram valores de turbidez muito próximos, com eficiência média de 55%.

Tabela 6 – Valores de turbidez da água durante o tratamento dado à floração de *Microcystis aeruginosa* amostrada na lagoa de Jacarepaguá, após a adição de diferentes concentrações de sementes de *M. oleifera*, após 03 e 24 horas de contato

Concentração de sementes mg/L	Turbidez (UNT)	
	3 h	24 h
CONTROLE	224	9,99
200	43 (80,8%)	4,62 (53,7%)
400	31 (86,2%)	4,68 (53,1%)
500	25 (88,8%)	4,05 (59,4%)
1000	27 (87,9%)	6,97 (30,2%)

4.3 Uso de sementes de *M. oleifera* para promover a floculação, coagulação e sedimentação de células de cianobactérias, coliformes totais e *E. coli* de amostra de água do Reservatório do Funil.

4.3.1 - Água bruta do Reservatório do Funil

A água do reservatório do Funil foi escolhida por ser uma área de estudo do laboratório, e segundo Ferrão-Filho *et al.* (2009), em função da entrada de grande quantidade de nutrientes oriundos de sua bacia de drenagem, situação que o eleva a categoria de hipereutrófico, o reservatório do Funil vem apresentando intensas florações de cianobactérias, sendo algumas espécies potencialmente produtoras de toxinas.

Primeiramente, foi determinada a composição fitoplanctônica das amostras da água bruta coletada através de uma análise qualitativa do fitoplâncton. A análise do fitoplâncton demonstrou que a amostra de floração natural era composta por cianobactérias do gênero *Microcystis* e *Dolichospermum*, a primeira apresentava-se com dominância em relação à segunda (figura 15).

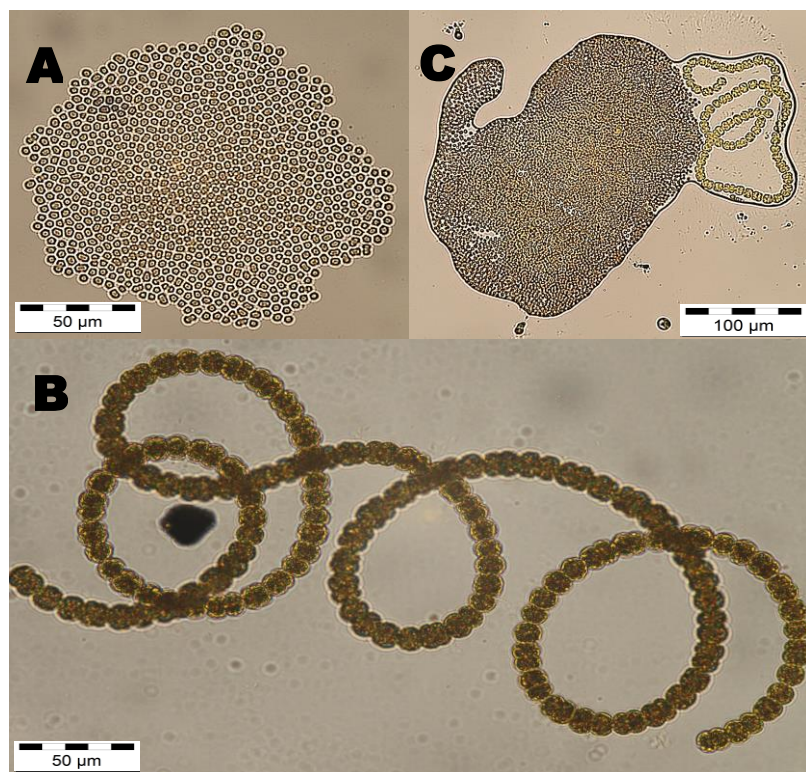


Figura 15 – Imagem de microscopia óptica de amostra de água do reservatório do Funil (RJ) mostrando colônia de células de *Microcystis* – **A**; filamento de *Dolichospermum* – **B** e colônia de *Microcystis* e filamento de *Dolichospermum* – **C**.

Dois experimentos com água bruta contendo floração natural foram realizados. No primeiro, a água coletada no reservatório do Funil – RJ, nos dias 10 de janeiro de 2019 (experimento – 1) e no segundo a coleta foi realizada em 25 de março de 2019 (experimento – 2). Foram utilizadas concentrações de 25 mg/L, 50 mg/L e 100 mg/L de sementes moídas de *M. oleifera*. A densidade celular da água no experimento 1 era de 4.857.500 células/mL ($4,8 \times 10^6$ células/mL) e valor de turbidez de 227 UNT. O experimento - 1 objetivou confirmar a eficiência das sementes moídas de *M. oleifera* na coagulação, floculação e sedimentação de células de cianobactérias. Para tal foram feitas análises de turbidez, clorofila-a e toxinas. Já o experimento - 2 teve como objetivo avaliar a eficiência das sementes de *M. oleifera* na remoção de coliformes totais e *E. coli*, de modo que previamente a essas análises, foi realizada a análise de remoção de turbidez.

4.3.2 - Valores de turbidez

Com base nos resultados obtidos no experimento 1 (tabela 7), nos tratamentos com diferentes concentrações de sementes moídas e peneiradas de *M. oleifera* (25; 50 e 100 mg/L), pode-se verificar que estes apresentaram-se eficientes para a redução de turbidez nas amostras analisadas após de 24 horas de contato com as sementes (Figuras 16 e 17).

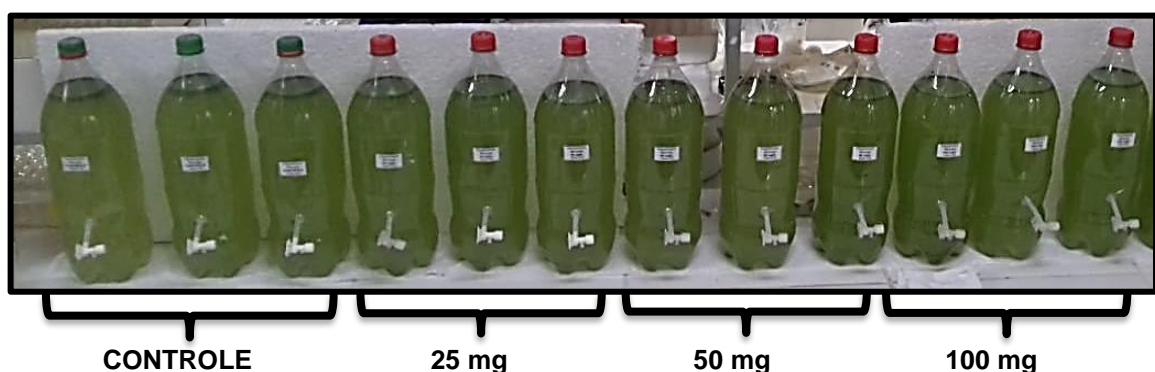


Figura 16 – Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 1, após 6 horas de adição das sementes.

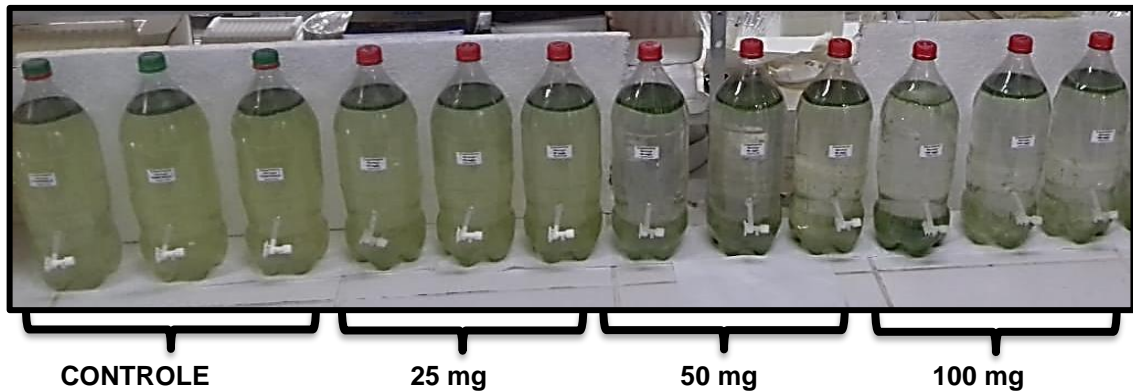


Figura 17 – Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 1, após 24 horas de adição das sementes.

Tabela 7 - Percentuais de redução de turbidez, em relação à condição controle, com amostra de água coletada no reservatório do Funil, nos diferentes tratamentos realizados com sementes de *M. oleífera*, para a remoção de $4,8 \times 10^6$ células/mL de cianobactérias e turbidez de 225 UNT.

Concentração de sementes	% de redução de turbidez	
	6 horas	24 horas
25 mg/L	2,17	37,92
50 mg/L	-29,12	55,14
100 mg/L	-14,77	60,32

Valores negativos (-) indicam aumento de turbidez em relação à condição controle

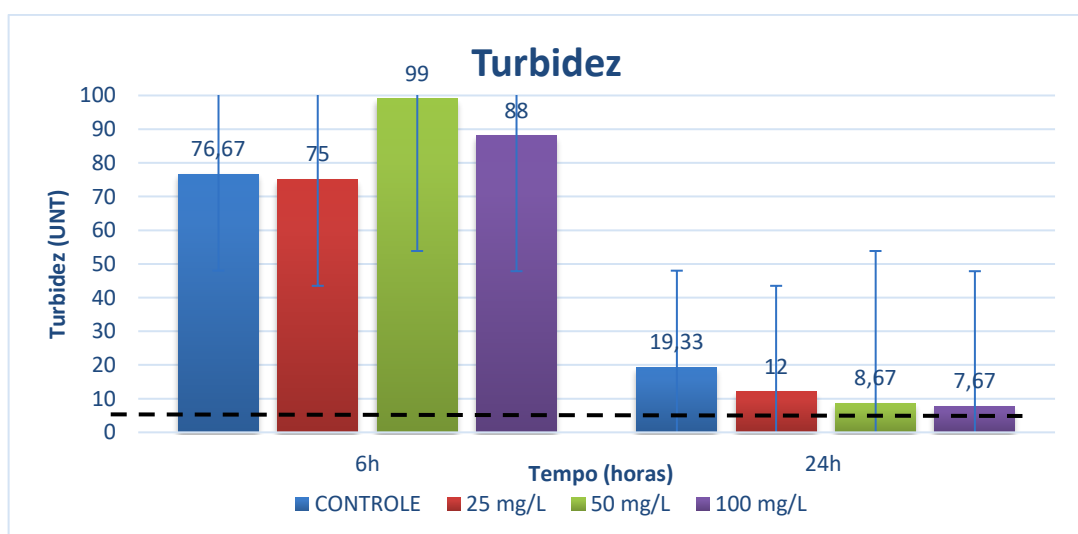


Figura 18 – Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25, 50 e 100 mg/L de sementes de *M. oleífera* para a remoção de floração com densidade celular de $4,8 \times 10^6$ células/mL em diferentes tempos amostrais.

----- 5 UNT Valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria 2.914/12 - MS

O melhor resultado para remoção de turbidez se deu após 24 horas, no tratamento com 100 mg/L de sementes de *M. oleifera* (figura 18), que apresentou um percentual de remoção de 60,32% em relação à condição controle (tabela 7). Porém, esse valor ficou acima do determinado pela portaria 2.914/11 – MS, a qual estabelece em seu anexo X (Tabela de padrão organoléptico de potabilidade), o valor máximo permitido de 5 UNT, como padrão organoléptico de potabilidade. As amostras dos diferentes tratamentos analisadas após 24 horas, não apresentaram diferenças significativas entre si ($p > 0,05$).

Os resultados obtidos nesse experimento foram inferiores aos obtidos por Ribeiro (2010), que ao comparar extrato aquoso e pó de sementes descascadas, trituradas e peneiradas de *M. oleifera*, veio a obter, quando utilizando pó das sementes em diferentes concentrações (20 a 120 mg/L), determinou como dosagem ótima a concentração de 40 mg/L, onde obteve um percentual de remoção de turbidez superior a 80%, para uma água com turbidez inicial de 17 UNT.

Moreti *et al.* (2015), tiveram por objetivo avaliar os processos de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (C/F/FAD), mediada por *Moringa oleifera*, para a remoção de células de *Dolichospermum flosaquae*. Esses autores verificaram que a dosagem ótima da moringa foi de 100 mg/L, atingindo porcentual de remoção de turbidez equivalente à 78,1%.

4.3.3 - Concentração de Clorofila-a

Pela análise da concentração de clorofila-a, como um indicador de eficiência do tratamento com diferentes concentrações de sementes de *M. oleifera* (25; 50 e 100 mg/L), para a redução de $4,8 \times 10^6$ células/mL, os resultados que apresentaram-se mais eficientes para a redução da concentração de clorofila-a foram encontrados após 24 horas (tabela 8).

Tabela 8 - Percentuais de remoção de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), em relação à condição inicial, com amostra de água coletada no reservatório do Funil, nos diferentes tratamentos realizados com as sementes de *M. oleifera*, para a remoção de $4,8 \times 10^6$ células/mL de cianobactérias e turbidez de 225 UNT.

Condição experimental	% de redução Clorofila-a	
	6 horas	24 horas
100 mg/L	12,49	67,39

O tratamento com 100 mg/L de sementes apresentou maior redução de clorofila-a, após 24 horas, com um percentual de 67,39% (Tabela 8 e figura 19)

Esse resultado foi inferior ao obtido por Moreti *et al.* (2015), que ao utilizar a mesma concentração de moringa obtiveram percentual de remoção de 96,4% em uma água com turbidez inicial de 40 UNT e densidade celular de $2,3 \times 10^6$ células/mL.

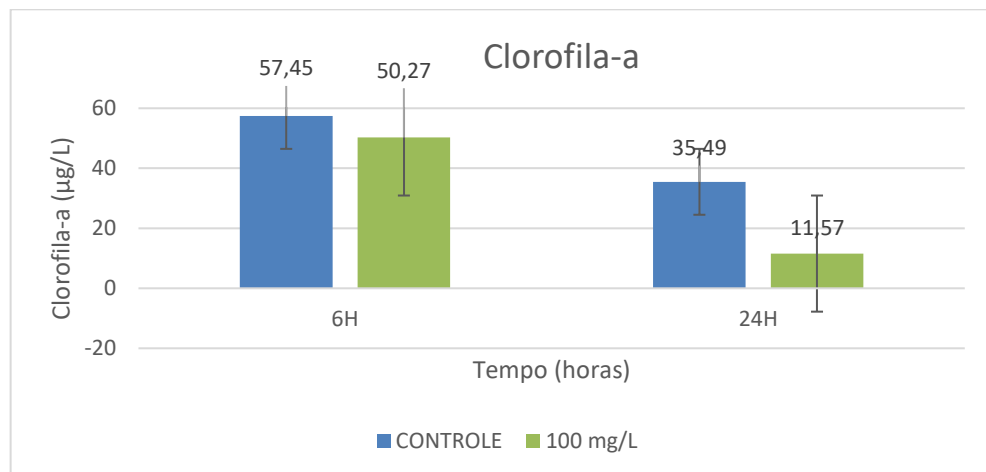


Figura 19 – Valores de clorofila-a (µg/L), após 6 e 24 horas de adição das sementes, analisado na condição controle e no tratamento com 100 mg/L de sementes moídas e peneiradas de *M. oleifera*.

4.3.4 - Concentração de microcistinas

A análise de concentração de microcistinas foi realizada somente no tempo e na condição que apresentou o melhor resultado para redução de turbidez, a qual se deu no tratamento com 100 mg/L, após 24 horas de adição das sementes (tabelas 8).

Os resultados das análises da concentração de microcistinas (figura 20), mostram que o tratamento com 100 mg/L de sementes moídas de *M. oleifera* apresentou um percentual de remoção de apenas 18,30%.

Esses resultados ficaram abaixo do obtido por Barros (2017), que ao utilizar em seus testes extrato aquoso de *M. oleifera*, alcançou percentuais de remoção de 70% e 67,89%, quando utilizou doses do coagulante com concentração de 350 e 700 mg/L, respectivamente.

Contudo, embora o percentual de remoção tenha sido baixo, é possível afirmar que o tratamento teve um resultado positivo, pois a concentração de microcistina

detectada ficou abaixo do que estabelece a portaria 2.914/11 - MS, a qual estabelece em seu anexo VIII, como padrão de cianotoxinas da água para consumo humano a concentração não superior a 1µg/L de microcistinas.

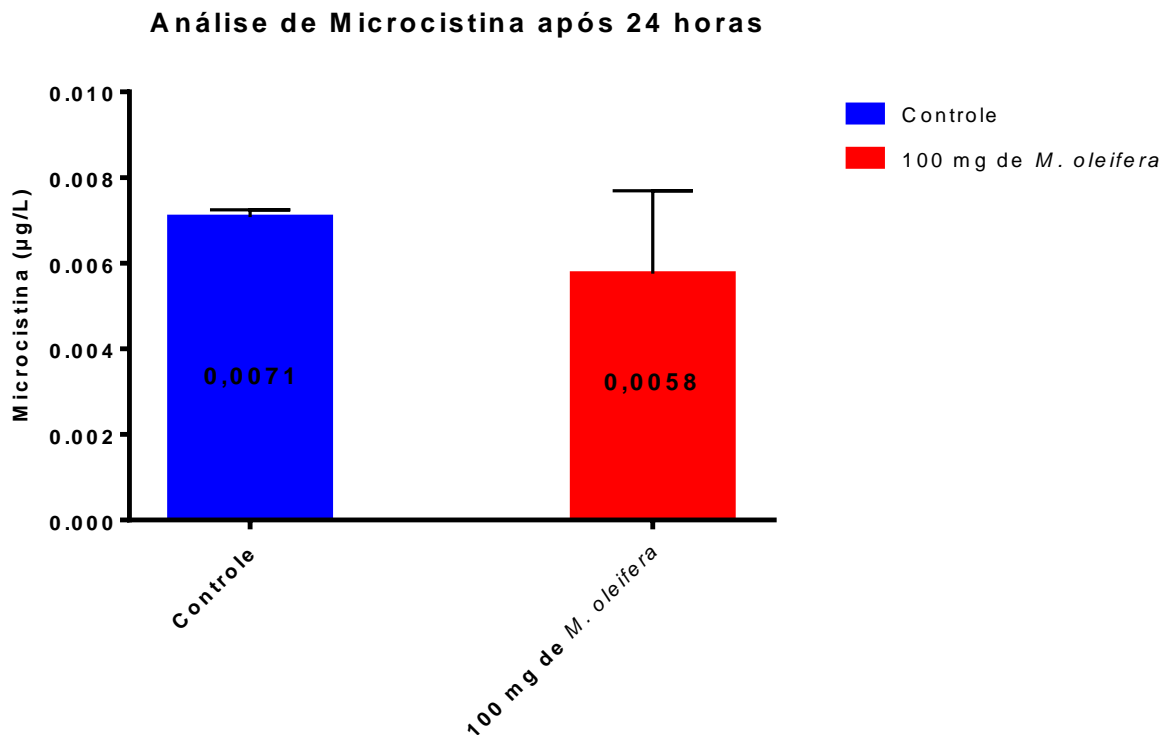


Figura 20 – Valores de microcistina (µg/L), após 24 horas de adição das sementes, analisado na condição controle e no tratamento com 100 mg/L de sementes moídas e peneiradas de *M. oleifera*.

O experimento 2 realizado com a amostra de floração do Reservatório do Funil com o fim de avaliar a capacidade das sementes de *M. oleifera* na remoção de turbidez, coliformes totais e *E. coli*. A amostra apresentava uma densidade celular de 187.306 células/mL ($1,8 \times 10^5$ células/mL), cuja espécie dominante era de e turbidez de 100 UNT. Assim como no experimento – 1, a análise do fitoplâncton demonstrou uma dominância de células do gênero *Microcystis* em relação ao gênero *Dolichospermum*.

O perfil de redução de turbidez foi o mesmo observado no experimento – 1, (Figuras 21, 22, 23 e tabela 9).

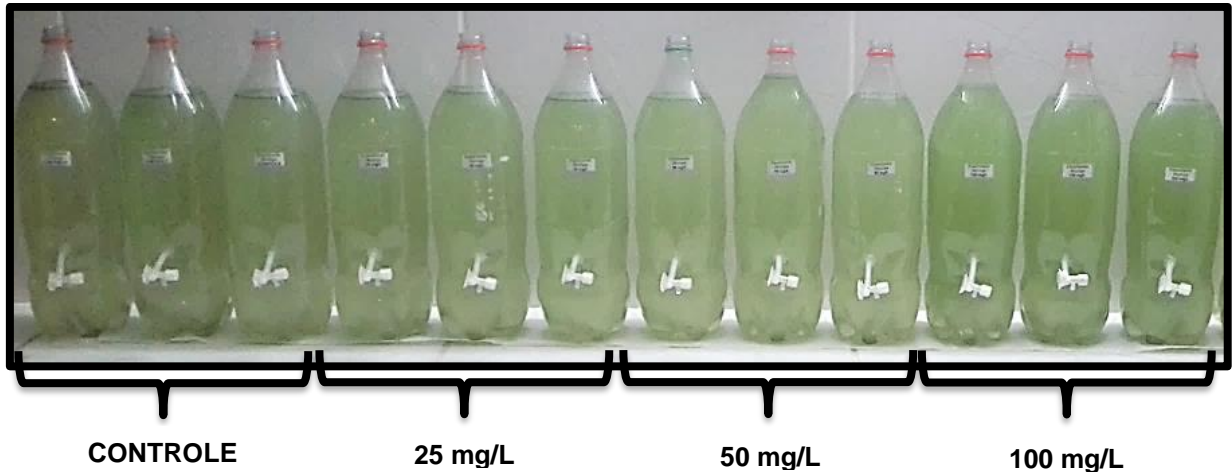


Figura 21 – Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2, antes da adição das sementes

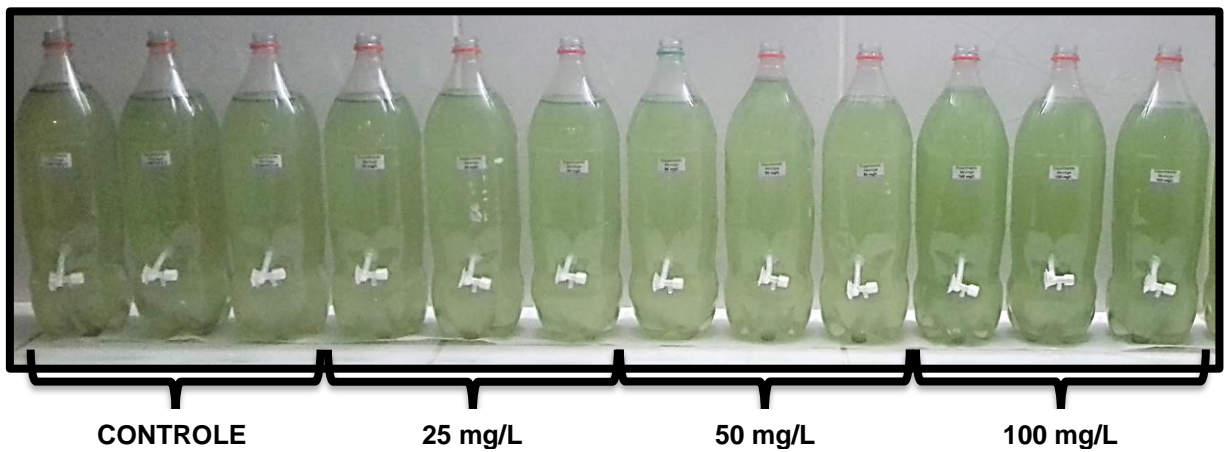


Figura 22 – Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2, com resultados obtidos após 6 horas de adição das sementes.

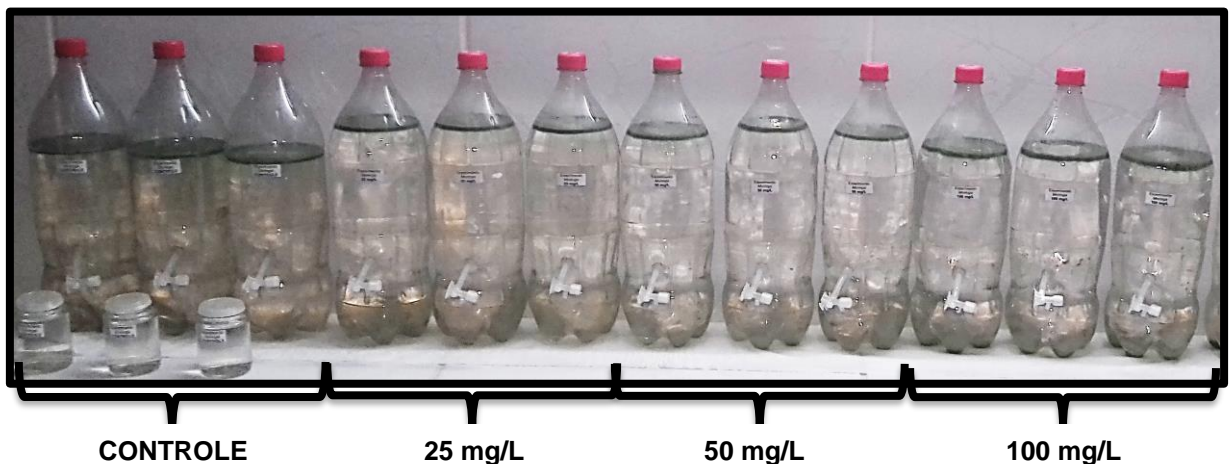


Figura 23 – Aspecto da água do Reservatório do Funil no experimento 2, com resultados obtidos após 24 horas de adição das sementes.

Tabela 9 - Dados referentes aos percentuais de redução de turbidez (UNT), em relação à condição inicial, durante o segundo experimento realizado com água coletada no Reservatório do Funil, utilizando sementes trituradas e peneiradas de *M. oleifera* para a remoção de cianobactérias.

Concentração de sementes	% de redução de turbidez	
	6 horas	24 horas
25 mg/L	-50,83	34,39
50 mg/L	-35,58	43,76
100 mg/L	-32,18	28,11

A análise de turbidez realizada na amostra de água tratada com diferentes concentrações de sementes trituradas e peneiradas de *M. oleifera* demonstrou que a redução foi mais eficiente nas amostras analisadas após 24 horas de contato com as sementes do que em 6 horas, apresentando o maior percentual de remoção de turbidez no tratamento com 50 mg/L de sementes (43,76%) (tabela 9 e figura 24). No entanto, as amostras dos diferentes tratamentos analisadas após 24 horas, não apresentaram diferenças significativas entre si ($p > 0,05$).

Cabe destacar que os valores de turbidez acima dos valores da condição controle, observados nas análises realizadas no tempo amostral de 6 horas (figura 24), foram possivelmente decorrentes da maior agregação das células ainda na fração dissolvida, em decorrência do início do processo de coagulação, o que acabou interferindo na amostragem das células em suspensão. Embora as sementes de

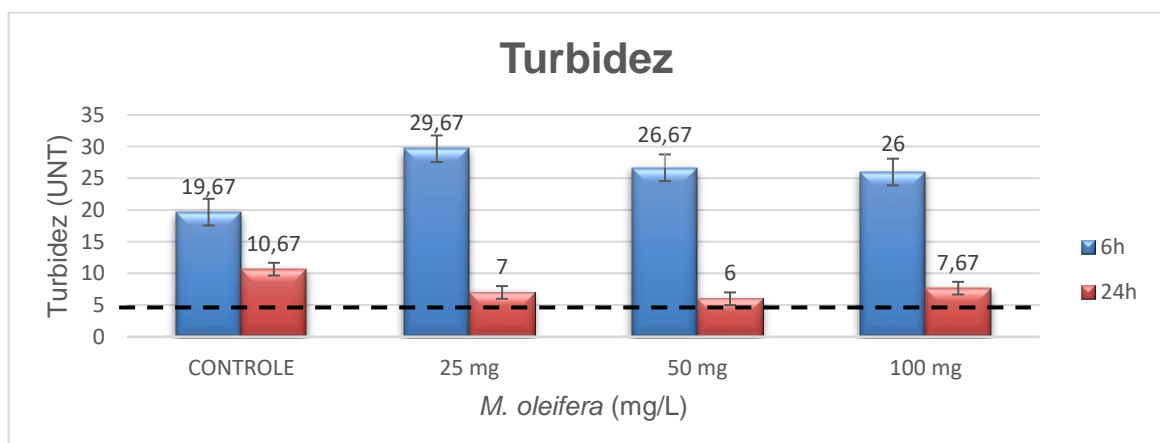


Figura 24 – Valores de turbidez (UNT) das amostras do tratamento utilizando 25, 50 e 100 mg/L de sementes de *M. oleifera* para a remoção de floração com densidade celular de $1,8 \times 10^5$ células/mL e turbidez de 101 UNT, nos diferentes tempos amostrais.

----- Valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria 2.914/12 - MS

Embora as sementes de *M. oleífera* tenham promovida a redução da turbidez, os valores obtidos ficaram acima do estabelecido pela portaria 2.914/12 (5 UNT), como mostra a figura 24.

4.3.5 - Análise de Coliformes totais e *E. coli*

Os testes realizados com a amostra de água coletada no reservatório do Funil no experimento 2 deu positivo para a presença de Coliformes totais e *E. coli* (figura 25A e 26A).

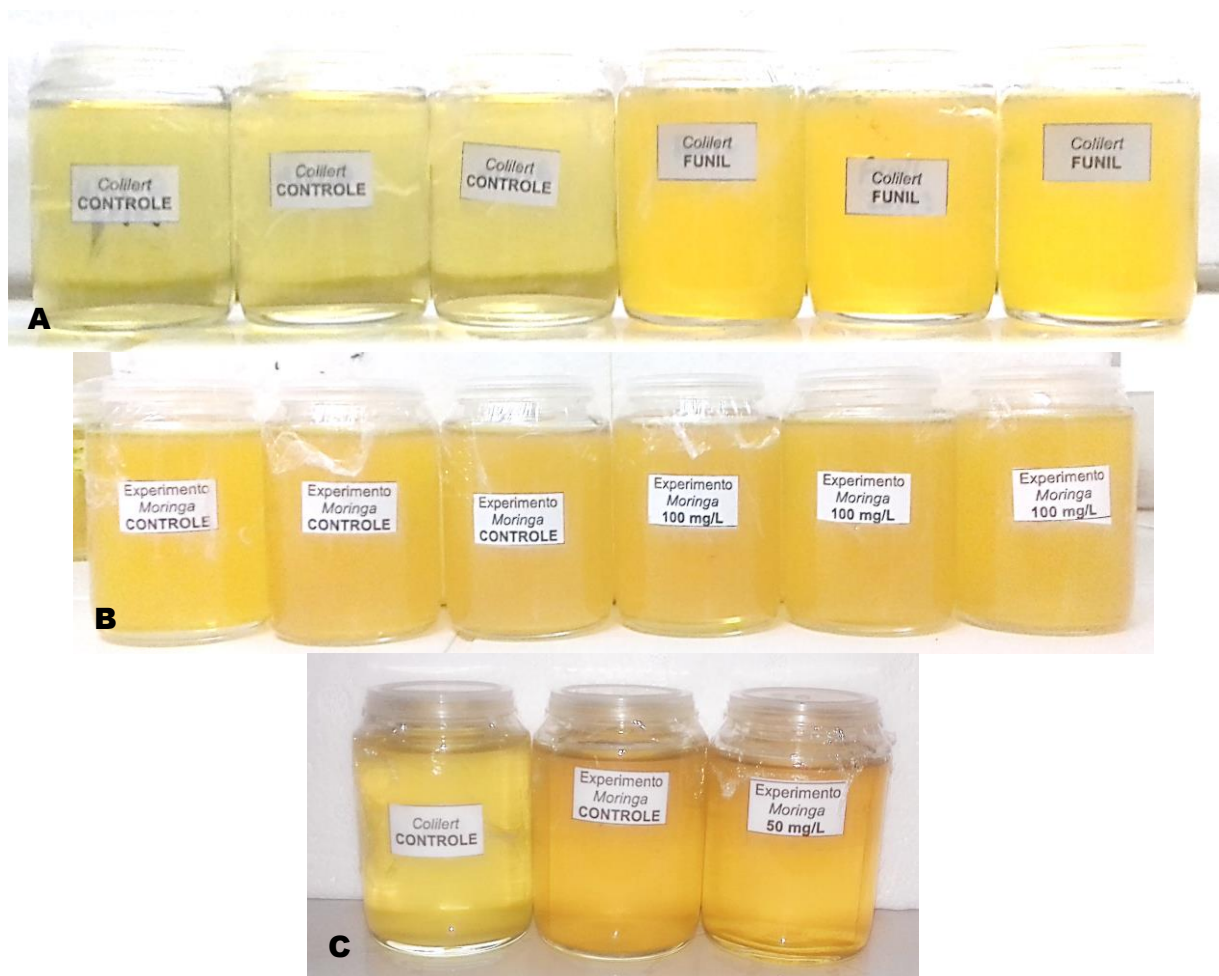


Figura 25 – Análise da presença de coliformes totais na amostra inicial **(A)** da água coletada no Reservatório do Funil; após 6h com 100 mg/L de sementes **(B)** e após 24 h com 50 mg/L de sementes **(C)**.

As análises qualitativas (presença/ausência) de coliformes totais e *E. coli* em 100 mL após tratamento com 100 mg/L de sementes por 6 horas (figura 25B) e 50 mg/L por 24 horas (figura 25C) mostraram que não houve eficiência na remoção de

coliformes totais ou *E. coli* (tabelas 10 e 11). Já Landazuri-Rojas *et al.* (2018), em seus experimentos utilizando sementes de *M. oleifera*, verificaram remoção média de 89,7% de células de *E. coli*, tendo ainda verificado que a concentração de *E. coli* diminuía à medida que a dosagem de *M. oleifera* aumentava.

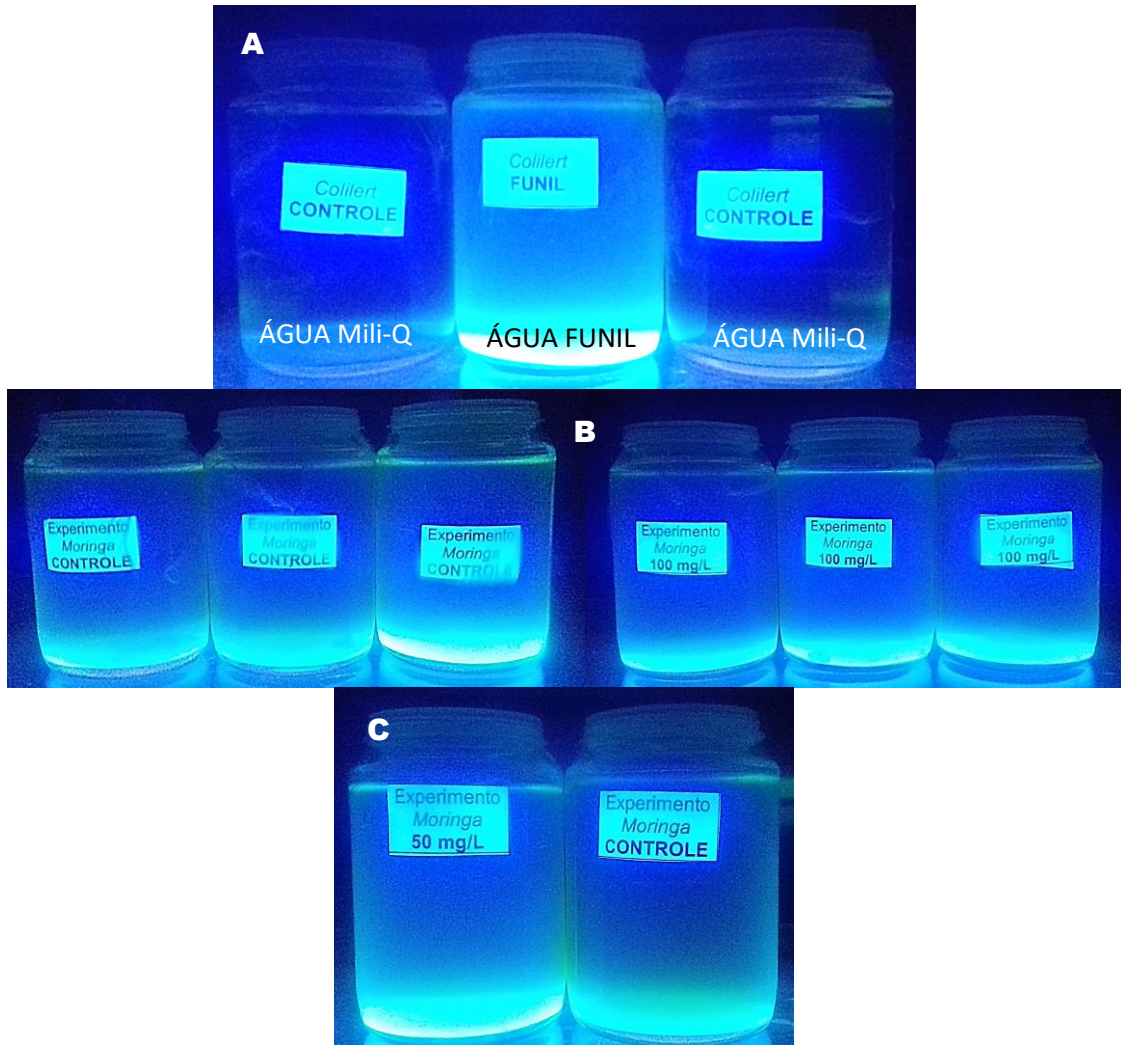


Figura 26 – Análise da presença de *E. coli* na amostra inicial (A) da água coletada no Reservatório do Funil; após 6h com 100 mg/L de sementes (B) e após 24 h com 50 mg/L de sementes (C).

Costa *et al.* (2013), em seus experimentos para remoção de coliformes termotolerantes, onde utilizou extrato aquoso de *M. oleifera*, obteve percentual de remoção de 99,9% e 75% ao utilizar dosagens de 5g e 10g / 100 mL, respectivamente.

Provavelmente, o resultado contrário obtido nesse trabalho se deva a quantidade maior de células de cianobactérias, coliformes totais e *E. coli*, bem como o material particulado presente na água, o que resultou na ineficiência da Moringa

para a remoção de coliformes totais e *E. coli*. Talvez uma concentração maior de moringa determinasse um resultado mais eficiente.

Tabela 10 - Dados referentes às análises de remoção de coliformes totais, em relação à condição controle, realizado no tratamento que apresentou o melhor resultado para redução turbidez em cada tempo amostral.

Concentração de sementes	% de remoção de Coliformes totais	
	6 horas	24 horas
Controle	0	0
50 mg/L	-----	0
100 mg/L	0	-----

* A análise em cada tempo amostral foi realizada na condição CONTROLE e no tratamento que apresentou o melhor resultado para remoção de turbidez.

** Foi atribuído o valor “zero” para ausência e “um” para presença de coliformes totais em 100 mL.

----- Não analisado.

A figura 25 demonstra que todas as amostras, após a adição do reagente Colilert IDEXX e um período de incubação em estufa a 35 °C por 24 horas, ambas apresentaram uma coloração “amarela turva”, característica para a presença de coliformes totais.

Para a remoção de *E. coli* (tabela 11), o tratamento se mostrou pouco eficiente (figura 26). Apenas um dos frascos, tratados com 50 mg de sementes, apresentou remoção de turbidez no tempo amostral de 24 horas, dando negativo para presença de *E. coli*.

Tabela 11 - Dados referentes às análises de remoção de *E. coli*, em relação à condição controle, realizados no controle e o tratamento que apresentou o melhor resultado para turbidez em cada tempo amostral.

Concentração de sementes	% de remoção de <i>E. coli</i>	
	6 horas	24 horas
Controle	0	33,33
50 mg/L	-----	33,33
100 mg/L	0	-----

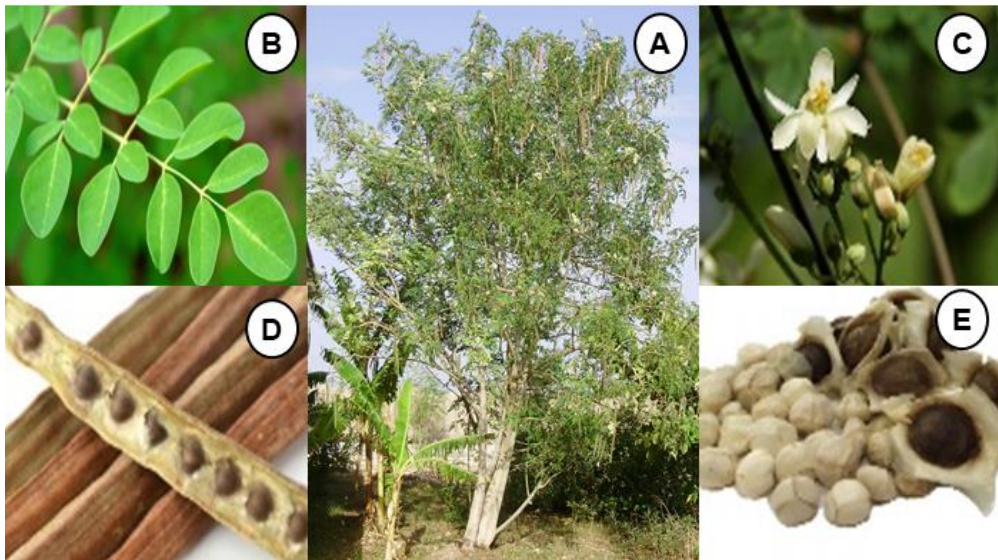
* A análise em cada tempo amostral foi realizada na condição CONTROLE e no tratamento que apresentou o melhor resultado para remoção de turbidez.

----- Não analisado.

MANUAL DIDÁTICO, PARA TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ÁGUA UTILIZANDO SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA REMOÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

O que é *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* (moringa) é uma planta tolerante à seca e que se adaptou muito bem ao nordeste brasileiro. Essa planta pode ter muitos usos. Um dos usos mais conhecidos se refere à utilização de suas sementes para clarificação da água removendo material particulado em suspensão.



Moringa oleifera – A; folha – B; flor – C; vagem – D; sementes – E.

Cianobactéria

As cianobactérias são organismos microscópicos, que podem ser encontrados no solo e na água. No entanto, ambientes de água doce com alta concentração de nutrientes, devido principalmente pelo descarte de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, acabam sendo mais favoráveis para o crescimento de cianobactérias.



Formas de algumas cianobactérias

Por que posso usar essa planta para clarificar a água?

Existem diversos estudos que comprovam a eficiência das sementes de *Moringa oleifera* na remoção de turbidez da água, o que melhora a sua qualidade.



Experimento com sementes de *Moringa oleifera* para remoção de turbidez e células de cianobactérias.

A turbidez da água é evidenciada pela presença de partículas em suspensão, que quando se originam de ações humanas, podem causar sérios riscos à saúde, pois geralmente nessas partículas encontram-se agregados microrganismos causadores de doenças e compostos tóxicos.

Por que preciso remover as cianobactérias

O aumento das cianobactérias na água prejudica sua qualidade devido à produção de cor, sabor e odor desagradáveis. Além disso, alguns tipos de cianobactérias são capazes de produzir substâncias tóxicas que podem afetar a saúde das pessoas pelo contato direto como banhar-se ou beber dessa água ou pelo consumo de peixes que estavam nessa água.



Reportagem do caso que ficou conhecido como a tragédia de Caruaru, na qual 117 dos 136 pacientes dialisados passaram a apresentar: dor de cabeça, distúrbios visuais, vômitos e hepatomegalia. Destes, 60 mortes ocorreram até outubro de 1996 - **A**; Açude do Boqueirão, Sobral (CE) - **B**; Registro fotográfico de floração as margens do rio Tapajós em Santarém (PA) - **C**.

Como usar a *Moringa oleifera*

Para utilizar as sementes de moringa no tratamento de água, visando a remoção de turbidez e células de cianobactérias, pode-se adotar os seguintes passos:

I – Preparo das sementes

Para cada 1 litro de água a ser tratada, deve ser utilizada 1 semente seca de moringa;



II – Adição das sementes



III – Etapas pós tratamento

- Filtrar a água em um filtro ou coador de pano;
- Adicionar **2 gotas de água sanitária** (hipoclorito de sódio) para cada litro de água,
- Misture bem e aguarde **30 minutos** antes de beber.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que sementes de *M. oleifera* trituradas e peneiradas podem ser utilizadas para tratamento de água bruta contendo floração natural de cianobactérias, com ressalvas:

- O tratamento se mostrou eficiente para a remoção de turbidez nas faixas de pHs mais ácidos (5,0 e 6,0) e nos tratamentos com maior concentração de sementes (100 e 25 mg/L). Já em relação ao tempo de contato, os melhores resultados se deram com 24 e 48 horas. No entanto, os melhores resultados não atingiram os valores que determina a Portaria 2.914/11 – MS, que em seu anexo X, estabelece como padrão organoléptico de potabilidade um valor máximo permitido de 5 UNT.
- Em relação à remoção de microcistinas, os resultados mostraram que o tratamento com 100 mg/L de sementes foi eficiente após 24 horas, porém em valores elevados de concentrações de microcistinas (acima de 100 µg/L) não foi possível se atender ao limite máximo estabelecido pela portaria.2.914/11-MS.
- A remoção de coliformes totais e *E. coli* não ocorreu em nenhum dos tratamentos (100, 50 e 25 mg/L de sementes), em ambos os tempos amostrais testados (6 e 24 horas).
- Os testes com sementes de *M. oleifera* para tratamento de água bruta contendo floração natural de cianobactérias, visando a remoção de células de cianobactérias e microcistinas apresentou resultados menos expressivos que os obtidos nos experimentos com células de *Microcystis* em cultivo. Provavelmente, essa diferença se deu pelo fato d'água bruta apresentar uma concentração maior de material particulado e matéria orgânica dissolvida, os quais possivelmente implicaram nessa diferença na eficiência das sementes.
- Uma proposta para trabalhos futuros é que seja feita análise da matéria orgânica total na amostra d'água, bem como uma avaliação da necessidade do aumento da concentração das sementes de *M. oleifera* utilizadas no tratamento.

Referências Bibliográficas:

- ALI, E. N., MUYIBI, S. A., SALLEH, H. M., ALAM, M. Z., & SALLEH, M. R. M., (2010). Production of Natural Coagulant from *Moringa Oleifera* Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal of Water Resource and Protection*, 2(3), 259–266. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.23030>
- AMAGLOH, F. K., & BENANG, A., (2009). Effectiveness of *Moringa Oleifera* Seed as Coagulant for Water Purification. *African Journal of Agricultural Research*, 4(2), 119–123.
- ASHRAF, M., JABEEN, R., SHAHID, M., & JAMIL, A., (2008). Microscopic Evaluation of the Antimicrobial Activity of Seed Extracts of *Moringa Oleifera*. *Agriculture*, 40(4), 1349–1358.
- AZEVEDO, S. M. F. O., CARMICHAEL, W. W., JOCHIMSEN, E. M., RINEHART, K. L., LAU, S., SHAW, G. R., & EAGLESHAM, G. K., (2002). Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru - Brazil. *Toxicology*, 181–182, 441–446. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00491-2](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00491-2)
- BARCO, M. *et al.* Optimization of intracelular microcystin extraction for their subsequent analysis by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1074, p. 3-30, 2005.
- BARROS, S.G. **Influência da *Moringa oleifera* na remoção de cianobactérias na filtração lenta com manta não tecida**. 2017. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2017.
- BONGIOVANI, M.C., VALVERDE, K.C., BERGAMASCO, R., Utilização do processo combinado coagulação/floculação/uf como processo alternativo ao tratamento convencional utilizado como coagulante a *Moringa oleifera* lam. Anais. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, p. 65-76, 2013.

CAMACHO, F. P., MORETI, L. O. R., ARAKAWA, F. S., SHIMABUKU, Q. L., SILVA, M. F., SANTOS, T. R.T., BAZANA, S. L., COLDEBELLA, P. F., VALVERDE¹, R. BERGAMASCO, K. C., Processos Avançados de Remoção de Cianobactéria e Cianotoxina no Tratamento de Água de Abastecimento. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Universidade Estadual de Maringá, Florianópolis, SC. 8 p, 2014.

CAMACHO, F. P., SOUSA, V. S., BERGAMASCO, R., & RIBAU TEIXEIRA, M., (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313, 226–237.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>

CORAL, L. A., BERGAMASCO, R., & BASSETTI, F. J., (2009). Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. *2 International Workshop Advances in Cleaner Production*, 1–9. Retrieved from <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F. J. Bassetti - Resumo Exp.pdf>

COSTA, R.T., SILVA, G., PEIXOTO, J., SILVA, R., Remoção de Coliformes termotolerantes em água tratada com sementes de *Moringa oleífera*. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**. Ciência e Natura, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, v. 35 n. 2, p. 024-029, dez. 2013.

DITTMANN, E., FEWER, D. P., & NEILAN, B. A., (2013). Cyanobacterial toxins: Biosynthetic routes and evolutionary roots. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(1), 23–43. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.12000.x>

DOMINGOS, P., 2001. Dinâmica de Cianobactérias produtoras de microcistinas na Lagoa de Jacarepaguá (rJ). Tese de Doutorado em Biotecnologia Vegetal. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 111p.

FERNANDES, V.O., 1993. estudos sucessionais da comunidade perifítica em folhas de *Typha dominguensis Pers*, relacionado às variáveis limnológicas na Lagoa de

Jacarepaguá, RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil. 131p.

FERRÃO-FILHO, A.S. & AZEVEDO S.M.F.O. 2003. Effects of unicellular and colonial forms of toxic *Microcystis aeruginosa* from laboratory cultures and natural populations on tropical cladocerans. *Aquatic ecology*, 37: 23-35.

FERRÃO-FILHO, A. D. S.; SOARES, M. C.; ROCHA, M. I. D. A.; MAGALÃES, V. D. F.; AZEVEDO, S. M. F. O., Florações de cianobactérias tóxicas no reservatório do funil: dinâmica sazonal e consequências para o zooplâncton. *Oecol. Bras.*, v. 13, n. 2, p. 346-365, 2009.

GIBSON, C. E. & SMITH, R. V. 1982. *Freshwater Plankton*. In: Carr, N. G. & Whitton, B. A. (Eds.) *The Biology of Cyanobacteria*, Blackwell Scientific Publications, London, pp. 463-490.

GIJSBERTSEN-ABRAHAMSE, A. J., SCHMIDT, W., CHORUS, I., & HEIJMAN, S. G. J. (2006). Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 276(1–2), 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.09.053>

GONÇALVES.K.G; PASA.M.C. (2010). Abordagem etnobotânica de *Moringa oleifera*: do cultivo ao uso em rondonópolis, Mato Grosso. *Flovet*, 1–68.

HUANG, W. J., CHENG, B. L., & CHENG, Y. L. (2007). Adsorption of microcystin-LR by three types of activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.122>

KURODA, E.K., ALBUQUERQUE-JR, E.C., DI BERNARDO, L., TROFINO, J.C., Caracterização e escolha do tipo de carvão ativado a ser empregado no tratamento de águas contendo microcistinas. In: Brazilian Association of Sanitation and Environmental Engineering (ed.). *Brazilian Environmental Sanitation: utopia or reality? Proceedings of the twentieth third Brazilian Congress of Sanitary and Environmental Engineering*; 2005 18-23; Mato Grosso, Brazil. Campo Grande: Brazilian Association of Sanitary and Environmental Engineering; 2005. p. 1-10.

LANDAZURI-ROJAS, A.C., VILLARREAL, J.S., N ´ U ´ NEZ E, PICO, M.M., Lagos, A.S., Caviedes, M., Experimental evaluation of crushed *Moringa oleifera* Lam. Seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes, *Journal of Environmental Chemical Engineering* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.021>

LEDO, P. G. S., Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez utilizando sulfato de alumínio e sementes de *Moringa oleifera* como coagulantes. Tese de Doutorado, UFRN, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Áreas de Concentração: Engenharia Ambiental e Processos de Separação. 123 p. 2008

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L., NASCIMENTO, N. O., A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública; 2005 2019-228.

LIMA, N. M. DE. (2015). Niedja Maria de Lima APLICAÇÃO DA *Moringa oleifera* NO TRATAMENTO, 0–56.

LO MONACO, P.A.V., TEIXEIRA DE MATOS, A., ANDRADE RIBEIRO, I.C., DA SILVA F.N., PANAZZOLO SARMENTO, A., Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* [en linea] 2010, 5 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 20 de junio de 2019]. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92815711014>> . Acesso em 18 nov. 2018.

LUND, J.W.G., KIPLING, C. & LECREN, P. The inverted Microscope Method of Estimating Algal Numbers Counting. *Hydrobiologia*, v.11, p.143-170, 1958.

MACKINNEY, Q. (1941) Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.*, 140, 315-322.

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, C. L., MARTÍNEZ, L., MARTÍNEZ-ORTIZ, E. J., GONZÁLEZ-TRUJANO, M. E., DÉCIGA-CAMPOS, M., VENTURA-MARTÍNEZ, R., &

DÍAZ-REVAL, I. (2017). *Moringa oleifera*, a species with potential analgesic and anti-inflammatory activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 87, 482–488.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.12.107>.

MENDES, F. M., & COELHO, N. M. M. (2007). Estudo Do Uso Da *Moringa oleifera* Para Remoção De Prata E Manganês Em Águas, 1–18.

MOLICA, R., & AZEVEDO, S. (2009). ECOFISIOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE CIANOTOXINAS. *Oecol. Bras*, 13(2), 229–246.

MORETI, L.O.R., CAMACHO, F.P., COLDEBELLA, P.F., VALVERDE, K.C., SILVA, M.F., ARAKAWA, F.S., DOS SANTOS, T.R.T., SHIMABUKU, Q.L., NISHI, L., BERGAMASCO, R., **Avaliação do Processo de Remoção de *Dolichospermum flosaquae* Utilizando como Coagulante Natural Pó Integral da Semente de *Moringa oleifera***. Revista Tecnológica. ed especial, Maringá – PR, p. 227-236, 2015.

MORETI, L. O. R., COLDEBELLA, P. F., CAMACHO, F. P., CARVALHO BONGIOVANI, M., PEREIRA DE SOUZA, A. H., KIRIE GOHARA, A., BERGAMASCO, R. (2016). Removal of *Anabaena flos-aquae* in water treatment process using *Moringa oleifera* and assessment of fatty acid profile of generated sludge. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 37(11), 1408–1417.

<https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1117144>.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., & TALBOT, B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, 29(2), 703–710. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)

NISHI, L., MADRONA, G. S., GUILHERME, A. L. F., VIEIRA, A. M. S., ARAUJO, A. A., UGRI, M. C. B. A., & BERGAMASCO, R. (2011). Cyanobacteria removal by coagulation/flocculation with seeds of the natural coagulant *Moringa oleifera* lam. *Chemical Engineering Transactions*, 24, 1129–1134.

<https://doi.org/10.3303/CET1124189>

OKUDA, T., BAES, A. U., NISHIJIMA, W., & OKADA, M. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, 33(15), 3373–3378. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00046-9)

OLADOJA, N.A., PAN, G., Modification of local soil/sand with *Moringa oleifera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003i>

OLIVEIRA, C.F.R., M.C. MOURA, T.H. NAPOLEÃO, P.M.G. PAIVA, L.C.B.B. COELHO & M.L.R. MACEDO. A chitin-binding lectin from *Moringa oleifera* seeds (WSMoL) impairs the digestive physiology of the Mediterranean flour larvae, *Anagasta kuehniella*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 142: 67-76, 2017.

ONSTAD, G. D., STRAUCH, S., MERILUOTO, J., CODD, G. A., & VON GUNTEN, U. (2007). Selective oxidation of key functional groups in cyanotoxins during drinking water ozonation. *Environmental Science and Technology*, 41(12), 4397–4404. <https://doi.org/10.1021/es0625327>. Painel de Saneamento no Brasil. Trata Brasil. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=0>>. Acessado em: 04 jun. 2019.

PAN, G., YANG, B., WANG, D., CHEN, H., TIAN, B. HUI, ZHANG, M. LAN, ... CHEN, J. (2011). In-lake algal bloom removal and submerged vegetation restoration using modified local soils. *Ecological Engineering*, 37(2), 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.019>

Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children’s Fund (UNICEF), 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>>. Acessado em: 04 jun. 2019.

RIBEIRO, A. T. A., Aplicação da *Moringa oleifera* no Tratamento de água para Consumo Humano - Remoção de poluentes por coagulação-floculação. 2010. 98 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2010.

RODRÍGUEZ, E., ONSTAD, G. D., KULL, T. P. J., METCALF, J. S., ACERO, J. L., & VON GUNTEN, U. (2007). Oxidative elimination of cyanotoxins: Comparison of ozone, chlorine, chlorine dioxide and permanganate. *Water Research*, 41(15), 3381–3393. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.033>

SÁ, L.L.C.D., VIEIRA, J., MENDES, R., PINHEIRO, S.C.C., VALE, E.R., ALVES, F. AND COSTA, V. Ocorrência de uma floração de cianobactérias tóxicas na margem direita do Rio Tapajós, no Município de Santarém (Pará, Brasil). *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 2010, 1, 159-166.

SIVONEN, K. (2009). Cyanobacterial Toxins. *Encyclopedia of Microbiology*, 290–307. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53103-2.00032-6>

TEIXEIRA, M. R., & ROSA, M. J. (2005). Microcystins removal by nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 46(3), 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.05.013>

UEHLINGER, V. Étude statistique des méthodes de denombrement planctonique. *Arch. Sci., Paris*, v.17, n.2, p.122-223, 1964.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamiento del metodo cuantitativo del fitoplancton. *Comun. Assoc. Int. Limno. Teor. Apl., Michigan*, n.9, 89 p., 1958.

VEIGA, N. C. DE A. R. (2008). Cianobactéria Tóxica Na Água Para Consumo Humano.

VIANA-VERONEZI, M., GIANI, A., MELO, C. DA S., GOME, L. L., & LIBÂNIO, M. (2009). Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 14(2), 193–204. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200007>

VIERA, G. H. F., MOURÃO, J. A., ÂNGELO, Â. M., COSTA, R. A., & VIEIRA, R. H. S. DOS F. (2010). Antibacterial effect (in vitro) of *Moringa oleifera* and *Annona muricata* against Gram positive and Gram negative bacteria. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 52(3), 129–132. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0036-46652010000300003>.> Acesso em 08 jan. 2019.

WANG, Y., GAO, Y., DING, H., LIU, S., HAN, X., GUI, J., & LIU, D. (2017). Subcritical ethanol extraction of flavonoids from *Moringa oleifera* leaf and evaluation of antioxidant activity. *Food Chemistry*, 218, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.058>