

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII

Fernando Loeser Alves de Souza

2016/1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO
POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE
CIANOBACTÉRIAS CYLINDROSPERMOPSIS
RACIBORSKII**

FERNANDO LOESER ALVES DE SOUZA

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Florianópolis, 2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Loeser Alves de Souza, Fernando

Análise da eficiência do processo de flotação por ar dissolvido na remoção de cianobactérias *cylindrospermopsis raciborskii* / Fernando Loeser Alves de Souza ; orientador, Maurício Luiz Sens - Florianópolis, SC, 2016. 72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Flotação por ar dissolvido. 3. Eficiência de remoção. 4. Cianobactérias. I. Luiz Sens, Maurício. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO
POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS
CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII

FERNANDO LOESER ALVES DE SOUZA

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Maurício Luiz Sens



Msc. Felipe Gustavo Trennepohl



Msc. Fernando Hymnô de Souza

FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA
JULHO/2016

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente meus pais Luiz Claudio Alves de Souza e Ilma Silva Loeser, por me apoiarem em toda e qualquer situação, o que me permitiu conquistar meus objetivos.

Ao meu orientador, Maurício Luiz Sens, pelo suporte, direcionamento e ensinamentos.

À CASAN, pela oportunidade de contribuir com a comunidade, em especial ao Felipe Gustavo Trennepohl, Conrado Longo e Rafael Luiz Prim por acompanharem de perto meu trabalho. Também à toda SOMAG por proporcionar esta oportunidade e me auxiliar sempre que necessário.

Aos professores Pablo Heleno Sezerino, Henry Xavier Courseuil e Sebastião Roberto Soares, pelas aulas ministradas com maestria durante a graduação e toda dedicação aos alunos.

À Gabriela Silva Goedert, por todo apoio e incentivo durante a realização desse trabalho.

Ao Felipe Cemin Finger pela disponibilidade na realização das fotos aéreas tiradas do local, auxiliando no enriquecimento visual deste trabalho.

RESUMO

A presença de cianobactérias vem se tornando cada dia mais comum nos ambientes aquáticos, e sua grande quantidade pode interferir nos processos de tratamento de água.

A flotação por ar dissolvido (FAD) vem sendo utilizada com sucesso na remoção de células de cianobactérias sem a ocorrência de rompimento das mesmas. Este processo é considerado mais eficiente que outros métodos usuais utilizados nas estações de tratamento.

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a eficiência da remoção de cianobactérias da água coletada da Lagoa do Peri, com intuito de analisar se a FAD, para este caso, é eficaz na remoção desses microrganismos. Os experimentos foram realizados em escala de bancada, utilizando como coagulante o policloreto de alumínio, como auxiliar de floculação os polímeros catiônicos e não-iônicos. A água de estudo foi a da Lagoa do Peri, manancial que abastece a parte leste e sul da ilha de Florianópolis e que possui uma alta concentração de cianobactérias durante o ano, em específico a *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Durante o período estudado foram realizadas três etapas. A primeira foi denominada de ponto de dosagem ótima de coagulante, nela foram realizados diversos ensaios de jarreste com variação de coagulante e de polímero, com o intuito de encontrar uma dosagem ótima das substâncias químicas. A segunda etapa foi a realização de FAD com variação nos tempos de mistura lenta, na qual foram analisadas a turbidez e a cor após a clarificação da água. A terceira e última etapa foi com variação na dosagem de polímeros. Nesta fase foi realizada a medição de cor e turbidez, e também houve a contagem de células de cianobactérias para os melhores resultados de clarificação.

Nos ensaios de FAD com variação da dosagem de polímero encontrou-se a melhor remoção média de cor e turbidez, chegando a um valor de 51% para cor e 65% para turbidez, e com uma média de remoção de cianobactérias de 55,65%.

Palavras chaves: Água, Cianobactérias, Flotação por ar dissolvido, Eficiência de remoção.

ABSTRACT

The presence of cyanobacteria is becoming increasingly common in aquatic environments, and a lot can interfere with water treatment processes.

Dissolved air Flotation (DAF) has been successfully used in the removal of cyanobacteria cells without the occurrence of breakage of the same. This process is considered more efficient than other commonly used methods in the treatment plant.

This study aimed to evaluate the efficiency of removal of cyanobacteria water collected from Peri Lagoon, in order to analyze whether DAF, in this case, it is effective in removing these microorganisms. The experiments were conducted on a bench scale, using as a coagulant aluminum chloride as an auxiliary flocculation cationic polymers and non-ionic. The studied water was the one present in the Peri Lagoon watershed that supplies the eastern and southern part the island of Florianopolis and has a high concentration of cyanobacteria during the year, in the specific *Cylindrospermopsis raciborskii*.

This study was conducted in three stages. The first is called the optimum coagulant dosage point, it jar tests were conducted various tests with varying polymer coagulant and, in order to find an optimal dosage of chemicals. The second step was the realization DAF varying the times of slow mixing, which were evaluated for turbidity and color after water clarification. The third and final step was DAF varying the dosage of polymer at this stage was performed measuring color and turbidity, and there was the analyses of cyanobacteria cells in the best clarify results.

In trials with FAD with polymer dosage variation was the best average color and turbidity removal, reaching a value of 51% to 65% for color and turbidity, with a cyanobacteria removal medium of 55,65%.

Keywords: Water, Cyanobacteria, Dissolved air flotation, Removal efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	23
Figura 2: FAD com recirculação e pressurização parcial do efluente.	29
Figura 3: Imagem aérea ETA Lagoa do Peri.	31
Figura 4: Imagem aérea ETA Lagoa do Peri com destaque para sala de controle operacional, os filtros e o tanque de contato.	32
Figura 5: Lagoa do Peri. Fonte: O autor.	32
Figura 6: Jarteste Milan.Fonte: O autor	33
Figura 7: Floteste.	34
Figura 8: Floteste utilizado por Assis.	35
Figura 9: pHmetro Gehaka.....	35
Figura 10: Colorímetro Policontrol.....	36
Figura 11: Turbidímetro DEL LAB	37
Figura 12: Calha Parshall da estação de tratamento de água da Lagoa do Peri.	39
Figura 13: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros.....	44
Figura 14: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 18mg/L.	45
Figura 15: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 18mg/L	45
Figura 16: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros.....	47
Figura 17: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 16mg/L.....	47
Figura 18: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L	48
Figura 19: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros. ...	49
Figura 20: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 18mg/L.....	50
Figura 21: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 18mg/L.	50
Figura 22: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros.....	52
Figura 23: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 16mg/L.....	52
Figura 24: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L	53
Figura 25: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros.....	54
Figura 26: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L	55
Figura 27: Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta	57

Figura 28: Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta	58
Figura 29: Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 18mg/L de PAC.....	44
Tabela 2: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC	44
Tabela 3: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 18mg/L	45
Tabela 4: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 18mg/L	46
Tabela 5: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC.....	46
Tabela 6: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC	47
Tabela 7: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 16mg/L.	48
Tabela 8: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 16mg/L	48
Tabela 9: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 18mg/L de PAC.....	49
Tabela 10: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC	49
Tabela 11: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 18mg/L	50
Tabela 12: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 18mg/L	51
Tabela 13: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC.....	51
Tabela 14: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC	52
Tabela 15: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 16mg/L	53
Tabela 16: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 16mg/L	53
Tabela 17: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC.....	54
Tabela 18: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC	54
Tabela 19: Resultados obtidos com uso de polímero catiônico e PAC a 16mg/L	55

Tabela 20: Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta	57
Tabela 21: Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta	58
Tabela 22: Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros	60
Tabela 23: Porcentagem de remoção de cianobactérias	61
Tabela 24: Análise FAD nº 1, realizada dia 13/04/2016	66
Tabela 25: Análise FAD nº 2, realizada dia 14/04/2016	66
Tabela 26: Análise FAD nº 3, realizada dia 14/04/2016	66
Tabela 27: Análise FAD nº 4, realizada dia 19/04/2016	67
Tabela 28: Análise FAD nº 5, realizada dia 19/04/2016	67
Tabela 29: Análise FAD nº 6, realizada dia 26/04/2016	67
Tabela 30: Análise FAD nº 7, realizada dia 27/04/2016	68
Tabela 31: Análise FAD nº 8, realizada dia 27/04/2016	68
Tabela 32: Análise FAD nº 9, realizada dia 04/05/2016	68
Tabela 33: Análise FAD nº 10, realizada dia 04/05/2016	69
Tabela 34: Análise FAD nº 11, realizada dia 04/05/2016	69
Tabela 35: Análise FAD nº 12, realizada dia 11/05/2016	69
Tabela 36: Análise FAD nº 13, realizada dia 11/05/2016	70
Tabela 37: Análise FAD nº 14, realizada dia 11/05/2016	70
Tabela 38: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 19/05/2016	71
Tabela 39: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 31/05/2016	71
Tabela 40: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 13/06/2016	71
Tabela 41: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 14/06/2016	72
Tabela 42: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 23/06/2016	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CAL - Calibrar

CASAN- Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

DAF - Dissolved Air Flotation

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAD – Flotação por Ar Dissolvido

LAPOA – Laboratório de Potabilização das Águas

mg/L – Miligrama por litro

NTU - Nephelometric Turbidity Unit

PAC – Policloreto de Alumínio

POE – Poli Óxido de Etileno

pH – Potencial Hidrogeniônico

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

uH – Unidade Hazen

uT – Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. OBJETIVOS	21
1.1.1. Objetivo geral	21
1.1.2. Objetivos específicos	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. Parâmetros analisados	22
2.2. Cianobactérias	22
2.2.1. Cianotoxinas	25
2.3. Coagulação	26
2.4. Flocculação	27
2.5. Flotação	27
2.5.1. Flotação por ar dissolvido	28
2.6. Polímeros	29
3. METODOLOGIA	30
3.1. Caracterização da área de estudo	30
3.2. Água analisada	32
3.3. Instrumentos	33
3.3. Desenvolvimento experimental	37
3.3.1. Monitoramento da água do manancial Lagoa do Peri	38
3.2.3. Ensaio de FAD realizando variação nos tempos de mistura lenta	40
3.2.3. Ensaio de FAD variando dosagem de polímero	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Ponto de dosagem ótima do coagulante	42
4.2. Flotação por ar dissolvido com variação do tempo de mistura lenta	55
4.3. Realização da flotação por ar dissolvido variando dosagem de polímero	58
5. CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÃO	62

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE A – RESULTADOS FAD COM VARIAÇÃO DO TEMPO DE MISTURA LENTA.....	66
APÊNDICE B – RESULTADOS FAD COM VARIAÇÃO DE DOSAGEM DE POLÍMEROS	71

1. INTRODUÇÃO

O acúmulo de cianobactérias em corpos d'água vem se tornando cada vez mais comum, tendo sua ocorrência acrescida devido ao aumento da ocupação urbana, o crescimento da agricultura e o aumento da produção industrial. Uma das principais causas da alta proliferação das algas é a liberação irregular de efluentes nos ambientes aquáticos, causando crescimento na concentração de nutrientes, conseqüentemente levando ao desequilíbrio ecológico.

O aumento dos compostos fosfatados e nitrogenados leva a comunidade fitoplânctônica a realizar um crescimento desordenado, podendo causar sérios impactos ao meio ambiente. Porém as florações de cianobactérias também podem ocorrer em mananciais de água limpa. Sivonen e Jones (1999) relatam o incidente do óbito de gado a partir de intoxicação por cianobactérias, estas provenientes de reservatórios de águas límpidas localizados na Austrália.

O aparecimento de *Cylindrospermopsis raciborskii*, em lagos ou em reservatórios tem sido frequentemente seguido por florações, nas quais atingem densidades de pico de cerca de 10^8 e 10^9 filamentos. Estas florações podem comprometer seriamente o uso da água para recreação como também para abastecimento de água potável. Dois exemplos dessa situação são o Lago Balaton, na Hungria e o Lago Paranoá, em Brasília, no Brasil (PADISÁK, 1997).

Uma preocupação associada às cianobactérias seria o rompimento de suas células, pois quando acontecem, essas algas podem liberar cianotoxinas. As carreiras de filtração podem induzir o acontecimento desses rompimentos, causando a liberação de toxinas para a água em tratamento. As toxinas são solúveis em água o que facilita a passagem delas por filtros, perdendo o controle de qualidade do processo.

Nesta situação, é de suma importância a utilização de um pré tratamento que cause o menor rompimento possível das cianobactérias. A flotação por ar dissolvido (FAD) tem sido aplicada alternativamente a etapa de sedimentação no tratamento de águas com alta densidade de cianobactérias. Esta utilização ocorre devido ao baixo peso dos flocos não obtendo uma alta eficiência com a sedimentação, diferentemente da flotação (AMARAL, 2011).

A decantação é um processo extremamente utilizado, porém em algumas condições este processo não possui bom rendimento.

Isso acontece quando os flocos formados não possuem peso suficiente para que ocorra sua decantação rapidamente na água, entretanto existem formas de tornar os flocos mais pesados, como utilização de polímeros para aumentar o tamanho destes. Porém, nem sempre o aumento de tamanho vai tornar a decantação possível, como no caso de flocos formados por cianobactérias. Neste caso, como elas possuem gases armazenados nas suas células, é inviável o aumento do peso a um ponto que torne rápida sua sedimentação. Desta forma são consideradas as flotações como opções mais apropriadas no tratamento de água com cianobactérias.

Uma característica importante da água afluyente na estação de tratamento de água da lagoa do Peri é a presença de cianobactéria, sobretudo a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* atingindo concentrações celulares na ordem de 10^6 por mL, durante maior período do ano (MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DE MELO, 2009).

A estação de tratamento de água da Lagoa do Peri é responsável desde o ano 2000 pelo abastecimento de água do leste da ilha até o bairro da Barra de Lagoa, e de toda parte do sul da ilha, até a praia da solidão, sendo o ponto sul mais extremo no qual chega a rede de abastecimento.

Esta pesquisa busca verificar a eficiência do processo de flotação por ar dissolvido na remoção de cianobactérias encontradas no manancial da Lagoa do Peri. A partir dos dados obtidos nessa pesquisa será avaliado se a FAD será viável se implantado como pré tratamento da ETA da Lagoa do Peri, visando eficiência no tratamento e uso seguro das águas para abastecimento.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência da flotação por ar dissolvido na remoção de cianobactérias presentes na água de abastecimento do manancial da Lagoa do Peri.

1.1.2. Objetivos específicos

- ❖ Avaliar a eficiência na formação de flocos utilizando diversas dosagens do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e polímeros.
- ❖ Avaliar a eficiência da remoção de turbidez e cor pelo processo de flotação por ar dissolvido utilizando o coagulante policloreto de alumínio (PAC).
- ❖ Avaliar a eficiência da remoção de cianobactérias pelo processo de flotação por ar dissolvido utilizando o coagulante policloreto de alumínio (PAC) com diferentes dosagens de Polímeros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Parâmetros analisados

Turbidez

A turbidez é uma característica física, que é medida através da passagem de um feixe de luz através da água. Esta contém partículas suspensas, e quanto maior o número destas partículas, maior será a turbidez, representando a quantidade de luz que atravessou a amostra. Este parâmetro é representado por meio de unidades de turbidez (NTU) (LIBÂNIO, 2008).

A Portaria 2.914, em vigor na data 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, estabelece como limite máximo de turbidez o valor de 5 NTU (uT).

Cor

A cor é representada por partículas coloidais presentes na água, esta ocorre devido a reflexão da luz em partículas minúsculas, com dimensões menores que 1 micrômetro. Estas partículas tem origem predominantemente orgânica (LIBÂNIO, 2008). A unidade que representa cor é a Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).

Segundo a Portaria número 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo aceito em águas para consumo humano para o parâmetro cor aparente é de 15 Unidade Hazen (uH).

2.2. Cianobactérias

As cianobactérias ou cianofíceas, também conhecidas por algas azuis, são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos. Para sobreviver necessitam somente de água, substâncias inorgânicas e luz. O principal modo de obtenção de energia dessas algas é a fotossíntese. Estas possuem uma organização celular semelhante as bactérias, organismos procariontes (falta de organelas envoltas por membranas), por essa razão são chamadas de cianobactérias (RABELO, 2006).

A Portaria número 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, define os procedimentos, responsabilidades e limites quanto ao controle e vigilância da qualidade da água, para o padrão de potabilidade, e dá outros direcionamentos. Essa portaria descreve as cianobactérias, como:

“Artigo 4 - X - cianobactérias - microrganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde”

Desde sua primeira citação por Byth e Bourke (1983) *apud* PADISÁK (1997), a *Cylindrospermopsis raciborskii* (Figura 1) era considerada uma alga não-tóxica, porém em novembro de 1979 um surto de hepato enterite em Palm Island, na Austrália fez com que fossem feitos estudos mais aprofundados sobre o tema. Em Palm Island, na barragem Solomon, para controlar a proliferação da floração de algas, fez-se o tratamento da água com a substância sulfato de cobre. O surto ocorreu alguns dias após o tratamento, mostrando que a *C. Racirboski* pode vir a produzir cianotoxinas nocivas.

Figura 1: *Cylindrospermopsis raciborskii*



Fonte: CASAN, 2015.

No Brasil os processos mais utilizados no tratamento convencional não são capazes de suportar uma carga muito alta de cianobactérias na água para tratamento. Os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são considerados menos eficientes quando lidam com alta concentração de cianobactérias. Estas dificuldades operacionais se manifestam em uma menor eficiência na floculação e coagulação, devido as alterações no pH da água, a baixa eficiência na etapa de sedimentação, devido a flutuabilidade das células, e a redução na eficiência do sistema de filtração, devido a rápida colmatação dos filtros, reduzindo suas carreiras de filtração (AMARAL, 2011).

A *C. raciborskii* habita uma grande diversidade de ambientes, que vão desde o subtropical, oligotrófico no hemisfério sul, a pequena e rasa, hipertrófica, nas lagoas temperadas no hemisfério norte. Surpreendentemente, muitos dados são de rios ou ambientes dinâmicos e de reservatórios construídos recentemente. Estas localidades representam uma grande diversidade de habitats tanto em termos de geomorfologia e química da água, indicando assim um elevado nível de adaptabilidade ecofisiológica de espécies (PADISÁK, 1997).

A alta adaptabilidade é uma das principais características das cianobactérias, porém os locais mais propícios para proliferação são em água doce. Essa propensão ocorre devido a um melhor crescimento em águas neutro-alcálinas (pH 6 - 9), com uma temperatura entre 15° a 30° C e grande quantidade de nutrientes, mais especificamente nitrogênio e fósforo (RABELO, 2006).

Segundo Matsuzaki (2007), as variáveis que apresentaram correlações significativas com a densidade de cianobactérias são: temperatura, pH, turbidez, nutrientes e microcistinas. Os únicos parâmetros em que foram verificadas correlações negativas com a densidade de cianobactérias foram a turbidez e os sólidos suspensos totais, que são indicativos das características físicas da água.

As cianobactérias não causam problemas se ingeridas, porém caso liberem as cianotoxinas pode haver contaminação das águas, ocasionando até mesmo o óbito de quem as consome. Por isso a preocupação no tratamento em remover as células das cianobactérias sem gerar o rompimento das mesmas.

2.2.1. Cianotoxinas

As toxinas das cianobactérias constituem uma grande parte das toxinas naturais, as chamadas biotoxinas, encontradas comumente nas superfícies dos reservatórios de água doce. As cianotoxinas foram causas para inúmeros casos de envenenamento de animais em diversas localidades. (CARMICHAEL, 1992).

A real função das cianotoxinas é desconhecida, ou seja, atualmente os cientistas não conseguem afirmar qual a serventia dessas toxinas para a cianobactéria. Porém, para explicar a produção da mesma, acredita-se que as toxinas trazem algum benefício para as cianobactérias, tais como defesa de predação, relações simbióticas, excreção de produtos e até mesmo podendo ser reservas metabólicas (MELO FILHO, 2006).

Existem diversas maneiras de classificar as cianotoxinas, porém a mais usual é a classificação a partir da ação das toxinas sobre tecidos, órgãos ou organismos. Nesta classificação as cianotoxinas são denominadas hepatotoxinas ou neurotoxinas (MELO FILHO, 2006).

Neurotoxina

Esta neurotoxina alcalóide, é um agonista nicotínico potente pós-sináptico colinérgico, que causa um bloqueio neuromuscular, atacando o sistema nervoso. Os sinais de intoxicação atribuídos a ela em animais selvagens e domésticos incluem escalonamento, fasciculações musculares, ofegante e convulsões. A principal causa de morte nessa situação é devido a parada respiratória e ocorre dentro de minutos ou algumas horas, dependendo da espécie, posologia e consumo de alimentos feito anteriormente (CARMICHAEL, 1992).

Hepatotoxinas

As hepatotoxinas são as toxinas mais comuns, conseqüentemente são as que mais causam intoxicação. Quando confrontadas com as neurotoxinas, as hepatotoxinas possuem diferenças, como ação mais lenta, podendo levar a morte em poucas horas ou dias, devido a hemorragia intra-hepática e choque

hipovolêmico, demonstrando assim que esta toxina ataca o fígado (AZEVEDO, 1998).

2.3. Coagulação

Este processo consiste na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de matéria orgânica dissolvida, por meio de dois fenômenos. O fenômeno físico, se dá pelo transporte das espécies hidrolisadas ou dos precipitados gerados para que haja contato com as impurezas presentes na água. Já o químico, ocorrem reações de hidrólise do metal. Usualmente o processo de coagulação é realizado em unidades de mistura rápida, podendo estas serem mecânicas ou hidráulicas (DI BERNARDO, 2011).

As unidades mecânicas são aquelas em que a água é movimentada através de hélices, turbinas, rotores e palhetas giratórias. Nas unidades hidráulicas a mistura é realizada pelo próprio movimento da água. O tipo mais comum utiliza ressalto hidráulico, ou seja, a turbulência causada pelo ressalto da água é o responsável pela mistura dos produtos químicos. Um exemplo seria a Calha Parshall, utilizada na estação de tratamento de água da Lagoa do Peri.

Segundo Libânio (2008), a coagulação possui duas vertentes, a primeira é a sanitária para remoção adequada de partículas que possuam dimensões microscópicas, como microrganismos patogênicos. A segunda vertente é basicamente econômica, pois a utilização da coagulação torna possível a decantação de águas que contenham partículas pequenas com velocidades de sedimentação reduzida, visto que sem a utilização da coagulação o tempo para decantação nesses casos seria muito elevado e necessitaria de um espaço imensurável para realização do tratamento.

A coagulação é utilizada em quase a totalidade de tratamentos empregados na atualidade, com exceção apenas na filtração lenta. Este processo é uma etapa de suma importância, pois o seu desempenho irá impactar diretamente na qualidade da água que sairá do tratamento, e ainda se utilizada corretamente, pode elevar a duração das carreiras dos filtros, reduzindo gastos no tratamento da água.

2.4. Floculação

A floculação está intimamente relacionada com a etapa da coagulação, por isso não se tem conhecimento quando este método passou a ser utilizado de forma abrangente no tratamento de águas para consumo. Existem indícios que as primeiras estações a apresentarem unidades de floculações foram no início do século 20, nos EUA, devido ao desenvolvimento da filtração rápida e a necessidade de diminuir a contribuição de partículas às unidades filtrantes (LIBÂNIO, 2006).

Este processo surge como uma consequência do processo de coagulação. Configura-se numa etapa de mistura lenta, que tem como objetivo acelerar a taxa de colisão das partículas que sofreram desestabilização durante a etapa de coagulação, aumentando a possibilidade de contato entre partículas. Durante o processo da floculação pode haver adição de outros produtos químicos, para que haja a agregação de partículas em forma de flocos. Esta etapa é comum em estações de tratamento onde se utiliza a sedimentação ou a flotação por ar dissolvido para clarificação da água (ASSIS, 2006).

A floculação acontece sempre que existe uma etapa de coagulação no sistema de tratamento, mesmo que este sistema não possua uma unidade específica para o acontecimento da etapa de floculação. A comprovação da eficiência da floculação é realizada através dos parâmetros da água decantada, sendo a turbidez o mais representativo, e com menor significância o parâmetro cor.

2.5. Flotação

A flotação foi utilizada inicialmente em indústrias de minério e de papel, no início do século XX. Porém, sua aplicação em tratamento de água para comunidade só teve início na década de 50, onde passou a ser utilizada no tratamento de águas residuárias. Já no tratamento de água para abastecimento só foi implantada a partir dos anos 60, quando foram iniciadas pesquisas e aplicações do método. No Brasil, o início dos estudos relacionados a esse processo foram tardios, iniciando na década de 80 (OLIVEIRA, 2005).

A flotação é um processo que tem por função separar as partículas sólidas de uma fase líquida. Esta separação acontece através da inserção de microbolhas na água. Essas microbolhas

aderem às partículas, e sua força de arraste impulsiona as partículas em direção a superfície, onde ficam acumuladas.

A escolha da flotação ou sedimentação, como processo de clarificação da água, depende de diversas variáveis. Os parâmetros que mais exercem influência nessa escolha são qualidade da água bruta, espécie da cianobactéria e suas características morfológicas, pH de coagulação, tipo da dosagem do coagulante, tempo e gradiente de velocidade da floculação e taxa de aplicação superficial (OLIVEIRA, 2005).

2.5.1. Flotação por ar dissolvido

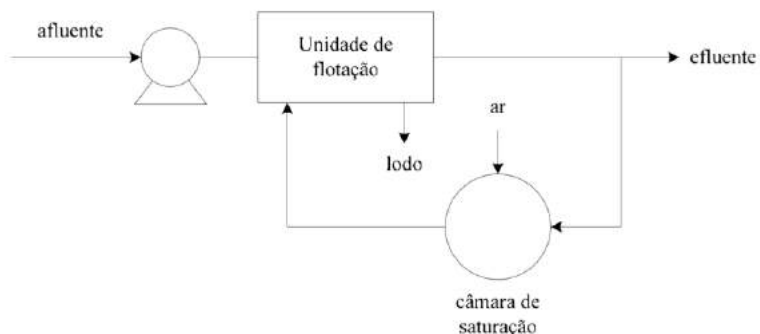
A flotação por ar dissolvido (FAD), técnica comumente empregada no tratamento de água, ocorre através de uma redução de pressão da água saturada, em um dispositivo apropriado, onde são produzidas microbolhas, essas bolhas irão aderir nos flocos e possibilitarão sua ascensão. Esse processo, ocorre normalmente com pressurização da água recirculada, podendo ocorrer em unidade retangulares ou cilíndricas, e após a realização da flotação a água clarificada é direcionada para o filtro. A utilização da flotação como tratamento de água ocorre quando a água bruta possui algas e/ou cor verdadeira consideravelmente elevada, pois é o agente facilitador na remoção de flocos leves, que normalmente são gerados após a coagulação e floculação (DI BERNARDO, 2011).

Na atualidade são reconhecidos três principais tipos de FAD: com pressurização parcial do afluente, com pressurização total do afluente ao tanque de flotação e por último, com recirculação e pressurização parcial do efluente (Figura 1). No último exemplo, como o nome define, uma parte da água tratada é colocada sob influência de ar sob grande pressão. Em seguida vai ao flotador, onde há liberação da água saturada por células redutoras de pressão. Na saída do dispositivo acontece a formação de microbolhas de ar, que ao entrar em contato com a água floculada produz uma partícula floco-bolha que ascende até alcançar a superfície, gerando uma camada de lodo a ser retirada na superfície (ASSIS, 2006).

Esse tipo de FAD diminui a probabilidade de rompimento dos flocos gerados na etapa da coagulação/floculação, pois os flocos

não são submetidos as pressões do sistema de pressurização da água de recirculação clarificada (Figura 1).

Figura 2: FAD com recirculação e pressurização parcial do efluente.



Fonte Assis, 2009.

Segundo, Oliveira (2005) apud DRIKAS (1994), foi avaliada a eficiência da flotação por ar dissolvido para remoção de cianobactérias sem a ocorrência do rompimento das células, porém a comparação entre a sedimentação e a flotação continua necessária. Ao comparar a FAD com a sedimentação na estação de tratamento de água de North Richmond, Austrália, foi encontrada uma eficiência de 98% na remoção de células de cianobactérias intactas com a flotação por ar dissolvido, enquanto na utilização da sedimentação houve uma remoção entre 50 - 60% das células intactas.

2.6. Polímeros

Os polímeros são polieletrólitos compostos por moléculas orgânicas de cadeias longas, estão sendo extremamente utilizados em estações de tratamento de água e esgoto. Eles funcionam como auxiliares de floculação, ou seja, quando é necessário uma melhor formação de flocos são utilizados polímeros. Os polímeros possuem a capacidade de atrair as partículas sólidas suspensas e em seguida realizam sua adsorção. Os polímeros floculantes são utilizados no processo para agregar partículas neutralizadas e a partir disso gerar partículas maiores. São comumente utilizados no processo de coagulação/floculação, seguido de sedimentação ou flotação.

Certos polímeros carregados têm a propriedade incomum de diminuição da solubilidade após aquecimento. Um dos exemplos mais conhecidos é o poli óxido de etileno (POE) em água. Similares efeitos de temperatura anormais são também observados para polímeros não iônicos, por exemplo, éteres de alquila (KARLSTROEM, 1990).

Coagulação de polímeros define o processo pelo qual uma solução de polímero é neutralizada, num meio aquoso, levando a uma troca solvente-não solvente e precipitação do polímero. Esse processo constitui o passo mais importante na formação de materiais poliméricos através da via de processamento de solução (TERMONIA, 1995).

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido na sala de controle operacional da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Lagoa do Peri, operada pela Companhia Catarinense de Saneamento e Águas, em conjunto com o Laboratório de Potabilização das Águas – LAPOA (UFSC). A sala de controle operacional da CASAN tem como finalidade garantir o pleno funcionamento da ETA e monitorar a qualidade de água, de forma a atender a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde. Nela são realizadas análises que comprovam se as dosagens dos produtos químicos utilizados, como cloro, policloreto de alumínio, flúor, estão adequadas ao tratamento. Os operadores são os responsáveis pelo tratamento da água, possuindo conhecimento e arbitrariedade para alterar dosagens de produtos químicos quando necessário.

A ETA da Lagoa do Peri (Figura 2 e 3) localiza-se no sul da Ilha de Santa Catarina, na bacia hidrográfica da Lagoa do Peri, dentro do Parque da Lagoa do Peri, regulamentado pela Lei Municipal nº 1.828 de 1992. A Lagoa do Peri (Figura 4) possui uma área de 5,072 km², com um volume aproximado de 21,20 milhões de m³ e suas profundidades média e máxima são, 4,18 e 11,00 m (GARCIA, 2002). A ETA da Lagoa do Peri utiliza a filtração direta,

com cinco filtros descendentes que trabalham por gravidade para o tratamento da água.

Figura 3: Imagem aérea ETA Lagoa do Peri.



Fonte: FCFIA.

Figura 4: Imagem aérea ETA Lagoa do Peri com destaque para sala de controle operacional, os filtros e o tanque de contato.



Fonte: FCFIA

Figura 5: Lagoa do Peri.



Fonte: O autor.

3.2. Água analisada

A água da Lagoa do Peri caracteriza-se pela excelente qualidade e a ausência de poluição antrópica. O principal motivo

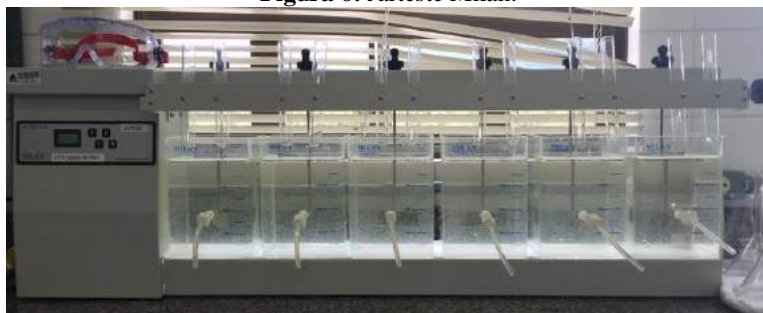
para isto é o monitoramento constante da área, dificultando o despejo de poluentes na mesma. Este monitoramento é realizado devido ao fato da Lagoa do Peri se localizar dentro de um parque municipal, se enquadrando como uma área de conservação do município de Florianópolis. Entretanto, a água da Lagoa apresenta uma peculiaridade. Mesmo sem haver poluição antrópica, esta possui uma grande quantidade de cianobactérias, o que dificulta no tratamento para abastecimento da comunidade. As *Cylindrospermopsis raciborskii* não causam problemas se ingeridas, porém caso liberem as toxinas pode haver contaminação das águas, ocasionando até mesmo a morte de quem as consome.

3.3. Instrumentos

Jarteste

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no instrumento jarteste da MILAN (Figura 5), composto por conjunto motor-agitador (com paletas de 25x75 mm) e seis jarros de acrílico transparentes, com dimensões de 115x115 mm e capacidade para 2 litros de água cada.

Figura 6: Jarteste Milan.



Fonte: O autor

Floteste

Os ensaios de coagulação/floculação/FAD foram realizados no instrumento floteste (Figura 6), composto por uma câmara de pressurização, conjunto motor-agitador (com paletas de 25x75mm) e

três jarros em acrílico transparente, com dimensões de 115x115mm e capacidade para 2 litros de água casa. A câmara de pressurização da Gratt, possui capacidade para 3 litros de água, e funciona pela injeção de ar comprimido fornecido por um compressor externo. O instrumento é dotado de válvula reguladora de pressão, manômetro, e registro agulha para ajuste fino de pressão. Na base da câmara encontram-se os registros para controle de entrada de ar e saída de água saturada para os jarros.

Inicialmente foi utilizado o floteste com uma placa de acrílico perfurada uniformemente, porém após observações a mesma foi removida para assegurar uma melhor eficiência na flotação.

Figura 7: Floteste.



Fonte: O autor.

Foi verificada a semelhança no teste de bancada de flotação com o autor ASSIS (2006), nos equipamentos (Figura 7) e também no método, com a utilização de coagulante para auxiliar a formação de flocos que serão levados a superfície após a introdução da água saturada.



Fonte: ASSIS, 2009.

PHmetro

Para analisar o pH foi utilizado o pHmetro da Gehaka (Figura 8). Não foi necessário realizar a calibração diariamente, porém durante todo período de análises o pHmetro era testado com solução tampão com pH 7, sempre fornecendo resultados confiáveis.

Figura 9: pHmetro Gehaka



Fonte: O autor.

Colorímetro

Para análise da cor das amostras foi usado o colorímetro da Policontrol (Figura 9). Para a sua utilização foi necessário realizar a calibração para certificar a acuracidade dos valores obtidos da amostra. Na sua calibração foi utilizado um frasco com água destilada, este era considerado o ponto zero, pressionava-se a tecla CAL, e era escolhida a calibração a partir do zero da amostra, posteriormente eram realizadas as leituras do dia.

Figura 10: Colorímetro Policontrol



Fonte: O autor.

Turbidímetro

Para realizar análise de turbidez foi utilizado o turbidímetro (Figura 10) da empresa DEL LAB. Neste instrumento não havia necessidade de realizar calibração diária, porém era necessário testar se o zero estava correto. Antes de cada análise, colocava-se um frasco com água destilada para análise e o resultado esperado era um número

próximo do zero. Em todas as situações verificou-se um valor aceitável. O valor zero nunca era alcançado visto que os frascos possuem arranhões, causando um desvio no feixe de luz emitido pelo instrumento.

Figura 11: Turbidímetro DEL LAB



Fonte: O autor.

Substâncias químicas

Durante os experimentos diversas substâncias químicas foram utilizadas. O coagulante utilizado foi o Policloreto de Alumínio (PAC), aplicado diariamente no tratamento de água na ETA da Lagoa do Peri. Foram utilizados dois tipos de polímeros, o Polímero catiônico, e o Rapfloc N 020 de natureza não-iônica. Como fixador das cianobactérias na amostra foi utilizado o Lugol. Todas essas substâncias químicas foram fornecidas pela CASAN.

3.3. Desenvolvimento experimental.

O desenvolvimento experimental foi dividido em três etapas. A primeira etapa refere-se às análises para determinar a concentração ótima de coagulante e polímero a serem utilizados na água da Lagoa do Peri, através dos ensaios de coagulação e floculação. A segunda

etapa, refere-se às realizações dos ensaios da floculação por ar dissolvido com diferentes dosagens de coagulante e variando os tempos de mistura lenta, visando verificar o desempenho da flotação por ar dissolvido quando utilizada de forma unitária para tratamento da água da lagoa. Na terceira etapa foi realizada a FAD com diferentes dosagens de polímeros. Durante as três etapas foi realizado o monitoramento, com avaliação dos parâmetros físico-químicos da água da Lagoa do Peri, porém somente na terceira etapa foram observadas as cianobactérias.

Para a formação de flocos para a flotação foi utilizado o coagulante Policloreto de Alumínio, este coagulante foi escolhido pois é o mesmo utilizado atualmente na ETA da Lagoa do Peri.

Foi necessária dissolução do PAC em uma solução aquosa, visto que este possui uma alta concentração para uso na ETA. Foi utilizado aproximadamente 5mL do coagulante concentrado numa proveta de 100mL, que era preenchida com água tratada. Desse modo era obtida uma solução com concentração de 2% de policloreto de alumínio, o que facilitava sua utilização, visto que era trabalhado com potes de 2 litros. Esta ação foi realizada em todas as etapas.

3.3.1. Monitoramento da água do manancial Lagoa do Peri

As coletas de amostra de água da Lagoa do Peri foram realizadas na estação de tratamento, mais precisamente na Calha Parshall (Figura 11). Esta foi realizada antes da dosagem de produtos químicos, para simular de maneira mais precisa a água utilizada na estação de tratamento. As análises foram realizadas três vezes por semana, durante um período de 4 meses (março a junho de 2016). Este local de coleta foi escolhido devido a utilização da água no abastecimento da comunidade, e também pela constatação da necessidade da melhora no tratamento.

Figura 12: Calha Parshall da estação de tratamento de água da Lagoa do Peri.



Fonte: O autor.

Diferentes parâmetros foram analisados para a caracterização da água da Lagoa do Peri, porém só os mais importantes para o estudo foram levados em consideração: turbidez, cor aparente e contagem de cianobactérias.

3.2.2. Definição do ponto ótimo de coagulação

Esta etapa teve como objetivo definir o melhor ponto de coagulação/floculação. Para a realização deste objetivo foram executados diversos testes variando as concentrações do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e também foram testadas diversas dosagens de polímeros não-iônicos e catiônicos e seus efeitos no processo. Os ensaios desse método foram feitos no instrumento jarteste e os parâmetros operacionais adotados foram:

- Velocidade de mistura rápida: 350 rpm.
- Tempo de mistura rápida: 1 minuto.
- Velocidade de mistura lenta: 30 rpm.
- Tempo de mistura lenta: 14 minutos.
- Tempo de decantação: 2 minutos.
- Introdução do polímero após 4 minutos de mistura lenta.

A definição do ponto ótimo de coagulação foi realizada variando-se a dosagem do coagulante (PAC) a ser introduzida na água as concentrações entre 10mg/L e 32mg/L (solução 20% do coagulante) e também foi realizada a variação da concentração de polímeros na amostra. A utilização do PAC resulta na diminuição do pH o que pode ser corrigido posteriormente com a adição de geocálcio, o alcalinizante utilizado na ETA da Lagoa do Peri.

Baseando-se no melhor resultado dos ensaios (faixa de dosagem de coagulante e polímero onde obteve-se o melhor percentual de remoção), as variações de dosagens do coagulante foram de 2mg/L enquanto as de polímero foram de 0,01mg/L. Os indicadores de eficiência nesta etapa foram os parâmetros turbidez, cor e pH.

3.2.3. Ensaios de FAD realizando variação nos tempos de mistura lenta

Esta etapa teve o objetivo de avaliar a eficiência na remoção de cor e turbidez, visto que a remoção desses parâmetros impacta diretamente na remoção de cianobactérias, através da aplicação da flotação por ar dissolvido posteriormente ao processo de coagulação/floculação.

Estes ensaios foram realizados três vezes por semana, durante 3 meses (abril à junho de 2016), paralelamente ao monitoramento da água da Lagoa do Peri, determinando assim, a variação na eficiência do processo de tratamento decorrente das mudanças das características da água.

Foi necessário realizar os ensaios com três dosagens de coagulantes, isso ocorreu, pois, o ponto ótimo de coagulação varia de acordo com a condição da água, sendo assim, os resultados obtidos a partir dessas dosagens acrescentaram confiabilidade aos resultados. Quanto aos polímeros, também foram utilizados os três valores mais eficientes para esta etapa. Os parâmetros operacionais foram:

- Velocidade de mistura rápida: 350 rpm
- Tempo de mistura rápida: 1 minuto
- Velocidade de mistura lenta: 30 rpm
- Tempo de mistura lenta: 14, 10 e 5 minutos
- Taxa de recirculação: 10%

3.2.3. Ensaio de FAD variando dosagem de polímero

Esta etapa foi a última parte de análises, onde após todos os resultados obtidos nas análises anteriores, foi possível definir alguns parâmetros para realizar um experimento com dosagens e tempos de mistura lenta excelentes. Durante a realização dessa etapa foi realizado um jarreste diariamente com as concentrações de policloreto de alumínio de 14, 16, 18, 20, 22 e 24mg/L, a partir do melhor resultado de formação de flocos visualizado. O melhor resultado na formação de flocos, constatado visualmente, foi utilizado como dosagem ótima do coagulante do dia para os ensaios de flotação. Nestes ensaios foram dosados igualmente o coagulante em todos os jarros e emprega-se uma variação na quantidade de polímeros. Os parâmetros operacionais foram:

- Velocidade de mistura rápida: 350 rpm
- Tempo de mistura rápida: 1 minuto
- Velocidade de mistura lenta: 30 rpm
- Tempo de mistura lenta: 10 minutos
- Taxa de recirculação: 10%
- Introdução do polímero após 4 minutos na mistura lenta.

Contagem de Cianobactérias

Nesta etapa foi a única em que aconteceu a contagem de cianobactérias. Para sua realização foi necessário colher a amostra e conservá-la, para futuramente realizar o procedimento de contagem no laboratório central da CASAN. A amostra assim que coletada era colocada num frasco âmbar e era introduzido 1 mL de Lugol, substância química que tem como função fixar cianobactérias, promovendo sua preservação, aumentando sua densidade e facilitando a sedimentação das mesmas.

O método utilizado na contagem de cianobactérias foi o método de sedimentação Utermöhl. Este consiste em deixar sedimentar a amostra em um cilindro de sedimentação com fundo removível, de tal forma que após um certo período decantando no qual seja possível afirmar que todos as células de cianobactérias presentes na amostra se encontram na base do recipiente. Após este período é realizada a contagem das cianobactérias com o microscópio invertido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro cor aparente variou de 30,4 a 54,6 uH para a água bruta, durante as análises feitas nos meses de março à junho. O parâmetro turbidez variou de 7,33 a 11,6 uT, no mesmo período.

O parâmetro pH também foi observado em todas as etapas do experimento, porém, devido a sua baixa influência nos resultados obtidos não foi necessário o estudo minucioso do mesmo. O pH nesse caso não possui grande influência nos resultados pois tanto o policloreto de alumínio quanto os polímeros possuem uma faixa abrangente de trabalhabilidade relacionada a este parâmetro.

O método da flotação sofreu uma alteração da segunda para a terceira etapa. Inicialmente o jarro do floteste tinha somente uma entrada para água saturada com ar, sem nenhum adereço a mais, porém segundo Amaral (2011), o jarro deve possuir acima da entrada da água saturada uma placa de acrílico com diversos furos para distribuir as bolhas igualmente por toda sua extensão, então a confecção desses jarros foi feita para adequação à metodologia. Entretanto, após a utilização desse jarro com a placa perfurada durante a segunda etapa deste estudo foi visualizada uma diminuição significativa na eficiência de remoção de cor e turbidez. Sendo assim, foi realizada a retirada da placa de acrílico superior para a realização das análises da terceira e última etapa, com contagem de cianobactérias.

4.1. Ponto de dosagem ótima do coagulante.

Nesta etapa do experimento o objetivo foi definir a melhor dosagem do coagulante ser utilizados nos ensaios de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido. Os indicadores utilizados foram turbidez e cor, que mantem relação direta com a quantidade de cianobactérias presentes na água.

As tabelas e gráficos (Tabelas 1 a 19 e Figuras 12 a 25) dos resultados com polímeros possuem dois pontos com zero, isto ocorre porque o primeiro ponto com zero é referente a água bruta, ou seja, não possui nenhuma substância química ou passou por tratamento. O segundo ponto zero é referente a água que recebeu a dosagem ótima de coagulante, porém não recebeu polímero e participou da coagulação.

Considerações sobre a etapa do ponto ótimo de coagulação.

Durante esta etapa, de definição do ponto ótimo de coagulação, foi possível observar as melhores dosagens tanto de coagulante quanto de polímeros, e através dela foi possível a definição do melhor polímero para utilização nos ensaios futuros. As melhores dosagens de coagulante ficaram numa faixa numérica visto que variações das condições da água ocorrem naturalmente e variações de dosagens são necessárias para a adequação a condição da água bruta, obtendo assim o intervalo ótimo de 16, 18 e 20mg/L de coagulante (PAC).

No caso do polímero ficou perceptível a diferença entre o polímero catiônico e o não-iônico nos resultados. O polímero catiônico apresentou um melhor desempenho no quesito eficiência de remoção do que o polímero não-iônico, o que levou ao abandono das experiências com o polímero não-iônico. Notou-se que não é necessária uma elevada quantidade de polímero para a melhora da remoção, e em certo ponto a introdução de mais polímero não impacta na melhora dos parâmetros, assim sendo foi adotado dois valores para futuras análises com polímeros que são 0,2mg/L e 0,4mg/L.

Durante a realização da etapa ponto ótimo de coagulação foi utilizado polímeros para auxiliar na formação de flocos. Um aspecto importante sobre a vida útil dos polímeros, é que após serem produzidos, estes possuem pouca durabilidade. No experimento foi possível notar que três dias após a produção do polímero, perde-se toda a propriedade.

Nessa fase as etapas foram divididas em dias, pois em cada dia era realizada uma análise completa.

Jarteste dia 18/03/2016

Considerações: Após a realização do jarteste foi obtida a melhor dosagem de coagulante, que foi fixada em 18mg/L de PAC. Essa dosagem foi utilizada nos ensaios envolvendo polímeros realizados neste dia. Os polímeros utilizados foram produzidos logo antes do início dos ensaios.

Após a realização dos ensaios com polímeros foi constatada melhora na eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez. Neste caso, a utilização do polímero catiônico obteve melhor

resultado que o não-iônico e também do que somente com coagulante.

Tabela 1: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 18mg/L de PAC.

Cor		Turbidez	
Eficiência sem Polímeros	25%	Eficiência sem Polímeros	40%
Eficiência não-iônico	16%	Eficiência não-iônico	39%
Eficiência catiônico	34%	Eficiência catiônico	49%

Figura 13: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros

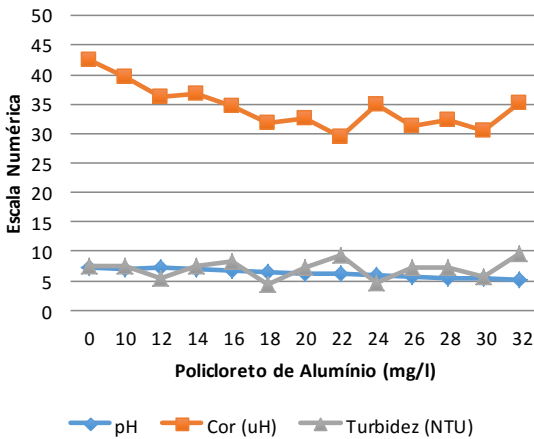
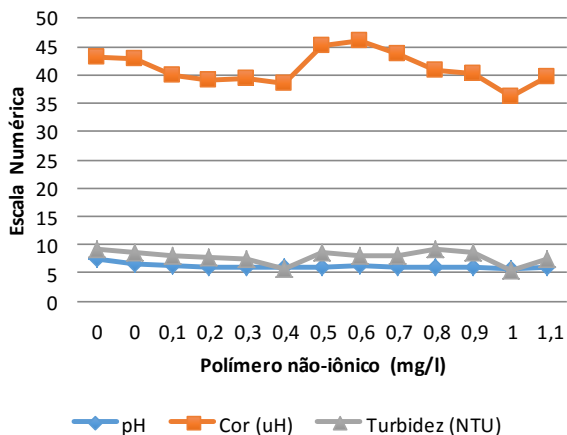


Tabela 2: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC

Polidloreto de Alumínio (mg/l)	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
pH	7,18	7	7,2	6,97	6,8	6,49	6,19	6,09	5,82	5,72	5,47	5,3	5,23
Cor (uH)	42,4	39,5	36,3	36,8	34,6	31,8	32,5	29,4	34,9	31,3	32,2	30,6	35,1
Turbidez (NTU)	7,47	7,61	5,29	7,44	8,36	4,48	7,16	9,38	4,72	7,33	7,3	5,55	9,59

Figura 14: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 18mg/L.**Tabela 3:** Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 18mg/L

Polímero não-iônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	7,49	6,47	6,27	6,04	5,99	6,04	5,91	6,31	6,05	6,01	5,95	5,85	5,98
Cor (uH)	43,2	42,8	39,9	39,2	39,4	38,5	45,2	45,9	43,6	40,9	40,1	36,2	39,6
Turbidez (NTU)	9,12	8,68	8,12	7,83	7,41	5,59	8,73	8,02	8,02	9,22	8,73	5,55	7,38

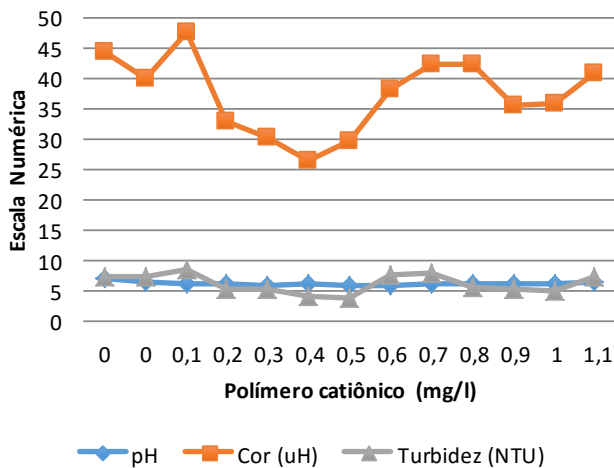
Figura 15: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 18mg/L

Tabela 4: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 18mg/L

Polímero catiônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	7	6,38	6,13	6,08	5,9	5,99	5,95	5,92	6,03	5,98	6,08	6,19	6,38
Cor (uH)	44,6	40,1	47,6	33	30,2	26,6	29,6	38,4	42,5	42,4	35,6	35,8	40,9
Turbidez (NTU)	7,33	7,21	8,36	5,34	5,18	3,99	3,71	7,47	7,94	5,6	5,17	4,81	7,19

Jarteste 21/03/2016

Considerações: Posteriormente a execução do jarteste foi encontrada a melhor dosagem de PAC, que foi fixada em 16mg/L. Essa dosagem foi usada nos ensaios com polímeros neste dia. As soluções de polímeros utilizadas foram produzidos no dia 18/03/2016.

Neste experimento foi constatada a baixa eficiência de remoção do polímero catiônico em relação ao não-iônico, porém com o andamento dos experimentos foi verificado que o polímero possui uma vida útil curta após sua produção. Mesmo com a duração reduzida da sua vida útil, o resultado foi melhor do que na situação somente com o coagulante.

Tabela 5: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC

Cor		Turbidez	
Eficiência sem Polímeros	22%	Eficiência sem Polímeros	14%
Eficiência não-iônico	42%	Eficiência não-iônico	49%
Eficiência catiônico	39%	Eficiência catiônico	42%

Figura 16: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros

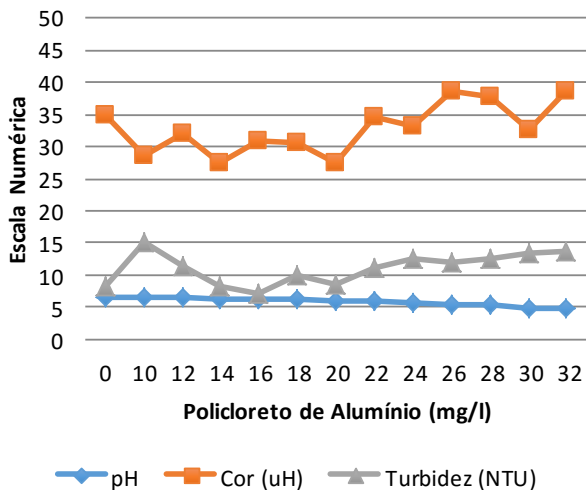


Tabela 6: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC

Policloreto de Alumínio (mg/l)	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
pH	6,65	6,59	6,46	6,35	6,27	6,28	6,04	5,93	5,51	5,42	5,3	4,92	4,88
Cor (uH)	34,9	28,5	31,9	27,4	31	30,6	27,3	34,6	33,3	38,5	37,7	32,7	38,7
Turbidez (NTU)	8,28	15,1	11,5	8,34	7,11	10	8,43	11,1	12,4	12	12,6	13,3	13,7

Figura 17: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 16mg/L

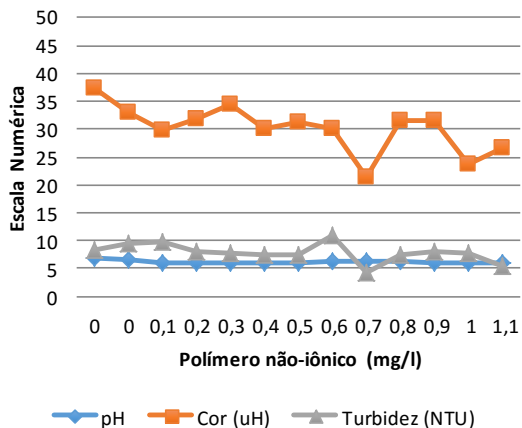


Tabela 7: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 16mg/L.

Polímero não-iônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	7	6,55	6,13	6,09	5,97	5,96	5,9	6,3	6,24	6,19	6,11	6,06	6,04
Cor (uH)	37,2	33	29,9	31,8	34,5	30,04	31,3	30	21,5	31,6	31,5	23,7	26,6
Turbidez (NTU)	8,26	9,35	9,66	8,02	7,78	7,33	7,4	11	4,19	7,55	8,05	7,81	5,35

Figura 18: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L

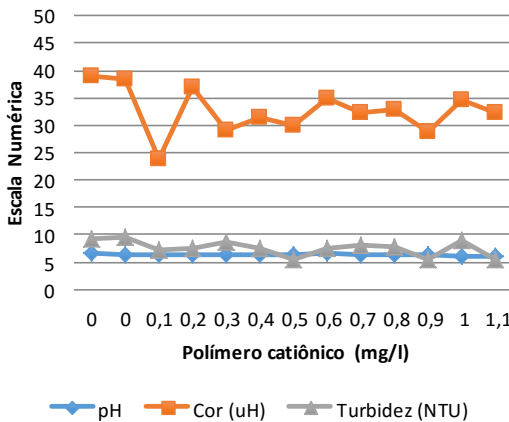


Tabela 8: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 16mg/L

Polímero catiônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	6,68	6,28	6,26	6,26	6,25	6,22	6,23	6,56	6,37	6,27	6,21	6,15	6,18
Cor (uH)	39	38,5	23,7	37	29,2	31,5	30	34,8	32,3	32,9	28,8	34,6	32,4
Turbidez (NTU)	9,26	9,67	7,23	7,36	8,7	7,64	5,33	7,56	8,2	7,84	5,37	8,87	5,55

Jarteste 29/03/2016

Considerações: Após a realização do jarteste foi obtida a melhor dosagem de coagulante, que foi fixada em 18mg/L de PAC. Essa dosagem foi utilizada nos ensaios envolvendo polímeros realizados neste dia. Os polímeros utilizados foram produzidos na data do ensaio, logo antes do início.

Com a introdução do polímero foi constatada melhora na eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez. Neste caso, a utilização do polímero catiônico obteve melhor resultado que o não-iônico e também do que somente o coagulante. Nesse caso o polímero foi produzido no mesmo dia da análise, o que influenciou positivamente na remoção dos parâmetros.

Tabela 9: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 18mg/L de PAC

Cor		Turbidez	
Eficiência sem Polímeros	28%	Eficiência sem Polímeros	38%
Eficiência não-iônico	32%	Eficiência não-iônico	18%
Eficiência catiônico	42%	Eficiência catiônico	52%

Figura 19: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros.

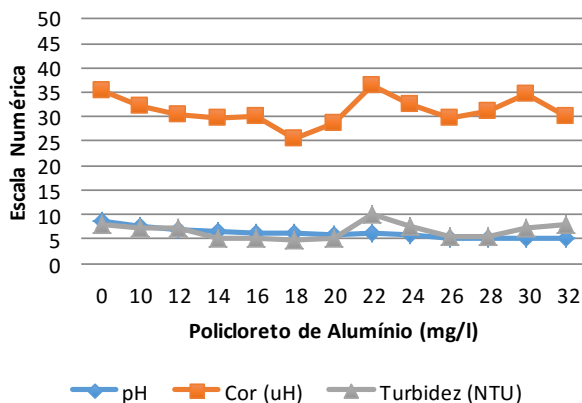


Tabela 10: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC

Policloreto de Alumínio (mg/l)	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
pH	8,61	7,47	6,96	6,58	6,29	6,11	5,93	6,18	5,73	5,3	5,2	5,17	5,05
Cor (uH)	35,5	32,2	30,5	29,9	30,1	25,6	28,8	36,3	32,7	29,9	31	34,6	30
Turbidez (NTU)	7,98	7,42	7,39	5,21	5,02	4,95	5,3	10	7,56	5,6	5,51	7,27	7,85

Figura 20: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 18mg/L

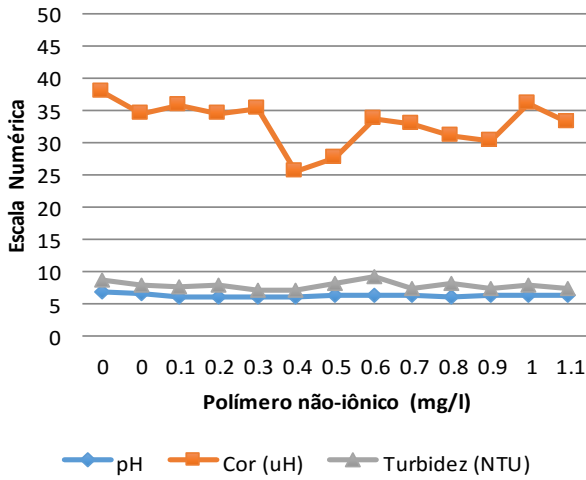


Tabela 11: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 18mg/L

Polímero não-iônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	6,89	6,53	6,12	6,08	6,06	6,05	6,18	6,28	6,2	6,1	6,15	6,14	6,2
Cor (uH)	37,9	34,5	35,8	34,4	35,2	25,6	27,7	33,8	32,9	31,2	30,4	36,2	33,2
Turbidez (NTU)	8,64	7,83	7,67	7,95	7,1	7,1	8,01	9,11	7,25	8,04	7,19	7,87	7,19

Figura 21: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 18mg/L.

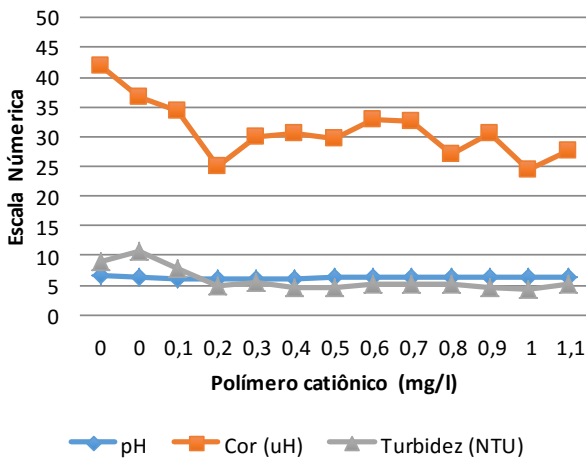


Tabela 12: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 18mg/L

Polímero catiônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	6,72	6,29	6,16	6,17	6,17	6,16	6,19	6,22	6,2	6,19	6,23	6,34	6,28
Cor (uH)	42	36,7	34,4	25,1	30	30,5	29,7	32,8	32,5	26,9	30,5	24,3	27,5
Turbidez (NTU)	9,1	10,6	7,78	4,79	5,35	4,65	4,52	5,06	5,29	5,23	4,44	4,35	5,1

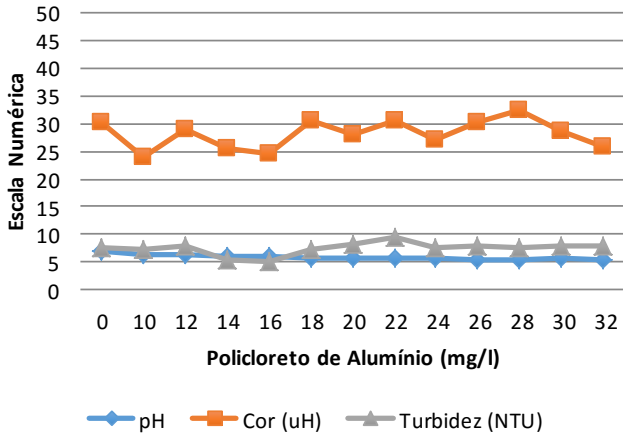
Jarteste 30/03/2016.

Considerações: Após a realização do jarteste foi obtida a melhor dosagem de coagulante, que foi fixada em 16mg/L de PAC. Essa dosagem foi utilizada nos ensaios envolvendo polímeros realizados neste dia. Os polímeros utilizados foram produzidos no dia 29/03/2016.

Foi constatada melhora na eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez com a introdução do polímero. Neste caso, a utilização do polímero catiônico obteve melhor resultado que o não-iônico e também do que somente o coagulante. Nesse caso o polímero foi produzido no dia anterior à sua utilização, o que influenciou negativamente a remoção dos parâmetros se comparados ao primeiro dia de fabricação de polímeros.

Tabela 13: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC

Cor		Turbidez	
Eficiência sem Polímeros	19%	Eficiência sem Polímeros	32%
Eficiência não-iônico	15%	Eficiência não-iônico	19%
Eficiência catiônico	40%	Eficiência catiônico	43%

Figura 22: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros**Tabela 14:** Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC

Polidloreto de Alumínio (mg/l)	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
pH	7	6,46	6,32	6,1	5,99	5,78	5,55	5,63	5,58	5,41	5,38	5,62	5,51
Cor (uH)	30,4	24,1	28,9	25,6	24,5	30,6	27,9	30,6	27	30,1	32,3	28,8	25,9
Turbidez (NTU)	7,61	7,19	7,85	5,27	5,14	7,2	8,1	9,4	7,71	7,73	7,61	7,81	7,88

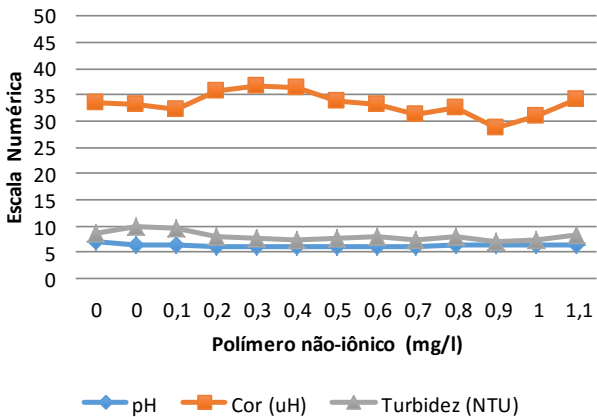
Figura 23: Jarteste com polímero não-iônico e PAC a 16mg/L

Tabela 15: Resultados obtidos com uso do polímero não-iônico e PAC a 16mg/L

Polímero não-iônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	7,05	6,29	6,24	6,17	6,19	6,16	6,15	6,07	6,18	6,29	6,26	6,25	6,26
Cor (uH)	33,6	33,1	32,2	35,7	36,8	36,5	33,7	33,3	31,1	32,5	28,7	30,8	34,1
Turbidez (NTU)	8,74	9,72	9,49	7,9	7,57	7,27	7,47	7,79	7,25	7,98	7,04	7,16	8,4

Figura 24: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L

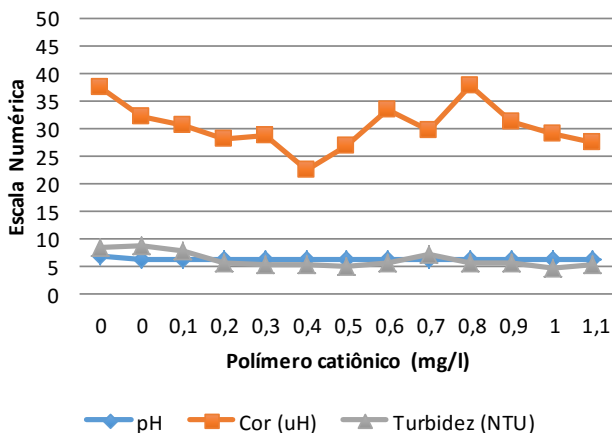


Tabela 16: Resultados obtidos com uso do polímero catiônico e PAC a 16mg/L

Polímero catiônico (mg/l)	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	6,78	6,18	6,14	6,16	6,17	6,16	6,2	6,08	6,14	6,15	6,15	6,15	6,17
Cor (uH)	37,5	32,2	30,6	28,1	28,7	22,4	26,8	33,4	29,8	37,8	31,3	29	27,4
Turbidez (NTU)	8,29	8,52	7,59	5,5	5,19	5,28	4,76	5,58	7,13	5,51	5,62	4,7	5,21

Jarteste dia 31/03/2016

Considerações: Após a realização do jarteste foi obtida a melhor dosagem de coagulante, que foi fixada em 16mg/L de PAC. Essa dosagem foi utilizada nos ensaios envolvendo polímeros realizados neste dia. Os polímeros utilizados foram produzidos no dia 29/03/2016.

Foi constatada melhora na eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez com a introdução do polímero. Nos experimentos realizados neste dia não foi utilizado o polímero não-iônico, isto ocorreu devido a constatação da sua baixa eficiência no auxílio à coagulação observada nos experimentos anteriores desta etapa.

Nesse caso o polímero foi produzido no dia anterior à sua utilização, o que influenciou negativamente a remoção dos parâmetros se comparados ao primeiro dia de fabricação de polímeros.

Tabela 17: Eficiência na remoção de cor e turbidez com 16mg/L de PAC

Cor		Turbidez	
Eficiência sem Polímeros	20%	Eficiência sem Polímeros	13%
Eficiência catiônico	24%	Eficiência catiônico	37%

Figura 25: Jarteste com coagulante sem dosagem de polímeros

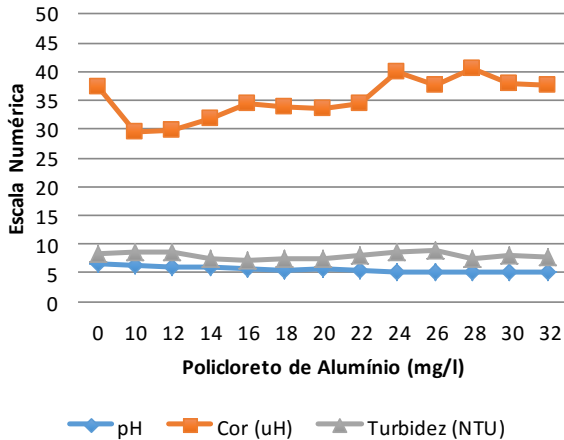
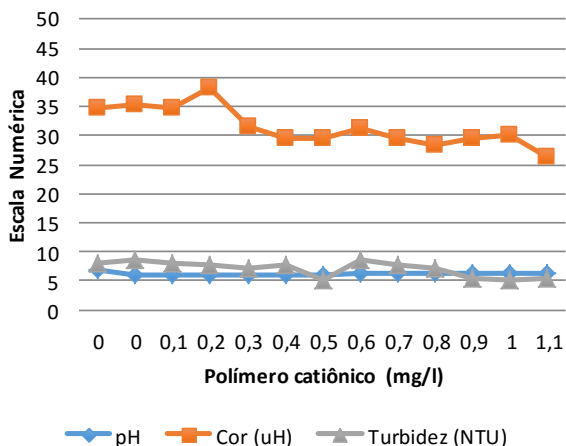


Tabela 18: Resultados obtidos com uso exclusivo de PAC

Policloreto de Alumínio (mg/l)	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
pH	6,5	6,18	5,97	5,95	5,65	5,57	5,64	5,43	5,2	5,16	5,12	5,08	5
Cor (uH)	37,2	29,6	29,9	31,7	34,3	33,8	33,6	34,4	39,9	37,6	40,6	38	37,7
Turbidez (NTU)	8,39	8,66	8,62	7,58	7,27	7,56	7,57	8,05	8,62	8,88	7,32	7,99	7,64

Figura 26: Jarteste com polímero catiônico e PAC a 16mg/L**Tabela 19:** Resultados obtidos com uso de polímero catiônico e PAC a 16mg/L

Polímero catiônico (mg/l)	0	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
pH	6,81	5,97	5,99	6,02	6,05	6,06	6,14	6,23	6,23	6,22	6,24	6,21	6,34
Cor (uH)	34,8	35,3	34,7	38,1	31,6	29,5	29,6	31,3	29,6	28,4	29,5	30,2	26,4
Turbidez (NTU)	8	8,52	8,16	7,83	7,21	7,78	5,02	8,64	7,84	7,16	5,3	5,02	5,5

4.2. Flotação por ar dissolvido com variação do tempo de mistura lenta.

Após a etapa do ponto ótimo de coagulação foi dado início a flotação por ar dissolvido (FAD), as dosagens utilizadas neste processo foram baseadas nos resultados da etapa anterior, com o intuito de obter a melhor eficiência. As dosagens foram de 16, 18 e 20mg/L do coagulante PAC, e foram analisadas a turbidez e a cor da água clarificada em relação a água bruta.

Nesta etapa foi utilizado o jarro com placa de acrílico perfurada uniformemente superior à base, para poder espalhar microbolhas uniformemente por todo jarro. Porém esta placa de acrílico mostrou-se ineficiente no auxílio a remoção dos parâmetros em estudo.

Durante a análise, foi visualizado que a parte de baixo do floteste atuou como uma zona morta, pois a velocidade da mistura lenta não conseguiu influenciar esta área. Outra observação

importante sobre esta placa, foi que além de diminuir a velocidade das microbolhas ela também atuou como uma barreira impedindo que grande parte das bolhas emergissem. Essas bolhas puderam ser notadas na parte inferior da placa de acrílico.

Os dados obtidos demonstraram quais são as melhores dosagens de coagulantes e tempos de mistura lenta que devem ser usados no processo de flotação. A melhor remoção de cor ocorreu com 10 minutos de mistura lenta e com 20mg/L de coagulante (PAC), obtendo uma eficiência de 58% de remoção. Já para o parâmetro turbidez o melhor resultado ocorreu com 14 minutos de mistura lenta e 18mg/L de coagulante, obtendo uma eficiência de 63%.

A observação deste experimento demonstrou que não existe uma diferença significativa entre os resultados obtidos no tempo 14 minutos e no tempo 10 minutos de mistura lenta. Porém foi visualizada uma queda expressiva na eficiência de remoção para o tempo de mistura lenta de 5 minutos, quando comparado aos anteriores.

Nas tabelas presentes no Apêndice A, foram selecionados os valores de melhor eficiência de remoção da turbidez e cor. Como em todo experimento, foi necessário a realização de diversas repetições para obter uma quantidade significativas de resultados, para haver uma maior representatividade numérica.

Logo abaixo, estão representadas as médias de remoção de turbidez (Figura 26 e Tabela 20) e de cor (Figura 27 e Tabela 21) dos 14 experimentos, que comprovam as afirmações anteriores. Foi observado que as médias da remoção de turbidez nos tempos de quatorze ou dez minutos não apresentam diferença maior que 2% entre elas, já a maior diferença destes tempos para o tempo de cinco minutos é 17% enquanto a menor é de 14%.

Figura 27: Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta

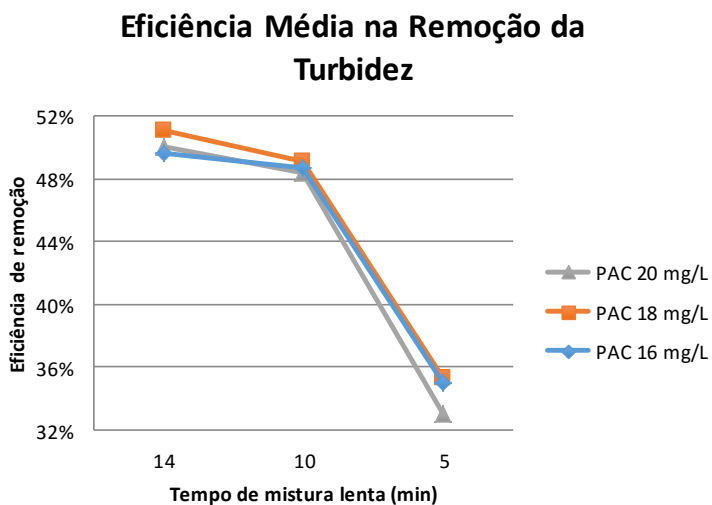


Tabela 20: Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta

Tempo (min)	14	10	5
PAC (mg/L)			
16	50%	49%	35%
18	51%	49%	35%
20	50%	48%	33%

Figura 28: Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta

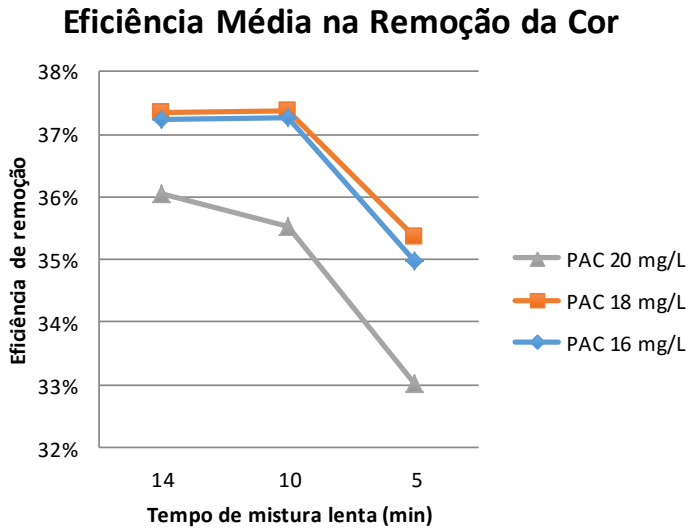


Tabela 21: Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta

Tempo (min)	14	10	5
PAC (mg/L)			
16	37%	37%	35%
18	37%	37%	35%
20	36%	36%	33%

4.3. Realização da flotação por ar dissolvido variando dosagem de polímero

Nas análises desta etapa foi utilizada a concentração de 16mg/L de PAC, já que está foi constatada ser a melhor formadora de flocos, a partir de jartestes realizados diariamente.

A Figura 28 e a Tabela 22 demonstram o comportamento da eficiência média de remoção de cor e da turbidez da água clarificada após a FAD com variação de polímeros, a partir disso é possível notar que a quantidade de polímeros e a remoção dos parâmetros são diretamente proporcionais. Vale ressaltar que devido ao polímero ser um material de alto custo só é viável sua utilização com baixas dosagens, também foi observado na primeira etapa que a partir de uma certa concentração o aumento da dosagem de polímeros não influencia na melhora na formação de flocos. Por este motivo foram utilizadas as concentrações de 0,2 e 0,4mg/L de polímero catiônico na realização desta etapa. Os resultados das análises desta etapa estão presentes no Apêndice B.

Na Tabela 23 estão os dados obtidos da remoção de cianobactérias, é possível notar uma variação não uniforme na remoção de células de cianobactérias, sendo obtida uma média de 55,65% na remoção dessas algas.

A média de remoção de cianobactérias de 55,65% não é considerado um bom resultado, em Oliveira (2005) *apud* DRIKAS (1994) foi citada uma eficiência de remoção de 98% das células de cianobactérias quando utilizada a flotação por ar dissolvido para clarificação da água. Porém para primeiras análises desse tipo é considerada aceitável, visto que o equipamento utilizado não foi um padronizado, mas sim um construído e adaptado conforme os resultados eram analisados. Com os equipamentos adequados é possível obter uma eficiência de remoção média mais satisfatória, conseqüentemente, um melhor resultado.

Figura 29: Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros

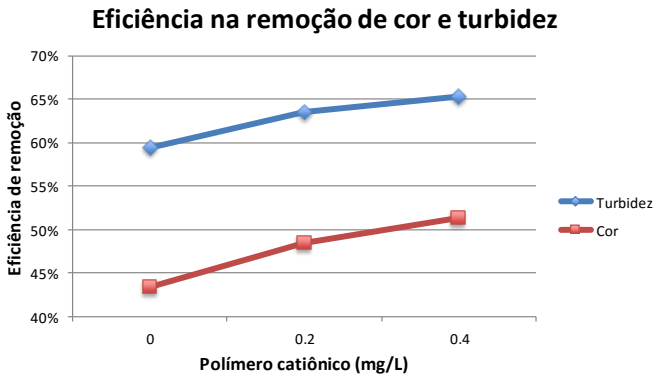


Tabela 22: Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros

Polímero (mg/L)	Remoção da Cor (%)	Remoção da Turbidez (%)
0	43%	59%
0,2	48%	63%
0,4	51%	65%

Tabela 23: Porcentagem de remoção de cianobactérias

POLÍMEROS (mg/L)	% REMOÇÃO CIANOBACTÉRIAS
0,2	67,10
0,2	40,50
0,4	62,40
0,4	52,60
0,4	52,55
0,2	70,44
0,4	50,74
0,4	52,71
0,4	67,00
	% MÉDIA DE REMOÇÃO
	57,34

5. CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÃO

Considerando os objetivos iniciais deste estudo e com base nos resultados obtidos na pesquisa realizada, conclui-se que:

Na determinação do ponto ótimo de coagulação os melhores resultados foram obtidos na concentração de policloreto de alumínio igual a 18mg/L, nessa concentração foi obtido uma remoção de 40% de turbidez e 28% de remoção do parâmetro cor, somente realizando a coagulação.

Nos ensaios de FAD, variando o tempo de mistura lenta não houve grande variação de remoção para os tempos de mistura de 14 e 10 minutos, obtendo remoção de cor exatamente iguais e uma diferença máxima na remoção de turbidez de 2%. Para o tempo de 5 minutos essa diferença aumenta para 3% para cor e para 16% na remoção de turbidez. Mostrando que a última opção não é viável.

Nos ensaios de FAD, variando a dosagem do polímero, houve um aumento na eficiência de remoção diretamente proporcional a concentração de polímeros na mistura. Concluindo assim que 0,4mg/L de polímero foi a melhor dosagem. Porém a quantidade de polímero utilizada impacta diretamente o custo do tratamento, por isso para uma escolha mais embasada é necessário um estudo de viabilidade.

Na remoção de cianobactérias os resultados não foram excelentes apesar de ter sido obtida uma média de remoção de 57,34% das células de cianobactérias, porém com um equipamento adequando é possível controlar melhor o experimento e assim chegar numa eficiência de remoção satisfatória.

As dosagens que obtiveram melhor remoção de cianobactérias, de 70,44% de remoção, foi com uma concentração de PAC de 16mg/L e 0,2mg/L de polímeros catiônico. Essa dosagem deverá ser utilizada em mais experimentos a fim de comprovar sua eficiência.

Para a comprovação da eficiência de remoção de cianobactérias na flotação por ar dissolvido na água da Lagoa do Peri é necessário a realização de mais análises, estas devem ocorrer com equipamentos mais adequados em que se possa simular todos os parâmetros necessários. E a partir desses novos resultados concluir se a FAD é realmente o pré-tratamento mais indicado a ser introduzido na estação de tratamento de água da Lagoa do Peri.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Pauline Aparecida Pera do. **Utilização da flotação por ar dissolvido associada a microfiltração para remoção de cianobactérias em águas de abastecimento.** Florianópolis, 2011. 139 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2011

ASSIS, Renata Sâmia Sobral de. **Remoção de Microcystis aeruginosa e microsistinas por flotação por ar dissolvido: estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes.** 2006. xviii, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

CARMICHAEL, W. W. **Cyanobacteria secondary metabolites—the cyanotoxins.** Journal of applied bacteriology, v. 72, n. 6, p. 445-459, 1992.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** LDiBE Editora. São Carlos, 2011.

KARLSTROEM, Gunnar; CARLSSON, Anders; LINDMAN, Bjoern. **Phase diagrams of nonionic polymer-water systems: experimental and theoretical studies of the effects of surfactants and other cosolutes.** Journal of Physical Chemistry, v. 94, n. 12, p. 5005-5015, 1990.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Átomo, 2008.

MELO FILHO, Luiz Carlos de. **Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas.** xx, 263 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2006.

MONDARDO, Renata Iza. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas.** 308 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, JMB de. **"Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de sedimentação e de flotação: avaliação em escala de bancada."** *Brasília: UNB. Dissertação Mestrado* (2005).

PADISÁK, Judit. ***Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology.** *Archiv Für Hydrobiologie Supplementband Monographische Beitrage*, v. 107, n. 4, p. 563-593, 1997.

RABELO, Letícia Pinto et al. **Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton.** Florianópolis, 2006.

SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxin. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Eds.) **Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management.** World Health Organization. London and New York, 41-111p. 1999.

TERMONIA, Yves. Fundamentals of polymer coagulation. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, v. 33, n. 2, p. 279-288, 1995.

TESSELE, F.; DA ROSA, J.; RUBIO, J. **Avanços da flotação no tratamento de águas, esgotos e efluentes industriais—Parte I: Fundamentos e mecanismos.** *Saneamento Ambiental*, n. 102, p. 30-36, 2004.

APÊNDICE A – Resultados FAD com variação do tempo de mistura lenta

Tabela 24: Análise FAD n° 1, realizada dia 13/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	18,5	3,55	46%	53%
14	18	17,6	3,3	48%	56%
14	20	18,4	3,75	46%	50%
10	16	22	4,1	35%	45%
10	18	25	3,42	26%	54%
10	20	18,6	3,64	45%	51%
5	16	25,3	5,01	30%	30%
5	18	22,6	4,5	38%	38%
5	20	26	4,69	28%	28%

Tabela 25: Análise FAD n° 2, realizada dia 14/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	18,6	4,04	47%	61%
14	18	19,9	4,58	43%	56%
14	20	25,4	4,73	27%	55%
10	16	21,2	4,79	39%	54%
10	18	22,3	4,61	36%	56%
10	20	32,2	4,9	8%	53%
5	16	21,5	4,62	43%	43%
5	18	26,6	4,83	30%	30%
5	20	26,2	5,09	31%	31%

Tabela 26: Análise FAD n° 3, realizada dia 14/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	22,5	4,82	41%	58%
14	18	24,8	4,27	35%	63%
14	20	23,8	4,4	37%	62%
10	16	23,8	4,49	39%	48%
10	18	21,2	4,67	46%	46%
10	20	22,8	4,71	42%	46%
5	16	24	4,74	39%	39%
5	18	20,5	4,63	48%	48%
5	20	20,8	4,83	47%	47%

Tabela 27: Análise FAD n° 4, realizada dia 19/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	23,9	5,1	38%	48%
14	18	26,6	4,93	31%	50%
14	20	27,7	4,92	28%	50%
10	16	25,9	5,3	32%	46%
10	18	25,5	4,55	33%	54%
10	20	20,1	4,59	48%	54%
5	16	31,1	5,71	28%	28%
5	18	27,4	7,59	37%	37%
5	20	30	7,64	31%	31%

Tabela 28: Análise FAD n° 5, realizada dia 19/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	26	5,25	40%	52%
14	18	26,7	4,55	38%	59%
14	20	28,1	5,52	35%	50%
10	16	22,5	4,75	41%	45%
10	18	24,9	4,61	35%	47%
10	20	24,6	4,76	35%	45%
5	16	22,8	5,32	47%	47%
5	18	26,7	5,27	38%	38%
5	20	26,4	5,36	39%	39%

Tabela 29: Análise FAD n° 6, realizada dia 26/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	26,2	4,31	32%	48%
14	18	28,6	4,37	26%	47%
14	20	28,1	4,92	28%	41%
10	16	26,3	4,08	32%	51%
10	18	26,6	4,24	31%	49%
10	20	29,4	4,18	24%	50%
5	16	24,8	4,48	39%	39%
5	18	26,9	4,38	34%	34%
5	20	32,2	4,63	21%	21%

Tabela 30: Análise FAD nº 7, realizada dia 27/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	30,1	4,6	28%	39%
14	18	28,4	4,83	32%	36%
14	20	29,6	4,66	29%	39%
10	16	27,8	4,08	33%	46%
10	18	31,9	4,57	23%	40%
10	20	31,7	4,53	24%	40%
5	16	31,9	4,55	22%	22%
5	18	31,3	4,69	23%	23%
5	20	31,9	4,74	22%	22%

Tabela 31: Análise FAD nº 8, realizada dia 27/04/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	30,5	3,76	34%	58%
14	18	29,8	4,08	35%	55%
14	20	31,8	4,08	31%	55%
10	16	29,9	4,34	35%	52%
10	18	28,5	4,06	38%	55%
10	20	30,7	4,35	33%	52%
5	16	30,7	4,62	25%	25%
5	18	30,1	4,57	26%	26%
5	20	33,7	4,59	18%	18%

Tabela 32: Análise FAD nº 9, realizada dia 04/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	30,6	4,89	29%	51%
14	18	29,6	4,9	32%	51%
14	20	27,6	4,82	36%	52%
10	16	28,4	4,28	30%	58%
10	18	25	4,76	38%	53%
10	20	28	4,57	31%	55%
5	16	29,5	4,48	27%	27%
5	18	28	4,75	31%	31%
5	20	27,6	4,91	32%	32%

Tabela 33: Análise FAD n° 10, realizada dia 04/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	25	4,7	42%	53%
14	18	27,8	4,47	36%	55%
14	20	25,3	4,48	42%	55%
10	16	28,7	4,58	29%	55%
10	18	26,2	4,6	35%	54%
10	20	28,3	4,79	30%	53%
5	16	26,9	4,82	34%	34%
5	18	28,6	6,54	29%	29%
5	20	27,1	7,13	33%	33%

Tabela 34: Análise FAD n° 11, realizada dia 04/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	25,3	4,23	37%	58%
14	18	26,2	4,29	35%	57%
14	20	23,7	4,08	41%	59%
10	16	25,6	4,43	36%	56%
10	18	25,3	4,53	37%	55%
10	20	25,7	4,68	36%	53%
5	16	27,2	7,37	32%	32%
5	18	28,5	6,5	29%	29%
5	20	29,3	6,83	27%	27%

Tabela 35: Análise FAD n° 12, realizada dia 11/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	29,7	6,94	33%	36%
14	18	26	6,65	42%	39%
14	20	23,9	6,79	46%	38%
10	16	23,1	6,52	47%	44%
10	18	23,2	6,78	47%	42%
10	20	25,7	6,45	41%	44%
5	16	22,1	6,51	43%	43%
5	18	21,8	7,53	44%	44%
5	20	22,3	6,95	43%	43%

Tabela 36: Análise FAD n° 13, realizada dia 11/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	27,4	6,5	38%	40%
14	18	24,5	4,82	45%	56%
14	20	23,7	6,47	47%	41%
10	16	21,8	7,26	50%	37%
10	18	20,5	6,95	53%	40%
10	20	24,5	6,85	44%	41%
5	16	24,3	6,55	38%	38%
5	18	22,3	7,79	43%	43%
5	20	23,7	6,59	39%	39%

Tabela 37: Análise FAD n° 14, realizada dia 11/05/2016

Tempo (min)	PAC (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
14	16	28,4	6,67	36%	39%
14	18	24,2	7	46%	36%
14	20	30,3	4,86	32%	55%
10	16	24,7	6,38	43%	45%
10	18	24	6,66	45%	43%
10	20	18,4	6,89	58%	41%
5	16	23	6,78	41%	41%
5	18	21,9	6,37	44%	44%
5	20	19,1	6,81	51%	51%

APÊNDICE B – Resultados FAD com variação de dosagem de polímeros

Tabela 38: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 19/05/2016

Polímeros(mg/L)	CorBruta(µH)	TurbidezBruta(NTU)	Cor(µH)	Turbidez(NTU)	Ef. % Cor	Ef. % Turbidez
0	37,9	10,7	20,1	3,34	47%	69%
0	37,9	10,7	18,4	4,63	51%	57%
0	37,9	10,7	22,4	4,5	41%	58%
0,2	37,9	10,7	14,7	2,98	61%	72%
0,2	37,9	10,7	10,9	3,68	71%	66%
0,2	37,9	10,7	19,6	4,32	48%	60%
0,4	37,9	10,7	17	3,02	55%	72%
0,4	37,9	10,7	14,4	3,59	62%	66%
0,4	37,9	10,7	17	3,78	55%	65%

Tabela 39: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 31/05/2016

Polímeros(mg/L)	CorBruta(µH)	TurbidezBruta(NTU)	Cor(µH)	Turbidez(NTU)	Ef. % Cor	Ef. % Turbidez
0	41,8	11,6	20,3	4,58	51%	61%
0	41,8	11,6	20	4,43	52%	62%
0	41,8	11,6	23,6	4,73	44%	59%
0,2	41,8	11,6	19,2	3,83	54%	67%
0,2	41,8	11,6	18	3,88	57%	67%
0,2	41,8	11,6	17,5	4,47	58%	61%
0,4	41,8	11,6	14,9	3,73	64%	68%
0,4	41,8	11,6	18,7	4,04	55%	65%
0,4	41,8	11,6	18,3	4,02	56%	65%

Tabela 40: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 13/06/2016

Polímeros(mg/L)	CorBruta(µH)	TurbidezBruta(NTU)	Cor(µH)	Turbidez(NTU)	Ef. % Cor	Ef. % Turbidez
0	49,3	9,55	25,5	5,61	48%	41%
0	49,3	9,55	27,8	3,87	44%	59%
0	49,3	9,55	28,8	3,92	42%	59%
0,2	49,3	9,55	24,8	3,98	50%	58%
0,2	49,3	9,55	28,2	3,74	43%	61%
0,2	49,3	9,55	27	3,78	45%	60%
0,4	49,3	9,55	20,9	3,11	58%	67%
0,4	49,3	9,55	24,3	3,03	51%	68%
0,4	49,3	9,55	25,2	3,4	49%	64%

Tabela 41: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 14/06/2016

Polímeros (mg/L)	Cor Bruta (uH)	Turbidez Bruta (NTU)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
0	54,6	9,51	36,5	3,92	33%	59%
0	54,6	9,51	33,6	3,99	38%	58%
0	54,6	9,51	34,9	3,81	36%	60%
0,2	54,6	9,51	35,1	3,65	36%	62%
0,2	54,6	9,51	31,6	3,7	42%	61%
0,2	54,6	9,51	36,7	3,85	33%	60%
0,4	54,6	9,51	30,9	4,08	43%	57%
0,4	54,6	9,51	29,9	3,39	45%	64%
0,4	54,6	9,51	31,5	3,42	42%	64%

Tabela 42: Resultado FAD com variação na dosagem de polímeros, realizada dia 23/06/2016

Polímeros (mg/L)	Cor Bruta (uH)	Turbidez Bruta (NTU)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ef. Cor	Ef. Turbidez
0	51,5	10,7	30,9	4,05	40%	62%
0	51,5	10,7	29,8	3,64	42%	66%
0	51,5	10,7	30,5	4,04	41%	62%
0,2	51,5	10,7	28,7	3,37	44%	69%
0,2	51,5	10,7	30,5	3,49	41%	67%
0,2	51,5	10,7	29,7	4,06	42%	62%
0,4	51,5	10,7	28,2	4,07	45%	62%
0,4	51,5	10,7	30	3,3	42%	69%
0,4	51,5	10,7	27,9	4,03	46%	62%