

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

Bianca Coelho Machado

**POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA COM ELEVADA DENSIDADE DE
CIANOBACTÉRIAS E MICROALGAS ATRAVÉS DE SISTEMA
DE DUPLA FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR UTILIZANDO
FILTRO DE LAVAGEM CONTÍNUA.**

Tese submetida ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção
do Grau de Doutor em Engenharia
Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Maurício
Luiz Sens

Florianópolis
2011

Bianca Coelho Machado

**POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA COM ELEVADA DENSIDADE DE
CIANOBACTÉRIAS E MICROALGAS ATRAVÉS DE SISTEMA
DE DUPLA FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR UTILIZANDO
FILTRO DE LAVAGEM CONTÍNUA.**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de
Doutorado, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Ambiental

Florianópolis (SC), 08 de dezembro de 2011.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof., Dr. Maurício Luiz Sens,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr.^a Giovana Kátie Wiecheteck,
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof., Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho,
Universidade de São Paulo

Prof., Dr. Flávio Rubens Lapolli,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Paulo Belli Filho,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Ramon Lucas Dalsasso,
Universidade Federal de Santa Catarina

Aos meus pais, Cecília e Antonio Machado, e minha irmã, Bruna Machado, eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa.

Ao Programa de Pós-graduação de Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa.

À empresa Astrasand do Brasil, por todo o apoio prestado durante a execução desta pesquisa.

À Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), pela parceria que permitiu o desenvolvimento dessa pesquisa na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Lagoa do Peri.

À professora Roselane Laudares Silva, coordenadora do Laboratório de Ficologia (LABFIC) da UFSC, por todas as análises quantitativas de cianobactérias. E, principalmente, pela paciência e carinho a mim dedicados.

Aos funcionários e amigos do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), em especial a dona Eliane, Arlete e Victor.

Aos operadores, vigilantes e funcionários da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, Adilson Braz, Carlos Eduardo Moreira, Gerson Pinheiro, Marcelino Dutra, Natália Gomes, Paulo Alexandre da Silva, Rogério da Silva (in memoriam), Silvoney de Souza, José Gomes.

Aos bolsistas que trabalharam comigo durante essa pesquisa, Nathália Costa, Mariana Rodrigues, Flávia Macedo e Tiago Munhoz e a Nayara Santos, esse trabalho final não seria possível sem vocês.

Aos amigos do Laboratório de Potabilização de Água (LAPOA), em especial ao Bruno Segalla pelo apoio e ajuda.

Ao professor Dr. José Carlos Mierzwa e a Dra. Filomena Kotaka, pelas sugestões dadas durante o Exame de Qualificação.

À professora Dra. Giovana Katie Wiecheteck, e aos professores Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho, Dr. Flávio Rubens Lapolli, Dr. Paulo Belli Filho e Dr. Ramon Lucas Dalsasso pelas contribuições feitas durante a apresentação deste trabalho.

Aos professores do PPGEA, pelo conhecimento repartido; em especial a professora Dra Cátia Pinto, minha professora querida. E ao secretário do PPGEA, Maurício Paiva, pelos infinitos conselhos e amizade.

Aos amigos do PPGA, aqueles que me receberam, que iniciaram junto comigo e que se ‘agregaram’ durante o tempo de estudo; em especial as amigas Cristiane Fuzinato, Denise Michelan, Mariele Jungle e Silvia Melegare, sem vocês tudo seria muito mais difícil.

Ao meu querido Luiz Carlos de Melo Filho, que foi o responsável pelos meus belos desenhos – apesar da ausência da Pucca, Moranguinho e companhia – e também pelas orientações, sempre calmas e sabias. Lu, simplesmente, obrigada

À minha irmã de ‘além-mar’, Maria Marnoto, não só pela ajuda e companheirismo na Lagoa do Peri, como também e principalmente, pela amizade, carinho. E ao Marcelo Machado, funcionário da empresa Astrasand do Brasil, por ter se revelado um grande amigo.

Aos meus chefes da CASAN, Fernando Clark e Paulo Costa, pela compreensão em me liberar do trabalho para finalizar a minha tese. E aos meus novos amigos de trabalho, Anderson Pereira Wagner, Bruna da Silva, Carlos Bavaresco, Daniela Rosa da Silva, Elena Afonso, Juliana Loch e Kátia Kratiuk.

À minha família do sul, seu Patrício, dona Joana e toda família Matos, pelo acolhimento, amor e carinho.

A todos os meus familiares e amigos que torceram e vibraram, cada um a seu modo, pelas minhas vitórias e conquistas. Em especial às minhas duas avós, Celina Correa e Dulce Machado, pelo exemplo de mulheres que são; e aos meus dois tios, Celso Coelho, por ser um exemplo de que vale a pena investir nos estudos, e Celestino Coelho, por toda a torcida.

Ao meu orientador, professor Dr. Maurício Luiz Sens, pela orientação, paciência e conhecimentos transmitidos; apesar dos nossos desentendimentos, sei foram desentendimentos de pai e filha.

Aos meus pais, Cecília e Antônio Machado, e a minha irmã Bruna Machado; sem vocês eu não teria chegado até aqui e nada disso valeria a pena.

E ao meu amigo de todas as horas, DEUS, pelas inúmeras vezes que pensei em desisti e ELE não deixou e por ELE nunca ter me esquecido, mesmo quando eu pensei que tivesse.

A vida, que começa na água, não pode acabar por ela.

Autor Desconhecido.

Uma gota, uma lágrima, um copo, um choro. Para uns é um líquido transparente; para outros, uma vida permanente.

Leonardo Ricardo Shimdt, 2011.

RESUMO

No mundo, muitos mananciais de abastecimento apresentam água com qualidade inferior ao padrão estabelecido para consumo humano; situação preocupante, visto que muitas doenças podem ser transmitidas tanto pelo consumo quanto pelo contato com água contaminada. Dentre as enfermidades, pode-se citar a intoxicação da população pelo consumo de água contaminada por cianotoxinas, o que, em alguns casos, pode ser fatal. Várias são as técnicas para potabilização de água com elevada densidade de cianobactérias e microalgas; porém a filtração direta não pode ser citada como exemplo. O motivo dessa não utilização se dá pelo fato de, para esse tipo de água, haver uma rápida colmatação do filtro, além da possibilidade de transpasse de células e toxinas. Entretanto, fazendo-se uso de um processo de lavagem contínua, tal tecnologia apresenta-se como promissora. Na filtração direta, destaca-se a filtração ascendente, na qual a água escoar no sentido dos grãos mais grossos para os mais finos e emprega-se um único material filtrante (areia). A pesquisa em questão utilizou a dupla filtração: filtro de lavagem contínua e filtro ascendente para potabilização de água, objetivando, principalmente, a remoção de cianobactérias e microalgas. Três tipos de tratamento foram testados: Tratamento 1 – adição de coagulante na entrada do filtro de lavagem contínua; Tratamento 2 – adição de coagulante na entrada de ambos os filtros; e Tratamento 3 – adição de coagulante apenas na entrada do filtro ascendente; além disso, comparam-se, três taxas de filtração, 150, 200 e 250 m³.(m².d)⁻¹, para o filtro ascendente. Os parâmetros avaliados foram: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido (COD), absorvância 254 nm, pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), clorofila *a*, densidade de cianobactérias, concentração de saxitoxina, perda de carga e tempo de filtração. O sistema de dupla filtração estudado se mostrou eficiente para a remoção de cianobactérias e microalgas, em alguns casos a remoção foi de cerca de 96%, e vantajoso quanto aos serviços operacionais, tendo em vista que diminui as lavagens do segundo filtro, permitindo obter carreira de filtração de até 338 h e um grande aumento na produção efetiva de água. O emprego desse sistema de tratamento não provocou a lise celular e observou-se redução na concentração de cianotoxinas, tendo em vista que houve remoção de células de cianobactérias.

Palavras-chave: Potabilização de Água; Filtração Direta; Filtro de Lavagem Contínua; Cianobactérias e microalgas..

ABSTRACT

Worldwide, there is a significant amount of water source with quality below the standard for human use. Clearly, it is a worrying situation because too many diseases can be transmitted by contaminated water. Among the diseases, we ought to cite the intoxication of the population by consumption of water contaminated with cyanotoxins, which in some cases might be fatal. There are diversified techniques for treatment of water with high density of cyanobacteria and microalgae. However, direct filtration can not be considered one example. The reason is that, under such conditions, occurs a quick blinding of the filter. Furthermore, cells and toxins might run through. Surprisingly enough, using the continuous backwashing process, a promising technology reveals itself. The direct filtration, which is based on rising filtration, demands only one filtering material (sand) that flows water from coarse grains to the finest. Double filtering system was used: continuous backwashing filter and rising filter for water treatment. The main purpose was the removal of cyanobacteria and microalgae. Three different types of water treatment were tested: Treatment 1 – Coagulant addition at the intake of the continuous backwashing filter; Treatment 2 – Coagulant addition in both filters inlet; Treatment 3 – Coagulant addition at the intake of the upflow filter. Furthermore, a comparison of three filtration rates was made: 150; 200; 250 $\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ for the upflow filter. The parameters evaluated were: turbidity, apparent color, true color, dissolved organic carbon (DOC), absorbance at 254nm, pH, conductivity, total dissolved solids (TDS), chlorophyll a, density of cyanobacteria, the concentration of saxitoxin, loss of load and filtering duration. In terms of operational services, the system has shown some advantages. For example, reducing the washes of the second filter, which permit a filtration run up to 338 hours. Consequently, the double filtering system achieves a large increment in effective water production. Moreover, this system did not cause cell lysis and we observed a reduction in concentration of cyanotoxins; facts that foster relevance, considering that there was cyanobacteria removal.

Keywords: Water Potabilization; Direct filtration; Continuous backwashinf filter; cyanobacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas freqüentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais. .	51
Figura 2.2 – Fórmula Molecular Espacial da Anatoxina-a.....	52
Figura 2.3 – Fórmula Molecular Espacial da Anatoxina-a(S).....	52
Figura 2.4 – Fórmula Molecular Espacial da Cilindrospermopsina.....	52
Figura 2.5 – Fórmula Molecular Espacial das Saxitoxinas.	53
Figura 2.6 – Fórmula Molecular Espacial das Hepatotoxinas.....	53
Figura 2.7 – Localização da Lagoa do Peri.	82
Figura 3.1 – Local de implantação do sistema piloto de filtração direta com filtro de lavagem contínua.....	88
Figura 3.2 – Foto do Equipamento de Jarteste utilizado.	89
Figura 3.3– Desenho esquemático da instalação piloto de dupla filtração ascendente (filtração de lavagem contínua e convencional).	93
Figura 3.4 – Fluxograma do Tratamento 1.....	94
Figura 3.5 – Fluxograma do Tratamento 2.....	94
Figura 3.6 – Fluxograma do Tratamento 3.....	95
Figura 3.7 – Funcionamento de um Filtro de Lavagem Contínua.....	100
Figura 3.8 – Foto do filtro de lavagem contínua.	101
Figura 3.9 – Foto do tubo e cabeçote de injeção de ar.	103
Figura 3.10 – Foto do painel de controle.....	103
Figura 3.11 – Fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.....	104
Figura 3.12 – Esquema do sistema piloto de filtração ascendente (FA).....	107
Figura 3.13 – Foto do Filtro Piloto Ascendente.	108
Figura 4.1 – Foto do filtro de lavagem contínua de Φ 0,60 m.....	120
Figura 4.2 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utilizou PAC.....	123
Figura 4.3 – Perda de carga ao longo da carreira de filtração, quando se utilizou PAC.....	126
Figura 4.4 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utilizou SA.	127
Figura 4.5 – Perda de carga ao longo da carreira de filtração, quando se utilizou SA.	130
Figura 4.6 – Comportamento dos parâmetros de controle, no Tratamento 1, quando se utilizou PAC.....	131
Figura 4.7 – Comportamento dos parâmetros de controle, na contraprova, quando se utilizou SA.	135

Figura 4.8 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 1, Primeiro Ensaio.....	139
Figura 4.9 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, Primeiro Ensaio.....	144
Figura 4.10 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 2, Primeiro Ensaio.....	145
Figura 4.11 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, Primeiro Ensaio.....	150
Figura 4.12 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 3, Primeiro Ensaio.....	151
Figura 4.13 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 3, Primeiro Ensaio.....	156
Figura 4.14 – Comparação da densidade de cianobactérias nos três tratamentos da pesquisa.....	157
Figura 4.15 – Comportamento da perda de carga no decorrer da pesquisa, Primeiro Ensaio.....	157
Figura 4.16 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utiliza o SA, Segundo Ensaio.....	162
Figura 4.17 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 1, Segundo Ensaio.....	165
Figura 4.18 – Comportamento dos parâmetros de controle do Tratamento 2, Segundo Ensaio.....	169
Figura 4.19 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 3, Segundo Ensaio.....	173
Figura 4.20 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.....	178
Figura 4.21 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxinas totais para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.....	181
Figura 4.22 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.....	184
Figura 4.23 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.....	185
Figura 4.24 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxinas totais para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, terceiro ensaio.....	188
Figura 4.25 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.....	190

Figura 4.26 – Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	191
Figura 4.27 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.	193
Figura 4.28 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.	197
Figura 4.29 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	199
Figura 4.30 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.	200
Figura 4.31 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.	203
Figura 4.32 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	206
Figura 4.33– Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	207
Figura 4.34 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.	209
Figura 4.35 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.	213
Figura 4.36 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	215
Figura 4.37 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.	216
Figura 4.38 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.	219
Figura 4.39 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	222
Figura 4.40 – Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.	223
Figura 4.41 – Valores de turbidez, cor aparente e concentração de cianobactérias no efluente final do sistema de tratamento e perda de carga nos principais tratamentos da pesquisa.	225

Figura 4.42 – Estação de Tratamento de Água de Boracéia e manancial Pedra Branca.	231
Figura 4.43 – Fluxograma do Tratamento.....	233
Figura 4.44 – Funcionamento do Decantador Lamelar.	234
Figura 4.45 – Fotos do decantador lamelar, do sistema de secagem de lodo e do reservatório de água de lavagem.	236
Figura 4.46 – Comportamento da água bruta e água filtrada em relação à turbidez para os meses de setembro, outubro e novembro de 2010. ...	240
Figura A.1 – Esquema da lavagem do filtro ascendente.	258
Figura A.2 – Esquema da Estação de Tratamento de Água de Boracéia.....	260
Figura B.1 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, sem adição de ácido ou cal.....	263
Figura B.2 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, com adição cal.	265
Figura B.3 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, com adição de ácido.....	267
Figura B.4 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, sem adição de ácido ou cal.	269
Figura B.5 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, com adição de cal.....	271
Figura B.6 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, com adição de ácido.....	273
Figura B.7 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 2, Primeiro Ensaio.	275
Figura B.8 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 1, Segundo Ensaio.	277
Figura B.9 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 1, Terceiro Ensaio.....	279
Figura B.10 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 2, Terceiro Ensaio.....	281
Figura C.1 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ no Tratamento 1.....	327
Figura C.2 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ no Tratamento 1.	328
Figura C.3 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Contínua para taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ no Tratamento 1.....	328
Figura C.4 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ no Tratamento 2.	329
Figura C.5 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ no Tratamento 2.	330

Figura C.6 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.	330
Figura C.7 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.	331
Figura C.8 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.	332
Figura C.9 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.	332
Figura C.10 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.	333
Figura C.11 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.	334
Figura C.12 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2. .	334
Figura C.13 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.	335
Figura C.14 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.	336
Figura C.15 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1. ...	336
Figura C.16 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.	337
Figura C.17 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.	338
Figura C.18 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2. .	338

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Grupos de Cianobactérias, Órgãos-Alvos e Gênero, respectivamente.....	50
Quadro 3.1 – Parâmetros de qualidade da água, método analítico e equipamentos utilizados nos ensaios de coagulação*.....	91
Quadro 3.2 – Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias e equipamentos utilizado na avaliação das seqüências de tratamento*.....	96
Quadro 3.3 – Relação dos parâmetros de qualidade da água e frequência de coletas em cada ponto de amostragem na avaliação das seqüências de tratamento.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Resultado do Estudo de Relevância.....	38
Tabela 1.2 – Resultado do Estudo de Relevância com variações da palavra-chave filtro de lavagem contínua.....	41
Tabela 2.1 – Potencial de eficiência de vários processos de tratamento para a remoção de toxinas.....	68
Tabela 2.2 – Característica da água da Lagoa do Peri.....	84
Tabela 3.1 – Características do Meio Granular do Filtro Ascendente.....	106
Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri.....	111
Tabela 4.2 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos.....	159
Tabela 4.3 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$	192
Tabela 4.4 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$	208
Tabela 4.5 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$	224
Tabela 4.6 – Volume de água utilizado para a lavagem do meio filtrante no filtro de lavagem contínua, filtro ascendente e filtro descendente.	228
Tabela 4.7 – Volume de água utilizada para lavagem do meio filtrante para três sistemas de tratamento por Filtração Direta (Dupla Filtração).....	229
Tabela B.1 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, primeiro ensaio.....	262
Tabela B.2 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, com adição de ácido, primeiro ensaio.	264
Tabela B.3 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, com adição de cal, primeiro ensaio.	266
Tabela B.4 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, verão, primeiro ensaio.....	268
Tabela B.5 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, com adição de ácido, primeiro ensaio.	270
Tabela B.6 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, com adição de cal, primeiro ensaio.	272
Tabela B.7 – Ensaio de Jarteste com Água do Filtro de Lavagem Contínua, depois de passar pelo processo de coagulação, para o Tratamento 3, outono, primeiro ensaio.	274
Tabela B.8 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, inverno, segundo ensaio.....	276

Tabela B.9 – Ensaio de Jarreste com Água Bruta, SA, verão, terceiro ensaio.....	278
Tabela B.10 – Ensaio de Jarreste com Água do Filtro de Lavagem Contínua, depois de passar pelo processo de coagulação, para o Tratamento 2, verão, terceiro ensaio.	280
Tabela B.11 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza PAC, primeiro ensaio.	282
Tabela B.12 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza PAC, primeiro ensaio.....	285
Tabela B.13 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza SA, no verão, primeiro ensaio.....	286
Tabela B.14 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza SA, no verão, primeiro ensaio.....	288
Tabela B.15 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza SA, no inverno, segundo ensaio.....	288
Tabela B.16 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza SA, no inverno, segundo ensaio.	290
Tabela B.17 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração quando se utiliza o PAC; monitorados diariamente, primeiro ensaio.....	291
Tabela B.18 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração; monitorados por 26 horas, primeiro ensaio.	292
Tabela B.19 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração do Tratamento 1, verão, primeiro ensaio.....	294
Tabela B.20 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração do Tratamento 2, verão, primeiro ensaio.....	297
Tabela B.21 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração do Tratamento 3, verão, primeiro ensaio.....	301

Tabela B.22 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1; monitorados diariamente, segundo ensaio.....	303
Tabela B.23 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2; monitorados diariamente, segundo ensaio	305
Tabela B.24 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 3; monitorados diariamente, segundo ensaio.....	308
Tabela B.25 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	310
Tabela B.26 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 150 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	313
Tabela B.27 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de 200 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	317
Tabela B.28 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 200 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	319
Tabela B.29 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de 250 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	322
Tabela B.30 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila <i>a</i> ; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 250 m ³ .(m ² .d) ⁻¹ ; monitorados diariamente, terceiro ensaio.	324

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTX	Anotoxina-a
ANTX-s	Anotoxina-a(s)
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CODNP	Carbono Orgânico Dissolvido Não Purgável
CS	Camada Suporte
CT	C = concentração aplicada do oxidante; T = tempo de contato.
CYN	Cilindropermopsina
ETA	Estação de Tratamento de Água
FA	Filtração Ascendente
FLA	Filtro de Laboratório de Areia
FM	Filtração em Margem
FLC	Filtração de Lavagem Contínua
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
G	Gradiente de Velocidade Após a Mistura Rápida
G_{mr}	Gradiente de Velocidade de Mistura Rápida
Ind	Indivíduo
HPLC	<i>High Performance Liquid Chromatography</i>
LABTOX	Laboratório de Toxicologia Ambiental
LALP	Laboratório de Água da Lagoa do Peri
LAPOA	Laboratório de Potabilização de Água
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
LPS	Lipopolissacarídeos
MCF	<i>Magnetically Coupled</i>
MCYS	Microcystinas
MON	Matéria Orgânica Natural
OMS	Organização Mundial de Saúde
STXs	Saxitoxinas
T_{mr}	Tempo de Mistura Rápida
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UV	Radiação Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

Nm	Nanômetro
μg	Micrograma
μm	Micrometro
μS	Microsiemens
ϕ	Diâmetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	35
1.1 JUSTIFICATIVA	36
1.2 HIPÓTESE E QUESTÃO DE PESQUISA	37
1.3 ESTUDO DE RELEVÂNCIA	37
1.4 OBJETIVO GERAL	44
1.4.1 Objetivos Especificos	44
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	47
2.1 CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS	47
2.1.1 Ocorrência de Cianobactérias	47
2.1.2 Toxinas das Cianobactérias	48
2.1.3 Intoxicação Humana por Cianobactérias.....	54
2.1.4 Problemas de Tratamento de Água Associados às Cianobactérias	56
2.2 PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO EMPREGADOS PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS	57
2.2.3 Experiências Brasileiras sobre Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas	69
2.3 FILTROS DE AREIA DE LAVAGEM CONTÍNUA	78
2.3.1 Filtro de Areia de Lavagem Contínua Fabricado no Brasil	78
2.3.2 Utilização da Filtração de Areia de Lavagem Contínua	80
2.4 MANANCIAL DE FORNECIMENTO DE ÁGUA PARA O ESTUDO: LAGOA DO PERI	81
3 MATERIAIS E MÉTODOS	87
3.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS	87
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	88
3.2.1 Etapa 1: Estudos Preliminares do Sistema Piloto.	88
3.2.2 Etapa 2: Determinação das Doses de Coagulantes através de Ensaio de Coagulação em Descontínuo (Jarteste)	89
3.2.3 Etapa 3: Ensaio em Fluxo Contínuo	92
3.3. AMOSTRAGEM E PARÂMETROS MONITORADOS	95
3.3.1 Análise de Fitoplankton e Saxitoxina (STX).....	98
3.4 FILTRO PILOTO DE LAVAGEM CONTÍNUA	99
3.4.1 Sistema de Lavação Contínua de Areia	102

3.5 FILTRO PILOTO ASCENDENTE	105
3.6. CARREIRA DE FILTRAÇÃO	108
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MANANCIAL.....	109
4.2 AJUSTES HIDRÁULICOS NOS FILTROS	119
4.2.1 Filtro de lavagem contínua	119
4.2.2 Filtro ascendente	121
4.3. DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE COAGULANTES ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – PRIMEIRO ENSAIO.....	121
4.3.1. Ensaio de Coagulação da Água Bruta para o Tratamento 1 – Primeiro Ensaio.....	121
4.3.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 – Primeiro Ensaio	122
4.3.3 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 3 (sem pré coagulação) – Primeiro Ensaio	122
4.4 ENSAIOS EM FLUXO CONTÍNUO – PRIMEIRO ENSAIO	122
4.4.1 Tratamento por Filtração Direta Ascendente (sem Filtro de Lavagem Contínua) – Primeiro Ensaio.....	122
4.4.2 Comparação entre os Tratamentos com PAC e SA na Filtração Direta Ascendente	130
4.4.3 Tratamento 1 – Primeiro Ensaio.....	138
4.4.4. Tratamento 2 – Primeiro Ensaio.....	144
4.4.5 Tratamento 3 – Primeiro Ensaio.....	150
4.4.6 Comparação entre os Três Sistemas de Tratamento	157
4.5 DETERMINAÇÃO DAS DOSES DE COAGULANTE ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – SEGUNDO ENSAIO.....	161
4.5.1 Ensaio de Coagulação da Água Bruta para o Tratamento 1 – Segundo Ensaio.....	161
4.5.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 e Tratamento 3 – Segundo Ensaio	161
4.6 ENSAIOS EM FLUXO CONTÍNUO – SEGUNDO ENSAIO	161

4.6.1 Tratamento por Filtração Direta Ascendente (sem Filtro de Lavagem Contínua) – Segundo Ensaio.....	161
4.6.2 Tratamento 1 – Segundo Ensaio.....	165
4.6.3 Tratamento 2 – Segundo Ensaio.....	169
4.6.4 Tratamento 3 – Segundo Ensaio.....	173
4.7 DETERMINAÇÃO DAS DOSES DE COAGULANTE ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – TERCEIRO ENSAIO	177
4.7.1 Ensaio de Coagulação de Água Bruta para o Tratamento 1 – Terceiro Ensaio	177
4.7.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 – Terceiro Ensaio	177
4.8 ENSAIO EM FLUXO CONTÍNUO – TERCEIRO ENSAIO	177
4.8.1 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	177
4.8.2 Tratamento 2: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	184
4.8.3 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio.....	191
4.8.4 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	193
4.8.5 Tratamento 2: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	199
4.8.6 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio.....	206
4.8.7 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	209
4.8.8. Tratamento 2: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio	215
4.8.9 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio.....	222
4.9 COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS E TAXAS DE FILTRAÇÃO ASCENDENTE.....	225
4.10. CONSUMO DE ÁGUA PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE DUPLA FILTRAÇÃO DE LAVAGEM CONTÍNUA.....	228

4.11. OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DE LAVAGEM CONTÍNUA EM ESCALA REAL COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM	229
4.11.1. ETA – Boracéia	229
4.11.2 Decantador Lamelar	234
4.11.3 Ensaio de Jarreste e Operação do Sistema	238
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	243
REFERÊNCIAS	245
APÊNDICE A	257
APÊNDICE B	261
APÊNDICE C	327

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema que afeta vários países e é a causa de muitos conflitos. Contudo, não se deve levar em consideração somente a questão quantitativa da água, é indispensável que a água se apresente em qualidade adequada para o fim a que se destina.

Estudos recentes alertam que 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água de boa qualidade e 2,6 bilhões, algo em torno de 40% da população mundial, não têm acesso a saneamento adequado (WHATELY *et al.*, 2008).

Segundo Whately e colaboradores (2008), ao contrário do que se pode pensar, uma parcela significativa desse montante não está em áreas remotas; mas sim, nas grandes cidades, onde vive metade da população mundial, ou 3,3 bilhões de pessoas. Até 2025, as previsões apontam para um aumento populacional de 2 bilhões. Esse crescimento se dará principalmente nas cidades dos chamados países em desenvolvimento e, muito provavelmente, de forma desordenada e sem a infraestrutura necessária, causando o “incremento” do processo de eutrofização.

A eutrofização foi reconhecida como um problema de poluição nos lagos e reservatórios da Europa Ocidental e na América do Norte em meados do século XX (ROHDE, 1969 *apud* WHO, 1999). Desde então, tornou-se mais comum, especialmente em algumas regiões, e tem provocado deterioração do ambiente aquático e graves problemas para a utilização da água, particularmente no tratamento de água potável (WHO, 1999). Tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, há mananciais de abastecimento que apresentam água com qualidade preocupante, podendo causar intoxicação de população pelo consumo de água contaminada por cianobactérias tóxicas.

Essa situação já foi verificada no Brasil, quando, em fevereiro de 1996, 89% dos pacientes que se submeteram à hemodiálise em uma clínica em Caruaru – Pernambuco, Brasil, começaram a se queixar de mal estar. Subsequentemente, mais de 75% dos pacientes desenvolveram falha aguda no fígado e cerca de 40% de óbitos foram registrados até dezembro daquele ano, devido à água utilizada na hemodiálise estar contaminada por cianobactérias, as quais acabaram por liberar toxinas na água, a denominada “Síndrome Caruaru” (CARMICHAEL *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2002; YUAN *et al.*, 2006).

Nos reservatórios de abastecimento de água, as cianobactérias predominam sobre os outros grupos fitoplanctônicos (microalgas). Dentre os motivos, destacam-se as características fisiológicas pelas quais as cianobactérias assimilam os nutrientes (N e P) do meio

aquático. De maneira geral, as cianobactérias são menos eficientes na assimilação desses nutrientes do que as microalgas (algas verdes ou diatomáceas, por exemplo), que em condições normais crescem mais e melhor. No entanto, ao produzir uma descarga excessiva de nutrientes nos reservatórios, o homem propicia uma maior oferta desses nutrientes, facilitando a assimilação dos mesmos e o crescimento das cianobactérias (FUNASA, 2003). Proença e colaboradores (1999) reportam, por exemplo, que em tais condições ocorrem as florações de *Cylindropermopsis raciborskii*, responsáveis pela liberação de saxitoxinas, na região Sul do país.

Como forma de remediar os inconvenientes causados pela presença de cianobactérias e microalgas nos mananciais de abastecimento, são aplicadas diversas técnicas de tratamento de água; contudo, a filtração direta não pode ser citada como exemplo, devido à característica da água não ser adequada para este tratamento e a remoção das cianobactérias e microalgas não ser efetiva, sendo necessário um tratamento alternativo ou complementar.

Verificando a deficiência da filtração direta, a pesquisa em questão avaliou um sistema de dupla filtração em meio granular: filtração direta ascendente (FDA) precedida de filtro de lavagem contínua.

1.1 JUSTIFICATIVA

A incidência de florações de cianobactérias e microalgas em mananciais de abastecimento público tem sido cada vez mais relatada no Brasil, pois a maioria dos reservatórios de água apresenta condições necessárias para o crescimento destes micro-organismos durante todo o ano (DI BERNARDO, 2003). As florações podem ser causadoras de diversos problemas na qualidade da água dos mananciais de abastecimento, principalmente alteração do sabor e odor da água e liberação de grandes quantidades de toxinas (cianotoxinas). Este fato representa um sério risco à saúde pública.

Estudos realizados em universidades têm confirmado a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público de água dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pará, Bahia, Pernambuco e Distrito Federal (DI BERNARDO, 2003). Segundo Di Bernardo (2003), quando testadas em bioensaios de toxicidade ou por análises químicas, 82% das cepas isoladas mostraram-se tóxicas, mais especificamente 9,7% neurotóxicas e as restantes hepatotóxicas.

Em Florianópolis (SC), a Lagoa do Peri é o manancial utilizado para abastecer o sul e a costa leste da Ilha de Santa Catarina. Situa-se na área do Parque Municipal da Lagoa do Peri e estudos desenvolvidos na área reportam florações de *Cylindropermopsis raciborskii* (MONDARDO, 2004; MELO FILHO, 2006; MARNOTO, 2008; MARNOTO *et al.*, 2008; MONDARDO *et al.*, 2008). Vale salientar que a quantidade de algas dificulta o tratamento da água, sendo a obstrução de filtros e até a liberação de toxina presentes em algumas espécies alguns dos problemas causados pela floração.

Contudo, muitos inconvenientes do tratamento pela filtração direta ascendente, decorrentes de características físico-químicas ou biológicas da água, podem ser solucionados por intermédio de pré-tratamento. Nos casos em que a água bruta contenha materiais grosseiros em suspensão ou quantidades excessivas de algas, mas com outros parâmetros adequados às condições para tratamento com filtração direta ascendente, pode-se recorrer a pré-tratamentos, como a filtração de lavagem contínua.

1.2 HIPÓTESE E QUESTÃO DE PESQUISA

➤ A Filtração Direta Ascendente, precedida de Filtro de Lavagem Contínua, é uma técnica viável para potabilização de água com elevada densidade de cianobactérias e microalgas.

A questão a ser respondida para elucidação da hipótese é:

➤ **A utilização de filtro de lavagem contínua, como pré-tratamento da filtração direta ascendente, soluciona os problemas do tratamento de águas com elevada densidade de cianobactérias e microalgas?**

1.3 ESTUDO DE RELEVÂNCIA

“Estudo de relevância” refere-se à pesquisa por artigos científicos em base de dados de bibliotecas e universidades acessíveis através da Internet, traduzindo-se no resultado quantitativo da produção científica sobre o tema, que foi obtido fazendo-se buscas pelas palavras-chave e cruzamentos nas bases de dados. Contudo, a busca foi limitada a bases específicas selecionadas em função de critérios de qualidade definidos por órgãos especializados, como a CAPES e instituições internacionais correlatas. Para estabelecer as bases de dados para o estudo de relevância, foram considerados três níveis: local, nacional e internacional. A Tabela 1.1 apresenta os resultados do Estudo de Relevância.

Tabela 1.1 – Resultado do Estudo de Relevância.

PALAVRAS CHAVE	PORTAL							
	LOCAL	NACIONAL						
	UFSC	SciELO	Bireme	USP	Unicamp	UnB	BDTD	<i>Google Academic</i>
1	3	7	19	1	1	0	5	42
2	16	29	4365	22	11	4	35	493
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	71	288	29789	45	12	3	134	454
1+2	2	1	1	0	0	4	0	6
1+3	0	0	0	0	0	0	0	0
1+4	2	1	1	0	0	0	0	0
2+3	0	0	0	0	0	0	0	0
2+4	7	1	14	2	0	0	2	28
3+4	0	0	0	0	0	0	0	0
1+2+3+4	0	0	0	0	0	0	0	0

1 = Potabilização de Água (Water Potabilization);

2 = Filtração Direta (Direct Filtration);

3 = Filtro de Lavagem Contínua (Continuous Backwashing Filter);

4 = Cianobactérias e microalgas (Cyanobacteria and microalgae)

Tabela 1.1 – Resultado do Estudo de Relevância (Cont.).

PALAVRAS CHAVE	PORTAL			
	INTERNACIONAL			
	<i>Google Academic</i>	SciELO	Science Direct	REPIDISCA
1	152	3	53	2
2	4300	19	670	341
3	0	0	0	0
4	31	161	30333	141
1+2	4	0	2	2
1+3	0	0	0	0
1+4	0	0	2	1
2+3	0	0	0	0
2+4	0	2	42	68
3+4	0	0	0	0
1+2+3+4	0	0	0	0

1 = Potabilização de Água (Water Potabilization);

2 = Filtração Direta (Direct Filtration);

3 = Filtro de Lavagem Contínua (Continuous Backwashing Filter);

4 = Cianobactérias e microalgas (Cyanobacteria and microalgae).

Como se pode observar pela Tabela 1.1, não se achou qualquer artigo, dissertação ou tese que mencionasse filtro de lavagem contínua. Por esse motivo, decidiu-se realizar nova busca com variações dessa palavra-chave. Utilizaram-se as seguintes variações: filtro autolimpante, filtro de lavagem e filtro com processo de lavagem. Outra dificuldade encontrada foi a presença de artigos e preposições; sendo assim, decidiu-se excluir os artigos e preposições da pesquisa. Na Tabela 1.2 tem-se o resultado do Estudo de Relevância com variações da palavra-chave filtro de lavagem contínua.

Tabela 1.2 – Resultado do Estudo de Relevância com variações da palavra-chave filtro de lavagem contínua.

PALAVRAS CHAVE	PORTAL							
	LOCAL	NACIONAL						
	UFSC	SciELO	Bireme	USP	Unicamp	UnB	BDTD	<i>Google Academic</i>
1	0	0	0	0	0	0	1	5
2	3	9	5	3	1	0	21	0
3	1	1	1	2	1	0	10	0

1 = Filtro Autolimpante

2 = Filtro de lavagem

3 = Filtro com processo de lavagem

Tabela 1.2 – Resultado do Estudo de Relevância com variações da palavra-chave filtro de lavagem contínua (Cont.).

PALAVRAS CHAVE	PORTAL			
	INTERNACIONAL			
	<i>Google Academic</i>	SciELO	ScienceDirect	REPIDISCA
1	1	0	0	0
2	2	3	2	0
3	0	0	0	0

1 = Filtro Autolimpante

2 = Filtro de lavagem

3 = Filtro com processo de lavagem.

Apesar de terem sido encontrados cerca de 49 artigos, dissertações e teses com a palavra “filtro lavagem”, nenhum dos resultados se refere ao objetivo do trabalho. Como se decidiu tirar os artigos e preposições, a grande maioria dos resultados referia-se à água de lavagem de filtro. Em relação à palavra “filtro processo lavagem”, foram encontrados 16 citações; sendo que todas as citações referiam-se a algum tipo de processo de lavagem de frutas, verduras ou legumes ou ainda referia-se à área de saúde.

Durante o estudo de relevância, buscaram-se informações sobre o fornecedor do filtro de lavagem contínua, inclusive incluindo o nome da empresa na busca por informações. Nessa busca, observou-se outra denominação em inglês para o filtro de lavagem contínua: continuous backwash filter, a qual foi utilizada na pesquisa em base de dados.

Nessa nova busca, utilizando apenas a palavra-chave “*continuous backwash filter*”, encontraram-se 77 artigos. Contudo, apenas sete artigos estavam relacionados ao filtro de lavagem contínua utilizado na pesquisa objetivando a potabilização de água. Os demais artigos tratavam ou da utilização do filtro de lavagem contínua na remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, ou do tratamento da água utilizado na retrolavagem dos filtros. Os artigos encontrados foram os seguintes:

- a) Backwash or continuous? A new trend in German sand filters. 1998. *Filtration and Separations* 35 (10), pp. 920.
- b) The continuous sand filter. 1982. *Finishing industries* 6 (2), pp. 26-29.
- c) Dyna Sand filtration for drinking-water production. 1993. Kramer, J. P. e Wouters, J. W. *Aqua* 42 (2), pp. 97-104.
- d) Backwashing rapid sand filters. 1984. Norman, P.A.; Gould, B.W. Source: *Effluent & Water Treatment Journal*, v 24, n 5, p 174-181, May 1984.
- e) Continuous-backwash upflow filtration for primary effluent. 1994. England, S.K.; Darby, J.L.; Tchobanoglous, G. *Water Environment Research*, v 66, n 2, p 145-152, Mar-Apr 1994.
- f) Treatment processes in small services of water distribution: The experience in Spain. 1996. Amil, L.; Serra, P. *Water Supply*, v 14, n 3-4, p 448-452, 1996.
- g) Good water from simple automation. 1984. Weaver, G.; Desroches, Richard E. *Water Engineering and Management*, v 131, n 7, p 28-29, Jul 1984.

Quando se buscaram, nas bases de dados, informações sobre a empresa fornecedora do filtro encontraram-se 10 artigos sobre a empresa fornecedora do filtro:

- a) Dynamic model development and validation for a nitrifying moving bed biofilter: Effect of temperature and influent load on the performance. 2008. Sin, G.; Weijma, J.; Spanjers, H.; Nopens, I. *Process Biochemistry* 43 (4), pp. 384-397
- b) CBFs aid nutrient removal. 2007. Freed Jr, A. J.; Gutierrez, M. A. e Wessels, C. *Water and Wastewater International* 22 (2), pp. 12-13.
- c) Delfland facility reports 98% denitrification efficiency. 2004. Wouters, J.W., De Been, P. *Water and Wastewater International* 19 (2), pp. 41
- d) Treatment of rinsing water from electroless nickel plating with a biologically active moving-bed sand filter. 2001. Pümpel, T., Ebner, C., Pernfuß, B., Schinner, F., Diels, L., Keszthelyi, Z., Stankovic, A., Wouters, H. *Hydrometallurgy* 59 (2-3), pp. 383-393
- e) Dynamic denitrification of 3,600 m³/h sewage effluent by moving bed biofiltration. 2000. Kramer, J.P., Wouters, J.W., Noordink, M.P.M., Anink, D.M.E., Janus, J.M. *Water Science and Technology* 41 (4-5), pp. 29-33.
- f) Side stream biofiltration for improved biofouling control in cooling water systems. 2000. Daamen, E.J., Wouters, J.W., Savelkoul, J.T.G. *Water Science and Technology* 41 (4-5), pp. 445-451.
- g) The 'behaviour' of five metal biosorbing and bioprecipitating bacterial strains, inoculated in a moving-bed sand filter. 1999. Pernfuß, B., Ebner, C., Pümpel, T., Diels, L., Macaskie, L., Tsezos, M., Keszthelyi, Z., Glombitza, F. *Process Metallurgy* 9 (C), pp. 373-382.
- h) Removal of nickel from plating rinsing water with a moving-bed sand filter inoculated with metal sorbing and precipitating bacteria. 1999. Pümpel, T., Ebner, C., Pernfuß, B., Schinner, F., Diels, L., Keszthelyi, Z., Macaskie, L., Wouters, H. *Process Metallurgy* 9 (C), pp. 383-392.
- i) Heavy metals removal from waste water by moving bed sand filters inoculated with heavy metal adsorbing or precipitating micro-organisms. 1999. Spaans, P.H., Van Roy, S., Hooyberghs, L., Winters, J., Macaskie, L., Finlay, J., Pümpel, T., Diels, L.

Proceedings of the TMS Fall Extraction and Processing Conference 3, pp. 2337-2345.

- j) Water re-use in an oil refinery. 1998. Duyvesteijn, C.P.T.M. Desalination 119 (1-3), pp. 357-358.

Vale salientar que nenhum dos artigos citados relaciona a utilização de filtro de lavagem contínua em sistema de dupla filtração ascendente objetivando a remoção de cianobactérias e microalgas.

De acordo com a Tabela 1.1 percebe-se que, pela quantidade de artigos encontrados, o tema relacionado a cianobactérias e microalgas é bastante explorado; situação semelhante ao que ocorre com o tema filtração direta. Contudo, pela análise feita nos artigos, dissertações e teses encontrados, percebe-se que em nenhum deles utiliza-se o sistema de dupla filtração ascendente com filtro de lavagem contínua, o que pode ser ratificado pela Tabela 1.2.

Ao realizar o cruzamento das quatro palavras-chave – potabilização de água, filtração direta, filtro de lavagem contínua e cianobactérias e microalgas – não se têm resultados em nenhuma base de consulta. Além disso, apesar de terem sido encontrados artigos com o nome do fornecedor e com a palavra-chave “*continuous backwash filter*”, não se encontrou nenhuma citação a respeito da utilização de filtro de lavagem contínua para remoção de microalgas e cianobactérias utilizando processo de dupla filtração ascendente. A ausência de resultados demonstra que a utilização do sistema de dupla filtração ascendente com filtro de lavagem contínua objetivando a remoção de cianobactérias e microalgas é um assunto carente de exploração científica.

Com base no levantamento realizado nas bases de dados consultadas, construiu-se a revisão de literatura apresentada no capítulo 2.

1.4 OBJETIVO GERAL

Estudar e avaliar a eficiência de um sistema de tratamento de água na remoção de cianobactérias e microalgas, através da dupla filtração: filtração ascendente precedida de filtro de lavagem contínua.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a aplicabilidade da filtração direta utilizando filtro de lavagem contínua no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias e microalgas;

- Avaliar a eficiência do filtro de lavagem contínua na remoção de cianobactérias e microalgas;
- Avaliar a influência do filtro de lavagem contínua nas carreiras de filtração ascendente;
- Avaliar o comportamento do sistema de tratamento utilizando diferentes taxas de filtração no filtro ascendente;

Avaliar a dinâmica dos parâmetros físico-químicos e biológicos através da técnica utilizada: filtro de lavagem contínua seguida de filtração direta ascendente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É consenso que a presença de algas nos mananciais de abastecimento modifica a qualidade da água a ser tratada, prejudicando a operação das ETA's. Contudo, as cianobactérias despertam maior preocupação, pois representam riscos à saúde da população – devido à possibilidade da existência de cianotoxinas dissolvidas nas águas.

2.1 CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS

Estima-se que a origem das cianobactérias data de 3,5 bilhões de anos; sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva (CARMICHAEL, 1994).

As cianobactérias, cianofíceas ou cianoprocariontes são micro-organismos aeróbios fotoautotróficos; que requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz para os processos vitais, sendo a fotossíntese o principal modo de obtenção de energia para o metabolismo. Entretanto, a organização celular demonstra que esses micro-organismos são procariontes e, portanto, muito semelhantes bioquimicamente e estruturalmente às bactérias (AZEVEDO, 1998).

A capacidade de crescimento, nos mais diferentes meios, é uma das características marcantes das cianobactérias. Os ambientes de água doce são os mais favoráveis para o crescimento desse micro-organismo, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutroalcalinas (pH 6-9), com temperatura variando de 15°C a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. A toxicidade de florações de cianobactérias pode apresentar uma variação temporal, desde intervalos curtos de tempo até diferenças sazonais, anuais e também espaciais, provavelmente decorrente de alterações na proporção de cepas tóxicas e não tóxicas na população (AZEVEDO, 1998).

2.1.1 Ocorrência de Cianobactérias

A crescente eutrofização dos ambientes aquáticos tem sido produzida principalmente por atividades humanas, causando um enriquecimento artificial desses ecossistemas. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e a poluição difusa originada nas regiões agricultáveis (AZEVEDO, 1998 e FUNASA, 2003).

Segundo Azevedo (1998) e FUNASA (2003), a eutrofização causada pelo aporte de nutrientes produz mudanças na qualidade da

água, dentre as quais pode-se citar: redução de oxigênio dissolvido; perda das características estéticas do ambiente e o potencial para lazer; morte extensiva de peixes e aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias, com consequências negativas sobre eficiência e custo de tratamento da água, quando se trata de manancial de abastecimento público. Estas florações ou *blooms* se caracterizam pelo intenso crescimento desses micro-organismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade, com consequências relacionadas à saúde pública.

Apesar de vários relatos sobre floração de *Cylindrospermopsis raciborskii* na África, não havia dados disponíveis sobre a dinâmica e potencial tóxico da alga no local. Por esse motivo, realizou-se pesquisa de um ano sobre a dinâmica de *Cylindrospermopsis raciborskii* no principal reservatório de água no Senegal, Lago Guiers (BERGER *et al.*, 2006).

Segundo Berger e colaboradores (2006), não houve floração de *Cylindrospermopsis raciborskii* durante o período estudado; contudo, a floração foi dominante durante a estação seca. Durante a floração, foi observada apenas a formação de uma espécie de diatomácea, *Fragilaria* sp., que exibiu um padrão sazonal contrário àquele demonstrado por *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Análises dos principais componentes aplicados aos dados ambientais e fitoplâncton mostraram que a alta biomassa de *Cylindrospermopsis raciborskii* foi relacionada principalmente à alta temperatura e estabilidade da coluna de água. Os testes para a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* relacionados tanto com toxicidade quanto com síntese da toxina foram realizados em 21 clones isolados. Todos os clones isolados testados tiveram resultados negativos em bioensaios de toxicidade, análise de toxinas (MS / MS) e testes para conhecer os genes *cylindrospermopsin* (ps, pks) (BERGER *et al.*, 2006).

O número limitado de cepas estudadas e a ocorrência de resíduos tóxicos e não tóxicos nos clones de populações naturais de cianobactérias, significa que não se pode concluir a falta de riscos associados à presença de *Cylindrospermopsis raciborskii* à saúde, nesse reservatório de água potável (BERGER *et al.*, 2006).

2.1.2 Toxinas das Cianobactérias

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações produzem toxinas. As toxinas de cianobactérias, conhecidas como cianotoxinas, constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos produzidos por esses micro-organismos e, embora ainda não estejam

devidamente esclarecidas as causas da produção dessas toxinas, tem-se assumido que esses compostos tenham função protetora contra herbivoria, como acontece com alguns metabólitos de plantas vasculares (CARMICHAEL,1992).

Segundo Azevedo (1998), as cianotoxinas têm sido identificadas de duas formas, de acordo com a estrutura química: (1) **alcalóides ou organofosforados neurotóxicos**: caracterizam-se pela rápida ação e causam a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição; e (2) **peptídeos ou alcalóides hepatóxicos**: atuam de forma mais lenta. Contudo, a principal classificação baseia-se na ação sobre órgãos-alvos:

- **Neurotoxinas**: potente bloqueador neuromuscular pós-sináptico de receptores nicotínicos e colinérgicos. Os sinais de envenenamento por esta toxina, em animais selvagens e domésticos incluem desequilíbrio, fasciculação muscular, respiração ofegante e convulsões; a morte é devida à parada respiratória e ocorre de poucos minutos a poucas horas, dependendo da dosagem e consumo prévio de alimento. Os sinais clínicos de intoxicação mostram uma progressão de fasciculação muscular, decréscimo de movimentos, respiração abdominal exagerada, cianose, convulsão e morte. As neurotoxinas já definidas química e funcionalmente são: anatoxina-a (alcalóide), anatoxina-a(s) (organofosforado natural) e saxitoxinas (carbamatos alcalóides).
- **Hepatotoxinas**: são mais abundantes que as neurotoxinas e a causa mais comum de intoxicação envolvendo cianobactérias; apresentam uma ação mais lenta, causando a morte entre poucas horas e poucos dias, em decorrência de hemorragia intra-hepática e choque hipovolêmico. Os sinais observados após ingestão dessas hepatotoxinas são prostração, anorexia, vômitos, dor abdominal e diarreia (BOUAÏCHA, 2001; CARMICHAEL e SCHWARTZ,1984 e BEASLEY *et al.*, 1989 *apud* AZEVEDO, 1998). As hepatotoxinas já definidas química e funcionalmente são: microcistinas (heptapeptídeos cíclicos), nodularinas (pentapeptídeos) e cilindrospermopsina (alcalóide). No Quadro 2.1, os grupos de cianobactérias, órgãos-alvos e gênero.

Quadro 2.1 - Grupos de Cianobactérias, Órgãos-Alvos e Gênero, respectivamente.

GRUPOS DE CIANOACTÉRIAS¹	ÓRGÃOS-ALVOS	GÊNEROS DE CIANOACTÉRIAS²
Peptídeos Cíclicos		
Microcystinas (MCYS)	Fígado	<i>Microcystis, Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Nostoc, Hapalosiphon, Anabeanopsis</i>
Nodularinas	Fígado	<i>Nodularia</i>
Alcalóides		
Anatoxina-a (ANTX)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Aphanizomenon</i>
Anatoxina-a (s) (ANTX-s)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena</i>
Aplisiatoxinas	Pele	<i>Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix (Oscillatoria)</i>
Cilindrospermopsina (CYN)	Fígado ³	<i>Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Umezakia</i>
Lingbiatoxina-a	Pele, trato do gastro-intestinal	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxinas (STXs)	Axônios nervosos	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis</i>
Lipopolissacarídeos (LPS)	Potencial Irritante; afeta qualquer tecido exposto	Todas

¹ Muitas variantes estruturais podem ser conhecidas para cada grupo de toxina.

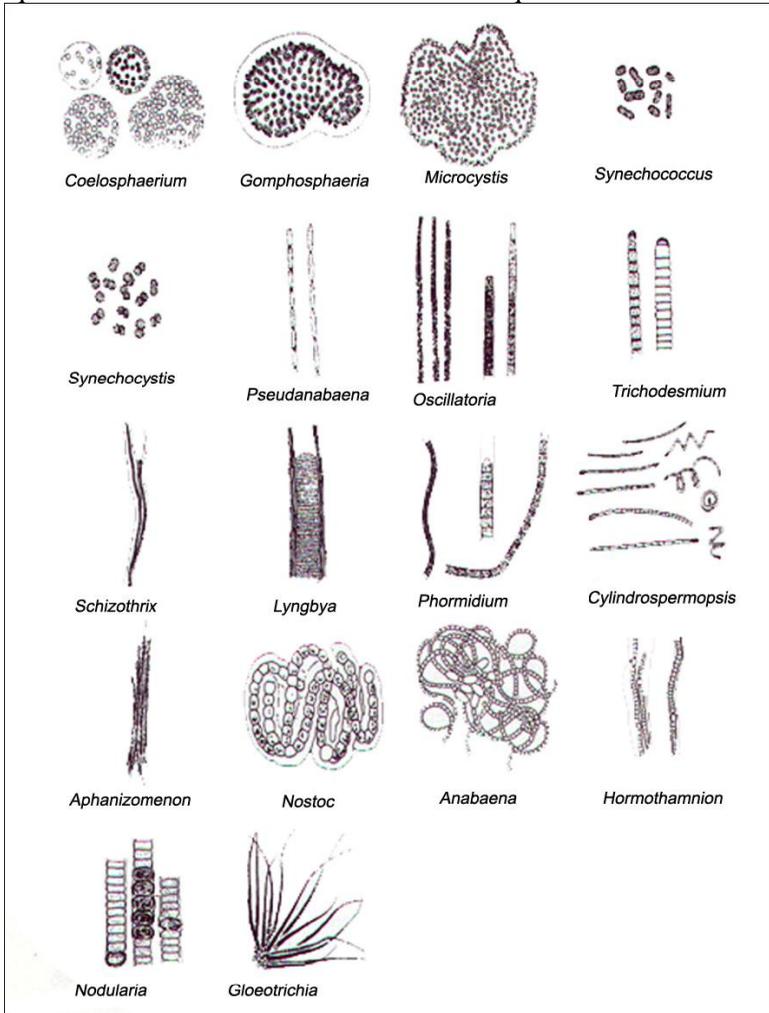
² Não produzido por todas as espécies do gênero particular.

³ Todas as células da espécie tóxicas causam danos nos tecidos, incluindo danos ao rim e tecidos linfóides.

Fonte: Sivonen e Jones (1999).

A Figura 2.1 apresenta alguns gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas frequentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais.

Figura 2.1 – Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas frequentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais.



Fonte: FUNASA (2003).

A sequência de figuras, Figura 2.2 a Figura 2.6, mostra a fórmula molecular espacial das cianotoxinas Anatoxina-a, Anatoxina-a(s), Cilindrospermopsina, Saxitoxinas e Hepatotoxinas (BOUAÏCHA, 2001; FAO, 2005).

Figura 2.2 – Fórmula Molecular Espacial da Anatoxina-a.

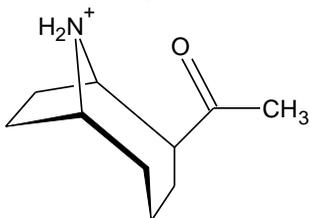


Figura 2.3 – Fórmula Molecular Espacial da Anatoxina-a(S).

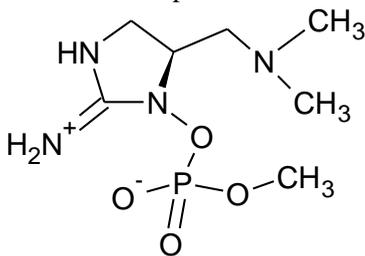


Figura 2.4 – Fórmula Molecular Espacial da Cilindrospermopsina.

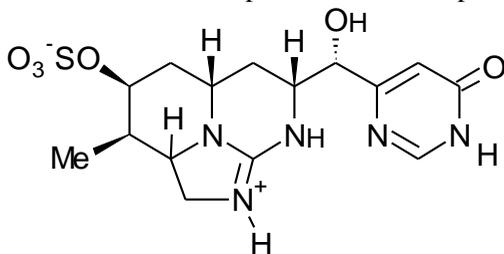


Figura 2.5 – Fórmula Molecular Espacial das Saxitoxinas.

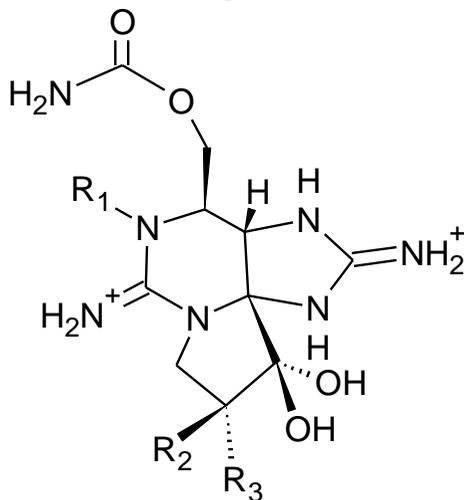
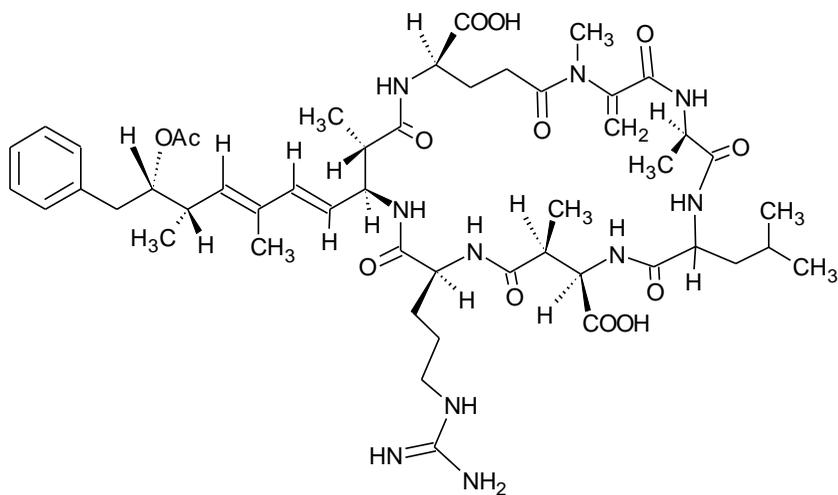


Figura 2.6 – Fórmula Molecular Espacial das Hepatotoxinas.



2.1.3 Intoxicação Humana por Cianobactérias

A presença de cianotoxinas nos corpos de água representa problema prioritário de saúde pública. A intoxicação por cianotoxinas ocorre, principalmente, por via oral e cutânea, através do consumo de água, ingestão de pescados contaminados e durante atividades recreacionais em corpos de água. Entretanto, existem casos de exposição às cianotoxinas pela inalação (durante o banho e em certas atividades esportivas na água), por via intravenosa (hemodiálise) e pela ingestão direta de cianobactérias, pois em alguns países a dieta da população inclui algas (KUIPER-GOODMAN *et al.*, 1999).

Segundo Kuiper-Goodman e colaboradores (1999), intoxicações de populações pelo consumo oral de água contaminada por cianotoxinas já foram registradas nos diferentes continentes (Austrália, Europa, América do Norte e do Sul, e África). Entretanto, observa-se uma grande dominância de relatos em países do Hemisfério Norte, certamente devido ao maior interesse e investimentos nesta linha de pesquisa e consequente preocupação com o potencial de intoxicação das cianobactérias (FUNASA, 2003).

Apesar do crescente interesse na problemática da intoxicação de cianobactérias, há um conhecimento insuficiente da toxicocinética destas complexas toxinas, produzidas por marés vermelhas. Em caso de ocorrer exposição humana aguda, o diagnóstico de intoxicação é normalmente baseado em sintomatologia e análise do tecido do molusco por bioensaio, análise de HPLC-FLD e ensaio de neuroblastoma de camundongo. No entanto, os riscos à saúde devido à exposição crônica também deve ser considerado e a prevenção pode ser alcançada com uma melhor compreensão de doses sub-letais destas toxinas (BATOREÚ *et al.*, 2005).

Na cidade de Belém (PA), no ano de 1999, foram encontradas espécies de *Radiocystis fernandoi* no Lago Bolonha, que, juntamente com o Lago Água Preta, forma o Manancial do Utinga, que abastece a cidade (VIEIRA *et al.*, 2003). Dando continuidade a esse estudo, no ano de 2005, realizou-se a caracterização da biota de cianobactérias existente no manancial; além da determinação da toxicidade dos organismos e concentração de microsistemas na água bruta e tratada. Foram encontradas espécies potencialmente tóxicas do gênero *Aphanizomenos*, *Microcystis*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* e *Radiocystis*. Ensaios em ratos revelaram uma frequência de 43,6% das espécies de hepatotoxinas, incluindo 30,8% da espécie de *Microcystis viridis* e 12,8% da espécie de *Radiocystis fernandoi*, com LD₁₀₀ mais baixo que 45 e 75 mg.(Kg)⁻¹ de massa corporal, respectivamente. Hepatotoxicidade subcutânea foi

observada para espécies de *Aphanizomenon cf. gracile* e *Coelomonon pusillum* (VIEIRA *et al.*, 2005).

Investigação realizada, no período de março a maio de 2002, no reservatório de Tapacurá, que abastece a cidade de Recife, PE, objetivou a detecção de neurotoxinas durante uma floração de cianobactérias. As cianobactérias dominantes encontradas durante a floração foram *A. spiroide*, *Pseudanaberna sp.*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*. Bioensaios em ratos evidenciaram a presença de neurotoxinas em ambas as dominâncias, *A. spiroides* e *C. raciborskii*; a atividade da anticolinesterase foi observada somente durante o período de dominância de *A. spiroides*. Além disso, a espécie *A. spiroides*, isolada durante o estudo, apresentou uma acentuada inibição de acetilcolinesterase. A análise cromatográfica (CLAE-FLD) de extrato de algas relevou a presença de saxitoxinas, neosaxitoxinas e dc-saxitoxina, provavelmente produzidas por *C. raciborskii* (MOLICA *et al.*, 2005).

No Brasil, o trabalho de Teixeira e colaboradores (1993) descreve uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica (Bahia) e a morte de 88 pessoas, entre as 200 intoxicadas, pelo consumo de água do reservatório, no período de março e abril de 1988.

Estudos limnológicos realizados no Lago Paranoá (Brasília-DF) registraram presença dominante da cianofícea *Cylindrospermopsis raciborskii* na maior parte do lago e periódicas ocorrências de *Microcystis aeruginosa*. A dominância de *C. raciborskii* parece ser favorecida por um conjunto de fatores, dentre os quais: diminuição de nutrientes no epilímio, causado pela estratificação térmica na água durante o período chuvoso; aumento de pH e da temperatura da água; tempo de detenção elevado e pequena predação de zooplacton. A floração de *M. aeruginosa* está condicionado ao fim da estação seca; aumento dos níveis de poluição orgânica; diminuição da densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii*; aparecimento de estratificação na coluna de água e aumento da temperatura e da radiação solar (BRANCO e SENNA, 1994).

Na região Sul do Brasil, florações de *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Anabaena spiroides* foram estudados em relação à composição tóxica, localização geográfica e outras características da região; como conclusão final foram encontrados resultados positivos em todas as amostras, quando utilizada a técnica de inibição AChE, para *Anabaena spiroides* (YUNES *et al.*, 2003).

Mondardo (2004), Melo Filho (2006) e Marnoto (2008) reportam a floração de cianobactérias, espécie dominante

Cylindrospermopsis raciborskii, na água bruta da Lagoa do Peri, manancial que abastece parte da Ilha de Santa Catarina.

Contudo, um dos principais casos confirmados de mortes humanas causadas por cianotoxinas ocorreu no início de 1996. Na época, 131 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Desses, 52 pacientes vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas. As análises confirmaram a presença de microcistinas e cilindrospermopsina no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica e de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados. Além disso, as contagens das amostras do fitoplâncton do reservatório que abastecia a cidade demonstraram uma dominância de gêneros de cianobactérias comumente relacionados com a produção de cianotoxinas (CARMICHAEL *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2002; YUAN *et al.*, 2006).

2.1.4 Problemas de Tratamento de Água Associados às Cianobactérias

Segundo Di Bernardo (1995) e Schmidt *et al.* (1998), a presença de cianobactérias e microalgas em estações de tratamento de água pode causar problemas operacionais em várias etapas de tratamento, dentre os quais pode-se citar:

- (a) problemas na coagulação e floculação, diminuindo a eficiência do processo de sedimentação;
- (b) colmatação dos filtros e conseqüentemente redução da carreira de filtração ou produção efetiva de água;
- (c) aumento da necessidade de produtos para a desinfecção;
- (d) água com gosto e odores acentuados, pois algumas algas e subprodutos podem produzir odores desagradáveis e gerar sabores indesejáveis à água;
- (e) possibilidade de produção de cianotoxinas, pois vários gêneros e espécies de cianobactérias produzem toxinas, as quais podem ser liberadas através da lise celular em alguns processos de tratamento utilizados;
- (f) possibilidade de formação de compostos organoclorados; e
- (g) degradação microbiológica da qualidade da água na rede e reservatório de distribuição.

2.2 PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO EMPREGADOS PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS

Segundo Codd (1995) e Roset *et al.* (2001), mais de 50% das proliferações massivas de cianobactérias são tóxicas. Para remover de forma satisfatória as cianobactérias e, conseqüentemente, as cianotoxinas, diferentes processos e sistemas de tratamento de água têm sido avaliados, tais como:

COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/DECANTAÇÃO OU FLOTAÇÃO

Coagulação/floculação, que pode ser seguida de decantação ou flotação, envolve a agregação de pequenas partículas em partículas maiores utilizando produto químico, tais como, cloreto férrico e sulfato de alumínio e, eventualmente, polímeros. A eficiência do processo de remoção de cianobactérias está diretamente ligada à otimização da dosagem do produto químico e do pH de coagulação.

Ultimamente, grande ênfase tem sido dada à remoção de matéria orgânica natural (MON) por coagulação química, uma vez que ela pode funcionar como precursora da formação de subprodutos indesejáveis da desinfecção. Deste modo, ampliam-se os objetivos tradicionais da coagulação realizada nas ETAs, que são a remoção de cor e de turbidez, conciliando-os com a remoção de MON, o que geralmente exige o emprego de maiores dosagens de coagulante, podendo inviabilizar o uso da filtração direta (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo Hart *et al.* (1998), a coagulação com sulfato de alumínio mostrou-se eficaz na redução da concentração da toxina total. Este fato foi devido à remoção das células de *Microcystis*, e não devido à eliminação das toxinas extracelulares, pois a concentração da toxina dissolvida permaneceu a mesma.

O emprego da flotação é um exemplo de técnicas que também podem ser consideradas na remoção de células intactas de cianobactérias no tratamento de água para consumo humano (CEBALLOS *et al.* 2006).

A flotação é eficiente para eliminar células de cianobactérias da água, entretanto, as cianotoxinas solúveis não são eficientemente removidas: quando se emprega flotação por ar dissolvido, é importante considerar que as diferentes espécies de cianobactérias apresentam comportamento distinto, dependendo das propriedades físicas. A desvantagem dessa técnica é que pode haver a lise das células de cianobactérias, que leva à liberação de toxinas, dependendo da forma de operação (HITZFELD *et al.*, 2000).

FILTRAÇÃO DIRETA

A filtração direta, método empregado depois da coagulação, é um processo físico que consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de micro-organismos presentes na água que escoam através de um meio poroso, geralmente areia. Nas ETA's com filtração direta, os filtros são as únicas unidades responsáveis pela retenção do material em suspensão presente na água, ou seja, não há utilização de decantadores ou flutuadores (HITZFELD *et al.*, 2000 e DI BERNARDO, 2003).

A filtração é a última etapa de clarificação da água antes do processo de desinfecção. É a filtração que garante a qualidade adequada da água a se tornar potável antes da etapa de desinfecção e é na filtração que se deve garantir que organismos patogênicos resistentes à desinfecção por cloro, como os cistos de *Giardia sp.* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, sejam removidos (DI BERNARDO, 2003).

Os mecanismos responsáveis pela remoção de partículas durante a filtração com ação de profundidade são complexos e influenciados principalmente pelas características físicas e químicas das partículas, da água e do meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. Considera-se a filtração como resultado da ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento (DI BERNARDO, 2003).

A qualidade da água é um fator determinante na escolha da tecnologia de tratamento a ser adotada, sobretudo na filtração direta, pois nesse caso a remoção das impurezas da água ocorre exclusivamente no meio granular do filtro. Os filtros de escoamento ascendente em geral apresentam espessuras maiores que os filtros de escoamento descendente, tanto da camada suporte quanto a de areia, o que pode gerar melhores resultados em relação à duração das carreiras e à qualidade da água produzida.

A filtração direta ascendente (FDA) apresenta vantagens e limitações em relação aos sistemas de tratamento convencional e em relação à filtração direta descendente (FDD). Pode-se considerar vantagens da FDA em relação ao sistema de tratamento convencional (DI BERNARDO, 2003):

- a) custo da construção 50% menor, tendo em vista que não há necessidade de unidades adicionais de floculação e decantação/flotação;
- b) menor custo de operação e manutenção; e
- c) menor produção de lodo.

Como limitações, em relação ao tratamento convencional, pode-se citar a necessidade de um controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos; a mudança na qualidade da água afetará a carreira de

filtração, pois como 100% dos sólidos ficam retidos no filtro, a variação na distribuição modifica a duração das carreiras de filtração, para mais ou para menos; e o tempo de contato na unidade é relativamente curto, exigindo ação rápida nas dosagens de produtos químicos durante a mudança da qualidade da água bruta, como não há unidades de floculação nem de decantação, o tempo de detenção é bem menor (DI BERNARDO, 2003).

Em relação à FDD, as principais vantagens da FDA são (DI BERNARDO, 2003):

- a) sentido do escoamento na direção da diminuição da granulometria do material filtrante;
- b) utilização de leito estratificado;
- c) dispensa a necessidade de unidade adicional de floculação;
- d) dispensa o uso de polímeros quando estes podem ser necessários na filtração direta descendente; e
- e) melhor aproveitamento da carga hidráulica disponível.

Em relação à FDD, as maiores limitações são da FDA: admite menores taxas de filtração, pois com taxas elevadas há possibilidade da fluidificação parcial e periódica da camada superior do meio filtrante; a água de lavagem sai pela mesma tubulação ou canal que a água filtrada; é preciso cobrir o filtro, pois a água filtrada fica exposta ao ar livre; e há a necessidade de dispositivos hidráulicos para introdução de água na interface pedregulho/areia.

A grande vantagem adicional da operação do filtro de escoamento ascendente com realização de descargas de fundo intermediárias é a recuperação de carga hidráulica, pois grande parte das impurezas é retirada, prolongando a duração da carreira de filtração, quando comparados a um filtro sem essa forma de operar. No caso da existência de algas nos mananciais, as mesmas são parcialmente retiradas durante as descargas de fundo, para que as carreiras de filtração apresentem duração aceitável (DI BERNARDO, 1995).

A qualidade da água pode limitar o emprego da FDA, especialmente quando, dentre outras situações, se tem: (a) manancial com valores elevados da concentração de algas, de cor verdadeira ou de turbidez, ou de coliformes; (b) suspeita da presença de vírus, protozoários e outros micro-organismos patogênicos; (c) variações bruscas dos parâmetros de qualidade; e (d) necessidade de dosagens elevadas de alcalinizante (ou acidificante) e de coagulante. Nessas condições, a dupla filtração (DF) pode ser considerada uma alternativa em potencial visando à produção de água potável (DI BERNARDO, 2003).

As principais vantagens da DF em relação à FDA são (DI BERNARDO, 2003):

- a) permite o tratamento de água com pior qualidade;
- b) possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas no filtro ascendente;
- c) oferece maior segurança do ponto de vista operacional em relação às variações bruscas de qualidade da água bruta;
- d) a remoção global de micro-organismos é maior, aumentando a segurança em relação à desinfecção final; e
- e) não há necessidade do descarte do efluente do filtro ascendente no início da carreira de filtração, pois essa água passará por outro filtro.

Esse método não remove de maneira efetiva células de cianobactérias. O tratamento de água tipo ciclo completo requer limpeza regular dos filtros, mas se essa limpeza for inadequada, lises de células de cianobactérias presentes no filtro podem levar à liberação de toxinas na água (HITZFELD *et al.*, 2000).

Himberg *et al.* (1989) e Chow *et al.* (1999), baseados em estudos de experimentos em escala de laboratório, relataram que o tratamento envolvendo a coagulação/floculação, filtração e cloração não foi capaz de promover a remoção significativa de hepatotoxinas oriundas de espécies tóxicas dos gêneros de *Microcystis* e *Oscillatoria*. Além disso, estudos com tratamento convencional – coagulação, floculação, sedimentação e filtração – se mostrou ineficiente na remoção de toxinas dissolvidas (HART *et al.*, 1998).

DESINFECÇÃO

O processo de desinfecção pode ser realizado com produtos químicos e de radiação ultravioleta, com destaque aos seguintes agentes de desinfecção: compostos de cloro, ozônio e radiação ultravioleta. O processo de desinfecção deve promover o contato entre o agente de desinfecção selecionado e a água a ser desinfetada por um período de tempo suficientemente longo, para garantir a máxima eficiência (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Durante o processo de desinfecção, a toxina intracelular poderia ser liberada para a água, resultando em maiores concentrações na fase aquosa. Sendo assim, o objetivo da desinfecção de cianobactérias e cianotoxinas na água potável é de inativar as bactérias e a degradação, tanto intra quanto extracelular, das cianotoxinas (CHENG *et al.*, 2009).

➤ Ozonização

O ozônio é o oxidante e desinfetante efetivo, quando usado em tratamento de água. A oxidação no processo de ozonização é resultado da reação direta do ozônio com os compostos presentes na água e, também, pode ser em virtude da ação de outros oxidantes químicos formados a partir da adição do próprio ozônio (radicais livres como OH^\bullet , O_3^- , O_2^- , HO_2^- , e peróxido de hidrogênio – H_2O_2) (FUNASA, 2003 e DI BERNARDO *et al.*, 2006).

A ozonização foi inicialmente utilizada no tratamento de água com o objetivo de inativar vírus e bactérias. Recentemente, muitas estações de tratamento de água têm incluído a ozonização como forma de tratamento em duas fases: como pré e intermediária ozonização, intermediária e pós ozonização; ou como pré e pós ozonização (HITZFELD *et al.*, 2000).

A ozonização apresenta baixo valor de CT (C é a concentração aplicada do oxidante em mg.L^{-1} e T é o tempo de contato em minutos); porém, a ação desinfetante se dá por meio do residual de oxigênio molecular remanescente, o qual é instável e raramente encontrado na água após alguns minutos do ozônio ter sido aplicado (DI BERNARDO *et al.*, 2006).

Segundo Di Bernardo e colaboradores (2006), o uso do ozônio pode gerar uma variedade de subprodutos decorrentes da oxidação de MON (matéria orgânica natural), algas, cianobactérias e toxinas, quais sejam: aldeídos (formaldeído, acetaldeído, glioxal), ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido succínico, ácido fórmico, ácido acético e peróxido de hidrogênio, dentre outros.

Quando o ozônio está dissolvido na água, os seguintes mecanismos de reação podem ocorrer (MELO FILHO, 2006):

- reação direta com compostos dissolvidos;
- decomposição em oxidantes secundários altamente reativos (OH^\bullet , HO_2^\bullet);
- formação de oxidantes secundários adicionais, a partir da reação do ozônio com outros solutos;
- subsequentes, reações destes oxidantes secundários com solutos.

As reações citadas podem ou não ocorrer simultaneamente, dependendo das condições da reação e da composição química das substâncias dissolvidas na água.

Enquanto a reação direta é altamente seletiva e relativamente lenta, a reação indireta através do radical OH^\bullet pode reagir fácil e rapidamente com muitos compostos presentes na água.

Mondardo (2004) afirma que, a partir de testes, a ozonização, utilizada como pré-tratamento à filtração direta descendente, demonstrou ser uma excelente alternativa para o tratamento de água com elevadas concentrações de fitoplâncton. Sendo a taxa média de remoção de cianobactérias na pré-ozonização seguida de filtração direta descendente foi de 99,6% (MELO FILHO, 2006).

Cheng *et al.* (2009) afirmaram que o ozônio se mostrou altamente reativo com a cylindrospermopsin em exposição inferior a $1 \text{ mg} \cdot (\text{min} \cdot \text{L})^{-1}$, causando a completa remoção de cylindrospermopsin; resultados semelhantes aos citados por Rodriguez *et al.* (2007a). E doses relativamente baixas ($2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) de ozônio resultaram em completa eliminação (ou pelo menos abaixo do limite de detecção) da toxina Microcystin-LR (HART *et al.*, 1998).

➤ Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta (RUV) é um desinfetante eficiente para eliminar vírus e bactérias, porém é preciso que a turbidez da água e a concentração de matéria orgânica sejam baixas (águas com baixa cor verdadeira) para permitir a penetração dos raios da RUV.

Como a RUV não produz residuais, o processo geralmente é aplicado na pré-oxidação. A combinação com monoclорamina parece ser uma alternativa altamente promissora para águas subterrâneas (DI BERNARDO *et al.*, 2006).

Para log 3 de inativação de *Cryptosporidium* e *Giardia*, é necessária uma dose de radiação UV de 11,7 e 10,8 $\text{mJ} \cdot (\text{cm}^2)^{-1}$, respectivamente. Levando-se em consideração que a potência dos sistemas comerciais é de cerca de 30 $\text{mJ} \cdot (\text{cm}^2)^{-1}$; facilmente consegue-se inativar cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* utilizando radiação UV (EPA, 2005).

Segundo Cheng *et al.* (2009), a radiação UV, em dosagens típicas de tratamento de água, foi ineficiente quando utilizado para remoção de cylindrospermopsin.

➤ Cloração

Em geral, cloração não é um processo efetivo na destruição de cianotoxinas. A eficiência da cloração depende do derivado ou produto e da concentração utilizados (HITZFELD *et al.*, 2000).

Alguns tratamentos oxidativos e radiação UV foram estudados objetivando a remoção de cylindrospermopsin em soluções homogêneas, também se estudou a eficiência de inativação de cada desinfetante para *Cylindrospermopsis raciborskii* e o potencial de

liberação e acúmulo de cylindrospermopsin na solução aquosa (CHENG *et al.*, 2009).

Segundo Cheng *et al.* (2009), os resultados mostraram que o cloro livre foi altamente eficaz no controle tanto da cylindrospermopsin quanto de *Cylindrospermopsis raciborskii*, resultado semelhante ao reportado por Rodriguez *et al.* (2007a, b). Dióxido de cloro, monocloramina e permanganato foram ineficazes na remoção de toxinas químicas, cylindrospermopsin.

O dióxido de cloro, monocloramina e permanganato, cada um, foram apenas capazes de inativar, parcialmente, *Cylindrospermopsis raciborskii*. Em nenhum caso a desinfecção ou oxidação de *Cylindrospermopsis raciborskii* causou o acúmulo de cylindrospermopsin em solução (CHENG *et al.*, 2009).

A Portaria do Ministério da Saúde 518/04 não permite a pré-cloração da água nas ETAs, usada tradicionalmente para facilitar a coagulação e sedimentação quando a densidade de cianobactérias presentes na água captada estiver acima de 20.000 cél.mL⁻¹, considerando que a pré-cloração facilita a liberação das toxinas ao provocar a morte celular (BRASIL, 2004).

FILTRAÇÃO LENTA

A filtração lenta em areia constitui-se em uma tecnologia de tratamento caracterizada como eficiente barreira microbiológica, apropriada para produzir água potável com baixa quantidade de impurezas, pois a remoção de partículas ocorre principalmente na superfície do filtro, onde se desenvolve uma película biológica conhecida como *schmutzdecke* (HAARHOFF e CLEASBY, 1991 *apud* FUNASA, 2003 e TANGERINO *et al.*, 2006).

As vantagens da filtração lenta são: simplicidade de instalação; não utilização de coagulação química; e eficiência na remoção de micro-organismos. A filtração lenta é, portanto, confiável, podendo produzir água filtrada com baixa turbidez e baixa concentração de protozoários, bactérias e vírus entéricos (TANGERINO *et al.*, 2006).

Contudo, para ser utilizada como único tratamento, alguns critérios devem ser seguidos quanto à qualidade da água bruta; pois, caso isso não ocorra, a tecnologia de filtração lenta sem pré-tratamento não produz água filtrada com qualidade compatível com os padrões de potabilidade e apresentará carreiras de filtração curtas devido ao bloqueio causado pela carga de sólidos suspensos. Além disso, esse método não leva a redução substancial de toxicidade (HITZFELD *et al.*, 2000 e TANGERINO *et al.*, 2006).

Keijola *et al.* (1988) *apud* Melo (2006) avaliaram a filtração lenta na remoção de cianotoxinas. Os autores observaram uma remoção superior a 80% de hepatotoxinas produzidas por *Microcystis aeruginosa* e de cerca de 70% de neurotoxina produzida pela espécie *Anabaena flos-aqua*; contudo, não se obteve uma remoção satisfatória das hepatotoxinas produzidas pela *Oscillatoria*, cerca de 30-65%. Como o processo físico de filtração não é capaz de produzir esses níveis de remoção de toxina extracelular, os autores sugerem que os filtros lentos apresentaram pelo menos o mecanismo de bioadsorção, e talvez alguma capacidade de biodegradação.

Segundo Pizzolatti (2010), o sistema de filtração lenta com lavagem convencional e o sistema de filtração lenta retrolavável com água filtrada tiveram remoção média superior a 78% de fitoplâncton e no sistema de filtração lenta retrolavável com água bruta a remoção média foi de cerca de 54%.

FILTRAÇÃO EM MARGEM

A filtração em margem (FM) consiste em usar os materiais sedimentares das margens e do fundo de um manancial superficial como meio filtrante. Para isto, constroem-se poços de captação nas margens do manancial, criando artificialmente uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, induzindo o escoamento em direção ao poço. Os possíveis contaminantes presentes na água superficial são removidos nesse percurso. A água captada é, na maioria das vezes, uma mistura entre as águas infiltradas mais recentemente, através das margens, e a do lençol freático. A proporção da mistura irá depender da distância do poço até a margem, das características da água, da vazão bombeada e das condições hidrogeológicas locais, entre outros aspectos (SENS *et al.*, 2006).

Segundo Sens e colaboradores (2006), através da filtração em margem, algas, cianobactérias e micro-organismos patogênicos são removidos através do contato com os materiais do solo/subsolo. O processo de remoção torna-se mais eficiente quanto menor a velocidade da água no solo/subsolo, na presença de matéria orgânica, e quando o subsolo é constituído de materiais granulares com interstícios abertos, para água contornar os grãos. Nessas circunstâncias, a rota de fluxo é tortuosa, fornecendo uma ampla oportunidade para os organismos entrarem em contato com contaminantes e material sedimentar, favorecendo os mecanismos de adsorção, degradação e interceptação de partículas presentes na água. No final desse percurso, a água que chega ao poço poderá estar clarificada e isenta de contaminantes.

As vantagens da FM são: minimiza a quantidade de produtos químicos na coagulação, possibilita reduzir as dosagens de coagulante e alcalinizante; na pré-oxidação/desinfecção, reduz as dosagens dos oxidantes/desinfetantes; no tratamento do lodo de ETAs, quando se utilizam coagulantes ou polímeros, a filtração em margem possibilita reduzir a dosagem desses produtos ao diminuir a quantidade de sólidos que chega à ETA; menor custo de operação, menor quantidade de produtos químicos a ser utilizado, conseqüentemente, menor necessidade de preparação de soluções, também diminui o uso de eletricidade e de mão-de-obra; em muitos casos pode ser o único tratamento, necessitando apenas a desinfecção final, dependendo do solo da região da captação da água filtrada em margem, não há necessidade de mais tratamento, pois a mesma poderá apresentar-se dentro dos padrões de potabilidade; nos casos em que há necessidade de tratamento, diminuem-se os processos, pois após a filtração em margem o efluente encontra-se pré-tratado, podendo ser aplicada a tecnologia da filtração direta; poderá evitar também o uso da adsorção (carvão ativado), da pré-oxidação, etc; diminui a formação de subprodutos da oxidação quando da aplicação de oxidantes, como a carga de matéria orgânica diminui com a filtração em margem, conseqüentemente, diminui a formação de subprodutos; menor risco à saúde humana, por eliminar previamente produtos prejudiciais à saúde humana; a FM pode remover a maioria dos contaminantes, como agrotóxicos, microalgas, toxinas, metais pesados, fármacos, patogênicos, etc, o que não acontece nas ETAs que utilizam os chamados tratamento em ciclo completo (ou convencionais); a filtração em margem evita a destruição de organismos aquáticos e peixes, quando se capta água diretamente do manancial, as plantas aquáticas e os peixes são arrastados ou succionados e, em seguida, destruídos na passagem pelas bombas; menor variação da temperatura da água, se a água necessita ainda de tratamento, ela terá uma pequena variação de temperatura, facilitando a operação (SENS *et al.*, 2006).

As desvantagens da FM são: os sistemas de filtração em margem não são definidos somente por eles mesmos, um sistema pode ser uma mistura de água de filtração em margem e água subterrânea, se a água subterrânea não estiver contaminada, isto não passa a ser uma desvantagem; e os locais escolhidos para a implantação da filtração em margem podem estar propensos a enchentes, podendo adulterar a água filtrada pela margem, principalmente quando a captação é através de galerias filtrantes (trincheiras) em cotas baixas (SENS *et al.*, 2006).

Lahti *et al.* (1998) estudaram o desempenho em colunas de sedimento e de solo experimental objetivando a remoção de cianobactérias e cianotoxinas (microcistinas). Os resultados demonstraram que, nas colunas de sedimento, a remoção foi de 97,5 a 99,5% para células e toxinas de cianobactérias e de 93,7 a 99,7% no solo experimental. Segundo os autores, a remoção de microcistinas neste tratamento se deu pelo processo de adsorção e biodegradação. Os autores salientam que o desempenho do processo varia de acordo com o local, pois depende da característica do solo e da atividade microbiana.

PROCESSOS DE MEMBRANA

A tecnologia de separação por membranas envolve a utilização de membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis, orgânicas ou inorgânicas e em uma configuração adequada para separar de um fluido partículas sólidas de pequeno diâmetro, bactérias, vírus, moléculas orgânicas, compostos iônicos de baixo peso molecular e até gases. Para tratamento de água, os processos de separação por membranas que mais se destacam são: microfiltração; ultrafiltração; nanofiltração; osmose reversa; e eletrodialise (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

O que difere cada um destes processos é a capacidade de separação de contaminante e o tipo e intensidade da força motriz utilizada para promover a separação, além da forma de separação do contaminante. Na microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, a pressão hidráulica é utilizada para promover a separação entre água e contaminantes e é a água que atravessa a membrana. Já no processo de eletrodialise, a separação é obtida por uma diferença de potencial elétrico aplicado entre as membranas e neste caso são os contaminantes que atravessam a membrana (MIERZWA, 2006).

Estudo realizado por Chow *et al.* (1997) mostrou que tanto a ultrafiltração (UF) quando a microfiltração (MF) podem ser eficientes na remoção de células tóxicas de *M. aeruginosa*. Neste experimento, observaram-se danos às células, contudo não foram detectadas toxinas no efluente filtrado.

ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

A presença de compostos orgânicos na água, que conferem risco à saúde humana – pesticidas, toxinas, trihalometanos e outros subprodutos da desinfecção – têm gerado grande interesse na técnica de adsorção, principalmente porque os fornecedores de água têm que atender aos padrões estabelecidos para concentração mínima desses contaminantes na água para consumo humano (BRANDÃO e SILVA, 2006).

No tratamento de água, a maioria dos compostos a serem adsorvidos está em solução com outros compostos que também têm afinidade pelo adsorvente. A quantidade de carvão ativado necessário para remover certa quantidade de um composto de interesse de uma mistura de compostos que podem ser adsorvidos é maior do que se a adsorção ocorresse sem competição, porque parte da superfície do adsorvente é utilizada pelas substâncias competidoras. A matéria orgânica naturalmente presente na água pode reduzir significativamente a capacidade de adsorção de microcontaminantes.

Os trabalhos que envolvem a adsorção em carvão ativado indicam que tanto o Carvão Ativado em Pó (CAP) quanto o Carvão Ativado Granular (CAG) são eficientes na remoção de diferentes toxinas de cianobactérias. A utilização do carvão ativado no tratamento de água tem apresentado elevados níveis de remoção e até mesmo a remoção total de cianotoxinas, quando empregado isoladamente ou de forma complementar ao tratamento convencional. Cabe ressaltar que a maioria dos estudos que envolvem remoção de cianotoxinas da água por carvão ativado foi realizada para as microcistinas e que há poucos estudos a respeito das saxitoxinas e outras cianotoxinas (BRANDÃO e SILVA, 2006).

Resultados de estudos realizados por Bruchet *et al.* (1998) confirmaram a eficiência da adsorção em carvão ativado. Contudo, devido à presença de carbono orgânico dissolvido, a adsorção em CAG foi abaixo do previsto.

Segundo Hart *et al.* (1998), doses de CAP são capazes de remover microcystin-LR; contudo, essa eficiência está diretamente ligada ao tipo de CAP utilizado e a dose aplicada. Segundo os mesmos autores, as doses necessárias para atingir altos níveis de remoção de toxinas são mais elevadas do que os normalmente utilizados no tratamento de água; por esse motivo, os autores recomendam a associação do PAC com outros processos.

A Tabela 2.1 apresenta a simulação da classificação de desempenho de diferentes tratamentos, quanto à habilidade de remover cianotoxinas.

Tabela 2.1 – Potencial de eficiência de vários processos de tratamento para a remoção de toxinas.

TIPO DE TRATAMENTO	CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO NA REMOÇÃO DE TOXINAS ^{1 2}	CONDIÇÕES DE TRABALHO OU TIPO DE PROCESSO ENVOLVIDO
Somente Clarificação (Filtração Direta ou Sedimentação e Filtração)	0 – 2	Biodegradação, por exemplo, em reator de manta de lodo
Pré-ozonização ou Clarificação	2 – 5	Dosagem de ozônio deve ser otimizada para evitar a lise celular
Clarificação e adição de CAP	4 – 10	Varia conforme a qualidade e a dosagem de CAP
Clarificação e adsorção de CAG ³	6 – 10	Depende da saturação do CAG
Clarificação e Ozonização ³	8	Se $CT \geq 1,6$ mg.(L.min) ⁻¹
Clarificação, Ozonização e Filtração em CAG ³	10	
Adição de CAP e Ultrafiltração em Membranas	6 – 10	Varia conforme a qualidade e a dosagem de CAP

¹ Escala: 0 (não remove); 10 (remoção completa).

² Para esta classificação, admite-se que todas as condições de tratamento são otimizadas, tais como a dose de coagulante e os parâmetros de filtragem.

³ Adição de PAC aumentará a eficiência do tratamento.

FONTE: Bruchet *et al.* (1998).

2.2.3 Experiências Brasileiras sobre Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas

No período de dezembro de 2000 a março de 2003, monitorou-se a água da Lagoa do Peri (SC). A água da represa é dominada por cianofíceas, com alternância entre as espécies *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudoanabaena* (DI BERNARDO, 2003).

Utilizando uma série de dados coletados no período indicado, constatou-se a inexistência de boas correlações entre a turbidez, clorofila *a* e fitoplâncton, resultado atribuído à grande diversidade de espécies de algas encontradas na lagoa e a alternância ao longo do ano.

Observou-se que são relativamente baixos os valores de alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, matéria orgânica e alguns compostos nitrogenados. As concentrações de clorofila *a* encontradas variaram bastante, mas em cerca de 70% do tempo estiveram compreendidas entre 20 e 35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (DI BERNARDO, 2003).

Os estudos de tratabilidade foram iniciados com ensaios de bancada, utilizando-se equipamento de jarreste e filtros de laboratório de areia (FLA). Nesta fase foi avaliado o uso de dois coagulantes e determinada a condição de coagulação (DI BERNARDO, 2003):

- Coagulantes: sulfato de alumínio comercial (SA) com 14,5% de Al_2O_3 e hidroxicloreto de alumínio (PAC) com 10,5% de Al_2O_3 e 67,47% de basicidade;
- Alcalinizante e acidificante: cal hidratada comercial e ácido sulfúrico PA, respectivamente;
- Equipamento de jarreste;
- Filtros de laboratório de areia: filtro com 20 mm de diâmetro, 15 cm de areia, com diâmetro dos grãos variando de 0,41 a 0,74 mm, e altura máxima de 10 cm de água sobre o leito. A água produzida pelo filtro durante os primeiros 15 minutos foi descartada. Em seguida uma alíquota de 50 mL foi coletada para avaliação da cor aparente e turbidez;
- Parâmetros resultantes: gradiente de mistura rápida, $G_m = 1.200 \text{ s}^{-1}$; tempo de mistura rápida, $T_m = 30 \text{ s}$; coagulação com SA: dosagem = 22 mg.L^{-1} , pH de coagulação = 6 a 6,1 e turbidez da água filtrada = 0,4 uT; coagulação com PAC: dosagem = 22 mg.L^{-1} , pH de coagulação = 5,5 a 6,5 e turbidez da água filtrada = 0,3 uT.

A água utilizada nos ensaios chegava continuamente por gravidade até o reservatório de água bruta do sistema piloto. A partir deste ponto era bombeada para uma câmara de nível constante, passando em seguida para a unidade mecanizada de mistura rápida e,

posteriormente, para a câmara de distribuição de vazão. O filtro funcionou com taxa constante de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ e carga hidráulica variável. As carreiras foram encerradas quando a perda de carga total no meio filtrante atingiu 2,0 m (DI BERNARDO, 2003).

As concentrações de alumínio residual e os valores de cor aparente e turbidez da água filtrada foram menores com o uso de PAC, mesmo para dosagens superiores às de SA. A duração das carreiras com a utilização do PAC foi ligeiramente menor que aquelas com SA, provavelmente em razão do melhor desempenho em termos de remoção da cor e turbidez (DI BERNARDO, 2003).

Os resultados mostram que a remoção do fitoplâncton variou de 80% a 98%, com resultados ligeiramente melhores quando se utilizou o hidroxiclreto de alumínio; a remoção de clorofila *a* variou de 68% a 96%. As remoções foram maiores para as maiores dosagens de SA e menores concentrações de clorofila *a* na água bruta, correspondendo também à maior eficiência na remoção da cor aparente e turbidez. Os resultados sugerem a existência de correlação entre clorofila *a*, fitoplâncton e turbidez.

O processo eletrolítico, como pré-tratamento, oferece vantagens para a água bruta e coagulada com sulfato de alumínio da Lagoa do Peri, Florianópolis (SC), em sistemas em que as algas são removidas por eletroflotação e filtração direta (GARCIA, 2002). Observou-se que, para a eletroflotação ocorrer, a densidade elétrica mínima de saturação dos gases no volume da célula eletrolítica era de $2 \text{ A} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$, o que representou uma remoção de 76,3% e 79,1% do fitoplâncton total após eletroflotação com água bruta e coagulada; bem como uma redução na cor de 67,9% da água bruta e 95% para coagulada.

Silveira (2003) estudou a pré-filtração com micropeneiras seguida de filtração direta descendente para a retirada de algas da água do manancial Lagoa do Peri. Para tanto, instalou-se um filtro piloto com micropeneiras de 25 e 50 μm no poço de captação de água bruta. O efluente micropeneirado era recalcado por um conjunto moto-bomba para o filtro piloto de filtração direta descendente de dupla camada, instalado junto à estação de tratamento de água. Observou-se um aumento médio de 35% na carreira de filtração direta descendente. A pré-filtração com micropeneira de 50 μm , seguida de filtração direta descendente, apresentou uma remoção de algas de 61% e a pré-filtração da água bruta com micropeneira de 25 μm seguida de filtração direta descendente apresentou uma remoção de 64% de algas.

Coral (2009) estudou a associação do processo de flotação por ar dissolvido (FAD) e a tecnologia de nanofiltração, como uma seqüência

de tratamento para águas oriundas de ambientes eutrofizados. A investigação experimental foi realizada em água proveniente da Lagoa do Peri, manancial de abastecimento da Ilha de Santa Catarina e que apresenta elevada densidade de cianobactérias, em particular, da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Os experimentos foram realizados em quatro etapas distintas. Na primeira fase, estudaram-se as variáveis referentes ao processo de flotação por ar dissolvido, procedendo-se, em um primeiro momento, a construção do diagrama de coagulação da água da lagoa. Em seguida, promoveu-se a construção do diagrama de coagulação para concentrações mais elevadas de cianobactérias, a partir da inoculação de células de *Cylindrospermopsis raciborskii* cultivadas em laboratório, visando avaliar a eficiência do processo em condições menos favoráveis. A terceira etapa consistiu na avaliação da nanofiltração em relação à remoção de saxitoxina e congêneres, utilizando-se duas membranas de nanofiltração (NF-270 e NF-90), com características ligeiramente distintas, em diferentes pressões de trabalho. Na última etapa do estudo, avaliou-se a associação dos processos estudados quanto à remoção sequencial de cianobactérias e cianotoxinas, em função dos resultados obtidos anteriormente.

Os resultados demonstraram a eficiência do processo de FAD para a água da lagoa, com remoções de 97,5% de células, 78% de cor e 74% de turbidez, para dosagem de coagulante de 50 mg.L⁻¹ e pH de coagulação de 6,36. A aplicação da FAD para maiores concentrações de célula, neste experimento, mostrou-se menos satisfatória, com remoção de célula igual a 69,4%. Em relação a nanofiltração, verificou-se a eficiência do processo na remoção de cianotoxinas, principalmente para a membrana NF-90, que permitiu a remoção total das toxinas avaliadas, com exceção da toxina GTX-2. A adoção da nanofiltração como tratamento após a FAD resultou em remoções satisfatórias para diversos parâmetros analíticos, considerando cor aparente residual igual a 1 uH e turbidez média de 0,2 uT, com total remoção de cianobactérias.

Investigações do desempenho da oxidação foram realizados por Mondardo (2004), Pereira (2005), Melo Filho (2006) e Garcia (2007).

Mondardo (2004) utilizou ozônio e cloro na pré-oxidação de água com elevadas concentrações de cianobactérias e microalgas, a ser submetida à filtração direta descendente seguida de desinfecção por cloro, avaliando a qualidade da água após tratamento, principalmente no que se refere à formação de trihalometanos e testes toxicológicos. As investigações experimentais foram realizadas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP/UFSC) em ensaios de bancadas (em bateladas)

e em escala piloto contínuo, utilizando as dosagens ótimas anteriormente determinadas. Segundo o autor, a ozonização, utilizada como pré-tratamento à filtração direta descendente é uma excelente alternativa para o tratamento de água com elevadas concentrações de fitoplâncton, proporcionando melhores resultados de remoção de turbidez, cor aparente, COT, clorofila *a*, números e espécies de cianobactérias e microalgas e menor formação de trihalometanos, comparada à pré-cloração. Na avaliação da atividade genotóxica dos compostos formados após a etapa de desinfecção, os testes demonstraram que houve formação de micronúcleos apenas nos peixes submetidos à água pré-clorada.

Pereira (2005) avaliou a eficiência de remoção da cianobactéria *Microcystis sp* por pré-oxidação com cloro, coagulação com sulfato de alumínio, filtração direta e pós-cloração em escala de bancada, baseando-se nos parâmetros de turbidez, contagem celular, distribuição de tamanho e contagem de partículas, carbono orgânico dissolvido e subprodutos organoalogenados. A presença de cianobactérias não pareceu favorecer a formação de subprodutos indesejados da cloração. O ensaio final foi realizado com pré-cloração, coagulação, filtração e pós-cloração. Para a água pré-clorada com 2,5 mg.L⁻¹ de cloro livre, coagulada com 4 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio comercial, filtrada em areia com tamanho de grãos entre 0,3 e 0,59 mm e pós-clorada com 3,0 mg.L⁻¹ de cloro livre, a turbidez foi reduzida de 2,89 para 0,36 uT, 88%. A contagem celular mostrou decréscimo de 99,98% e a contagem de partículas reduziu 96,3% na faixa de tamanho de 3 a 20 µm.

Melo Filho (2006) avaliou a utilização da ozonização como método alternativo de pré ou pós-tratamento para a filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas. A investigação experimental foi conduzida num sistema piloto que capta água do manancial de abastecimento da cidade de Florianópolis e apresenta elevada densidade da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, variação de 7,06x10⁵ a 1,28x10⁶ cel.mL⁻¹. Primeiramente, investigou-se somente a pré-ozonização em relação à duração das carreiras de filtração e qualidade da água produzida. Em seguida, a ozonização foi avaliada como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente; avaliando-se também a concentração de cianobactérias e saxitoxinas. Os resultados demonstraram que a pré-ozonização reduziu a dosagem de coagulante em até 56% e prolongou o tempo das carreiras de filtração em até 52%. Em relação à remoção de cianobactérias, o melhor desempenho foi obtido com a ozonização empregada como pré-tratamento.

Garcia (2007) estudou a ozoflotação, seguida de filtração, em um sistema contínuo de tratamento de água na Lagoa do Peri (Florianópolis-SC), sendo o fitoplâncton da água bruta predominante as espécies de cianobactérias: *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Pseudanabaena sp*, *Planktolybya sp* e as cianotoxinas (extracelular) na água, como a microcistina na concentração máxima de $0,56 \mu\text{g.L}^{-1}$; a saxitoxina na concentração máxima de $24,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, STX e a cilindrospermopsina na concentração de $0,516 \mu\text{g.L}^{-1}$, na forma intracelular. Segundo o autor, o sistema foi efetivo na remoção das microalgas, apresentando para as cianobactérias uma remoção de 79,2% na câmara de flotação, 75,9% na filtração do efluente ozoflotado e 95% de remoção geral do fitoplâncton, entre a água bruta e o efluente do filtro. Pode-se concluir que o ozônio auxiliou na remoção dos filamentos de cianobactérias e ficou evidenciado, também, a ausência de cianotoxinas com a aplicação de 3,7 e $4,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de ozônio, produzindo um efluente com valores médios menores que 0,67 uT para turbidez e menores que 1 uH para cor aparente no efluente filtrado.

No que diz respeito à remoção de cianotoxinas, a avaliação da filtração em margem é bastante recente. Com relação ao estudo da remoção de microalgas e cianobactérias, o método tem mostrado remoção efetiva, como pode ser constatado na experiência brasileira, podendo eliminar 100% das células (SENS *et al.*, 2006).

Estudos realizados em 2005, utilizando água da Lagoa do Peri, avaliaram, entre outros objetivos, a remoção de cianobactérias utilizando filtração direta com e sem filtração em margem como pré-tratamento. Os ensaios (carreira de filtração) foram conduzidos alternando a filtração em margem e eram encerrados quando a perda de carga no meio filtrante atingia 2 m, medida por piezômetros, cujas tomadas foram instaladas em diferentes profundidades ao longo do filtro e na câmara de carga (SENS *et al.*, 2006).

As carreias de filtração foram realizadas com taxa constante de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{dia})^{-1}$ e carga hidráulica variável. Das amostras da água bruta, após cada ensaio, foram medidos e registrados valores de pH, cor aparente, turbidez, temperatura, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido, condutividade, sólidos totais dissolvidos, absorvância em 254 nm, carbono orgânico total - COT, contagem de fitoplâncton e saxitoxinas (Cromatografia Líquida de Alta Resolução com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência – CLAR).

Segundo os autores, os ensaios onde foi empregada a filtração em margem proporcionaram carreias de filtração mais longas, aumentando a duração de 3 a 4 vezes, quando comparados aos valores dos ensaios

que não tiveram o pré-tratamento. Observou-se a redução da dosagem de sulfato de alumínio utilizado na filtração direta de até 50% para as carreiras realizadas com filtração em margem. As águas submetidas ao pré-tratamento apresentaram melhor qualidade em relação à turbidez (remoção da ordem de 76% no FA e de 70% no FD), cor aparente (remoção da ordem de 59% no FA e de 53% no FD), absorvância 254 nm e COT.

Nos ensaios onde foi utilizada água bruta (Lagoa do Peri), seguida de FD, observa-se que a redução do número de células ocorrida na FDD e FDA foi de 81%. Para os ensaios com a água de estudo a remoção das células foi de 66% na FDA e 73% na FDD. Portanto a filtração direta não se mostrou eficiente na remoção de cianobactérias, ocorrendo transpasse de células pelos filtros (SENS *et al.*, 2006).

Observa-se também uma concentração de equivalentes de saxitoxina intracelular de $0,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ na água de estudo. A toxina presente permaneceu na água após o tratamento da filtração direta com valor de $0,60 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o filtro descendente e $0,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o ascendente, havendo carreamento desses compostos para a água filtrada (SENS *et al.*, 2006).

Brandão *et al.* (2009) e Mondardo (2009) avaliaram a utilização da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente, com filtro de camada dupla (antracito e areia) e taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, buscando um tratamento de baixo custo, capaz de promover um abastecimento de água adequado, e a remoção das células de cianobactérias e das saxitoxinas.

Foram utilizados dois sistemas de filtração em margem: (1) poços de captação de água filtrada e de proteção perfurados na margem da Lagoa do Peri; e (2) escala piloto que consiste de colunas em série que perfazem um tempo de contato de 50 dias e um sistema de filtração direta.

As investigações experimentais envolveram as etapas de caracterização da água do manancial Lagoa do Peri (Água I), da água filtrada em margem (Água II) e da água de estudo (Água III – 85% FM + 15% Lagoa), com particular atenção à quantificação da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* e as saxitoxinas; ensaios de bancadas descontínuos e contínuos, a fim de determinar a adsorção e a remoção das saxitoxinas pelo sedimento do manancial Lagoa do Peri; ensaios de bancada para otimizar as dosagens ótimas do coagulante e auxiliar a coagulação; e ensaios em piloto contínuo utilizando as dosagens ótimas, visando ao acompanhamento da identificação e da quantificação de

cianobactérias e saxitoxinas (BRANDÃO *et al.*, 2009 e MONDARDO, 2009).

A turbidez e a cor aparente remanescente da água filtrada em margem foram, em média, de 0,39 UT e 13 uC, respectivamente, o que equivale a uma eficiência média de remoção de 79% da cor aparente e de 91% da turbidez.

Os resultados dos ensaios de adsorção demonstraram que a saxitoxina tem uma maior afinidade pelo sedimento da Lagoa do Peri quando comparada com neosaxitoxina. Em menos de cinco dias, ocorreu uma remoção de 100% da saxitoxina, enquanto que a neosaxitoxina precisou de mais tempo, cerca de 15 dias. Em relação à avaliação do fitoplâncton, nas carreiras onde foi empregada a filtração em margem como pré-tratamento, resultaram em menor densidade, ou seja, em média, de $9.795 \text{ cel.mL}^{-1}$ na água tratada. Em relação à remoção de saxitoxinas, verifica-se que, nas amostras de água filtrada em margem, não foram detectadas toxinas. Nas águas após tratamento completo, foi detectado valor de $0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ de EqSTX intracelular (BRANDÃO *et al.*, 2009 e MONDARDO, 2009).

Segundo os autores, a filtração em margem mostrou ser uma tecnologia promissora na remoção de células de cianobactérias e de saxitoxinas. Já a filtração em margem como pré-tratamento proporcionou um aumento de três a quatro vezes na duração das carreiras de filtração, redução da dosagem de sulfato de alumínio de até 50%.

Avaliar a aplicabilidade dos processos de coagulação convencional e de coagulação melhorada seguido de flotação, em escala de bancada utilizando o floteste, na remoção de *Microcystis aeruginosa* (10^6 cel.mL^{-1}) e de microcistinas ($140 \text{ a } 450 \mu\text{g.L}^{-1}$), utilizando dois coagulantes, sulfato de alumínio e cloreto férrico, foi o objetivo da pesquisa desenvolvida por Assis (2006). Oliveira (2005) avaliou a eficiência dos processos de sedimentação e flotação para tratar águas com elevadas concentrações de células de *Cylindrospermopsis raciborskii*, em escala de bancada utilizando equipamento de teste de jarros e floteste, tendo como água de estudo a água do Lago Paranoá (Brasília-DF) inoculada com 10^6 cel.mL^{-1} de *Cylindrospermopsis raciborskii*, variando o pH de coagulação entre 5,5 e 7.

O sistema de tratamento (coagulação/floculação/flotação) pesquisado por Assis (2006) avaliou dados de turbidez, clorofila *a*, concentração de microcistinas, carbono orgânico dissolvido não purgável (CODNP) e residual do coagulante (alumínio e ferro). Os resultados sugerem que valores de pH em torno de 5 promovem uma

melhor eficiência na remoção de turbidez, clorofila *a* e microcistinas intracelular, independentemente do coagulante utilizado. Segundo o mesmo autor, comparando o uso do sulfato de alumínio e do cloreto férrico, observou-se que ambos os coagulantes apresentaram vantagens: o sulfato de alumínio promoveu maior remoção de microcistinas intracelular e de CODNP; enquanto o cloreto férrico promoveu maior estabilidade no processo de flotação; entretanto, a remoção de microcistinas extracelular (dissolvida) foi muito baixa em todas as condições de coagulação.

Segundo Oliveira (2005), a flotação demonstrou reprodutibilidade entre os experimentos e promoveu maior remoção da cianobactéria empregando menor dosagem de sulfato de alumínio que a sedimentação. Para os processos de separação avaliados, o pH de coagulação de 5,5 foi o que promoveu maiores eficiências de remoção; em relação à liberação de toxinas pelas células de *Cylindrospermopsis raciborskii* em função do tempo de armazenamento do lodo, observou-se que a morte das células de *Cylindrospermopsis raciborskii* sob condições de quiescência e baixa luminosidade (condições similares às observadas em poços de decantadores) ocorre independentemente da adição de sulfato de alumínio; contudo, o coagulante parece favorecer ou a presença ou estabilidade das saxitoxinas liberadas para água. Houve indícios de que há transformação de neoSTX em STX no decorrer dos dias de armazenamento e verificou-se maior estabilidade da molécula de STX em relação a neoSTX. O valor do pH e a dosagem de coagulante parecem influenciar na proporção que as duas saxitoxinas ocorrem após a morte celular.

Melo (2006) desenvolveu experimento em escala piloto utilizando dois filtros lentos de areia operando em paralelo, objetivando a remoção de células viáveis de *Cylindrospermopsis raciborskii* e de saxitoxinas na água para consumo humano. A água base para alimentação dos filtros era proveniente do Lago Paranoá (DF).

De acordo com o autor, com os resultados obtidos, o processo de filtração lenta foi bastante eficiente na remoção de células de *Cylindrospermopsis raciborskii* com concentrações da ordem de 10^5 cél.mL⁻¹. O pré-filtro ascendente em pedregulho conseguiu remover parte das células de *Cylindrospermopsis raciborskii* presentes na água bruta, produzindo efluentes capazes de evitar o desenvolvimento acelerado da perda de carga nos filtros lentos.

Kuroda (2006) avaliou a remoção de células e subprodutos de *Microcystis spp.* pelos processos de dupla filtração com filtração ascendente em pedregulho e de filtração descendente em areia, oxidação

e adsorção com carvões ativados pulverizado e granular. Foram realizados ensaios em instalação piloto de escoamento contínuo para águas de estudo preparadas com adição de cultura de cepa tóxica de *Microcystis spp.*, extrato de microcistinas e material coletado no reservatório de Barra Bonita (SP). A concepção de dupla filtração utilizada mostrou ser bastante eficiente na remoção de células de *Microcystis spp.* e, conseqüentemente, de microcistinas intracelulares; porém, a remoção ou degradação de microcistinas extracelulares só foi significativa com o emprego de processos complementares tanto de oxidação quanto de adsorção.

Mierzwa (2006) desenvolveu pesquisa sobre tratamento direto de água de abastecimento por processo de ultrafiltração, utilizando-se membrana enrolada em espiral. Com duração de cerca de dois anos e meio, este projeto de pesquisa objetivou a obtenção de conhecimento teórico e prático sobre os processos de separação por membranas para tratamento de água de abastecimento.

Em síntese, o trabalho de pesquisa consistiu no estudo teórico sobre os processos de separação por membranas para tratamento de água, identificação de um manancial de água para a instalação da unidade piloto, seleção do processo e montagem da unidade piloto, acompanhamento da operação, consolidação dos resultados e avaliação de desempenho, avaliação de custos e apresentação das conclusões finais (MIERZWA, 2006).

Para a realização dos ensaios com a unidade piloto, foi utilizado o Reservatório Guarapiranga, o qual integra o Sistema de Captação de Água da Região Metropolitana de São Paulo. A escolha foi motivada pelo fato do Reservatório Guarapiranga ter sido parcialmente integrado à área urbana, o que resulta em riscos de contaminação da água. Optou-se por utilizar, inicialmente, o processo de ultrafiltração para o tratamento direto da água do Reservatório Guarapiranga.

Para o controle da eficiência da unidade piloto, em termos de remoção de contaminantes, foi feita coleta de amostras da água bruta, água após filtração, permeado e concentrado, para a realização de análises físico-químicas e microbiológicas, com frequência semanal (MIERZWA, 2006).

O acompanhamento da operação do sistema piloto demonstrou que o processo de ultrafiltração, utilizando membranas enroladas em espiral, teve um desempenho bastante satisfatório em relação à capacidade de produção de água tratada, tanto em relação à vazão produzida, quanto com relação à taxa de recuperação.

Durante cerca de nove meses de operação contínua, a unidade piloto instalada no Reservatório Guarapiranga se mostrou bastante eficiente para a remoção dos contaminantes considerados para controle do desempenho. Verificou-se que o processo de ultrafiltração possibilita a obtenção de uma água tratada com elevado grau de qualidade, inclusive com a remoção de matéria orgânica, como pode ser constatado pelos índices de remoção de COT (80,39%) e de substâncias que absorvem radiação ultravioleta (66,7%). Em relação ao desempenho do sistema de ultrafiltração estudado, a eficiência para remoção de micro-organismos também deve ser destacada, tendo sido obtida uma eficiência de 100% para coliformes totais e *Escherichia Coli* (MIERZWA, 2006).

Em relação às algas, um dos grupos que mais desperta preocupação são as cianobactérias, principalmente pelo potencial de liberação de toxinas para água. Durante o período de operação da unidade piloto, não houve ocorrência de florações significativas. Contudo, em praticamente todas as amostras de água bruta, através das análises realizadas pela SABESP, foi identificada a presença de cianofíceas, em concentrações variando de 169 a 2.988 organismos por mL; sendo a eficiência média de remoção de algas utilizando o processo de 99,99%.

2.3 FILTROS DE AREIA DE LAVAGEM CONTÍNUA

Atualmente, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos e produtos comercializados, tanto no mercado nacional quanto no mercado internacional, como “filtros”, sendo na verdade “micro peneiras”.

Outra ambiguidade encontrada no decorrer da revisão bibliográfica da pesquisa foi a denominação “filtro de lavagem contínua” e “filtro autolimpante”, muitas vezes, aparecendo como sinônimos.

Entende-se que no filtro autolimpante é necessário que a perda de carga atinja um nível pré-estabelecido para que ocorra a lavagem do meio filtrante, sem haver a interrupção no processo de tratamento. Em contrapartida, no filtro de lavagem contínua, o meio está sempre sendo lavado, também sem interrupção do processo. Logo, todo filtro de lavagem contínua é um filtro autolimpante; entretanto, nem todo filtro autolimpante é de lavagem contínua.

2.3.1 Filtro de Areia de Lavagem Contínua Fabricado no Brasil

A empresa Astrasand do Brasil é a representante brasileira das tecnologias da Astraco Water Engineering BV do Grupo Natual

Solution Paques BV em tratamento de águas, esgoto e efluentes industriais.

No Brasil, a filtração de areia de lavagem contínua é utilizada para filtrar água de rios, lagos ou outros tipos de água com o objetivo de diminuir as operações de limpeza. Essa filtração opera continuamente, pois a areia é limpa durante o processo, não ocorrendo interrupções no processo produtivo. O filtro de lavagem contínua é utilizado para tratamento de água potável, esgotos sanitários e efluentes industriais (ASTRASAND DO BRASIL, 2006).

A água que entra é filtrada, percorrendo em fluxo ascendente o leito de areia enquanto esta se move para baixo. Simultaneamente com o processo de filtração, a areia suja é lavada em um lavador de areia e os sólidos suspensos são descarregados com a água de lavagem (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

No estado de Santa Catarina, na cidade de Balneário Camboriú desde setembro de 1999, há um sistema de tratamento de água mineral de fonte e poços artesianos que utiliza um filtro de área de aproximadamente $0,70 \text{ m}^2$, com vazão de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Nesse sistema, utiliza-se ozônio para oxidar sulfeto, ferro e manganês. A remoção de cor, turbidez, sulfeto, ferro e manganês são de 100% (ASTRASAND DO BRASIL, 2007b).

Objetivando o abastecimento de água de um bairro no município de Jaraguá do Sul (SC), utiliza-se filtro de área de aproximadamente 5 m^2 . A vazão de água na superfície (cascata) é de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e a remoção de turbidez é de cerca de 98%. Em julho de 2001, também na cidade de Jaraguá do Sul, instalou-se um filtro com mesma área para tratar $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de água superficial para uso industrial na produção têxtil. O sulfato de alumínio é utilizado como coagulante e a soda como alcalinizante. Nesse sistema, a remoção de turbidez é de cerca de 99% (ASTRASAND DO BRASIL, 2007b).

Desde dezembro de 2000, está em operação um filtro de área de 3 m^2 , na cidade de Itajaí (SC), com vazão máxima de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ para tratamento de água de superfície. Nesse sistema é utilizado sulfato de alumínio como coagulante e hipoclorito de sódio para o processo de desinfecção. A remoção de turbidez e cor é de cerca de 99% e 97,5%, respectivamente (ASTRASAND DO BRASIL, 2007b).

Dois filtros de área de 5 m^2 com vazão máxima de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ estão em operação para tratar a água do Rio Saí-Mirim, na cidade de Itapoá (SC). Nesse sistema, utiliza-se cal como alcalinizante, sulfato de alumínio como coagulante e hipoclorito de sódio como desinfetante. Junto aos filtros está instalado um separador para tratamento da água

residual do equipamento. Nesse sistema, a remoção de turbidez e cor é de cerca de 97,5% e 95%, respectivamente (ASTRASAND DO BRASIL, 2007b).

Utiliza-se um filtro de área de 0,70 m² com vazão máxima de 7 m³.h⁻¹ para água de superfície (Rio dos Sinos, Novo Hamburgo, RS), objetivando o abastecimento de água de uma vila com aproximadamente 150 residências. Sulfato de alumínio é utilizado para realizar a coagulação e hipoclorito de sódio para o processo de desinfecção. A remoção de turbidez, cor e sólidos suspensos é de aproximadamente 99,5%, 97,5% e 100%, respectivamente. Posteriormente, instalaram-se um misturador-floculador hidráulico e um decantador Astraseparator junto ao filtro, aumentando a remoção de turbidez para valores superiores a 99% (ASTRASAND DO BRASIL, 2007b).

2.3.2 Utilização da Filtração de Areia de Lavagem Contínua

Freed *et al.* (2007) citam a utilização de filtro de lavagem contínua como uma alternativa para remoção de sólidos e de nitrato, este último por meio de conversão a gás nitrogênio e como pós-desnitrificação, com bom desempenho na remoção de nitrato (KRAMER *et al.*, 2000). Além disso, Sin *et al.* (2008) afirmam que esse tipo de filtro tem sido aplicado com sucesso em escala real para tratamento terciário tanto em estações de tratamento de efluentes domésticos quanto industriais.

O filtro de lavagem contínua também foi utilizado objetivando tratar águas residuárias de uma linha de revestimentos de níquel químico (PÜMPEL *et al.*, 2001 e 1999 e PERNFUß *et al.*, 1999); como pré-tratamento para unidade de ultrafiltração em refinaria de petróleo, objetivando a reutilização dessa água ao invés de drená-la do porto (DUYVESTEIJN, 1998). Objetivando a remoção de metais pesados em baixa concentração de águas residuárias, inoculou-se metal e micro-organismos bioadsorptivo-bioprecipitativo no filtro de lavagem contínua; pelos resultados, houve uma completa remoção de Co, Ni, Cu e Zn, foram removidos também os nitratos e DQO (SPAANS *et al.*, 1999).

Segundo Daamens *et al.* (2000) com a utilização de lavagem contínua como biofiltro de fluxo lateral foi possível obter redução considerável nos teores de nutrientes e biomassa em suspensão em um sistema de resfriamento. E Wouters e De Been (2004) afirmam que o filtro de lavagem contínua apresentou alta eficiência de desnitrificação e redução de sólidos suspensos totais e demanda bioquímica de oxigênio.

2.4 MANANCIAL DE FORNECIMENTO DE ÁGUA PARA O ESTUDO: LAGOA DO PERI

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri localiza-se no sul da Ilha de Santa Catarina, na área do Parque da Lagoa do Peri, possui uma área de drenagem de aproximadamente 20,3 Km²; destaca-se por ser o maior manancial de água potável da Ilha, portanto, a utilização para o abastecimento apresenta-se naturalmente, sendo o manancial utilizado pela CASAN para abastecer o sul e a costa leste da cidade de Florianópolis (OLÍMPIO, 1996).

A Lagoa é alimentada pelos rios Cachoeira Grande e Ribeirão Grande. A Lagoa mantém contato permanente com o mar, através de um canal de despejo (parte do curso do Rio Sangradouro que foi retificado). No entanto, não é afetada pelas oscilações de maré devido a altitude ser mais elevada que o nível do mar, comportando-se como uma lagoa suspensa. Isso facilitou a dessalinização, juntamente com o recebimento de fluxos fluviais e águas de escoamento superficial provenientes de precipitações pluviais (RABELO, 2006).

Atualmente, a Lagoa é utilizada tanto para fornecimento de água para consumo, quanto para desenvolver atividades de esporte e lazer; sendo que, a garantia de oportunidades de recreação torna a lagoa vulnerável à degradação. A forma de agrupamento humano se diferencia no interior do Parque, com comunidades voltadas para atividades agrícolas – associadas à fabricação da farinha de mandioca e cachaça de cana, para a população da restinga com uma diversificada atividade ocupacional (GARCIA, 2002). A Figura 2.7 mostra a localização da Lagoa do Peri.

Figura 2.7 – Localização da Lagoa do Peri.



Fonte: Marnoto (2008).

A Lagoa do Peri foi tombada como Patrimônio Natural em junho de 1976, sendo criado o Parque Municipal da Lagoa do Peri nos anos de 1981 a 1982. O Parque Municipal da Lagoa do Peri – regulamentado pela Lei Municipal 1828, decretada pela Lei nº 091/82 – possui cerca de 20 Km² e está localizado na região sudeste da Ilha de Santa Catarina, inserido em um dos últimos remanescentes de Floresta Atlântica e tem como objetivos (SANTA CATARINA, 1981):

- proteger os recursos naturais;
- resgatar a cultura açoriana;
- criar um espaço de ação, educação e investigação ambiental na cidade e conciliar a proteção ambiental com adequado aproveitamento do potencial natural e paisagístico do Parque.

No processo de criação do Parque foram demarcadas três áreas distintas, a fim de promover um melhor aproveitamento e conservação.

A área de lazer destina-se a fins educacionais e científicos através do desenvolvimento de atividades de recreação e lazer compatíveis com a preservação do meio ambiente. Dentro desta área encontra-se a Sede Administrativa do Parque, com área para estacionamento, bar, lanchonete, sanitários e posto de informações.

As áreas de reserva biológica, que se destinam à preservação integral e permanente do ecossistema e dos recursos, têm o uso

permitido apenas para fins científicos. Grande parte destas áreas está coberta pela Floresta Pluvial da Encosta Atlântica e pela vegetação litorânea, contendo várias espécies vegetais e animais (SANTA CATARINA, 1981).

Na área de paisagem cultural, localizam-se os assentamentos e atividades tradicionais (engenhos de farinha e de cana-de-açúcar) dos descendentes de antigos colonizadores de origem açoriana. A primeira onda de colonização açoriana na Ilha de Santa Catarina data de 1748 e a partir de então muitas outras chegaram trazendo costumes e tradições. A origem histórica da ocupação da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri tem o marco inicial na Freguesia de Nossa Senhora da Lapa do Ribeirão da Ilha, hoje conhecida como Ribeirão da Ilha. Esta população originou a comunidade do Sertão do Peri, que ocupa as áreas elevadas das encostas do Sertão (SANTA CATARINA, 1981).

Todas as atividades desenvolvidas em torno da Lagoa contribuem para um aumento na quantidade de resíduos gerados. Acredita-se que uma parte considerável deste resíduo é lançada de forma clandestina diretamente no manancial, contribuindo para alterações das características tróficas.

A grande problemática da Lagoa do Peri é a elevada quantidade de algas que dificulta o tratamento da água, que causa desde obstrução de filtros até liberação de toxina presentes em algumas espécies.

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos na Lagoa do Peri (MONDARDO, 2004; MELO FILHO, 2006; MARNOTO, 2008; MARNOTO *et al.*, 2008; MONDARDO *et al.*, 2008; MONDARDO, 2009). A Tabela 2.2 apresenta a característica da água da Lagoa do Peri ao longo dos anos de estudo.

Segundo Marnoto (2008) e Melo Filho (2006), a espécie dominante encontrada na água bruta do manancial da Lagoa do Peri pertence às cianobactérias, espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*; sendo que para o primeiro com uma distribuição de 81%; enquanto que para o segundo a distribuição esteve entre 80 e 90%, dependendo da fase. Segundo Mondardo (2004), a espécie dominante também foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com uma distribuição média de 65% anuais.

Tabela 2.2 – Característica da água da Lagoa do Peri.

PARÂ- ME- TROS	MARÇO A JULHO / 2001 (**)			ABRIL / 2005 (***)			FEVEREIRO E MARÇO / 2006 (***)			ABRIL E MAIO / 2008 (****)			JUNHO E JULHO / 2008 (*****)		
	VMí n	VMá x	Mé d	VMí n	VMá x	Mé d	VMí n	VMá x	Mé d	VMí n	VMá x	Mé d	VMí n	VMá x	Mé d
Turbidez (uT)	2,28	10,4	6,2	4,82	7,10	5,9	4,98	6,42	5,5	0,59	7,61	4,6	1,20	7,61	3,6
Cor Aparente (uH)	25	120	75	59	91	79	75	86	80	13	89	51, 7	15	95	50
Cor Verdadeir a (uH)	3	14	7	6	8	6	6	7	6	6	33	12, 4	4	41	12, 1
pH	6,2	8,3	7,2	6,7	6,9	6,8	6,5	6,9	6,7	6,7	7,7	7,2	6,44	7,75	6,9
Temperat ura (°C)	18	31	24	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	20	26	22	15,1	26,0	20

VMín: Valor Mínimo; VMáx: Valor Máximo; Méd: Média

(*) Parâmetro não analisado. (**) Mondardo, 2004. (***) Melo Filho, 2006. (****) Mondardo, *et al.*, 2008. (*****)
Marnoto, 2008 e Marnoto, *et al.*, 2008.

Tabela 2.2 – Característica da água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARÂMETROS	MARÇO A JULHO / 2001 (**)			ABRIL / 2005 (***)			FEVEREIRO E MARÇO / 2006 (***)			ABRIL E MAIO / 2008 (****)			JUNHO E JULHO / 2008 (*****)		
	VMín	VMáx	Méd	VMín	VMáx	Méd	VMín	VMáx	Méd	VMín	VMáx	Méd	VMín	VMáx	Méd
Sólidos Totais	22	38	31	38	40	39	32	38	35	28	50	36	(*)	(*)	(*)
Dissolvidos (mg.L ⁻¹)															
Condutividade de Elétrica (µS.cm ⁻¹)	47	80	66	76	80	78	64	76	70	56	72	70	(*)	(*)	(*)
COT (mg.L ⁻¹)	4,5	7,1	5,9	7,0	9,8	8,2	7,5	9,6	8,3	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	2,7 5	41,4	19	27,9	36,6	33,5	24,2	37,2	30,5	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Cianobactérias (cel.L ⁻¹)	412 9	2909 71	-	1109 98	1557 68	1336 65	1010 28	1148 20	1080 69	-	-	4560 00	-	-	2073 72

VMín: Valor Mínimo; VMáx: Valor Máximo; Méd: Média

(*) Parâmetro não analisado. (**) Mondardo, 2004. (***) Melo Filho, 2006. (****) Mondardo, *et al.*, 2008. (*****)

Marnoto, 2008 e Marnoto, *et al.*, 2008.

Como citado anteriormente, a presença de algas nos corpos de água prejudica a operação das ETA's; sendo as cianobactérias o tipo mais preocupante, devido ao risco a saúde pública.

Um manancial com elevada densidade de algas, causa, dentre outros problemas, a rápida colmatação do filtro, sendo necessárias lavagens frequentes, o que prejudica a qualidade final e a produção efetiva de água. Para que o intervalo entre a lavagem dos filtros seja maior, acrescentou-se um pré-tratamento, com um filtro de areia ascendente de lavagem contínua, ou pode-se chamar de “dupla filtração ascendente com filtro de lavagem contínua na primeira etapa da filtração”.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta baseou-se em estudo experimental com instalações de pilotos para tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias e microalgas.

Para atingir os objetivos e a questão propostos, este trabalho se desenvolveu em três etapas; sendo a Etapa 3, em três tratamentos com condições diferenciadas. No delineamento experimental, as etapas 1 e 2 podem ser resumidas como etapas “pré-experimental”; pois tratam de levantamento de parâmetros operacionais para o sistema piloto e de ensaios de Jarreste. Já na Etapa 3, procurou-se responder a questão da hipótese e atender aos objetivos da pesquisa mediante ensaio na instalação piloto. Ao final da Etapa 3, objetivando minimizar o gasto de água para lavagem do meio filtrante do filtro de lavagem contínua, pesquisaram-se estações de tratamento de água que trabalham com esse tipo de filtração no Brasil.

3.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS

As investigações experimentais foram conduzidas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), localizado junto à Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), mas administrado e mantido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

No LALP são mantidos diversos sistemas pilotos de tratamento de água, onde têm sido realizadas pesquisas envolvendo processos e operações unitárias que permitem o emprego de diversas tecnologias no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias e microalgas.

Na Figura 3.1 é possível ver o local de implantação do sistema piloto de dupla filtração ascendente com filtro de lavagem contínua.

Figura 3.1 – Local de implantação do sistema piloto de filtração direta com filtro de lavagem contínua.



3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa se desenvolveu em três etapas, a seguir descritas:

3.2.1 Etapa 1: Estudos Preliminares do Sistema Piloto.

Nesta etapa, estabeleceram-se parâmetros para o funcionamento do sistema piloto e ajustes hidráulicos. Foi nessa etapa que se fixaram as taxas de filtração:

- Taxa do filtro de lavagem contínua. Sendo a vazão máxima de água no filtro e a área do filtro de lavagem contínua de $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e $0,80 \text{ m}^2$, respectivamente, a máxima taxa de filtração do filtro de lavagem contínua é de $210 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. Contudo, devido a disponibilidade de uma vazão máxima no sistema de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a taxa de filtração do filtro de lavagem contínua foi fixada em

- $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, não sendo possível variação, para mais, nesse valor.
- Taxa do filtro ascendente. Sendo a área do filtro de $0,038 \text{ m}^2$, a taxa de filtração ascendente fixada foi de 150, 200 e $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Sendo um dos objetivos dessa pesquisa avaliar a influência do filtro de lavagem contínua nas carreiras de filtração ascendente; fez-se necessário verificar o comportamento da carreira de filtração ascendente, denominada nessa pesquisa de “branco”

3.2.2 Etapa 2: Determinação das Doses de Coagulantes através de Ensaio de Coagulação em Descontínuo (Jarteste)

Nesta etapa, determinou-se a dosagem de hidroxiclreto de alumínio (PAC) e sulfato de alumínio (SA) a ser empregada posteriormente nos ensaios em fluxo contínuo no sistema piloto de filtração de lavagem contínua e ascendente.

Nos ensaios de coagulação foi utilizado equipamento de jarteste acoplado a filtros de laboratório de areia (FLAs), apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Foto do Equipamento de Jarteste utilizado.



O equipamento de jarteste utilizado foi o modelo LDB 310, fabricado pela Nova Ética. O equipamento possui seis jarros com capacidade individual de 2 L; a extração de amostras se dá por sistema de basculamento simultâneo, com gradientes de velocidade variando entre 10 e 2000 s⁻¹ (20 a 600 rpm); sendo a rotação controlada por tacômetro digital e paletas retangulares com sistema de haste livre, que permite isolar um jarro sem parar os demais.

Os FLAs possuem granulometria da areia variando entre 0,42 – 0,84 e tamanho efetivo igual a 0,5 mm; a altura da camada de areia é de 15 cm; e a carga hidráulica para filtração constante é igual a 11 cm. Esses parâmetros foram adotados a partir de estudos realizados por Dalsasso (2005), levando-se em consideração a turbidez da água bruta e a dosagem de coagulante aplicada.

Baseado nos estudos de Dalsasso (2005) e Melo Filho (2006) com filtração direta e com a mesma água bruta, empregaram-se, então, as condições propostas pelos autores, após a ratificação por cálculos:

- gradiente de velocidade de mistura rápida (G_{mr}) de 1200 s⁻¹;
- tempo de mistura rápida (T_{mr}) de 30 s;
- gradiente de velocidade (G) após a mistura rápida de 150 s⁻¹ (para evitar a sedimentação de flocos nos jarros durante o período de filtração);
- taxa de filtração no FLA de aproximadamente 100 m³.(m².d)⁻¹.

Os ensaios de jarteste foram realizados variando, em cada jarro, a dosagem de coagulante. Após os 30 segundos de mistura rápida, reduzia-se o gradiente de velocidade para 150 s⁻¹.

Através do dispositivo para coleta de amostras, drenava-se diretamente a água de cada jarro para o FLA correspondente. Os primeiros 50 mL de água filtrada eram desprezados, coletando-se em seguida, no mínimo, 100 mL para análise.

Avaliou-se a qualidade da água filtrada em relação à remoção de cor e turbidez, e ao comportamento do pH e temperatura, de acordo com o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Parâmetros de qualidade da água, método analítico e equipamentos utilizados nos ensaios de coagulação*.

PARAMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS	EQUIPAMENTOS
Cor (uH)	Platinum – Cobalt -S.M	Espectrofotômetro** $\lambda = 455 \text{ nm}$
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro***
pH	Potenciométrico	pHmetro HACH Senslon
Temperatura (°C)	Potenciométrico	pHmetro HACH Senslon

*As análises se baseiam na 20ª edição do *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

** HACH/DR2010; *** HACH/2100AN.

PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE JARTESTE

Tanto nos ensaios de coagulação em jarteste quanto no decorrer do experimento foram utilizados os seguintes produtos químicos:

COAGULANTES

- Hidroxicloreto de Alumínio (PAC): O PAC utilizado na pesquisa foi fornecido pela empresa Faxon Química, na forma líquida. O lote de PAC apresenta concentrações de Al_2O_3 da ordem de 16% a 18% e 40% de basicidade. As soluções foram preparadas em concentrações de 0,3% e 3% com água destilada. A diferença de concentração se dá pelo fato de que o filtro de lavagem contínua trabalha com uma vazão de água cerca de 20 vezes maior que a vazão de água do filtro ascendente; logo, a vazão da bomba dosadora, no primeiro caso, seria muito alta, se adotasse a concentração de PAC a 0,3%.
- Sulfato de Alumínio comercial (SA): O SA utilizado na pesquisa foi o mesmo que se utiliza na ETA da Lagoa do Peri. O lote de SA apresenta concentrações de Al_2O_3 da ordem de 14,5%. As soluções foram preparadas em concentrações de 1% e 5% com água destilada. As diferenças nas concentrações de SA se devem pelo mesmo motivo das diferentes concentrações quando se utiliza o PAC.

ALCALINIZANTE

- Cal hidratada comercial: A cal utilizada na pesquisa foi a mesma usada na ETA da Lagoa do Peri. As soluções foram preparadas em concentração de 0,5% com água destilada da ETA.

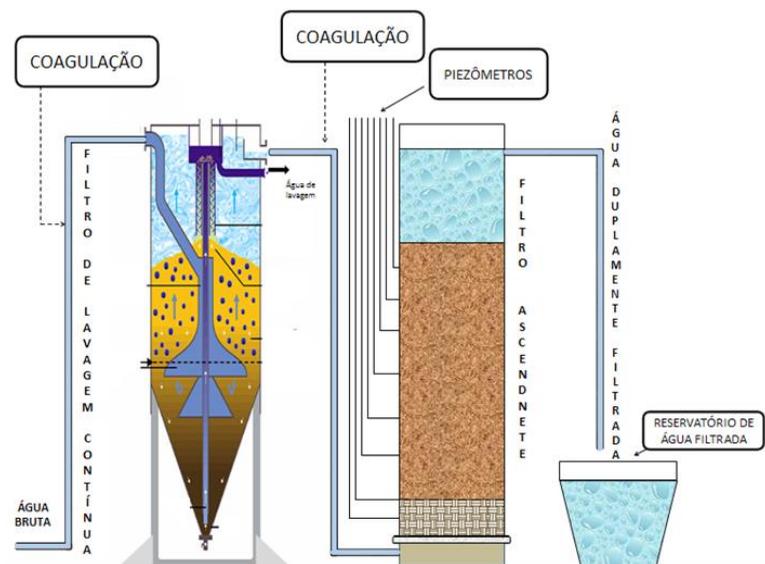
ACIDIFICANTE

- Ácido sulfúrico (padrão analítico): As soluções foram preparadas em concentrações de 0,05 N (Normal).

3.2.3 Etapa 3: Ensaios em Fluxo Contínuo

Esta etapa subdividiu-se em três tratamentos. Foi esta etapa da pesquisa que forneceu o produto final, os resultados do trabalho. A Figura 3.3 apresenta o desenho da instalação piloto.

Figura 3.3– Desenho esquemático da instalação piloto de dupla filtração ascendente (filtração de lavagem contínua e convencional).

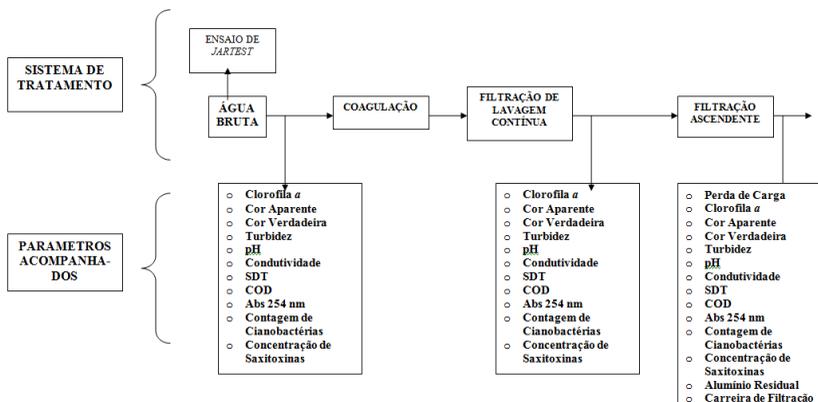


TRATAMENTO 1

Nesse tratamento, a água bruta era captada do manancial eutrofizado de forma contínua, seguindo para o processo de filtração de lavagem contínua com adição de coagulante específico e por fim a água era conduzida ao filtro ascendente, no qual não foi adicionado coagulante.

A Figura 3.4 apresenta o fluxograma do Tratamento 1 da pesquisa.

Figura 3.4 – Fluxograma do Tratamento 1.

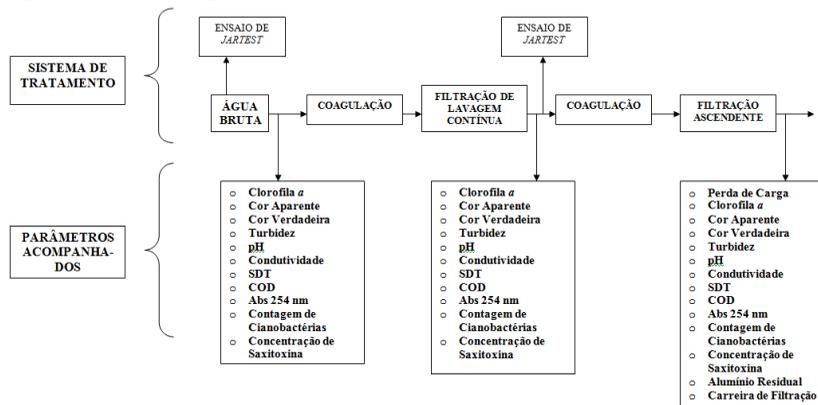


TRATAMENTO 2

Esse tratamento é semelhante ao anterior; o diferencial foi que, neste tratamento, tanto o sistema de filtração ascendente como o filtro de lavagem contínua, receberam coagulante.

A Figura 3.5 apresenta o fluxograma do Tratamento 2 da pesquisa.

Figura 3.5 – Fluxograma do Tratamento 2.

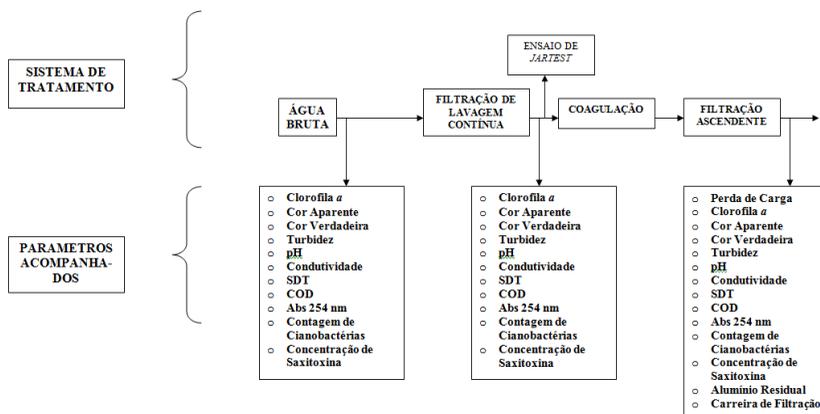


TRATAMENTO 3

Esse tratamento é semelhante aos tratamentos anteriores, porém a filtração de lavagem contínua não recebeu coagulante, apenas a FDA.

A Figura 3.6 apresenta o fluxograma do Tratamento 3 da pesquisa.

Figura 3.6 – Fluxograma do Tratamento 3.



3.3. AMOSTRAGEM E PARÂMETROS MONITORADOS

As amostras coletadas foram as seguintes: água bruta (AB); efluente do filtro de lavagem contínua do primeiro tratamento (FLC1); efluente do filtro ascendente do primeiro tratamento (FA1); efluente do filtro de lavagem contínua do segundo tratamento (FLC2); efluente do filtro ascendente do segundo tratamento (FA2); efluente do filtro de lavagem contínua do terceiro tratamento (FLC3) e efluente do filtro ascendente do terceiro tratamento (FA3). Sendo acompanhadas também a perda de carga e a duração da carreira de filtração.

Os Quadro 3.2 e Quadro 3.3 apresentam os parâmetros de qualidade da água analisados, métodos analíticos, equipamentos e frequência de coletas em cada ponto de amostragem, nos três tratamentos.

Quadro 3.2 – Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias e equipamentos utilizado na avaliação das seqüências de tratamento*.

PARAMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS	EQUIPAMENTOS
Perda de carga (cm)	Visual	Piezômetros
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Extração em etanol a 95% com medida de absorbância em $\lambda = 665 \text{ nm}$ (NUSCH, 1980)	Espectrofotômetro**
Cor aparente (uH)	Platinum – Cobalt -S.M	Espectrofotômetro** $\lambda = 455 \text{ nm}$
Cor verdadeira (uH)	Platinum – Cobalt -S.M, com filtragem a vácuo em membrana 0,45 μm	Espectrofotômetro** $\lambda = 455 \text{ nm}$
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro***
pH	Potenciométrico	pHmetro HACH Senslon
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Método da resistência elétrica	Condutivímetro HACH
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L^{-1})	Método da resistência elétrica	Condutivímetro HACH
COD (mg.L^{-1})	Espectrometria	COT Shimadzu
Absorção de Radiação UV em 254 nm	Espectrometria	Espectrofotômetro
Contagem de cianobactérias (cel.L^{-1})	Contagem UTERMÖHL (HASLE, 1978)	Microscópio invertido LEITZ
Concentração de Saxitoxina ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (AOAC, 2005)	
Alumínio Residual (mg.L^{-1})	Método ECR – Kit	Espectrofotômetro
Tempo de Carreira de Filtração (h)		

*As análises se baseiam na 20ª edição do *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

** HACH/DR2010; *** HACH/2100AN.

Quadro 3.3 – Relação dos parâmetros de qualidade da água e frequência de coletas em cada ponto de amostragem na avaliação das seqüências de tratamento.

PARAMETROS	FREQUENCIA DAS COLETAS NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM						
	AB	FLC1	FLC2	FLC3	FA1	FA2	FA3
Perda de carga (cm)	-	-	-	-	Diária Horária	Diária Horária	Diária Horária
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Cor aparente (uH)	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Cor verdadeira (uH)	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Turbidez (uT)	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
pH	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L^{-1})	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
COD (mg.L^{-1})	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Absorção de Radiação UV em 254 nm	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Contagem de cianobactérias (cel.L^{-1})	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*
Concentração de Saxitoxina ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*	1 vez*
Alumínio Residual (mg.L^{-1})	1 vez**	1 vez**	1 vez**	1 vez**	1 vez**	1 vez**	1 vez**
Tempo de Carreira de Filtração (h)	-	-	-	-			

* 1 vez: quando a perda de carga do filtro ascendente atingisse 50 cm. ** 1 vez: no final da carreira de filtração.

3.3.1 Análise de Fitoplâncton e Saxitoxina (STX)

Para estimar a densidade do fitoplâncton (Indivíduos/mL), subamostras foram contadas em microscópio invertido LEITZ, modelo DIAVERT, com aumento de 400 vezes, em câmara de sedimentação, de acordo com o método de Utermöhl (HASLE, 1978).

Os volumes sedimentados foram de 2mL, 5mL e 10mL, dependendo da densidade do material. As câmaras foram montadas com uma gota de lugol para propiciar a sedimentação de espécies com aerótopos. O tempo de sedimentação foi superior ao tempo mínimo de três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983 *apud* LAUDARES – SILVA, 1999).

Os indivíduos foram contados em campos aleatórios, e os números de campos contados foram o suficiente para alcançar 100 indivíduos da espécie mais abundante. Conforme Lund *et al.* (1958, *apud* LAUDARES-SILVA, 1999), o erro obtido foi de $\pm 20\%$ e com 95% de confiança. A densidade foi calculada pela seguinte fórmula. (TORGAN, 1997, *apud* LAUDARES-SILVA, 1999):

$$\text{mL contados} = \frac{\text{sc} \times \text{nc} \times \text{h}}{10^9}$$
$$\text{Fator} = \frac{1 \text{ mL}}{\text{mL contados}}$$

Onde: sc = superfície de campo (μm)

nc = n°. de campos contados

h = altura da câmara (mm)

Indivíduos/mL = Fator x n°. de indivíduos contados

Foi calculada para a espécie de cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii* a densidade em cel. mL^{-1} .

O método analítico empregado para detecção da saxitoxina (STX) foi por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de fluorescência (HPLC/FD) e derivatização pré-coluna. A metodologia de análise empregada é recomendada pela AOAC (2005) e foi aplicada neste estudo com algumas modificações. As análises da STX foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. As amostras coletadas foram filtradas em membrana 0,45 μm e congeladas para posterior análise.

O método analítico estabelecido foi validado a partir de uma avaliação intensiva de vários parâmetros do detector. A sensibilidade, o

limite de quantificação e o limite de detecção do método foram obtidos pelo método de relação sinal/ruído (RIBANI *et al.*, 2004). Os testes de ajuste e a curva de calibração foram realizados com o padrão referência certificado da STX fornecido pelo Institute for Marine Biosciences - NRC, Canadá. A menor área da STX detectável e quantificável com segurança foi a concentração de $1,25\mu\text{g.L}^{-1}$, numa relação sinal ruído de 10:1, sendo este valor definido como o limite de quantificação do método (LQ). Esse valor corresponde ao 1º ponto da curva de calibração, conferindo maior precisão e exatidão ao método estabelecido. Picos correspondentes à STX em proporções de área abaixo do LQ foram possíveis detectar, mas não foram possíveis quantificar. O valor de $0,3\ \mu\text{g.L}^{-1}$ foi detectado e identificado como sendo a STX, em uma relação sinal ruído de 3:1, sendo este valor definido como o limite de detecção (LD) do método.

3.4 FILTRO PILOTO DE LAVAGEM CONTÍNUA

O filtro piloto de lavagem contínua opera continuamente, ou seja, a operação não precisa ser interrompida para retrolavagem ou limpeza da areia.

O filtro foi construído em aço inoxidável, trabalha com escoamento ascendente e a lavagem contínua é feita com injeção de ar.

O filtro apresenta as seguintes características:

- Altura do filtro: 4 metros;
- Área: $0,80\ \text{m}^2$;
- Altura do meio filtrante: 2 m;
- Granulometria da areia: 0,8 – 1,4 mm;
- Sistema de lavagem contínua com vazão de ar de $8\ \text{L. min}^{-1}$ e pressão de ar de 5,5 Bar.

A Figura 3.7 apresenta foto do filtro de lavagem contínua e a Figura 3.8 mostra o funcionamento do filtro de lavagem contínua.

Figura 3.7 – Funcionamento de um Filtro de Lavagem Contínua.

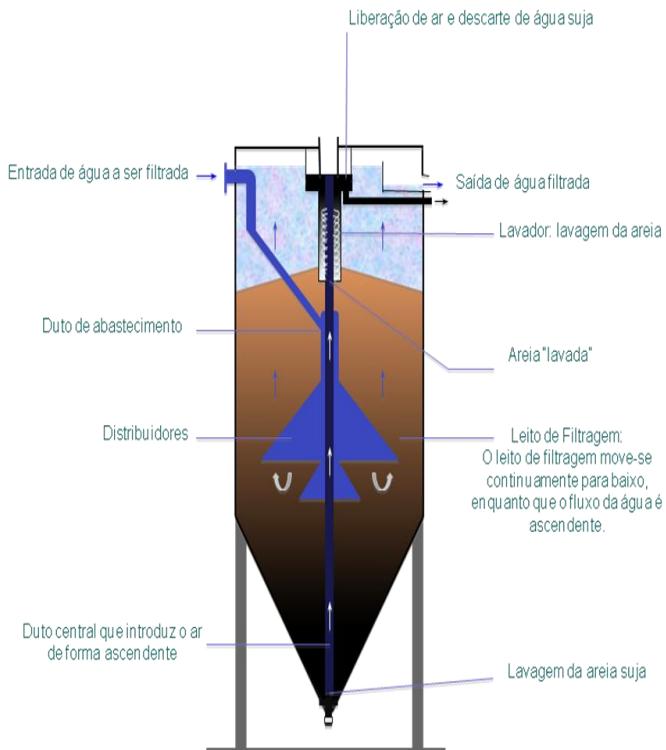


Figura 3.8 – Foto do filtro de lavagem contínua.



A água bruta entra no filtro por uma tubulação e é distribuída em todo o filtro por um processo ascendente, através do leito de areia. A água filtrada é descarregada do filtro via extravasor, situado no topo da unidade (KRAMER *et al.*, 2000 e SIN *et al.*, 2008).

O leito de areia move-se em uma direção oposta à da água em filtração. A areia suja é extraída da parte inferior do filtro, transportada para cima e lavada no lavador de areia. Então, a areia limpa retorna ao topo do leito do filtro.

O transporte ascendente da areia é produzido pelo injetor de ar. O ar sofre um processo ascendente, junto com a água e a areia suja. A ação do injetor de ar separa a sujeira da areia. A mistura ar/água/areia flui para fora no topo do injetor de ar. A areia e a água caem no lavador. A areia passa pelo lavador e deposita-se no topo do leito do filtro, enquanto a sujeira e a água são descartadas pelo cano de descarga de água de lavagem. O ar volta para a atmosfera.

O lavador consiste em um cilindro central com um labirinto especialmente desenvolvido. Uma diferença de nível entre a água filtrada e a de lavagem resulta num pequeno fluxo ascendente de água filtrada para o lavador. Desse modo, a areia no lavador é totalmente separada das partículas de sujeira e a sujeira é descarregada com a água de lavagem.

Na parte inferior do filtro há um cone para distribuição de areia de modo a assegurar que a areia se mova com a mesma velocidade em toda a área do filtro.

3.4.1 Sistema de Lavação Contínua de Areia

INJETOR DE AR

O injetor de ar é colocado verticalmente dentro do tubo de proteção. A parte inferior localiza-se no fundo do cone do filtro; a parte superior, no lavador de areia, no topo do filtro, acima do nível da areia. Ar comprimido é injetado através da mangueira na câmara (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

Quando o ar comprimido é injetado na câmara, a coluna de água dentro do tubo é deslocada e uma mistura de ar e água com densidade menor que a água circundante é criada. A pressão estática da água circundante forçará, então, a água para cima, pelo tubo. A sucção criada na parte inferior do injetor de ar é forte o suficiente para erguer uma mistura de areia e água para o lavador de areia através do tubo do injetor de ar.

Quando a areia sai da abertura de descarga do injetor de ar e entra no compartimento de maior diâmetro, a velocidade de fluxo decresce de modo que a areia começa a cair através do lavador de areia. Os sólidos suspensos, que são menores e de menor densidade que os grãos de areia, são descarregados com a água de lavagem através do tubo de saída de água de lavagem. As bolhas de ar voltam para a atmosfera.

As bolhas de ar quase sempre têm uma velocidade tal que causam respingamento. Para prevenir isto, uma cobertura e uma placa são colocadas acima do injetor de ar. Uma caixa de pressão é colocada sobre a capota com força manual e é girada nas aberturas de fixação. A pressão mantém a caixa, a capota e o injetor de ar no lugar.

A Figura 3.9 apresenta uma foto do injetor de ar.

Figura 3.9 – Foto do tubo e cabeçote de injeção de ar.



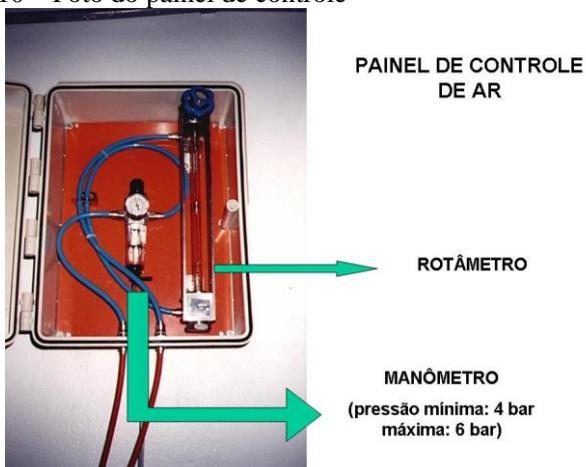
Fonte: Astrasand do Brasil (2007a).

INJEÇÃO DE AR COMPRIMIDO

O controle da pressão e vazão de ar é feito através de um painel de controle instalado ao lado do filtro. O painel de controle é composto por um filtro de ar com um manômetro que, quando em operação, apresenta uma pressão entre 4 e 6 Bar. Na parte exterior do painel há um rotâmetro, com o objetivo de controlar a vazão de ar atuante na lavagem da areia, a vazão de ar deve variar entre 6 e 10 L.(min)⁻¹.

A Figura 3.10 apresenta uma foto do painel de controle.

Figura 3.10 – Foto do painel de controle



Fonte: Astrasand do Brasil (2007a).

LAVADOR DE AREIA

O lavador de areia consiste em anéis que criam um labirinto. A parte interna e externa do labirinto é centrada com um anel de suporte, o qual sustenta todo o lavador de areia. Enquanto a areia cai através do labirinto, os grãos de areia são limpos por um fluxo controlado de água de lavagem. Este fluxo é criado por uma diferença de nível entre a superfície filtrada no tanque do filtro e a superfície da água de lavagem no compartimento de água de lavagem. A diferença no nível força uma pequena proporção de água filtrada para cima pelo lavador de areia (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

A diferença de nível é pré-determinada durante a fabricação, existindo a possibilidade de ajuste posterior. O ajuste da diferença de nível pode ser realizado manualmente colocando-se uma peça de tubo dentro da saída de água de lavagem. Desse modo, uma diferença de nível é ajustada, e por consequência, uma taxa de água de lavagem ajustada, e mantida. Uma diferença de nível maior resulta num fluxo também maior de água de lavagem. Um fluxo mínimo de água de lavagem deve ser mantido.

A quantidade de areia no labirinto também influencia a taxa de água de lavagem. Alto fluxo de areia significa mais areia no labirinto, maior resistência hidráulica e por consequência menor fluxo de água de lavagem.

A Figura 3.11 apresenta fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.

Figura 3.11 – Fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.



Fonte: Astrasand do Brasil (2007a).

COMPRESSOR DE AR

Inicialmente, pretendia-se fazer a injeção de ar comprimido com o compressor de ar utilizado para a limpeza dos filtros da própria ETA; para isso, fez-se uma adaptação no compressor existente. Contudo, o equipamento da ETA apresentou problemas no início da operação do filtro, tanto devido ao longo tempo de uso, quanto ao fato de não fornecer a vazão de ar necessária para o perfeito funcionamento do filtro de lavagem contínua. Alguns reparos foram feitos no compressor de ar, mas nenhum desses foi suficiente para sanar o problema.

Por esse motivo, fez-se necessária a compra de um compressor de ar para abastecer exclusivamente o filtro de lavagem contínua. O compressor de ar adquirido fornece uma pressão de ar de até 10 Bar e armazena cerca de 100 litros de ar.

3.5 FILTRO PILOTO ASCENDENTE

O filtro ascendente foi construído em aço inoxidável, com seção quadrada de 20 cm de lado. A camada suporte (CS) possui uma espessura total de 60 cm e o meio filtrante, composto por areia de diferentes granulometrias, com 1,80 m de espessura total. A Tabela 3.1 apresenta as características do meio filtrante do filtro ascendente.

Tabela 3.1 – Características do Meio Granular do Filtro Ascendente.

CAMADA SUPORTE			AREIA		
Subcamadas	Diâmetro (mm)	Espessura (cm)	Subcamadas	Diâmetro (mm)	Espessura (cm)
Base	19,0 a 12,60	22	Base	1,68 a 2,30	60
2^a	6,4 a 12,70	7	2^a	1,19 a 1,68	54
3^a	3,2 a 6,40	7	3^a	0,83 a 1,19	40
4^a	3,2 a 2,40	10	Topo	0,59 a 0,83	26
5^a	3,2 a 9,50	7	Espessura Total		180
Topo	12,7 a 19,0	7	Diâmetro Efetivo \approx 0,70 mm		
Espessura Total		60	Coefficiente CD < 2		

O filtro ascendente possui um conjunto de oito piezômetros instalados em diferentes profundidades ao longo do filtro, que têm a função de registrar a perda de carga de todo o sistema. A Figura 3.12 apresenta o esquema do sistema piloto de filtração ascendente (FA), enquanto que a Figura 3.13 apresenta uma foto do filtro ascendente (FA).

Figura 3.12 – Esquema do sistema piloto de filtração ascendente (FA).

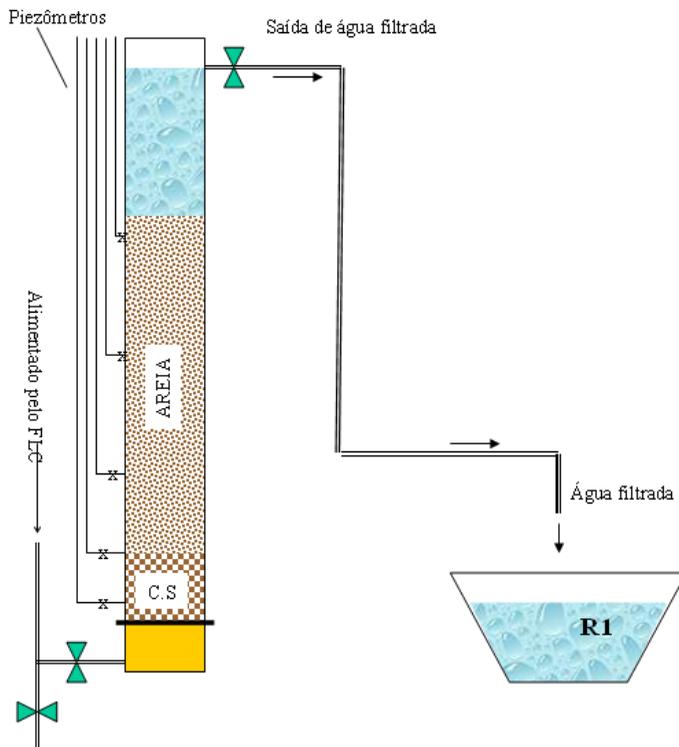


Figura 3.13 – Foto do Filtro Piloto Ascendente.



3.6. CARREIRA DE FILTRAÇÃO

O filtro ascendente operou com taxa de filtração fixa, sendo testadas taxas de filtração de 150 a $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ e com carga hidráulica variável. O registro da perda de carga foi realizado no filtro ascendente, por um conjunto de oito piezômetros instalados em diferentes profundidades ao longo do filtro. As carreiras de filtração foram interrompidas sempre que a perda de carga total no meio filtrante atingia no mínimo um metro (1,0 m) ou no máximo dois metros (2,0 m) ou quando a qualidade da água filtrada entrasse em um processo crescente de degradação (transpasse de sólidos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na etapa experimental. Primeiramente é feita a caracterização da água do manancial; em seguida são descritos os ajustes hidráulicos necessários para o desenvolvimento do trabalho. E por fim, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de bancada (jarteste) e nos ensaios de fluxo contínuo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MANANCIAL

A Tabela 4.1 apresenta as características da água da Lagoa do Peri, água bruta de alimentação do sistema piloto. Tendo em vista o longo período de estudo, a tabela é apresentada em cinco partes, mantendo-se a mesma numeração.

A tabela apresenta dados no período de dezembro de 2008 a junho de 2010, através dos valores mínimos, máximos e médios. A seguir, comentam-se os dados pelos diversos parâmetros de qualidade de água.

A cor verdadeira e aparente variaram em todo o período de no mínimo 1 uH e 16 uH, respectivamente e no máximo de 37 uH e 124 uH, respectivamente. Os valores médios mensais de cor verdadeira variaram desde 5 uH a 19 uH e fazendo-se uma média geral das médias mensais 9,5 uH. Os valores médios mensais de cor aparente variaram desde 46 uH a 74 uH e perfazendo-se uma média geral das médias mensais 60,2 uH.

A turbidez variou em todo o período de no mínimo 2,8 uT e no máximo 11,5 uT. Os valores médios mensais de turbidez variaram desde 3,4 uT a 6,9 uT e realizando-se uma média geral das médias mensais 4,7 uT.

Os valores de cor – verdadeira e aparente – e turbidez são valores baixos para água bruta, porém isso é típico de água de lago.

Os valores médios mensais de pH, sólidos dissolvidos totais, condutividade, carbono orgânico dissolvido e absorção UV em 254 nm variaram desde 6,3 a 7; 30 mg.L⁻¹ a 38 mg.L⁻¹; 60 μS.cm⁻¹ a 76 μS.cm⁻¹; 4 mg.L⁻¹ a 19 mg.L⁻¹; 0,075 a 0,280, respectivamente. A média geral das médias mensais para os mesmos parâmetros são 6,7; 33 mg.L⁻¹; 66 μS.cm⁻¹; 5,54 mg.L⁻¹; 0,112, respectivamente.

A concentração de clorofila *a* variou em todo o período de no mínimo 7,7 μg.L⁻¹ e no máximo 45,3 μg.L⁻¹. Os valores médios mensais de clorofila *a* variaram desde 13,9 μg.L⁻¹ a 25,3 μg.L⁻¹, fazendo-se uma média geral das médias mensais de 18,97 μg.L⁻¹. A densidade de cianobactérias variou entre 3,21 x 10⁵ cel.mL⁻¹ a 1,83 x 10⁶ cel.mL⁻¹; sendo a média da densidade de 6,63 x 10⁵ cel.mL⁻¹. O valor máximo de

saxitoxinas registrado na água bruta da Lagoa do Peri, no período de fevereiro a abril de 2010, foi de 3,02 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e o valor mínimo foi abaixo do limite de quantificação do método (1,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$); sendo o valor médio de saxitoxina na água bruta de 1,97 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

As concentrações de clorofila *a* encontradas na água da Lagoa do Peri demonstram que o manancial é considerado eutrofizado. Os resultados da contagem de cianobactérias ratificaram o reportado por Melo Filho (2006); Marnoto (2008) e Mondardo (2009), a espécie dominante de cianobactérias na Lagoa do Peri é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com predominância média de cerca de 84% seguida pelas espécies *Limnothrix planctônica*, *Planktolyngbya sp*, *Planktolyngbya limnetica*, *Pseudanabaena sp*; também foram encontradas espécies de Clorófitas, Criptófitas, Diatomáceas, Dinófitas e outras células algais.

A Portaria 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) recomenda que as análises de cianotoxinas para água potável incluam a determinação de saxitoxinas, observando o valor limite de 3,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de equivalente de STX.L⁻¹. A concentração média de saxitoxinas na água da Lagoa do Peri é inferior à concentração máxima permitida pela portaria do Ministério da Saúde, sendo que em apenas um momento a concentração da água bruta foi semelhante ao valor máximo permitido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri.

PARAMETROS	DEZEMBRO DE 2008			JANEIRO DE 2009			FEVEREIRO DE 2009		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	37	3	16	23	4	13	12	6	9
Cor Aparente (uH)	97	16	67	81	64	72	86	55	69
Turbidez (uT)	11,50	3,97	6,20	6,84	4,90	5,47	8,08	4,44	5,41
pH	7,55	6,75	7,00	7,00	6,20	6,60	7,05	6,35	6,65
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹)	35	32	34	37	32	34	35	34	34
Condutividade (µS.cm⁻¹)	70	64	68	74	64	68	70	68	68
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,28	0,12	0,17	0,72	0,09	0,28	0,12	0,09	0,10
Clorofila <i>a</i> (µg.L⁻¹)	45,1	11,2	19,0	45,3	12,6	25,3	20,6	10,0	16,6
COD (mg.L⁻¹)	6,22	3,95	5,14	12,25	7,37	10,05	5,15	5,03	5,10
Contagem de Cianobactérias (x 10⁵ cél.mL⁻¹)		*			4,80			5,59	
Cianotoxina – STX (µg.L⁻¹)		*			*			*	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	MARÇO DE 2009			ABRIL DE 2009		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	11	2	7	10	4	7
Cor Aparente (uH)	124	52	72	71	46	59
Turbidez (uT)	10,6	3,59	5,60	5,46	3,73	4,41
pH	6,94	5,76	6,38	7,27	6,35	6,66
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹)	38	29	34	70	31	38
Condutividade (µS.cm⁻¹)	76	58	68	140	62	76
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,113	0,099	0,106	0,314	0,014	0,122
Clorofila <i>a</i> (µg.L⁻¹)	25,4	12,6	18,2	33,3	10,8	17,1
COD (mg.L⁻¹)	9,75	3,73	5,51	7,03	4,22	5,00
Contagem de Cianobactérias (x 10⁵ cél.mL⁻¹)		18,33			8,91	
Cianotoxina – STX (µg.L⁻¹)		*			*	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	MAIO DE 2009			JUNHO DE 2009			JULHO DE 2009		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	20	1	11	9	2	5	10	5	8
Cor Aparente (uH)	76	54	64	64	56	59	76	60	65
Turbidez (uT)	5,16	3,50	4,31	4,90	3,85	4,34	5,68	4,14	4,75
pH	6,93	6,00	6,54	6,64	6,10	6,42	6,90	6,14	6,44
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹)	32	26	31	34	33	33	31	33	32
Condutividade (µS.cm⁻¹)	64	52	62	68	66	66	62	66	64
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,109	0,092	0,101	0,091	0,101	0,100	0,115	0,040	0,084
Clorofila <i>a</i> (µg.L⁻¹)	44,6	14,4	21,6	17,8	11,8	14,0	26,9	18,1	21,5
COD (mg.L⁻¹)	8,06	2,98	4,30	*	*	3,99	7,09	3,89	4,77
Contagem de Cianobactérias (x 10⁵ cel.mL⁻¹)		6,09			5,56			6,80	
Cianotoxina – STX (µg.L⁻¹)		*			*			*	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	AGOSTO DE 2009			SETEMBRO DE 2009		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	9	7	8	25	3	9
Cor Aparente (uH)	101	57	74	64	44	54
Turbidez (uT)	7,87	4,34	5,57	6,22	3,88	4,57
pH	6,80	5,95	6,25	7,09	6,20	6,72
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	31	32	32	30	33	32
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	66	62	64	60	66	64
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,107	0,034	0,079	0,111	0,041	0,082
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	23,3	17,8	21,1	35,4	18,9	24,2
COD (mg.L ⁻¹)	17,88	3,73	6,33	6,98	3,96	5,33
Contagem de Cianobactérias (x 10 ⁵ cel.mL ⁻¹)		4,60			6,57	
Cianotoxina – STX (µg.L ⁻¹)		*			*	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont).

PARAMETROS	OUTUBRO DE 2009			NOVEMBRO DE 2009			DEZEMBRO DE 2009		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	20	4	8	15	4	10	12	1	7
Cor Aparente (uH)	69	40	57	66	49	57	54	41	49
Turbidez (uT)	4,76	2,82	4,09	3,71	5,14	4,47	4,53	3,14	3,77
pH	7,08	6,41	6,85	7,27	5,14	6,81	7,02	6,70	6,84
Sólidos Dissolvidos									
Totais (mg.L⁻¹)	33	30	31	39	31	33	32	36	34
Condutividade (µS.cm⁻¹)	66	60	62	78	62	66	64	72	68
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,029	0,098	0,075	0,170	0,076	0,116	0,115	0,056	0,10
Clorofila <i>a</i> (µg.L⁻¹)	32,15	8,30	16,15	27,37	12,26	20,59	24,08	7,72	16,55
COD (mg.L⁻¹)	5,25	4,10	4,45	10,3	4,64	6,59	8,22	4,89	6,22
Contagem de Cianobactérias (x 10⁵ cél.mL⁻¹)		4,52			6,72			5,42	
Cianotoxina – STX (µg.L⁻¹)		*			*			*	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	JANEIRO DE 2010			FEVEREIRO DE 2010		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	10	5	8	16	1	6
Cor Aparente (uH)	67	53	57	77	40	56
Turbidez (uT)	4,94	3,40	4,21	7,31	2,88	4,22
pH	7,44	6,27	6,76	7,05	5,43	6,54
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	30	34	33	38	33	35
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	60	68	66	76	66	70
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,127	0,101	0,113	0,116	0,081	0,099
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	26,24	19,77	22,63	30,79	15,00	21,56
COD (mg.L ⁻¹)	5,59	5,17	5,32	6,34	4,90	5,26
Contagem de Cianobactérias (x 10 ⁵ cél.mL ⁻¹)		5,25			5,64	
Cianotoxina – STX (µg.L ⁻¹)		*			3,024 – 2,572	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	MARÇO DE 2010			ABRIL DE 2010		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	16	5	10	14	1	9
Cor Aparente (uH)	62	41	50	53	31	46
Turbidez (uT)	5,24	3,01	3,60	4,45	2,61	3,77
pH	7,31	6,13	6,67	7,16	5,99	6,62
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	33	37	34	35	32	33
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	66	74	68	70	64	66
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,102	0,075	0,093	0,112	0,069	0,093
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	25,45	13,63	13,90	27,60	13,40	19,02
COD (mg.L ⁻¹)	6,09	4,73	5,14	8,06	4,48	5,71
Contagem de Cianobactérias (x 10 ⁵ cél.mL ⁻¹)		10,36			6,40	
Cianotoxina – STX (µg.L ⁻¹)		> 1,25			2,489	

*Parâmetro não medido.

Tabela 4.1 – Característica da Água da Lagoa do Peri (Cont.).

PARAMETROS	MAIO DE 2010			JUNHO DE 2010		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Cor Verdadeira (uH)	28	13	19	17	7	11
Cor Aparente (uH)	84	56	69	57	46	48
Turbidez (uT)	8,79	5,30	6,90	4,26	3,06	3,42
pH	7,15	6,68	6,87	7,61	6,38	7,00
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	27	31	30	31	28	30
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	54	62	60	62	56	60
Absorção de Radiação UV em 254 nm	0,142	0,110	0,125	0,11	0,067	0,096
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	20,45	13,06	16,76	20,22	9,09	14,72
COD (mg.L ⁻¹)	*	*	*	*	*	*
Contagem de Cianobactérias (x 10 ⁵ cél.mL ⁻¹)		3,21			4,55	
Cianotoxina – STX (µg.L ⁻¹)		*			*	

*Parâmetro não medido.

4.2 AJUSTES HIDRÁULICOS NOS FILTROS

4.2.1 Filtro de lavagem contínua

A princípio utilizar-se-ia um filtro de área de aproximadamente $0,30 \text{ m}^2$ (Figura 4.1) para operar a uma taxa de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$; contudo, observaram-se problemas na circulação de areia do filtro de lavagem contínua. Isso se deve, provavelmente:

- à presença de sólidos grosseiros tanto na água bruta quanto no meio filtrante, prejudicando o funcionamento do injetor de ar;
- a problemas que ocorreram com a injeção de ar comprimido no início da operação do filtro; e
- a problemas na câmara de pressão do filtro.

Esses problemas acabaram por causar a colmatação da camada filtrante e, conseqüentemente, aumentando constantemente a perda de carga, provocando a parada do filtro a cada 16 h. Chama-se a atenção que diante deste tipo de filtro não faz sentido tratar de carreira de filtração, pois o mesmo lava-se em escoamento contínuo.

Figura 4.1 – Foto do filtro de lavagem contínua de Φ 0,60 m.



Para sanar esse inconveniente foram tomadas algumas providências.

Primeiramente desligou-se a entrada de água bruta do filtro, deixando somente o ar circulando e controlando a “movimentação” da areia. Como essa primeira ação não solucionou o problema, utilizou-se uma mangueira de ar no injetor de ar, para fornecer mais ar e, conseqüentemente, maior força de arraste de areia para cima. Esses dois procedimentos tiveram como objetivo reverter a possível colmatção do meio filtrante.

A segunda ação para sanar os problemas no filtro foi a aplicação de cerca de 20 L de solução desentupidora a base de soda cáustica e deixou-se apenas o ar circulando no filtro por um período de 45 h. Depois da aplicação da solução desentupidora, também foi feita uma

limpeza manual no injetor de ar, para que materiais grosseiros fossem retirados.

Entretanto, nenhuma das medidas realizadas foi suficiente para resolver o problema no filtro. Sendo assim, concluiu-se que o provável problema do filtro era na câmara de pressão, o que impedia o arraste da areia e, conseqüentemente, o perfeito funcionamento do filtro.

Como não era possível substituir a peça, decidiu-se então por substituir o filtro por outro. As diferenças entre os filtros são a área e a altura do filtro. O primeiro filtro tem área de 0,30 m² e altura de 3 m; a área do segundo filtro de aproximadamente 0,80 m² e a altura 4 m.

Após a substituição do filtro, foi feito ajuste na vazão de água, para satisfazer a taxa de filtração pré-estabelecida e na vazão de ar, para proporcionar o bom funcionamento da lavagem do filtro.

4.2.2 Filtro ascendente

O filtro ascendente foi construído em uma área menor do que o filtro de lavagem contínua. Assim, fez-se necessário ajustar a vazão de alimentação com uma vazão de purga. Este filtro operou com três taxas de filtração, 150, 200 e 250 m³.(m².d)⁻¹. Como a lavagem desse filtro se dá por retrolavagem de forma a expandir o meio filtrante, fez-se necessário também ajustar a vazão de lavagem.

Além desses ajustes hidráulicos que foram feitos nos filtros, para proporcionar a coagulação com solução de sulfato de alumínio, fizeram-se também necessários ajustes das vazões para proporcionar as diferentes dosagens de sulfato de alumínio.

4.3. DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE COAGULANTES ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – PRIMEIRO ENSAIO

Os resultados obtidos nos ensaios de jarteste com água bruta e do filtro de lavagem contínua encontram-se em forma de tabela no Apêndice B.

4.3.1. Ensaio de Coagulação da Água Bruta para o Tratamento 1 – Primeiro Ensaio

a) COAGULANTE HIDROXICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)

Escolheu-se trabalhar com a dose de 15 mg.L⁻¹ de hidroxicloreto de alumínio, com um valor de pH de 5,79, por apresentar melhor relação turbidez x cor aparente sem a necessidade de adição de ácido e cal.

b) COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO (SA)

Escolheu-se trabalhar com a dose de 20 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio por apresentar os melhores resultados de turbidez x cor aparente, com um valor de pH de 5,75. As tabelas e gráficos referentes aos ensaios de jarteste encontram-se no Apêndice B.

4.3.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 – Primeiro Ensaio

Para os próximos tratamentos (Tratamento 2 e 3), aplicou-se apenas o sulfato de alumínio como coagulante, por apresentar melhores resultados no Tratamento 1.

Escolheu-se trabalhar com a dose de $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ de sulfato de alumínio, com um valor de pH de 5,37, por apresentar melhor relação turbidez x cor aparente, sem adição de ácido ou cal. As tabelas e gráficos referentes aos ensaios de jarteste encontram-se no Apêndice B.

4.3.3 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 3 (sem pré coagulação) – Primeiro Ensaio

Ao se realizar o ensaio de jarteste com efluente do filtro de lavagem contínua sem coagulação prévia, manteve-se a mesma dose de 20 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio para a coagulação do afluente do filtro ascendente.

4.4 ENSAIOS EM FLUXO CONTÍNUO – PRIMEIRO ENSAIO

Os tratamentos desse ensaio foram realizados durante o período de verão/outono, entre os meses de janeiro e maio de 2009.

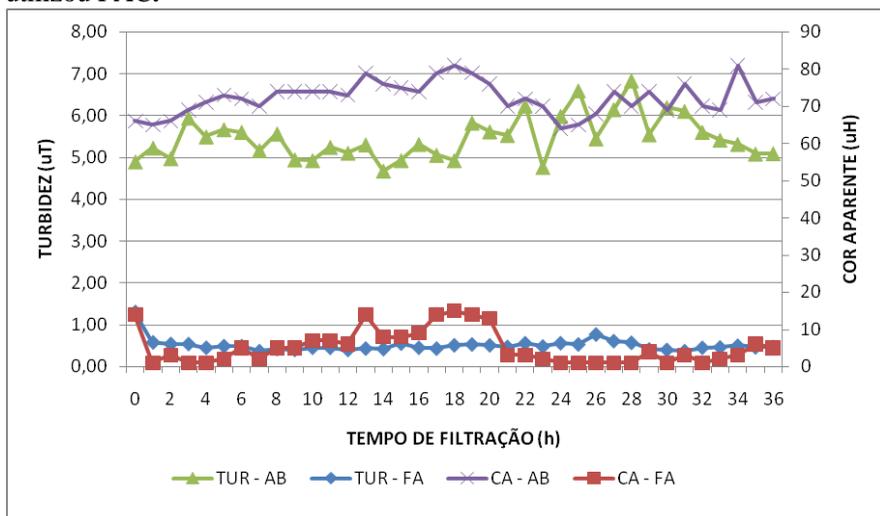
4.4.1 Tratamento por Filtração Direta Ascendente (sem Filtro de Lavagem Contínua) – Primeiro Ensaio

Sendo objetivos específicos desta pesquisa avaliar a aplicabilidade da filtração direta utilizando filtro de lavagem contínua no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias e avaliar a influência do filtro de lavagem contínua no tempo das carreiras de filtração fez-se necessário o monitoramento de todos os parâmetros observando apenas o comportamento do filtro ascendente, após receber o coagulante na dosagem especificada anteriormente.

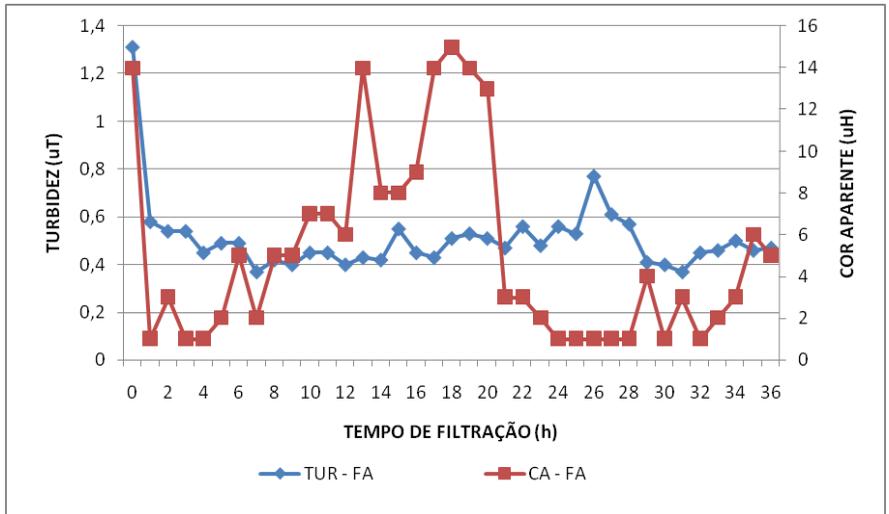
a) APLICAÇÃO DE HIDROXICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) NA FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE
a.1) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

A Figura 4.2 apresenta os gráficos, quando utilizado o PAC, para os parâmetros analisados no filtro ascendente; sendo a dosagem de coagulante aplicada de 15 mg.L^{-1} e pH de coagulação de 5,79. Os resultados obtidos nessa situação, encontram-se no Apêndice B.

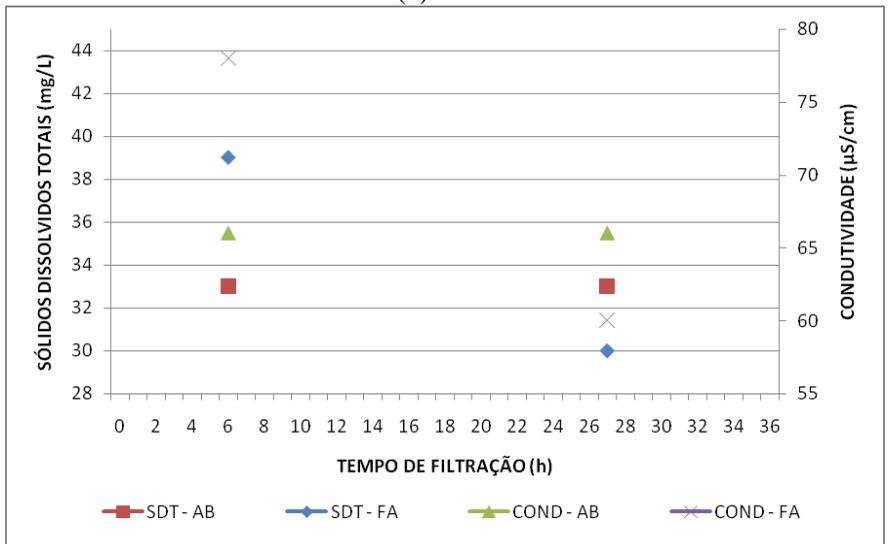
Figura 4.2 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utilizou PAC.



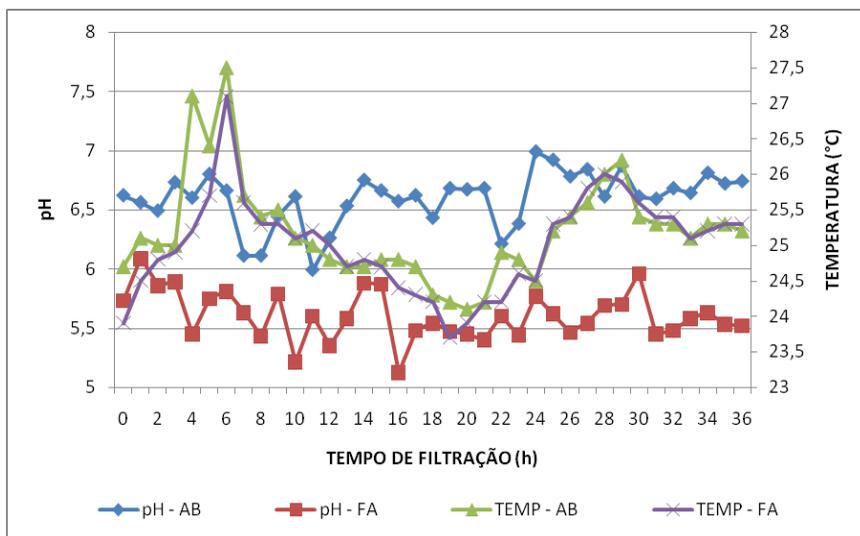
(a)



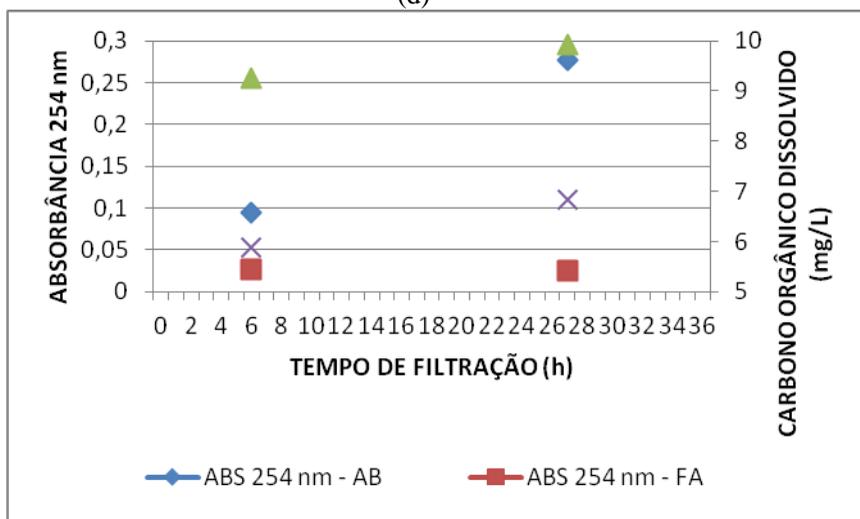
(b)



(c)



(d)



(e)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FA: Filtro Ascendente.

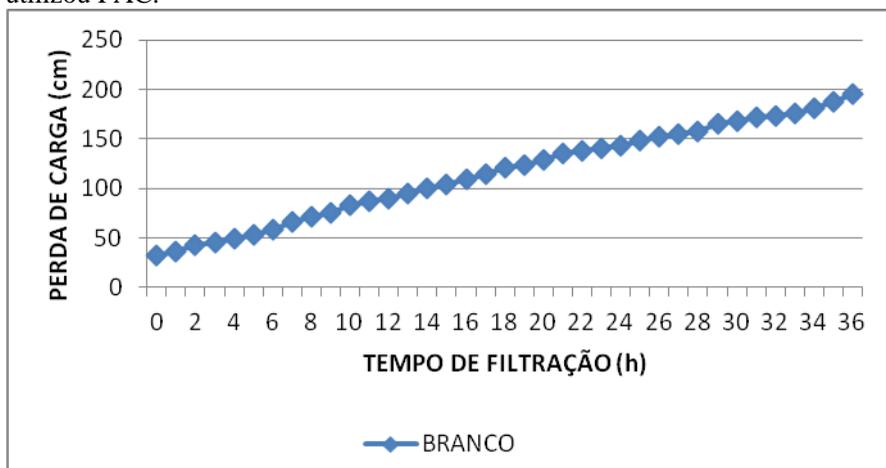
Quando se utilizou o PAC na operação apenas do filtro ascendente, nessa pesquisa denominado Branco, observou-se que o

efluente final do filtro apresentou turbidez de cerca de 0,47 uT, sendo que esse valor variou pouco desde a segunda hora de operação; cor aparente de 5 uH e não foi observado valores consideráveis de clorofila *a*.

a.2) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CAREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.3 apresenta o gráfico da perda de carga ao longo da carreira de filtração quando se utiliza o PAC.

Figura 4.3 – Perda de carga ao longo da carreira de filtração, quando se utilizou PAC.



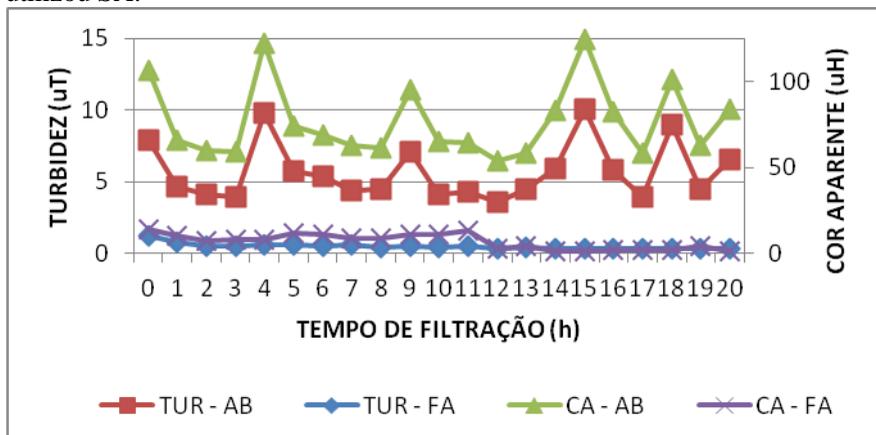
O tempo de carreira de filtração do Branco, quando se utilizou o PAC, foi de 36 h para uma perda de carga de 195,5 cm.

b) APLICAÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO (SA) NA FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE

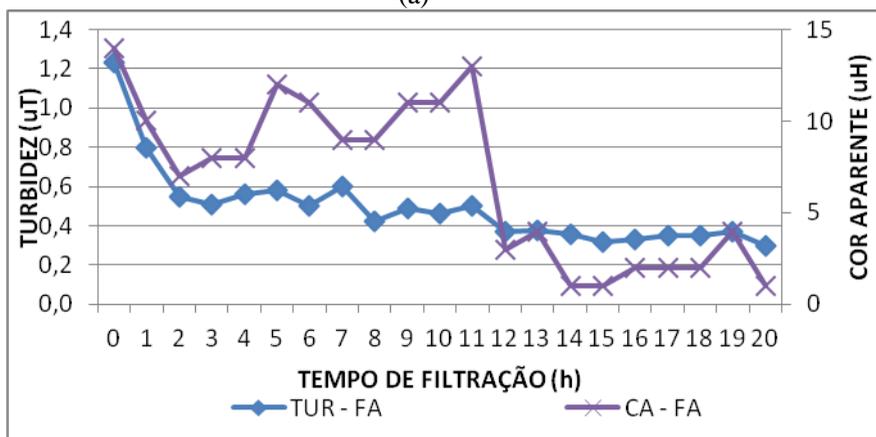
b.1) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

A Figura 4.4 apresenta os gráficos, quando utilizado o SA, no verão, para os parâmetros analisados no filtro ascendente; sendo a dosagem de coagulante aplicada de 20 mg.L^{-1} e pH de coagulação de 5,75. Os resultados obtidos nessa situação, encontram-se no Apêndice B.

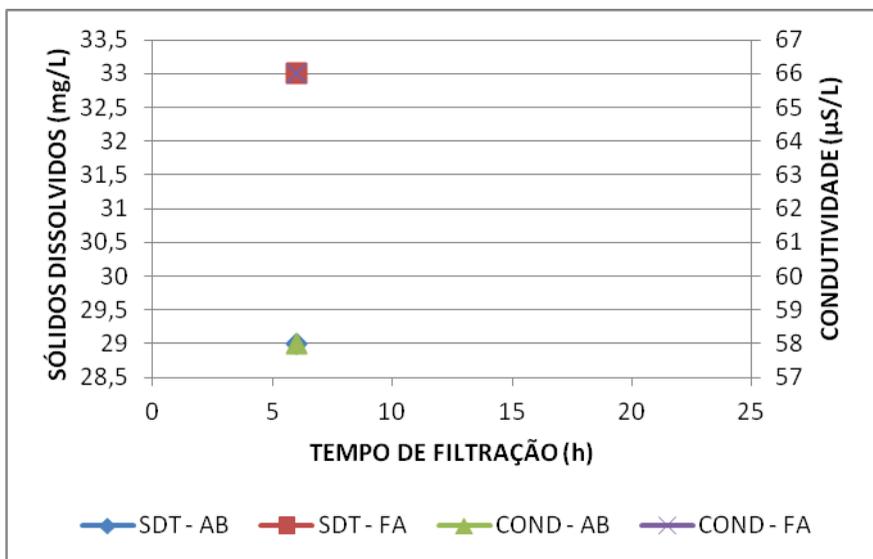
Figura 4.4 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utilizou SA.



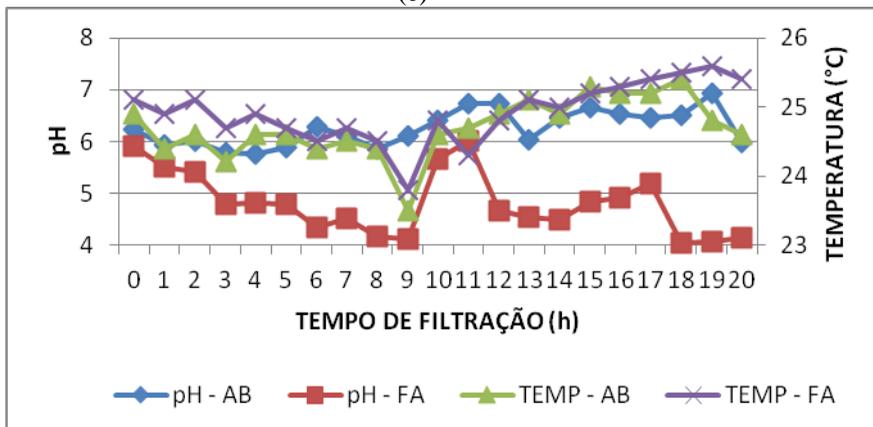
(a)



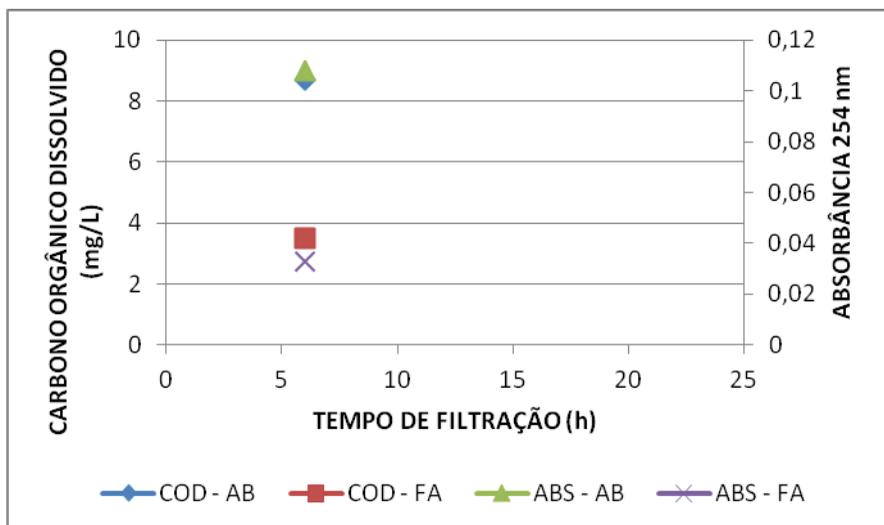
(b)



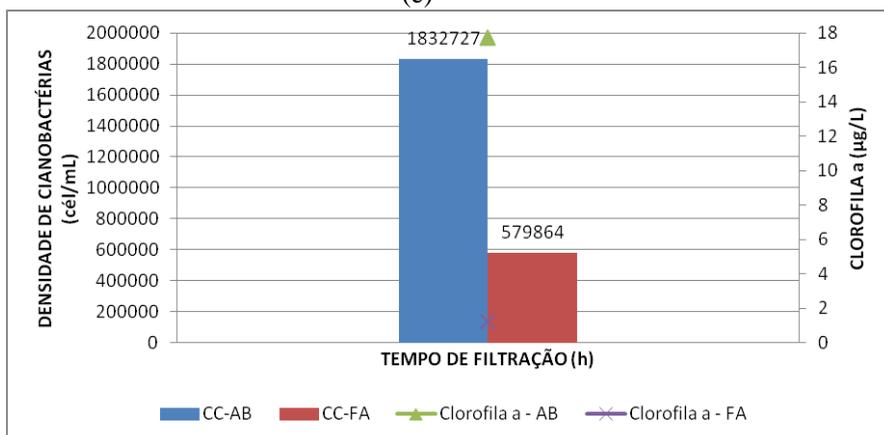
(c)



(d)



(e)



(f)

CC: Densidade de Cianobactérias. COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FA: Filtro Ascendente.

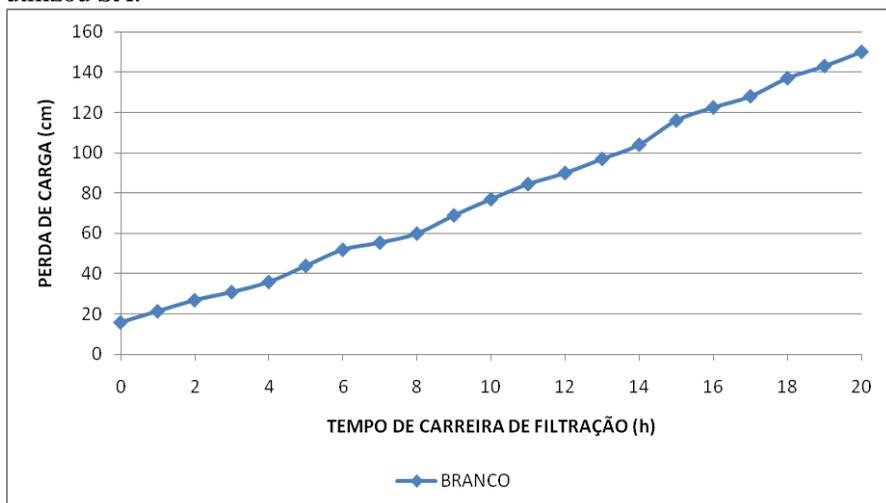
Durante a carreira de filtração, a turbidez final registrada no Branco foi de cerca de 0,30 uT; sendo que a partir da 12^o hora, a turbidez se apresentou abaixo de 0,4 uT, continuando assim até o fim da carreira de filtração. A cor aparente final registrada no sistema foi de 1

uH, já a concentração de clorofila *a* e de cianobactérias no sistema foi de $1,25 \mu\text{g.L}^{-1}$ e de $5,8 \times 10^6 \text{ cel.mL}^{-1}$, respectivamente.

b.2) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.5 apresenta o gráfico da perda de carga ao longo da carreira de filtração.

Figura 4.5 – Perda de carga ao longo da carreira de filtração, quando se utilizou SA.

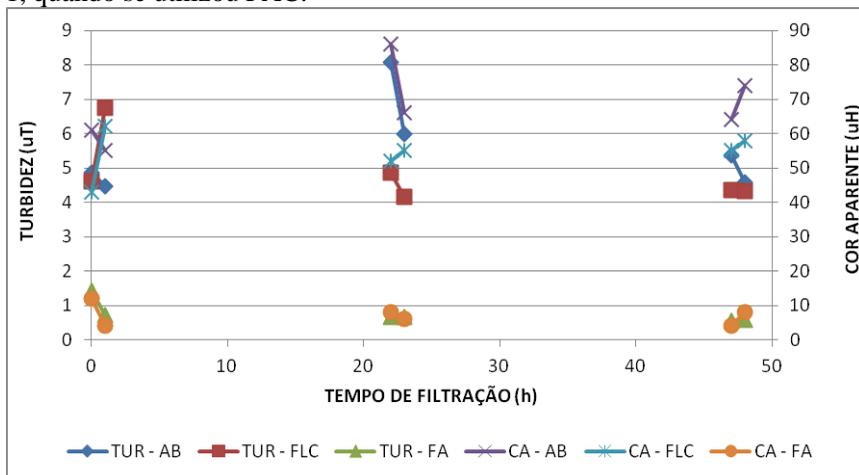


O tempo de carreira de filtração do Branco foi de 20 h, para uma perda de carga de 150 cm.

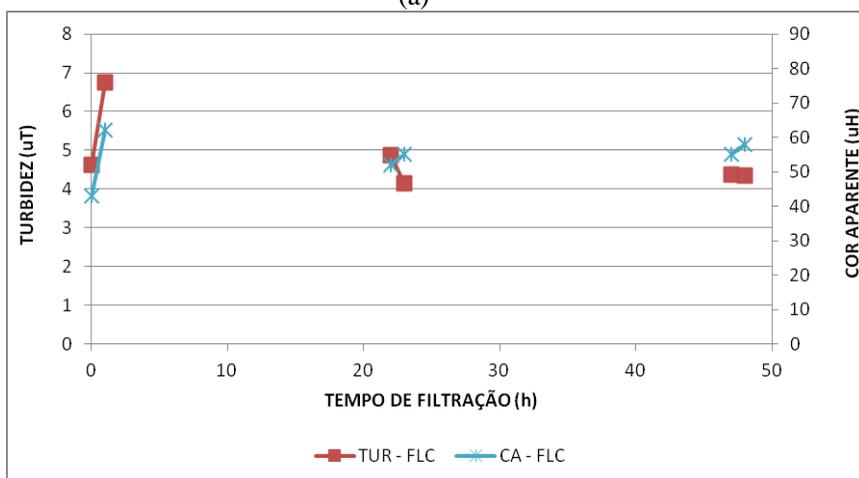
4.4.2 Comparação entre os Tratamentos com PAC e SA na Filtração Direta Ascendente

Na Figura 4.6 observa-se os gráficos referentes ao Tratamento 1 da pesquisa, quando utilizado PAC; sendo a dosagem de coagulante aplicada de 15 mg.L^{-1} e pH de coagulação de 5,79. Os resultados obtidos no ensaio contínuo encontram-se no Apêndice B.

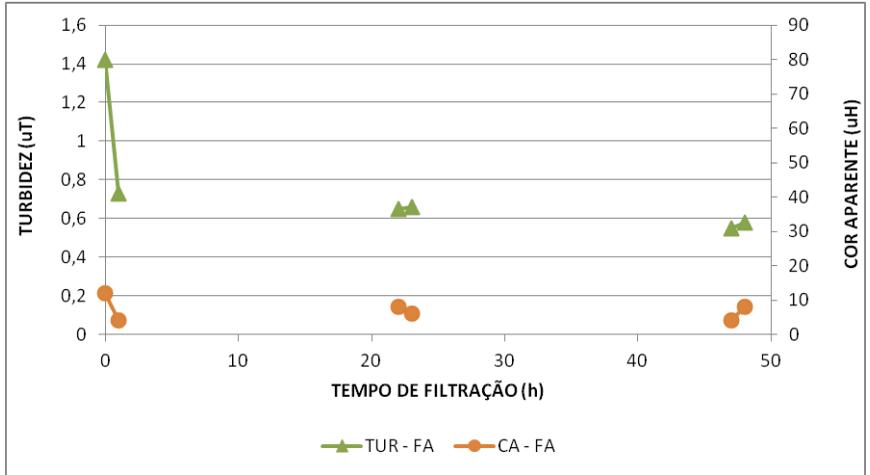
Figura 4.6 – Comportamento dos parâmetros de controle, no Tratamento 1, quando se utilizou PAC.



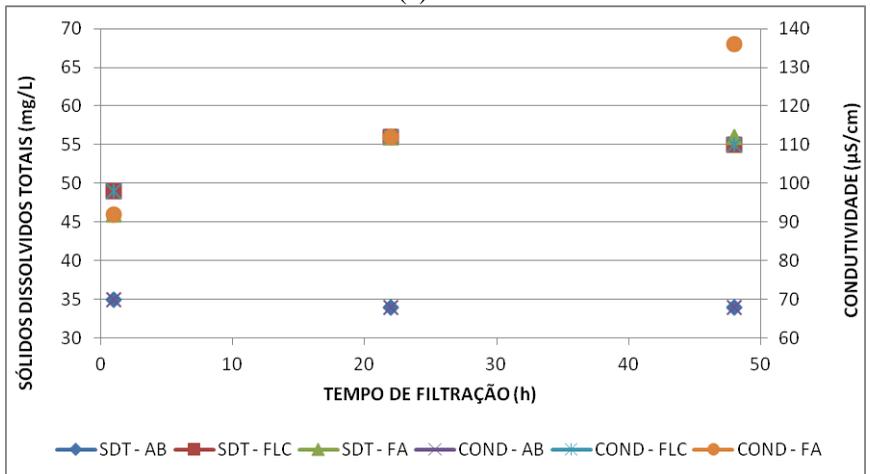
(a)



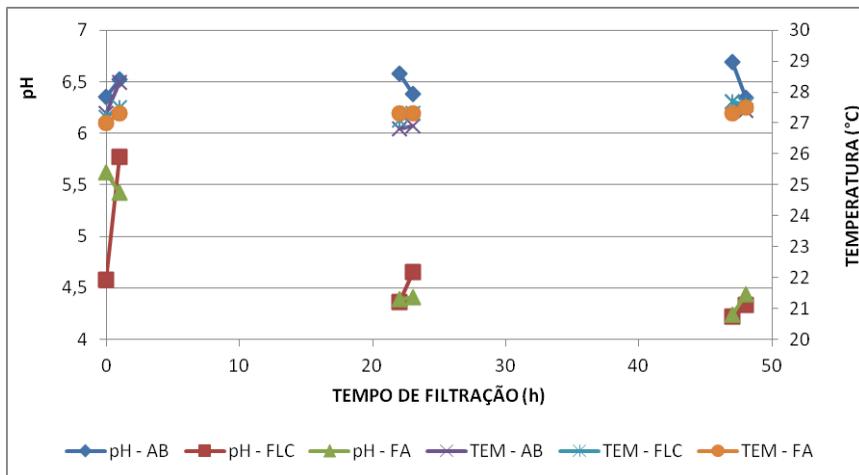
(b)



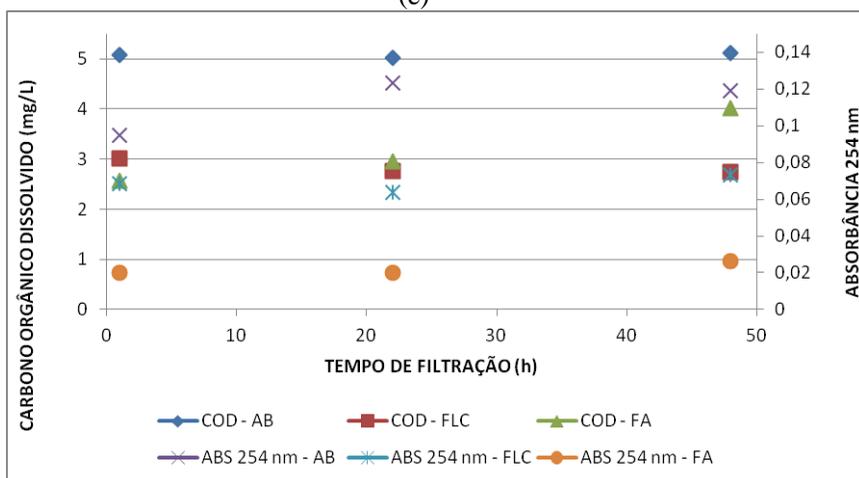
(c)



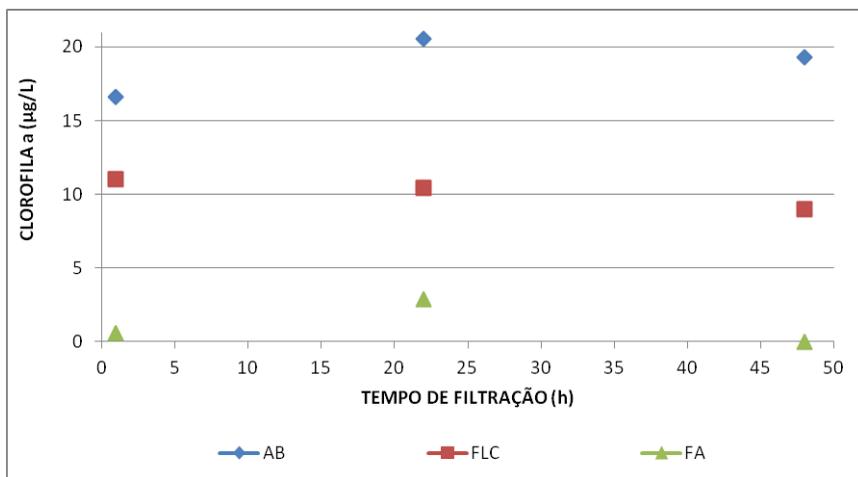
(d)



(e)



(f)



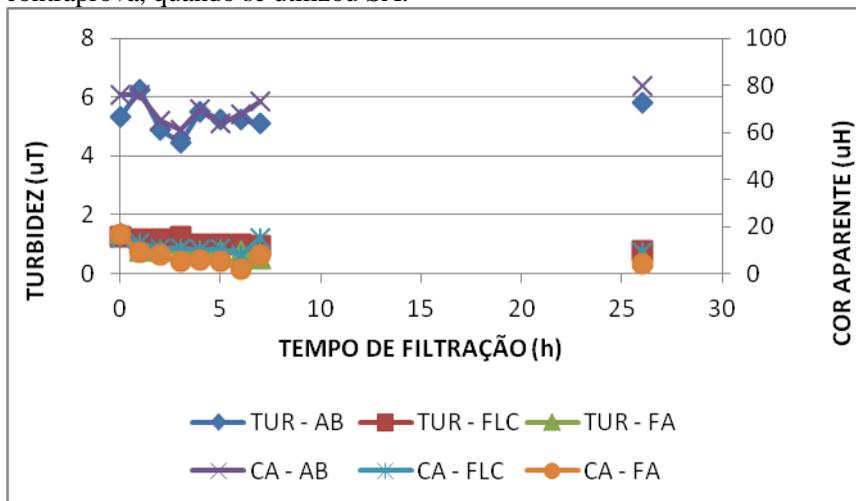
(g)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

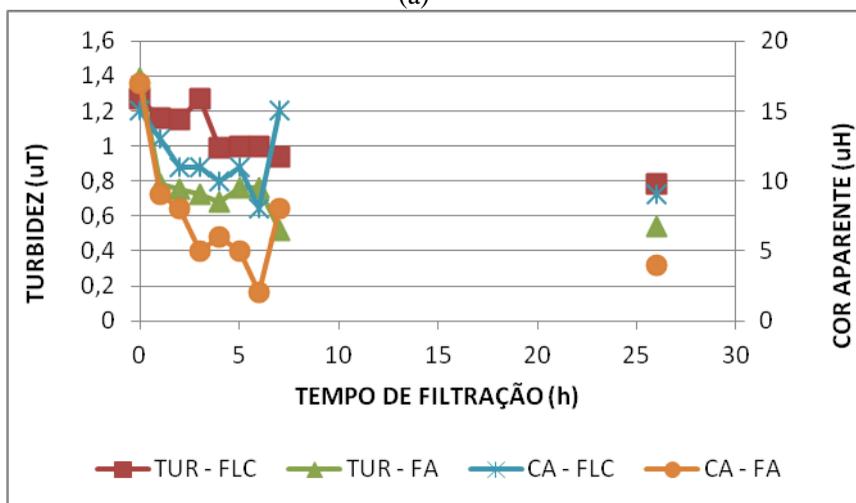
A partir dos resultados com soluções de PAC, percebeu-se uma baixa eficiência do filtro de lavagem contínua e um aumento de apenas 24 h na carreira de filtração quando se compara ao Branco. Esses resultados vão de encontro aos apresentados pelo fornecedor do filtro de lavagem contínua.

Por esse motivo, decidiu-se fazer uma “contraprova”: substituir o PAC, a 3%, por Sulfato de Alumínio (SA) – dosagem de coagulante de 20 mg.L⁻¹ e pH de coagulação de 5,75. Fez-se uma avaliação do comportamento do SA, no Tratamento 1, por 26 horas; os resultados encontram-se na Figura 4.7 e no Apêndice B.

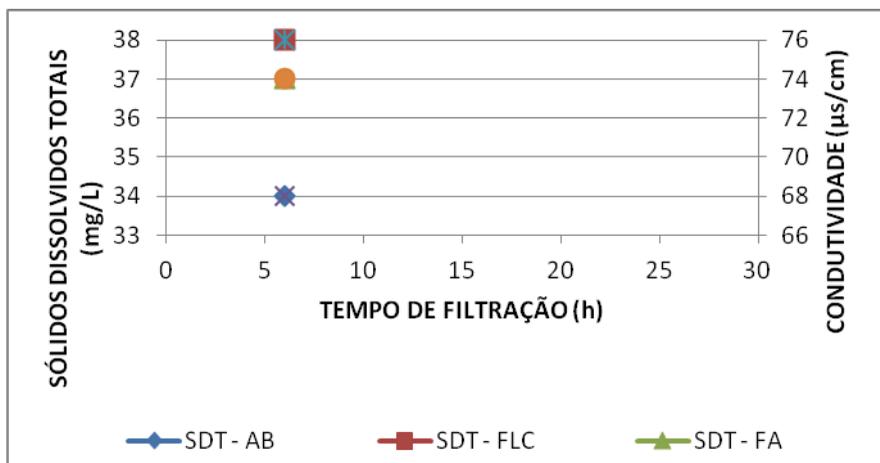
Figura 4.7 – Comportamento dos parâmetros de controle, na contraprova, quando se utilizou SA.



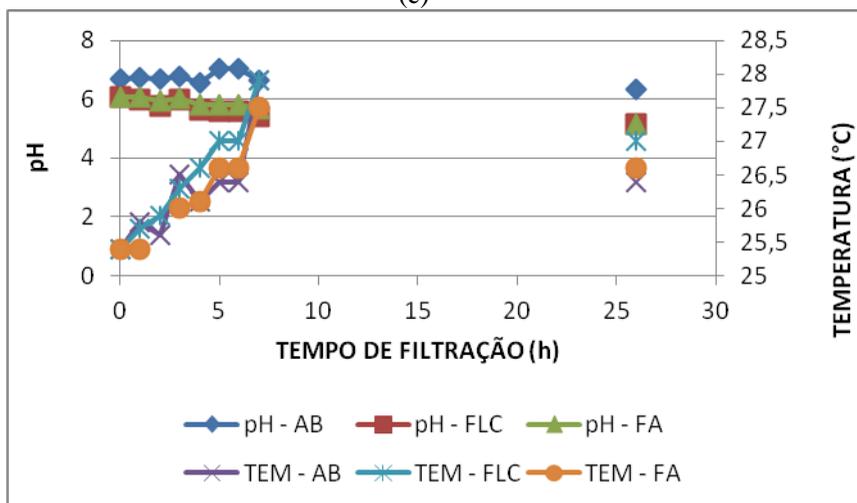
(a)



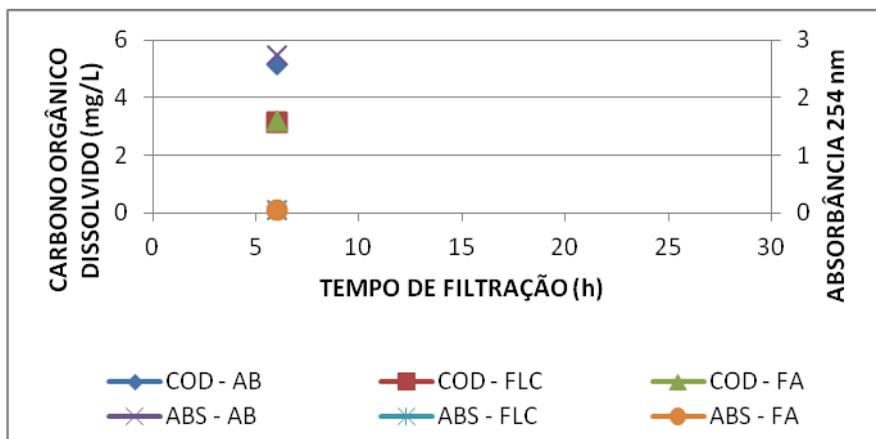
(b)



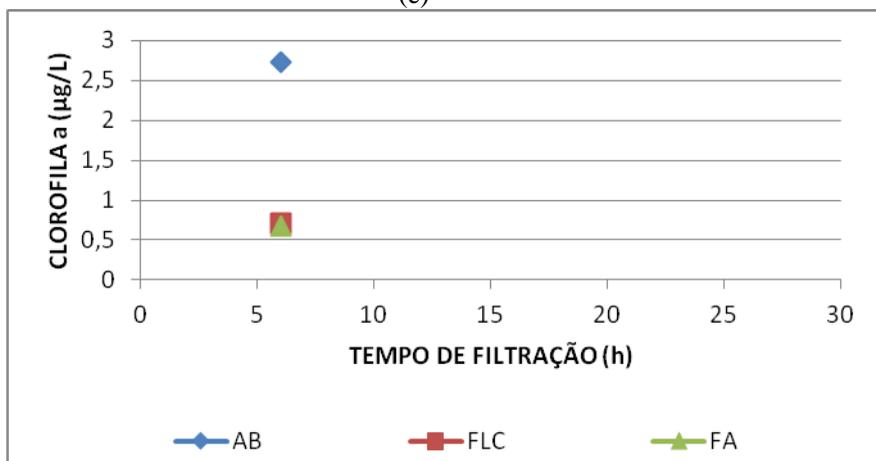
(c)



(d)



(e)



(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Estudos realizados por Dalsasso e Sens (2006), comparando o hidroxiclreto de alumínio e sulfato de alumínio na pré-floculação, mostraram que o PAC forneceu melhores resultados, quando comparado ao sulfato de alumínio em termos de aumento na duração das carreiras de filtração em filtro descendente. Contudo, segundo Di Bernardo (2003), na filtração direta ascendente, a duração das carreiras com a

utilização do PAC foi ligeiramente menor que aquelas com sulfato de alumínio.

Quando se utiliza o PAC como coagulante no filtro de lavagem contínua e em água bruta de qualidade mediana, caso da água da Lagoa do Peri, esse coagulante produz flocos muito leves e fáceis de quebrar, prejudicando a operação do filtro (ASTRASAND DO BRASIL, 2008).

Caso houvesse a obrigatoriedade de utilizar PAC, seria necessário um floculador de 10 minutos de tempo de retenção e a necessidade de modificar o lavador do filtro de lavagem contínua. Como essa obrigatoriedade não existe e de posse dos resultados, decidiu-se trabalhar apenas com o sulfato de alumínio como coagulante.

4.4.3 Tratamento 1 – Primeiro Ensaio

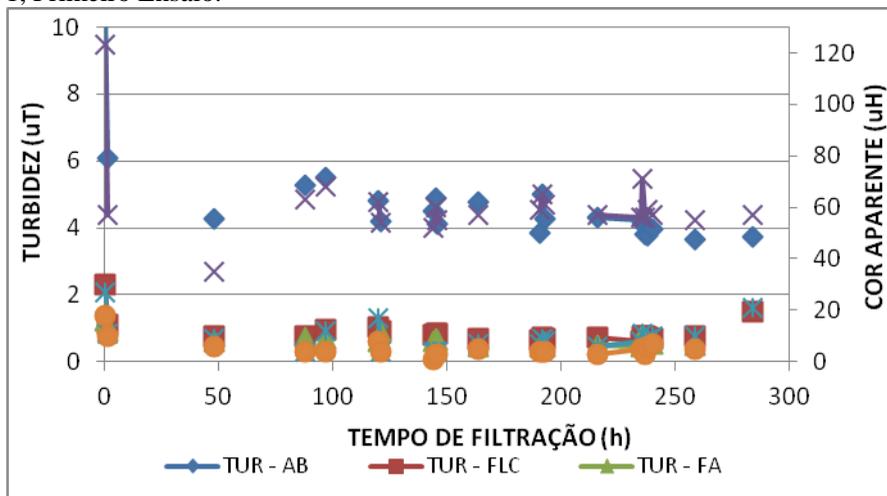
Após decidir trabalhar com o sulfato de alumínio como coagulante (dosagem de coagulante de 20 mg.L^{-1} e pH de coagulação de 5,75 na água bruta), iniciou-se os ensaios contínuos. Sendo que no Tratamento 1, o sistema recebeu coagulante apenas na entrada do filtro de lavagem contínua. Este tratamento iniciou-se dia 25 de março e findou dia 05 de abril de 2009, sendo um total de 259 h de operação do sistema.

a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

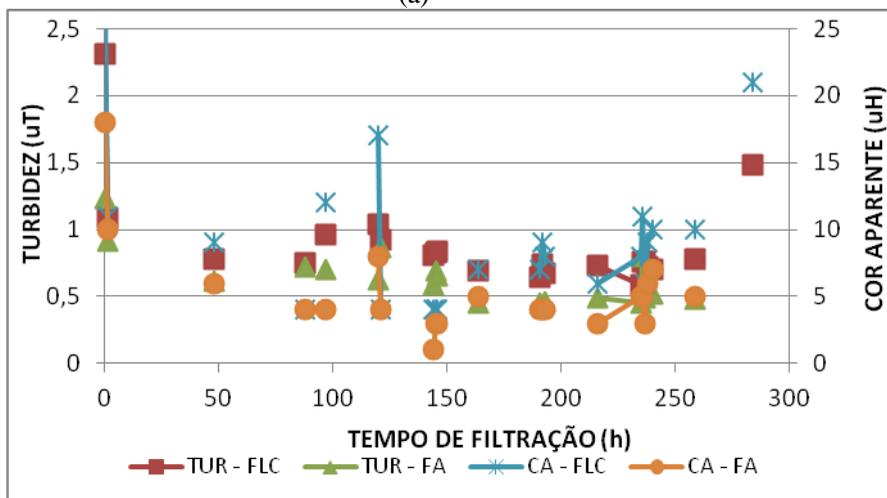
Pelas amostras de água bruta, percebe-se que a espécie dominante é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com dominância superior a 92%, seguida pelas Clorófitas (3,6%), *Limnithrix planctonica* (2,2%) e *Planktolyngbya sp* (0,3%).

A Figura 4.8 mostra o comportamento do sistema durante o Tratamento 1.

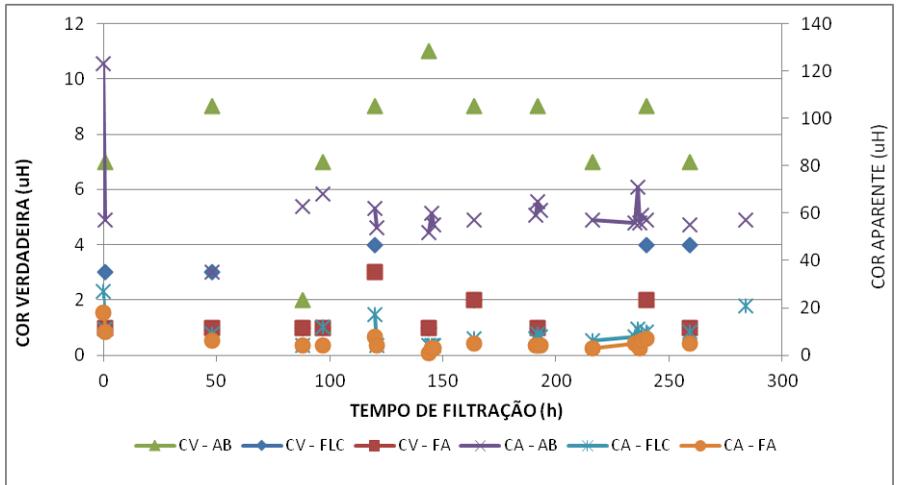
Figura 4.8 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 1, Primeiro Ensaio.



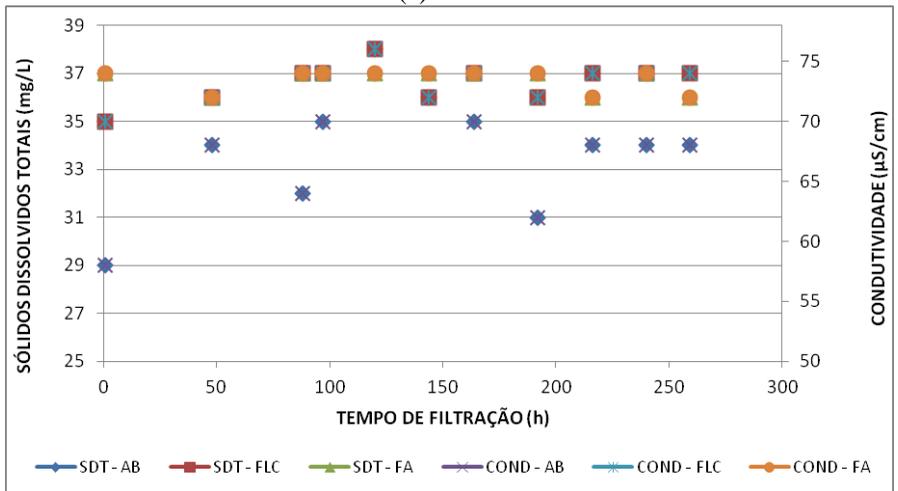
(a)



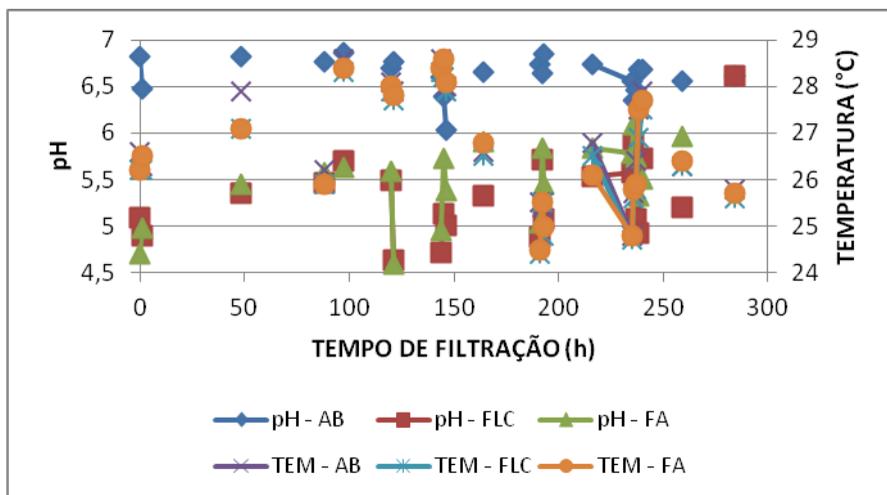
(b)



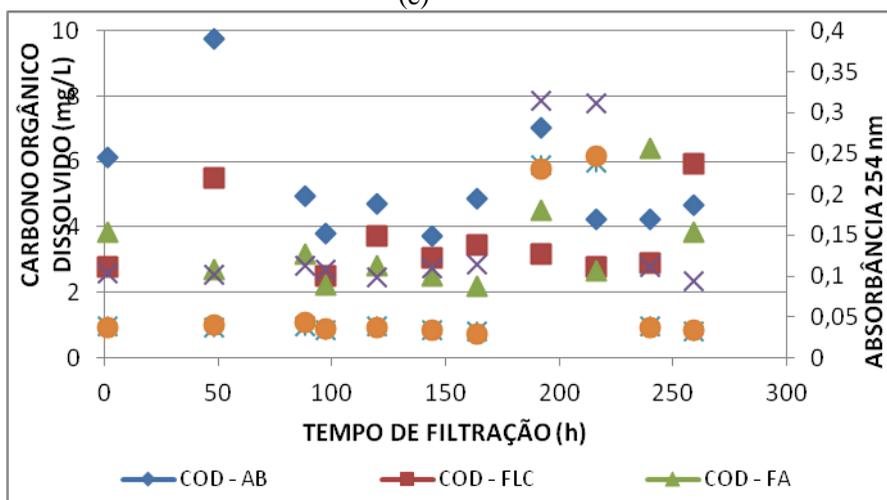
(c)



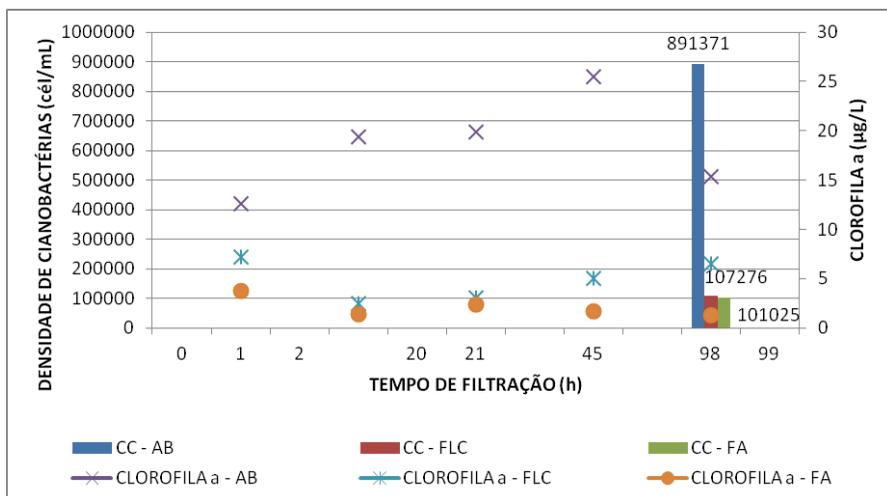
(d)



(e)



(f)



(g)

CC: Densidade de Cianobactérias. COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Durante este tratamento, como pode ser constatado pela Figura 4.8 (a), (b), os valores de turbidez do filtro de lavagem contínua estiveram abaixo de 1,5 uT e os valores de cor aparente abaixo de 25 uH; sendo a média desses valores de 9,5 uH. No filtro ascendente, os valores de turbidez e cor aparente também foram baixos, sendo os valores máximos registrados 1,0 uT e 15 uH para turbidez e cor aparente, respectivamente, sendo o valor médio de cor aparente de 5,5 uH. A remoção final do sistema de tratamento foi em torno de 91% para cor aparente, remoção semelhante à citada por Mondardo (2009) e superior a citada por Sens *et al.* (2006) e Brandão *et al.* (2009); e de 86% para turbidez, remoção superior a citada por Sens *et al.* (2006).

Pela Figura 4.8 (c) percebe-se diferença significativa entre os valores de cor aparente e cor verdadeira, tal fato se dá pois ainda ocorre um transpasse de células de cianobactérias, as quais ficam retidas na membrana analítica 0,45 µm.

Devido ao fato das análises de condutividade e sólidos dissolvidos totais terem sido medidos pelo condutímetro, eles estão relacionados na proporção de 2:1; sendo assim, os valores aumentam ou

diminuem na mesma proporção. Semelhante ao reportado por Melo Filho (2006) e Mondardo (2009) e ratificado pela Figura 4.8 (d), os valores de condutividade e sólidos dissolvidos totais são menores na água bruta que no efluente tanto do filtro de lavagem contínua quanto do filtro ascendente; tal situação ocorre provavelmente devido ao coagulante, que acaba por aumentar a concentração de sólidos dissolvidos totais e conseqüentemente a condutividade da água.

O SA é um coagulante que altera o pH da água; logo, é normal a água se tornar mais ácida a medida que recebe o coagulante, como pode ser observado na Figura 4.8 (e).

A remoção média no sistema neste tratamento (Figura 4.8 f) para absorvância 254 nm foi de 50% e 63% de COD. A remoção de absorvância 254 nm ocorreu tanto no filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente; o mesmo ocorrendo com o parâmetro carbono orgânico dissolvido, exceto nas duas últimas horas de operação do filtro.

Também nesse tratamento, percebeu-se uma diminuição considerável nos valores de clorofila *a*, superior a 91%, sendo 76% no filtro de lavagem contínua e destes mais 64% após a filtração ascendente. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de 3,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente (Figura 4.8 g).

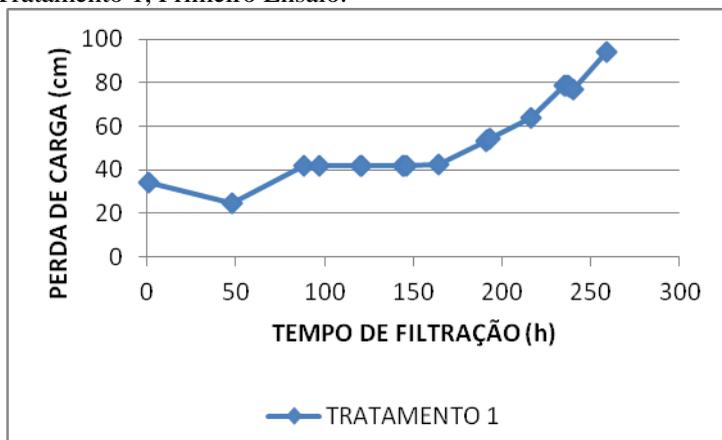
Em relação à densidade de cianobactérias, a remoção total foi superior a 88% no sistema de dupla filtração (Figura 4.8 g). Essa remoção é inferior à citada por Mondardo (2009) e por Brandão *et al.* (2009) quando se utiliza a FDD com a mesma água, precedido ou não de filtração em margem e à citada por Melo Filho (2006) quando trata a água da Lagoa do Peri utilizando filtração direta descendente com pré oxidação. Os resultados demonstram que a maior redução na densidade de cianobactérias ocorreu no filtro de lavagem contínua – redução superior a 87% e uma redução de mais 5% no segundo filtro, perfazendo um total de 88% no sistema de filtração; contudo, mesmo com a remoção elevada, a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de dupla filtração ainda é elevada – 101025 cel.mL^{-1} .

Nesta etapa dos experimentos, a densidade de células encontrada na água bruta foi de 891371 cel.mL^{-1} . Estudos de Laudares-Silva (1999), Mondardo (2004), Melo Filho (2006) e Mondardo (2009) confirmam a dominância da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* na água bruta da Lagoa do Peri.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.9 apresenta o resultado da perda de carga versus carreira de filtração no Tratamento 1 do Primeiro Ensaio.

Figura 4.9 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, Primeiro Ensaio.



No Tratamento 1 do Primeiro Ensaio a duração da carreira de filtração foi de 259 horas até atingir uma perda de carga de 94 cm, como pode ser visto na Figura 4.9.

4.4.4. Tratamento 2 – Primeiro Ensaio

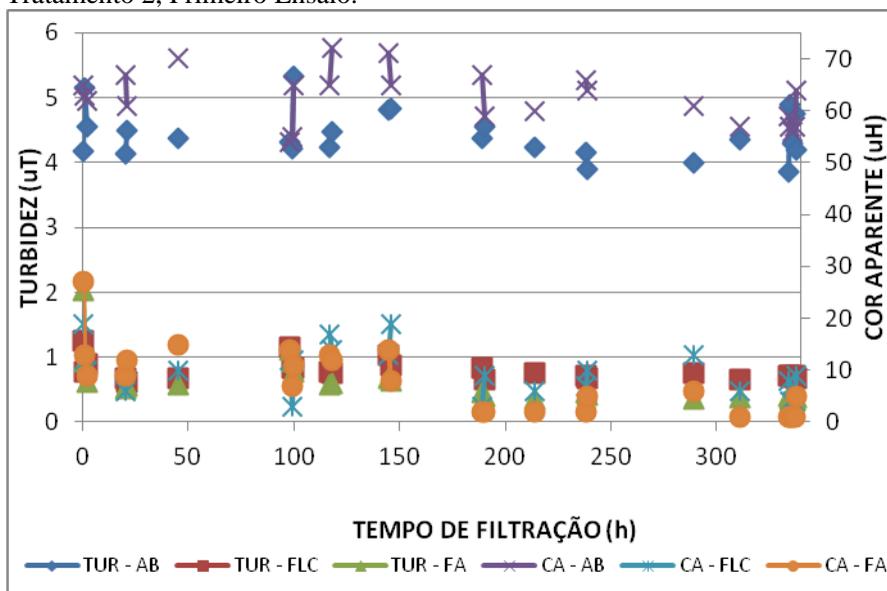
Dando continuidade ao trabalho, o Tratamento 2 da pesquisa foi iniciado no dia 20 de maio e findou dia 3 de junho de 2009, sendo um total de 337 h de operação do sistema. Nesse tratamento, adicionou-se 20 mg.L⁻¹ de SA na água bruta (pH de coagulação de 5,75) e 0,8 mg.L⁻¹ do mesmo coagulante (pH de coagulação de 5,37) na água afluyente ao filtro ascendente.

a) RESULTADO DE QUALIDADE DE ÁGUA

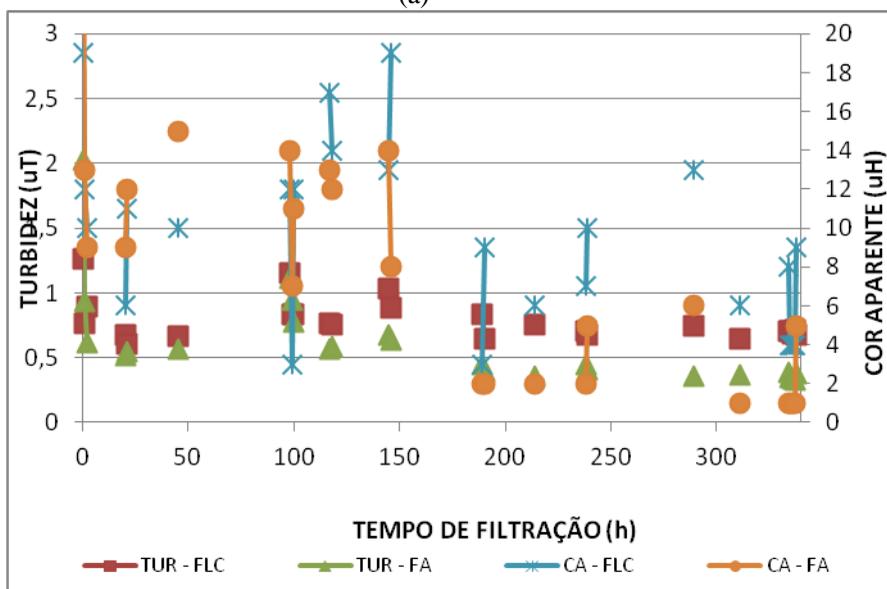
No Tratamento 2, a espécie dominante de cianobactérias na água bruta é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com dominância superior a 96%, seguida pelas espécies *Planktolyngbya sp* e *Limnothrix planctonica*, com densidade inferior a 1%.

A Figura 4.10 apresenta os resultados desse tratamento.

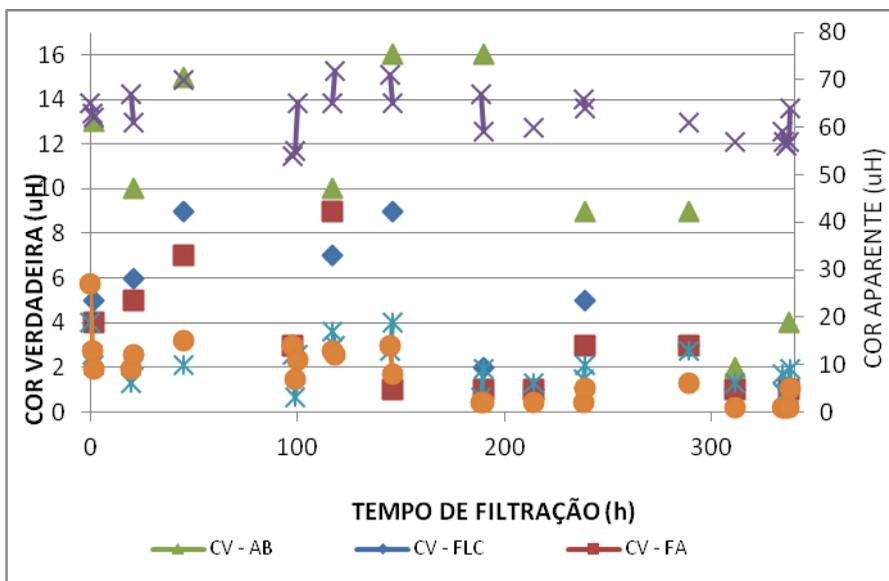
Figura 4.10 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 2, Primeiro Ensaio.



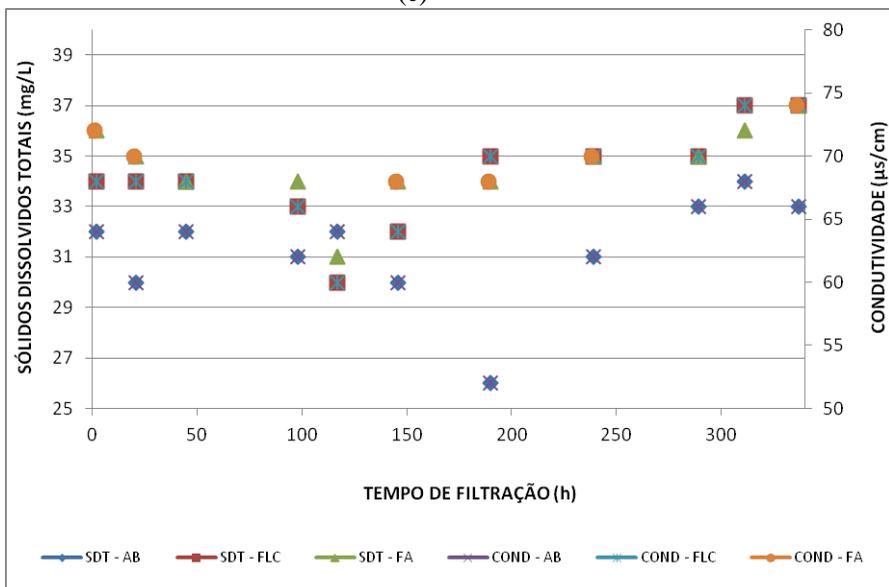
(a)



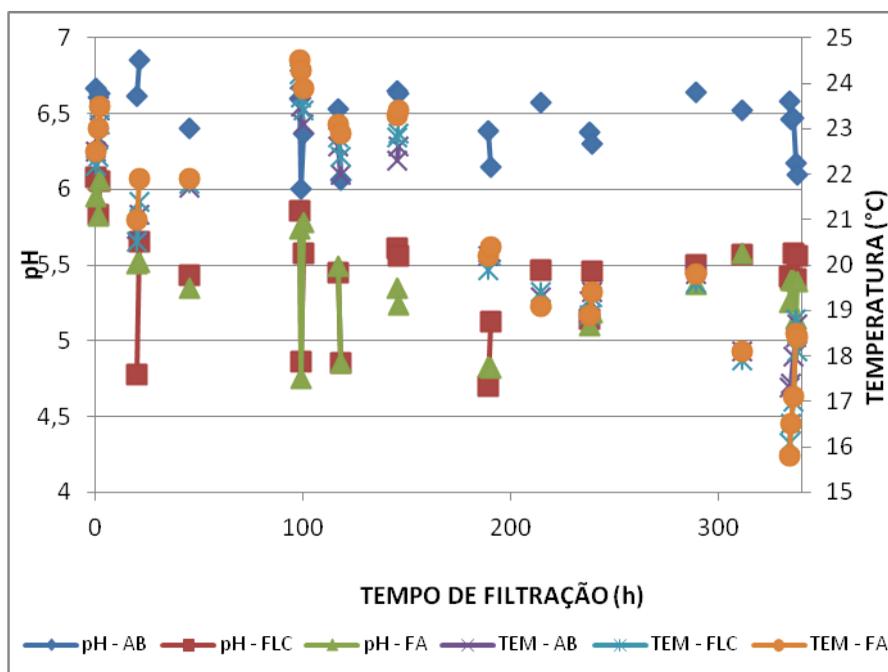
(b)



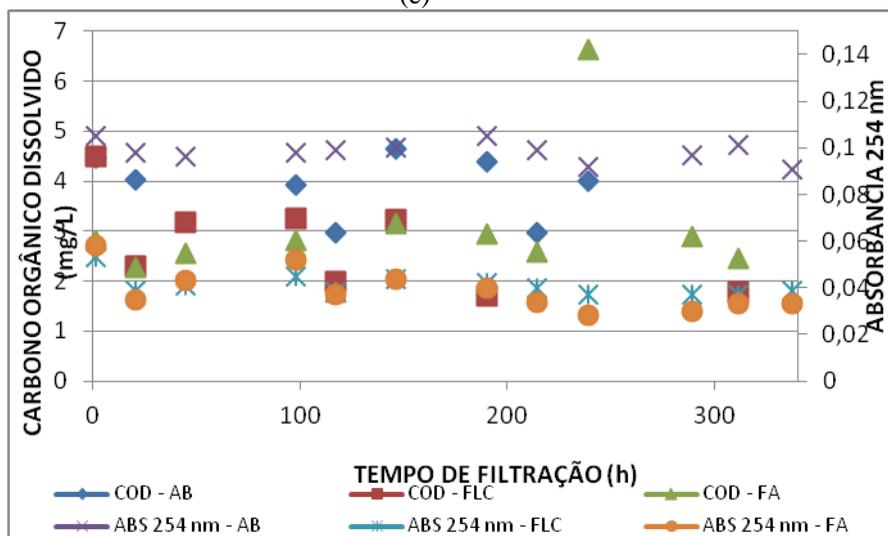
(c)



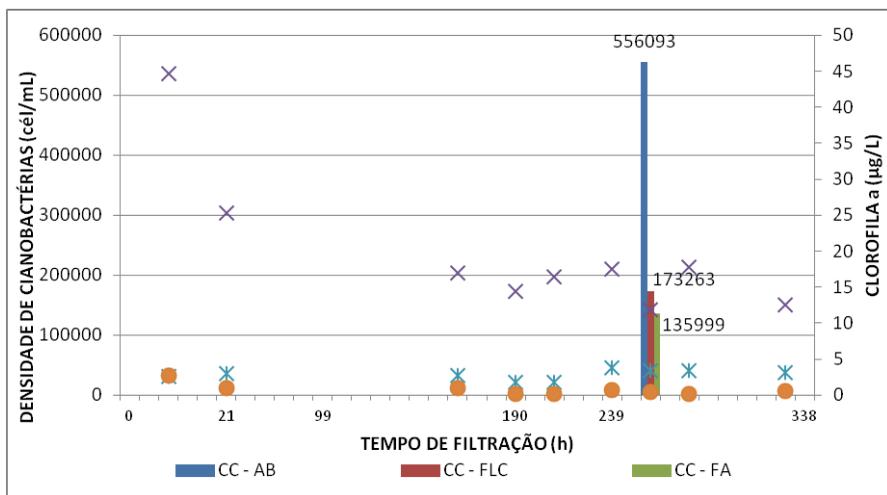
(d)



(e)



(f)



(g)

CC: Densidade de Cianobactérias. COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.8 a, b), no Tratamento 2 (Figura 4.10 a, b) os valores de turbidez do filtro de lavagem contínua estiveram abaixo de 1,0 uT e os valores de cor aparente abaixo de 20 uH, sendo a média dos valores de cor aparente de 9,7 uH. No filtro ascendente, os valores de turbidez e cor aparente também foram baixos, sendo os valores máximos registrados 1,0 uT; 15 uH e 7,8 uH para turbidez, cor aparente e valor médio de cor aparente, respectivamente. A remoção final do sistema de filtração foi de 86% e 87% para turbidez e cor aparente, respectivamente; valores superiores aos citados por Sens *et al.* (2006).

Da mesma forma que no Tratamento 1 (Figura 4.8 c), neste tratamento (Figura 4.10 c), observa-se transpasso de células de cianobactérias, o que implicou na diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira.

Os valores de condutividade e sólidos dissolvidos totais neste tratamento (Figura 4.10 d) também foram semelhantes ao do Tratamento 1 (Figura 4.8 d).

Semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.8 f), neste tratamento (Figura 4.10 f) percebe-se uma diminuição nos valores de absorvância 254 nm tanto no filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente; sendo a remoção média do sistema de tratamento de 60%. Os valores de carbono orgânico dissolvido também diminuíram, remoção média de 30% no sistema de tratamento, exceto por volta da hora 250 no filtro ascendente, em que se percebeu uma elevação na concentração do filtro ascendente.

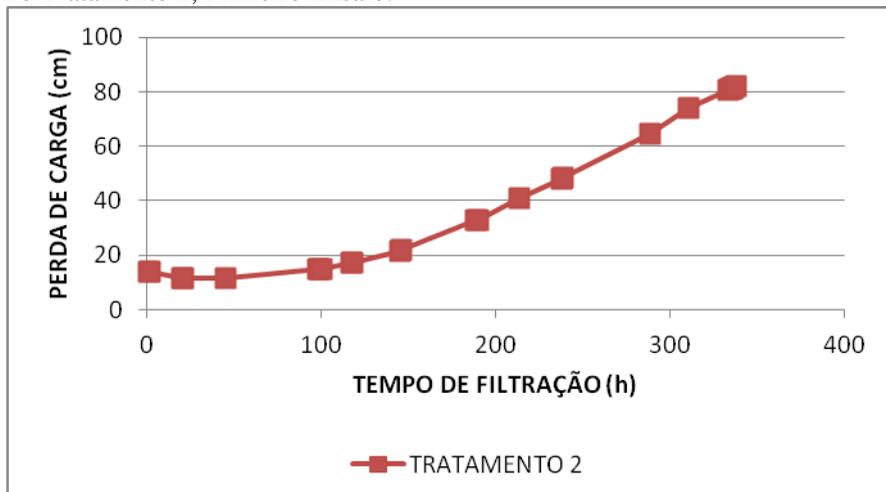
Neste tratamento (Figura 4.10 g) houve uma diminuição considerável nos valores de clorofila *a*, remoção superior a 96%; sendo 85% no filtro de lavagem contínua e destes mais 75% após a filtração ascendente. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de 2,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

Em relação à remoção de cianobactérias, no filtro de lavagem contínua a remoção foi de 68% e de 21% no filtro ascendente, perfazendo um total de 75% no efluente final do sistema. No Tratamento 2 (Figura 4.10 g) a densidade de cianobactérias remanescente foi elevada e superior a encontrada no Tratamento 1, 135999 cel.mL^{-1} .

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.11 apresenta o resultado da perda de carga versus carreira de filtração no Tratamento 2 do Primeiro Ensaio.

Figura 4.11 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, Primeiro Ensaio.



No Tratamento 2 do Primeiro Ensaio o tempo de filtração foi de 337 h para uma perda de carga de 82 cm (Figura 4.11). O tempo de filtração nesse tratamento foi superior ao tempo de filtração do Tratamento 1 (Figura 4.9).

4.4.5 Tratamento 3 – Primeiro Ensaio

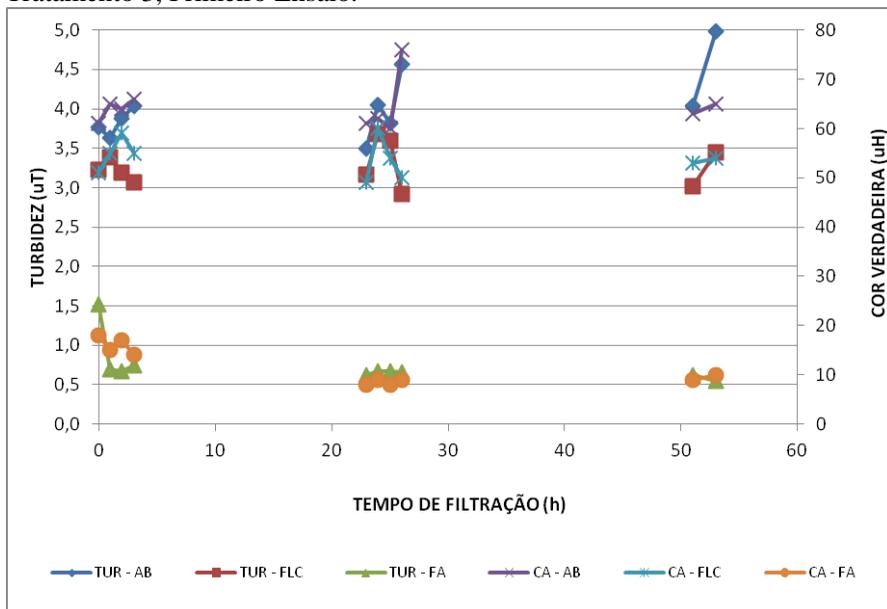
O Tratamento 3 da pesquisa foi iniciado no dia 4 de maio e findou dia 6 de maio de 2009, sendo um total de 53 h de operação do sistema, dando continuidade à pesquisa. Nesse tratamento, adicionou-se coagulante apenas na água que entra no filtro ascendente, 20 mg.L⁻¹ e pH de coagulação de 5,75.

a) RESULTADO DE QUALIDADE DE ÁGUA

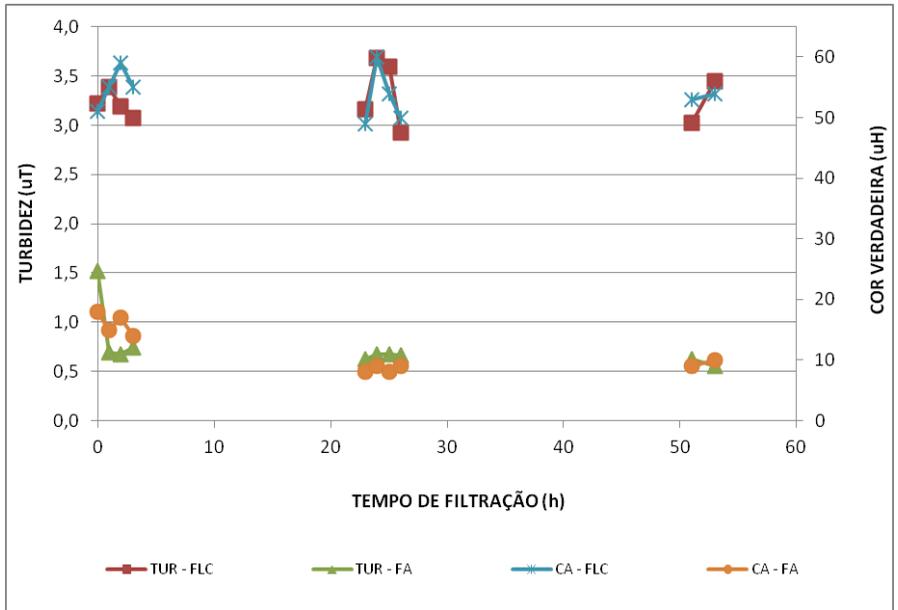
No Tratamento 3, a espécie dominante de cianobactérias na água bruta é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com dominância superior a 96%, seguida pelas *Limnothrix planctonica* (1,1%), Clorófitas (0,9%), e *Planktolyngbya sp* (0,4%).

A Figura 4.12 apresenta os resultados desse tratamento.

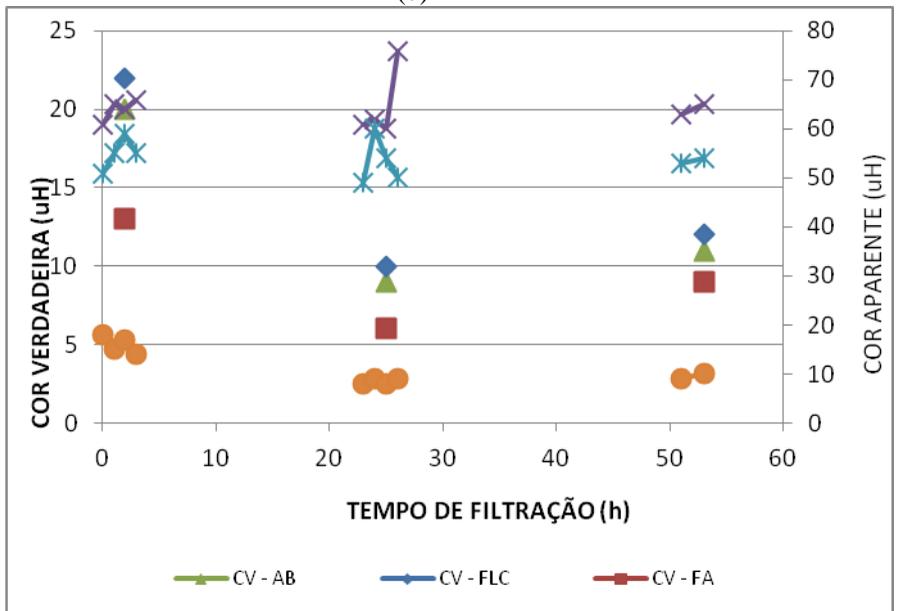
Figura 4.12 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 3, Primeiro Ensaio.



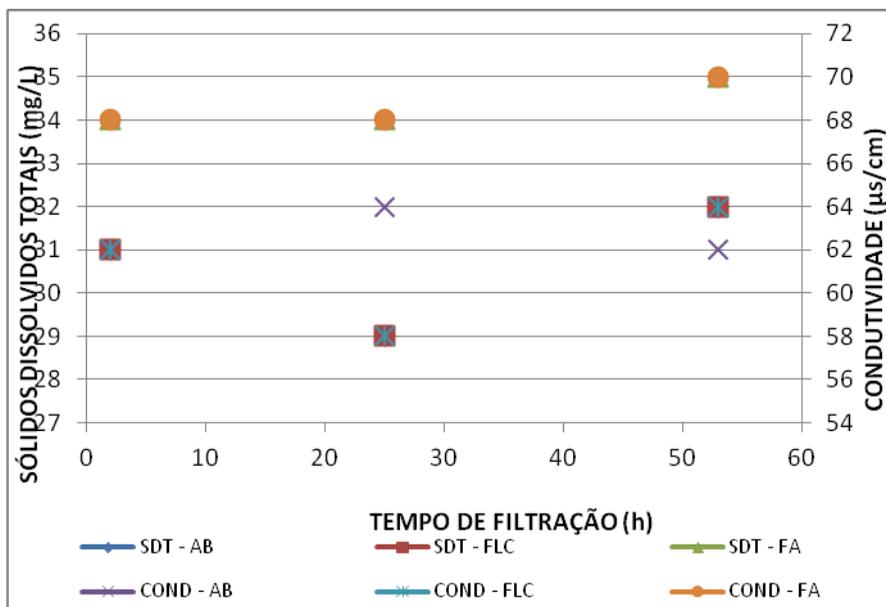
(a)



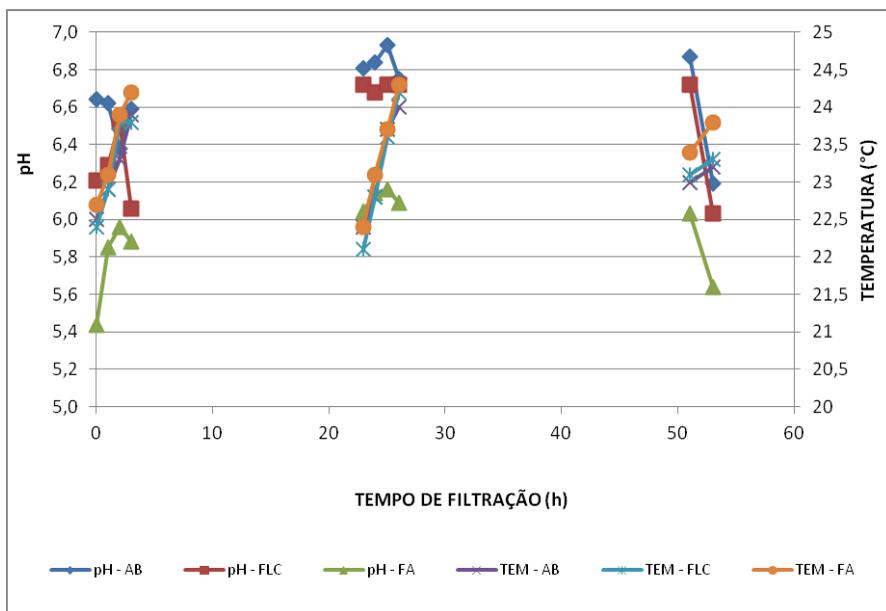
(b)



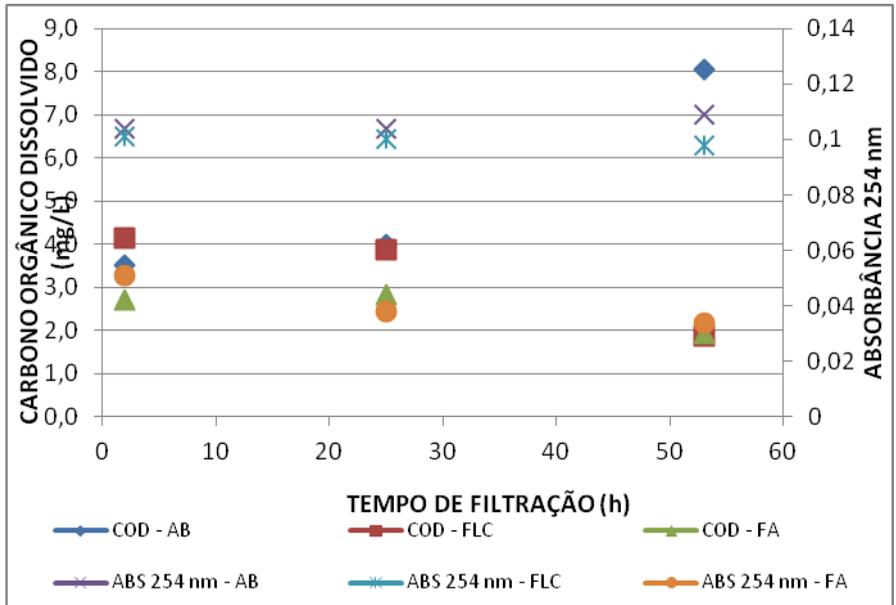
(c)



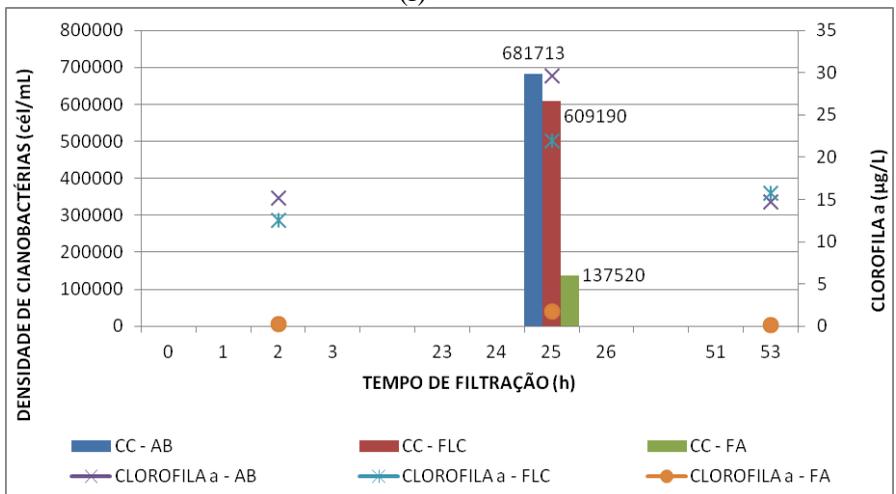
(d)



(e)



(f)



(g)

CC: Densidade de Cianobactérias. COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Durante este tratamento, os valores de turbidez do filtro de lavagem contínua estiveram abaixo de 4,0 uT, com média 3,3 uT, e os valores de cor aparente abaixo de 60 uH, sendo a média dos valores de 54 uH (Figura 4.12 a, b); vale ressaltar que este valor é superior ao valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde 518/04 (BRASIL, 2004) e superior ao encontrado nos Tratamento 1 (Figura 4.8**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a, b) e Tratamento 2 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a, b). No filtro ascendente, os valores de turbidez e cor aparente foram baixos, sendo os valores máximos registrados 1,0 uT, 15 uH e 11,7 uH para turbidez, cor aparente e valor médio de cor aparente, respectivamente (Figura 4.12 a, b). Apesar da baixa eficiência do filtro de lavagem contínua, a remoção final do sistema foi de 81% para turbidez e cor aparente.

No Tratamento 3 observa-se que os valores médios de cor aparente e verdadeira nos filtros são semelhantes (Figura 4.12**Erro! Fonte de referência não encontrada.** c), diferentemente do que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.8 c) e Tratamento 2 (Figura 4.10 c), em que se observou diferença significativa entre os valores finais de cor aparente e cor verdadeira dos efluentes do filtro de lavagem contínua e filtro ascendente.

Nota-se, pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (f), que os valores de condutividade e sólidos dissolvidos totais são menores na água bruta e no efluente do filtro de lavagem contínua quando se compara ao efluente do filtro ascendente; tal situação ocorre devido ao coagulante, que acaba por aumentar a concentração de sólidos dissolvidos totais e conseqüentemente a condutividade da água. Ao comparar as Figura 4.8**Erro! Fonte de referência não encontrada.** (d), Figura 4.10 (d) e Figura 4.12 (d) percebe-se que, quando se adiciona SA tanto no filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente, os valores de sólidos dissolvidos totais aumentam consideravelmente – Figura 4.10 (d); mas quando a coagulação ocorre apenas na entrada do filtro ascendente (Figura 4.12 d), a concentração de sólidos dissolvidos totais no filtro de lavagem contínua é, na maioria das vezes, semelhante à concentração de sólidos dissolvidos totais da água bruta.

A remoção média no Tratamento 3 para absorvância 254 nm foi de 63% e de 52% para carbono orgânico dissolvido.

Diferentemente do que se percebeu no Tratamento 1 (Figura 4.8 g) e Tratamento 2 (Figura 4.10 g), no Tratamento 3 (Figura 4.12 g) a diminuição da clorofila *a* só foi considerável no filtro ascendente, remoção superior a 96% no sistema de filtração; sendo 15% no filtro de lavagem contínua e destes mais 95% após a filtração ascendente. A

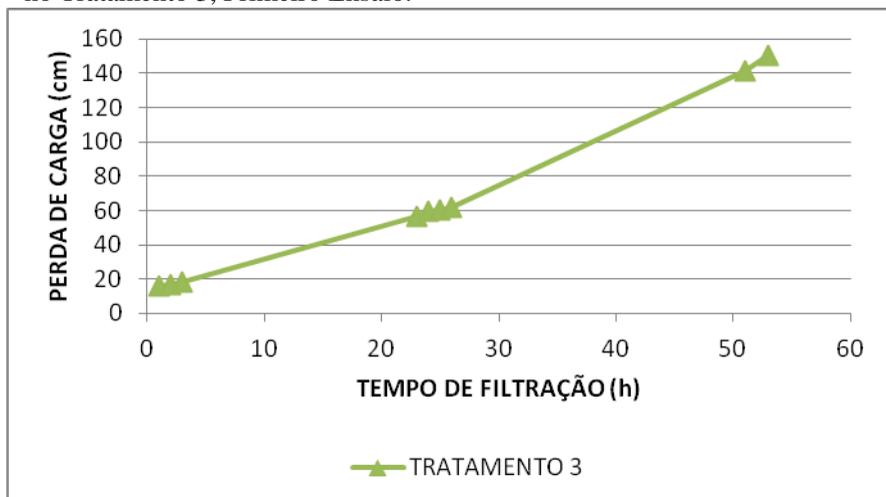
concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de $1,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

Neste tratamento (Figura 4.12 g) a remoção da densidade de cianobactérias no final do sistema foi superior a 77%; sendo que no filtro de lavagem contínua essa remoção foi inferior a 7%. Semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** g) e Tratamento 2 (Figura 4.10 g), a densidade de cianobactérias remanescente no Tratamento 3 foi elevada (Figura 4.12 g) – $137520 \text{ cel.mL}^{-1}$.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.13**Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 3 do Primeiro Ensaio.

Figura 4.13 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 3, Primeiro Ensaio.

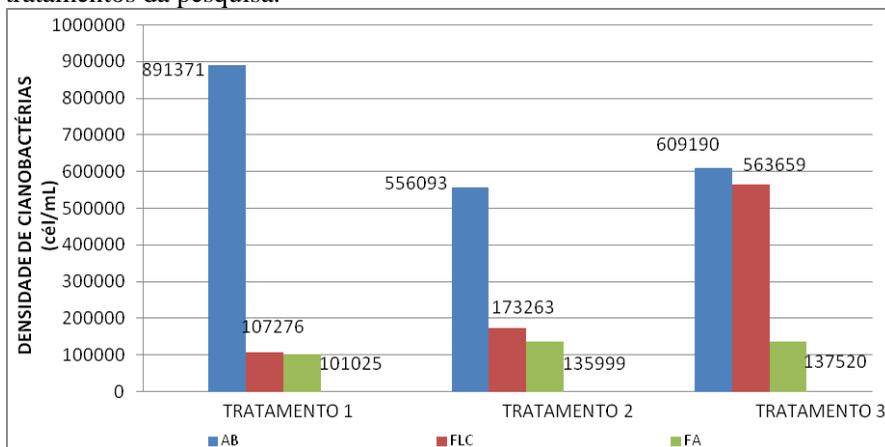


Diferente do que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.9**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e Tratamento 2 (Figura 4.11), no Tratamento 3 do Primeiro Ensaio (Figura 4.13) o tempo de carreira foi de 53 horas para uma perda de carga de 150 cm.

4.4.6 Comparação entre os Três Sistemas de Tratamento

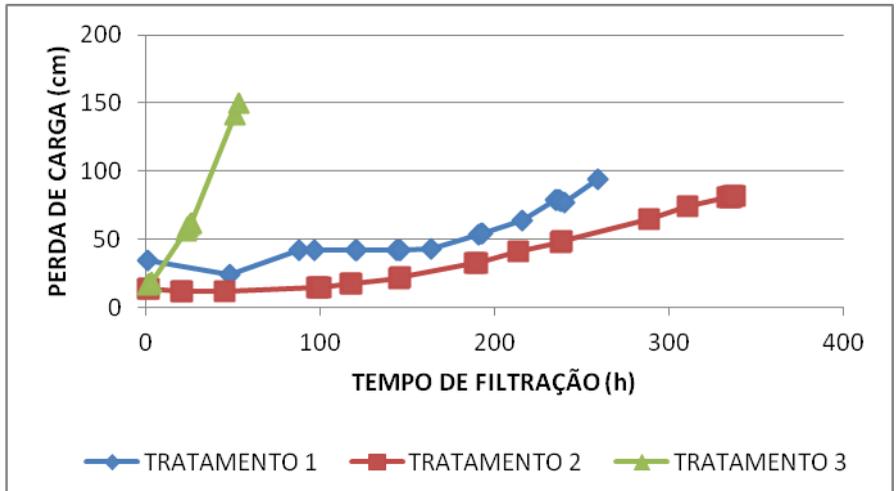
Na Figura 4.14 tem-se uma comparação entre a contagem de cianobactérias nos três tratamentos da pesquisa. Enquanto que na Figura 4.15 tem-se o comportamento da perda de carga no decorrer da pesquisa.

Figura 4.14 – Comparação da densidade de cianobactérias nos três tratamentos da pesquisa.



Pela Figura 4.14 conclui-se que a maior remoção de cianobactérias no efluente final foi no Tratamento 1 (88%), seguido pelo Tratamento 3 (77%) e Tratamento 2 (75%).

Figura 4.15 – Comportamento da perda de carga no decorrer da pesquisa, Primeiro Ensaio.



Na Figura 4.15 observa-se que, quando se adiciona coagulante na entrada do filtro ascendente de lavagem contínua, as carreiras de filtração se tornam mais longas e a qualidade da água final é equivalente. A maior carreira de filtração foi no Tratamento 2, com tempo de 338 h, contra 259 h do Tratamento 1 e 53h no Tratamento 3.

Estudos anteriores tratando água do mesmo manancial com um sistema de filtração direta descendente, a carreira de filtração teve uma duração de apenas 7 h; com filtro ascendente, obteve-se uma duração de 15 h (DI BERNARDO *et al.*, 2006) e na operação do Branco desta pesquisa, a duração da carreira de filtração foi de 20 h. Melo Filho (2006) reporta que a pré-ozonização prolongou o tempo das carreiras de filtração em até 52%; contudo a carreira de filtração nesse caso foi bem inferior quando comparado à utilização de filtro de lavagem contínua.

A Tabela 4.2 apresenta valores de qualidade e remoção nos três tratamentos, bem como o tempo de filtração de cada tratamento no primeiro ensaio.

Tabela 4.2 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos.

	TRATAMENTO 1						TRATAMENTO 2					
	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)
Turbidez (uT)	4,7	0,89	81	0,63	29	86	4,43	0,79	82	0,60	24	86
Cor aparente (uH)	60,9	9,45	84	5,33	43	91	62,5	9,64	84	7,72	20	87
Cor verdadeira (uH)	8	2,90	63	1,40	51	82	9,00	4,33	51	3,25	24	63
COD (mg/L)	5,3	3,57	32	3,35	6	63	3,92	2,99	23	2,74	8	30
ABS 254 nm	0,14	0,073	47	0,07	4	50	0,10	0,041	59	0,04	2	60
pH	6,62	5,32	19	5,33	-	19	6,45	5,44	15	5,37	1	16
Condutividade (μ S/cm)	67,6	73,2	8	73,4	-	8	62,6	68,4	9	69,2	1	10
SDT (mg/L)	33,8	36,6	8	36,7	-	8	31,3	34,2	9	34,6	1	10
Clorofila <i>a</i> (μ g/L)	17,9	4,2	76	1,5	64	91	19,7	2,8	85	0,7	75	96
Cianobactérias ($\times 10^5$ cél/mL)	8,9	1,1	87	1	5	88	5,6	1,7	68	1,3	21	75
Carreira de filtração	259 h						338 h					

AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; RemFLC: Remoção no Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente; RemFA: Remoção no Filtro Ascendente; RemST: Remoção do Sistema de Tratamento.

Tabela 4.2 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos (Cont.).

	TRATAMENTO 3					
	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)
Turbidez (uT)	4,03	3,27	18	0,74	77	81
Cor aparente (uH)	64,3	54	16	11,7	78	81
Cor verdadeira (uH)	14,7	13,3	9	9,33	29	36
COD (mg/L)	5,19	3,29	36	2,49	24	52
ABS 254 nm	0,11	0,10	9	0,04	60	63
pH	6,66	6,47	2	5,92	8	11
Condutividade (µS/cm)	62,6	61,4	2	68,6	11	9
SDT (mg/L)	31,3	30,7	2	34,3	11	9
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	19,8	16,7	15	0,7	95	96
Cianobactérias (x10 ⁵ cél/mL)	6,1	5,6	7	1,4	75	77
Carreira de filtração	59 h					

AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; RemFLC: Remoção no Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente; RemFA: Remoção no Filtro Ascendente; RemST: Remoção do Sistema de Tratamento.

4.5 DETERMINAÇÃO DAS DOSES DE COAGULANTE ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – SEGUNDO ENSAIO

Os resultados obtidos nos ensaios de jarreste com água bruta e do filtro de lavagem contínua encontram-se no Apêndice B, na forma de tabelas.

4.5.1 Ensaio de Coagulação da Água Bruta para o Tratamento 1 – Segundo Ensaio

Escolheu-se trabalhar com a dose de $12,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de sulfato de alumínio, com um valor de pH de 5,69 por apresentar a melhor relação turbidez x cor aparente. As tabelas e gráficos referentes aos ensaios de jarreste encontram-se no Apêndice B.

4.5.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 e Tratamento 3 – Segundo Ensaio

Devido aos problemas com a bomba, que acabaram causando interrupção no abastecimento de água do sistema e, conseqüentemente, um mau funcionamento do filtro de lavagem contínua, a água da saída desse filtro não apresentou boa qualidade. Por esse motivo, decidiu-se trabalhar com a mesma dosagem de sulfato de alumínio do Tratamento 1, $12,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na água bruta e também na entrada do filtro ascendente.

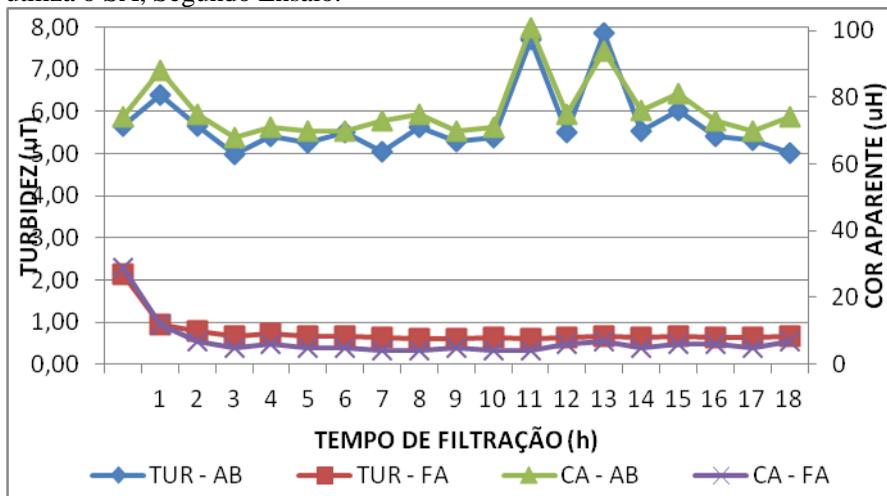
4.6 ENSAIOS EM FLUXO CONTÍNUO – SEGUNDO ENSAIO

Os tratamentos desse ensaio foram realizados durante o período de inverno/primavera, entre os meses de agosto e dezembro de 2009.

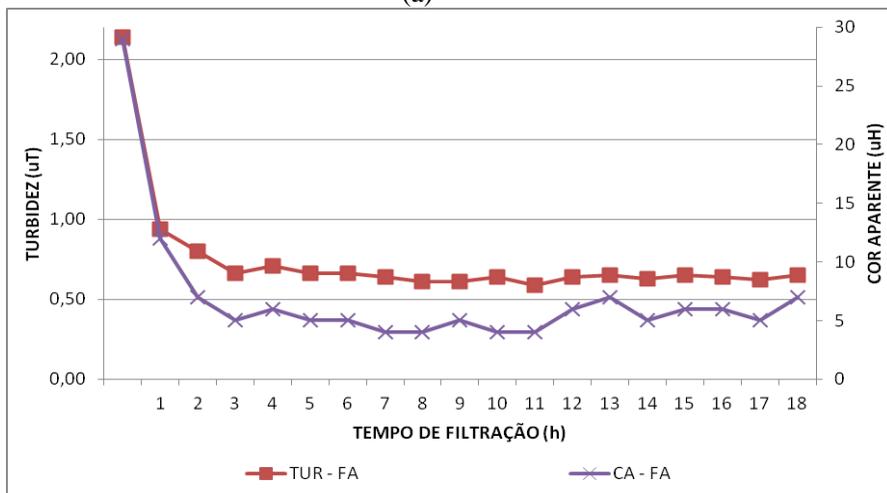
4.6.1 Tratamento por Filtração Direta Ascendente (sem Filtro de Lavagem Contínua) – Segundo Ensaio

A Figura 4.16 apresenta os gráficos, quando utilizado o SA (dosagem de 12 mg.L^{-1} e pH de coagulação de 5,69), no inverno, para os parâmetros analisados no filtro ascendente. Os resultados obtidos nessa situação, encontram-se no Apêndice B.

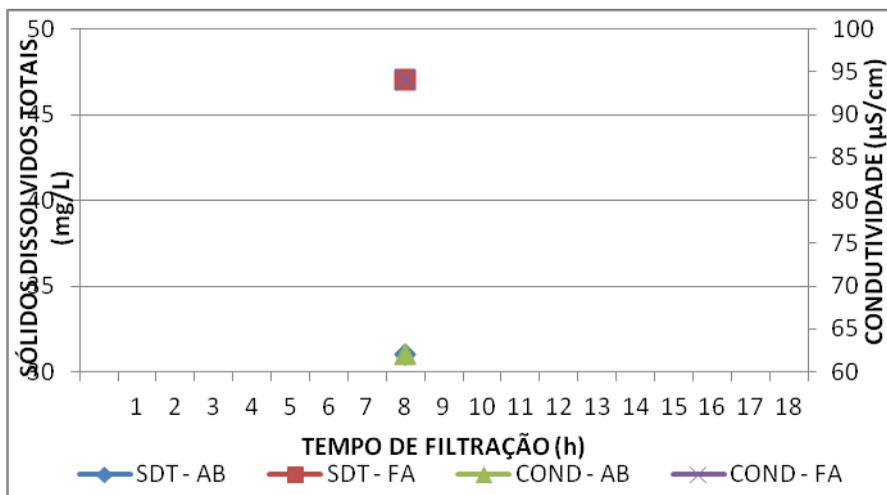
Figura 4.16 – Comportamento dos parâmetros de controle, quando se utiliza o SA, Segundo Ensaio.



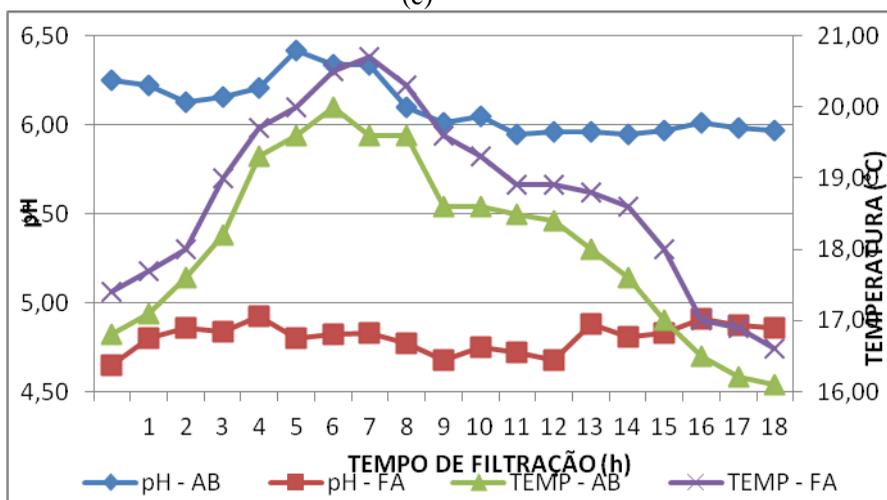
(a)



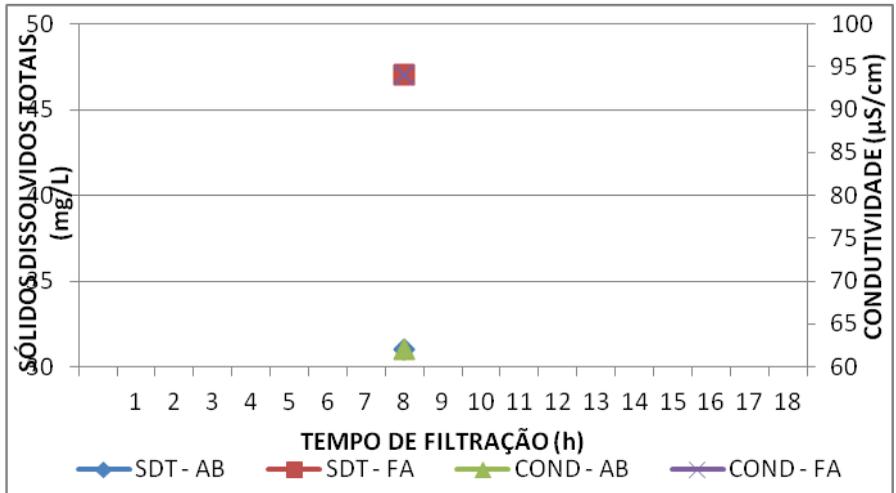
(b)



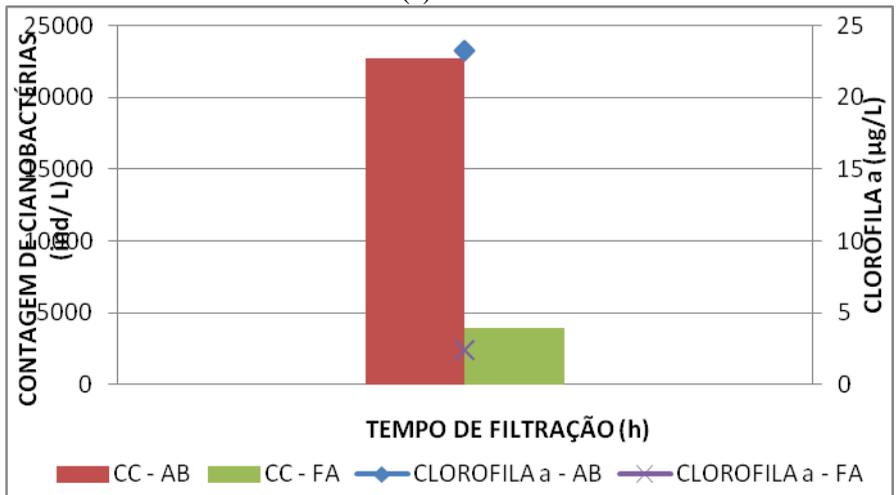
(c)



(d)



(e)



(f)

CC: Densidade de Cianobactérias. COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FA: Filtro Ascendente.

Neste segundo ensaio foram observados uma série de problemas. Primeiro, devido ao mau funcionamento do compressor de ar, o que acabou por prejudicar as carreiras de filtração. O segundo problema

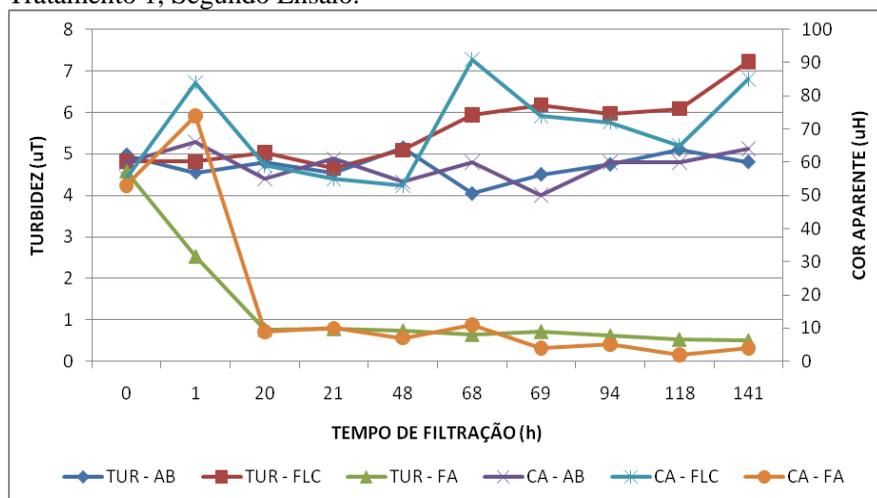
observado foi a bomba de alimentação do filtro de lavagem contínua que apresentou problemas e precisou ser substituída. Sendo assim, os resultados apresentados neste ensaio não foram satisfatórios, inclusive não foi realizada análise de cianobactérias e saxitoxinas neste ensaio.

4.6.2 Tratamento 1 – Segundo Ensaio

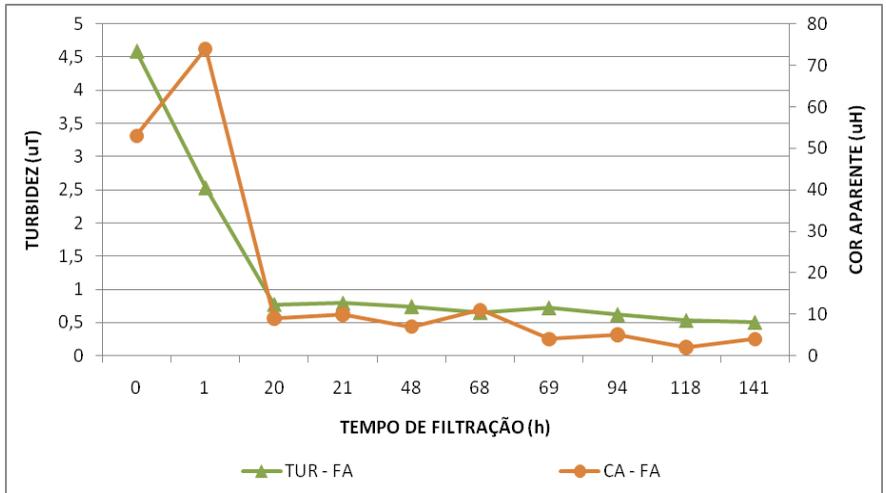
Iniciaram-se os ensaios contínuos dia 10 de novembro de 2009 e findou dia 16 do mesmo mês e ano, sendo um total de 141 horas de operação do sistema, sendo que no Tratamento 1, o sistema recebeu coagulante apenas na entrada do filtro de lavagem contínua (dosagem de 12 mg.L^{-1} de SA e pH de coagulação 5,69).

A Figura 4.17 mostra o comportamento do sistema durante o Tratamento 1.

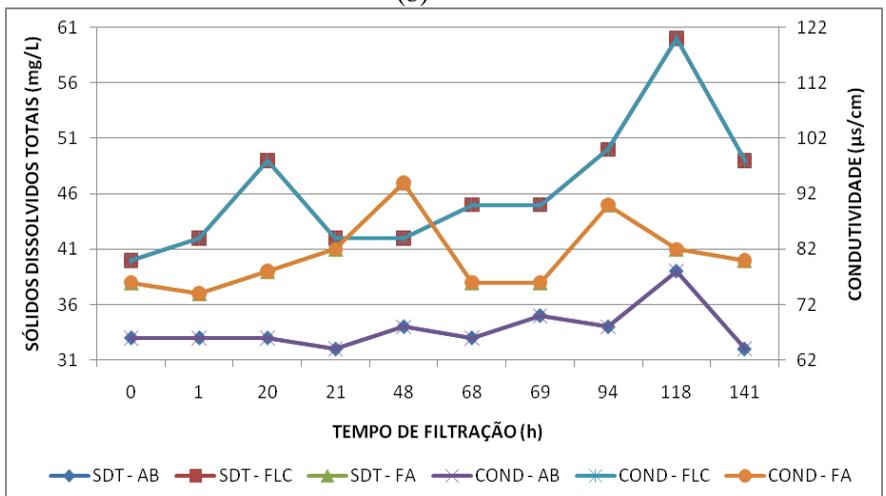
Figura 4.17 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 1, Segundo Ensaio.



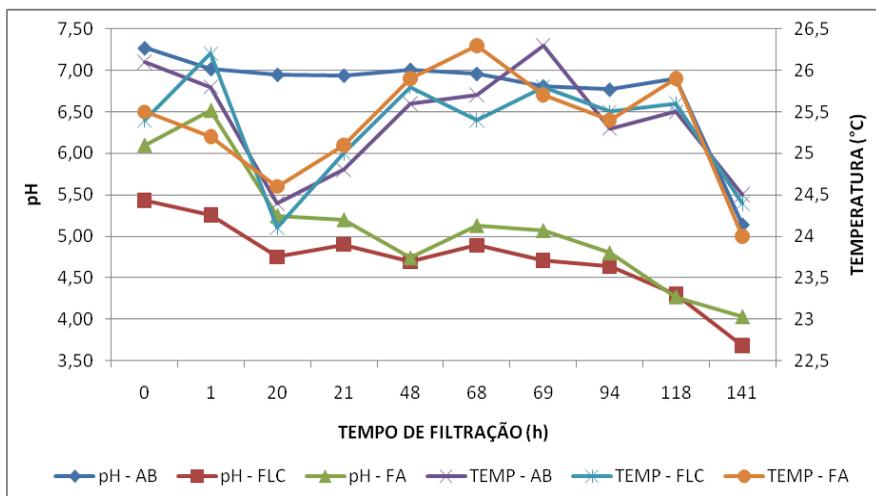
(a)



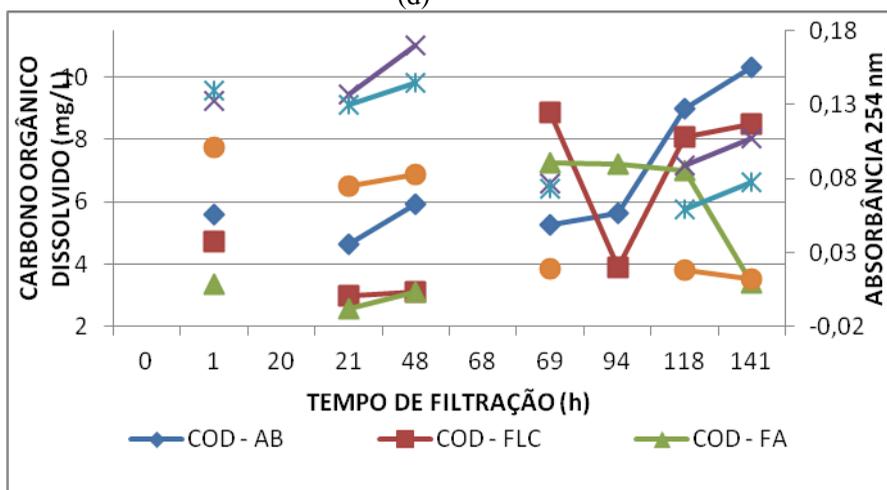
(b)



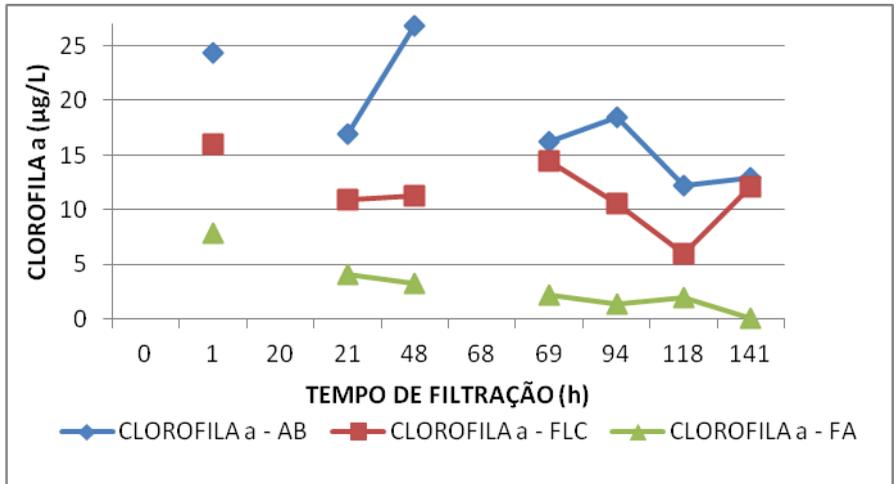
(c)



(d)



(e)



(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Os valores médios de turbidez e cor aparente observados neste ensaio, no efluente final do sistema de filtração no Tratamento 1 (Figura 4.17 a, b), foram de 1,24 uT e 17,9 uH, respectivamente. O motivo desses altos valores médios é devido ao início de operação do filtro, nas primeiras duas horas, esses valores foram elevados; contudo, após esse período, os valores médios foram de 0,66 uT e 6,5 uH para turbidez e cor aparente, respectivamente.

Pela Figura 4.17 (e), percebe-se uma inconstância nos valores de carbono orgânico dissolvido e absorvância 254 nm no efluente do filtro de lavagem contínua; enquanto que no efluente do filtro ascendente, houve uma diminuição para ambos os parâmetros.

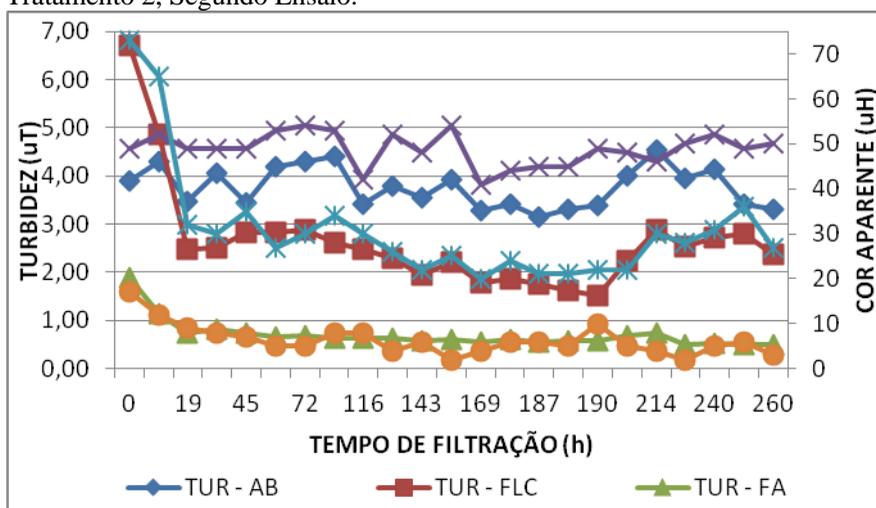
Apesar de no final da carreira de filtração ter sido observado remoção na concentração de clorofila a, de cerca de 83% durante toda a carreira de filtração, a concentração de clorofila a no efluente final do sistema foi elevada, sendo a redução observada apenas a partir da 69ª hora (Figura 4.17 f).

4.6.3 Tratamento 2 – Segundo Ensaio

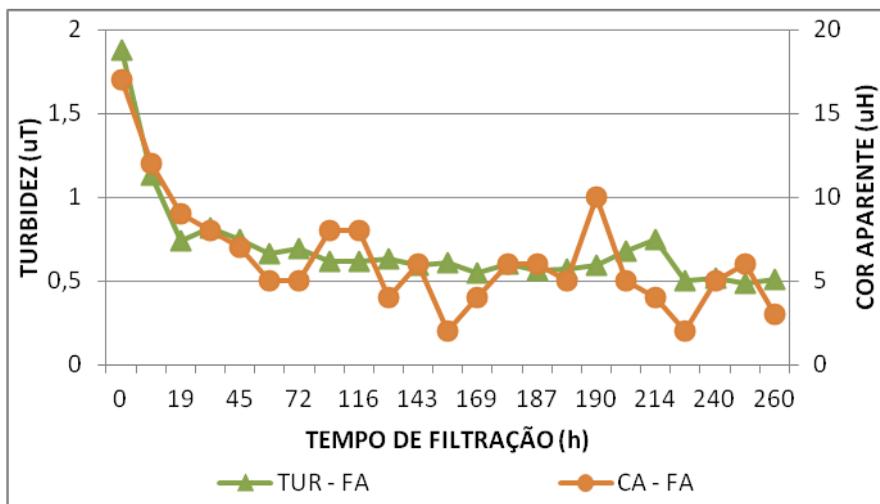
O Tratamento 2 iniciou-se dia 03 e findou dia 14 de dezembro de 2009, sendo um total de 260 horas de operação do sistema. Neste tratamento o sistema recebeu coagulante tanto na entrada do filtro de lavagem contínua quanto na entrada do filtro ascendente (dosagem de 12 mg.L^{-1} , para ambos os filtros).

A Figura 4.18 mostra o comportamento do sistema durante o Tratamento 2.

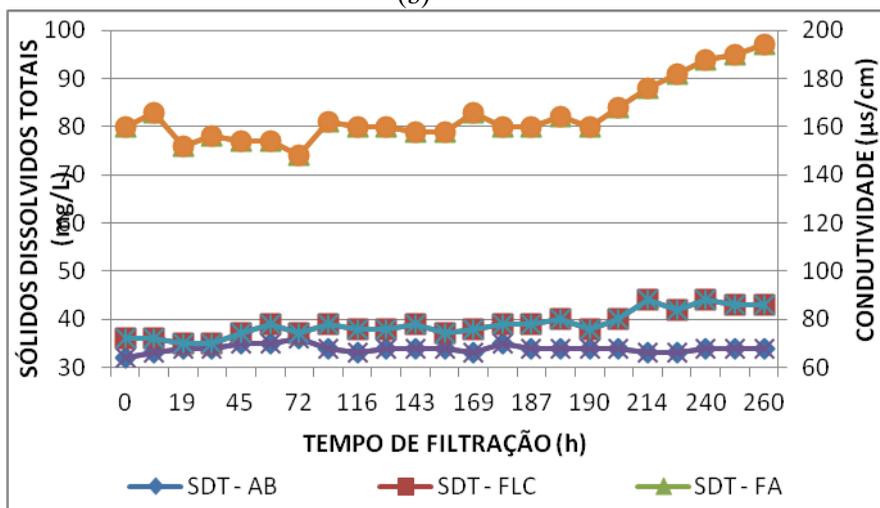
Figura 4.18 – Comportamento dos parâmetros de controle do Tratamento 2, Segundo Ensaio.



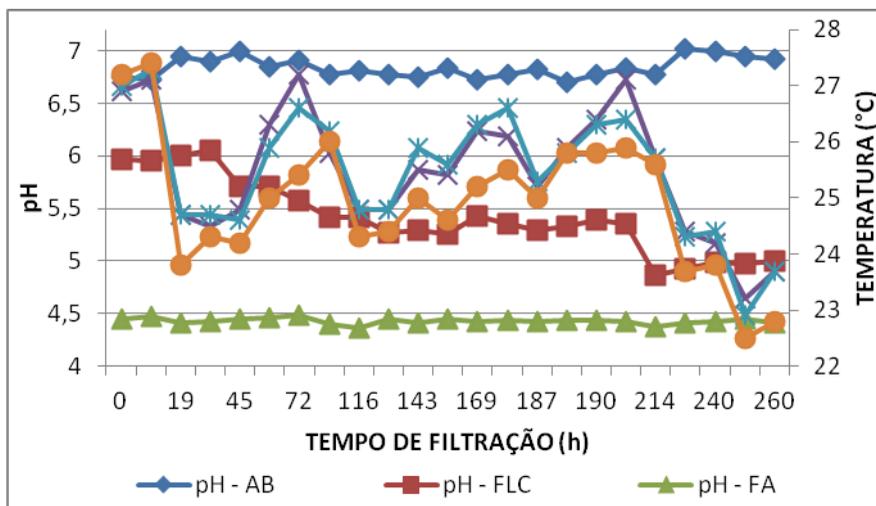
(a)



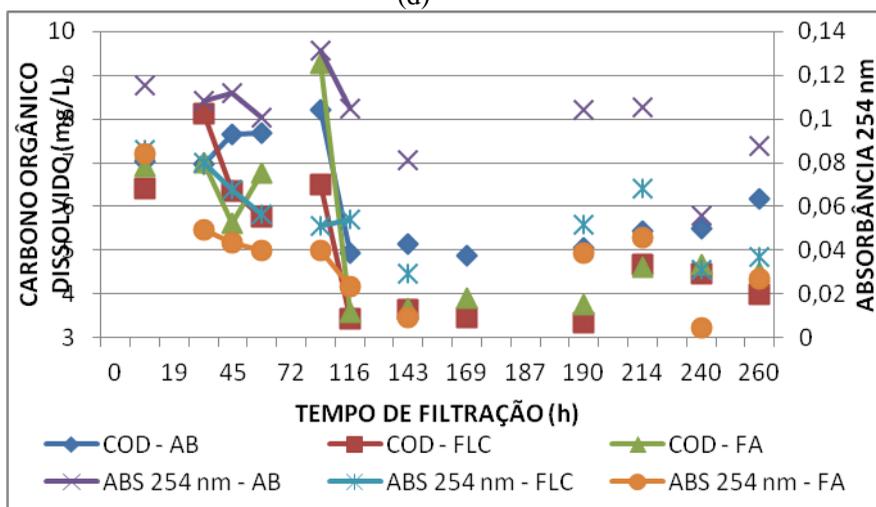
(b)



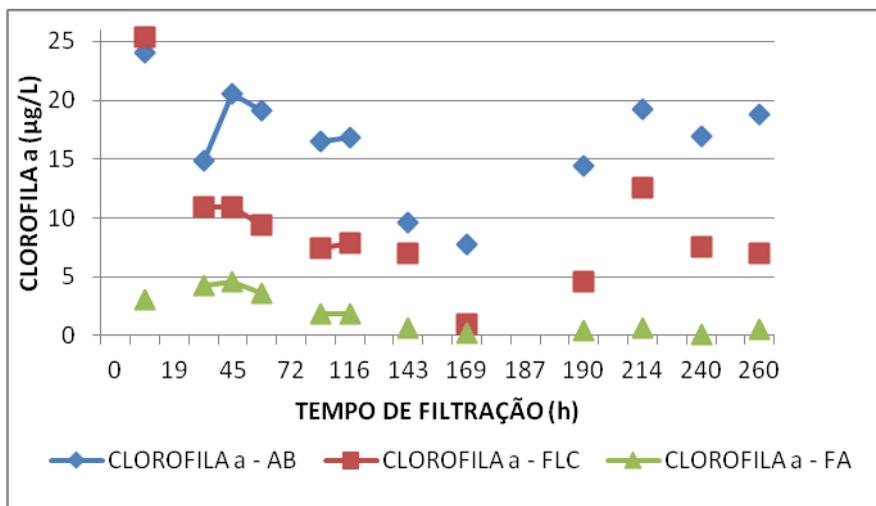
(c)



(d)



(e)



(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Neste tratamento (Figura 4.18 a, b), o efluente final do sistema de filtração apresentou valores médios de turbidez e cor aparente inferior a 0,70 uT e 6,40 uH, respectivamente. Como no Tratamento 1 (Figura 4.17 a, b), neste tratamento, nas primeiras duas horas de operação do sistema esses valores foram elevados, mas não o suficiente para comprometer os valores médios finais do sistema, diferentemente do que ocorreu no Tratamento 1.

Pela Figura 4.18 (e), percebe-se uma inconstância nos valores de carbono orgânico dissolvido e absorvância 254 nm tanto no efluente do filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente. No Tratamento 1 (Figura 4.17 e) essa inconstância foi observada apenas no filtro de lavagem contínua.

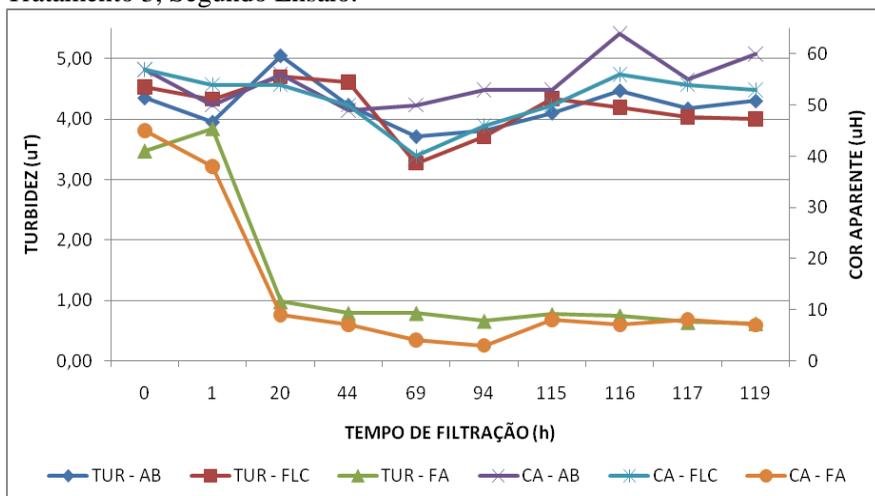
Apesar de no final da carreira de filtração ter sido observado remoção na concentração de clorofila *a* de cerca de 89%, durante metade da carreira de filtração, a concentração de clorofila *a* foi elevada (Figura 4.18 f).

4.6.4 Tratamento 3 – Segundo Ensaio

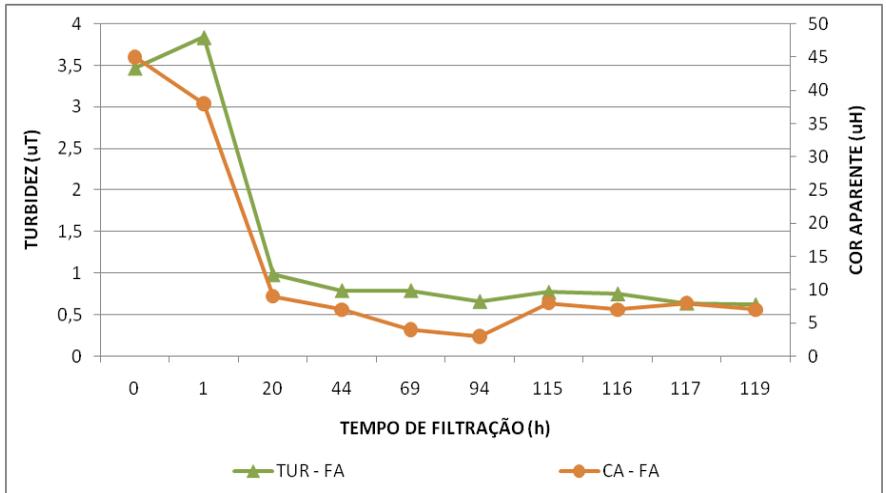
O Tratamento 3 iniciou-se dia 24 e findou dia 28 de novembro de 2009, sendo um total de 119 horas de operação do sistema. Neste tratamento, o sistema recebeu coagulante apenas na entrada do filtro ascendente – dosagem de SA de 12 mg.L⁻¹.

A Figura 4.19 mostra o comportamento do sistema durante o Tratamento 3.

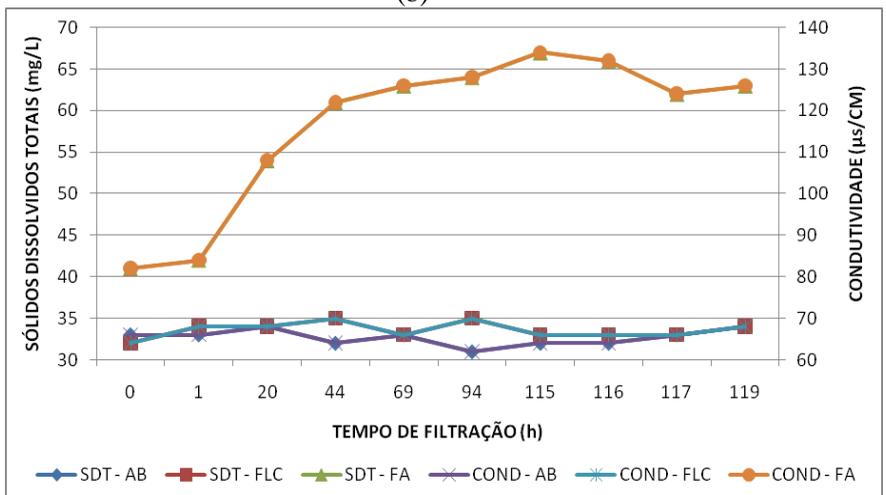
Figura 4.19 – Comportamento dos parâmetros de controle no Tratamento 3, Segundo Ensaio.



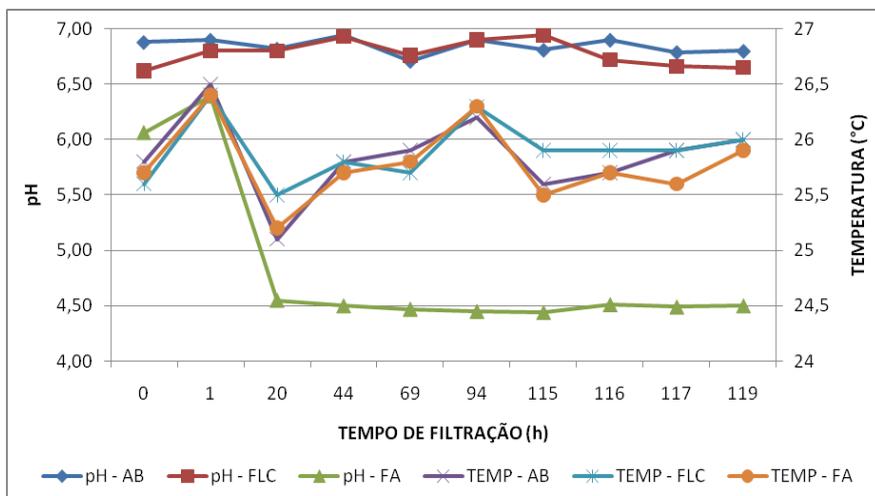
(a)



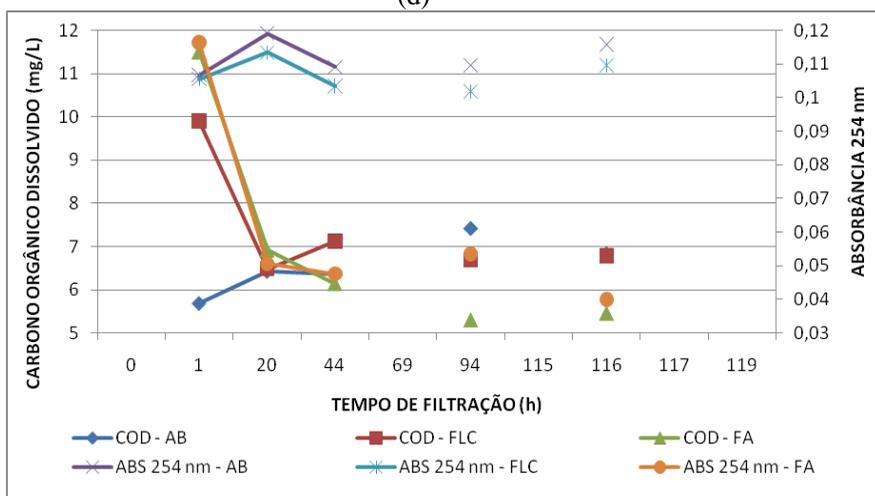
(b)



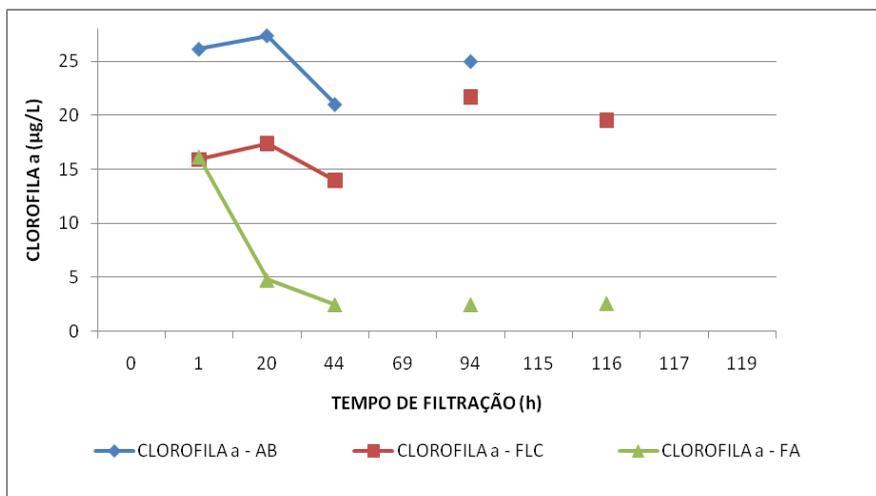
(c)



(d)



(e)



(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

No Tratamento 3 (Figura 4.19 a, b) o efluente final do sistema de filtração apresentou valores médios de turbidez e cor aparente de 1,33 uT e 13,6 uH, respectivamente. Semelhante ao que ocorreu nos Tratamento 1 (Figura 4.17 a, b) e Tratamento 2 (Figura 4.18 a, b), nas primeiras duas horas de carreira de filtração, os valores de turbidez e cor aparente foram elevados.

Assim como aconteceu no Tratamento 2 (Figura 4.18 e), percebe-se uma inconstância nos valores de carbono orgânico dissolvido e absorvância 254 nm tanto no efluente do filtro de lavagem contínua quanto no efluente do filtro ascendente.

Durante esse tratamento (Figura 4.19 f), a concentração de clorofila *a* sempre foi elevada, apesar de no final da carreira de filtração ter sido observado remoção média na concentração de clorofila *a* de cerca de 76%.

4.7 DETERMINAÇÃO DAS DOSES DE COAGULANTE ATRAVÉS DE ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM DESCONTÍNUO (JARTESTE) – TERCEIRO ENSAIO

Os resultados obtidos nos ensaios de jarreste com água bruta e do filtro de lavagem contínua encontram-se no Apêndice B, em forma de tabelas.

4.7.1 Ensaio de Coagulação de Água Bruta para o Tratamento 1 – Terceiro Ensaio

Escolheu-se trabalhar com a dose de 14 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio, com um valor de pH de 5,95. Apesar das doses de 17 e 20 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio fornecerem menores valores de turbidez, há uma queda acentuada no pH final do efluente.

4.7.2 Ensaio de Coagulação do Efluente do Filtro de Lavagem Contínua para o Tratamento 2 – Terceiro Ensaio

Escolheu-se trabalhar com a dose de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de sulfato de alumínio, com um valor de pH de 4,63, por apresentar a melhor relação turbidez *versus* cor aparente, na entrada do filtro ascendente e $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na entrada do filtro de lavagem contínua. As tabelas e gráficos referentes aos ensaios de jarreste encontram-se no Apêndice B.

4.8 ENSAIO EM FLUXO CONTÍNUO – TERCEIRO ENSAIO

Os tratamentos desse ensaio foram realizados durante o período de verão, entre os meses de janeiro e maio de 2010, com variação de taxas de filtração ascendente.

Devido aos bons resultados da pesquisa nos ensaios anteriores, decidiu-se testar e comparar três taxas de filtração, 150, 200 e 250 $\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, para o filtro ascendente.

4.8.1 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

Esse tratamento se iniciou dia 10 de fevereiro e findou dia 15 do mesmo mês de 2010, sendo um total de 123 horas de operação do sistema. A dosagem de SA utilizada na água bruta foi de $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e pH de coagulação 4,63.

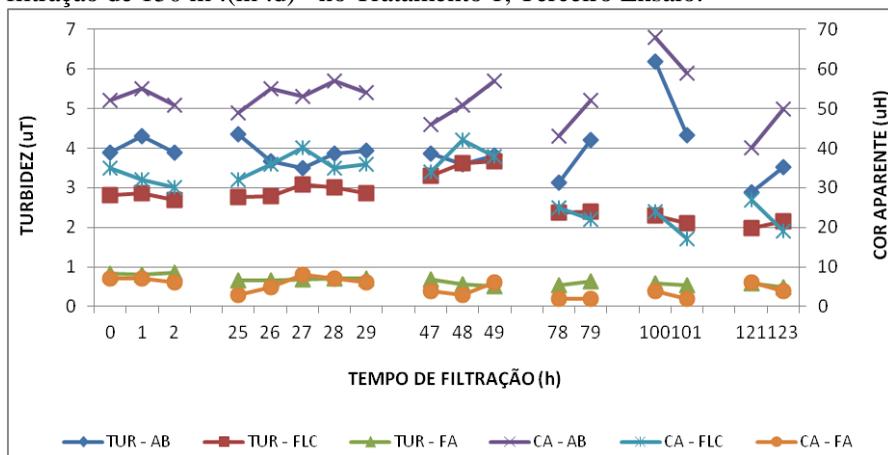
a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

Pelo resultado de densidade de cianobactérias, percebe-se que a espécie dominante encontrada na água bruta do manancial da Lagoa do Peri pertence à espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, com uma

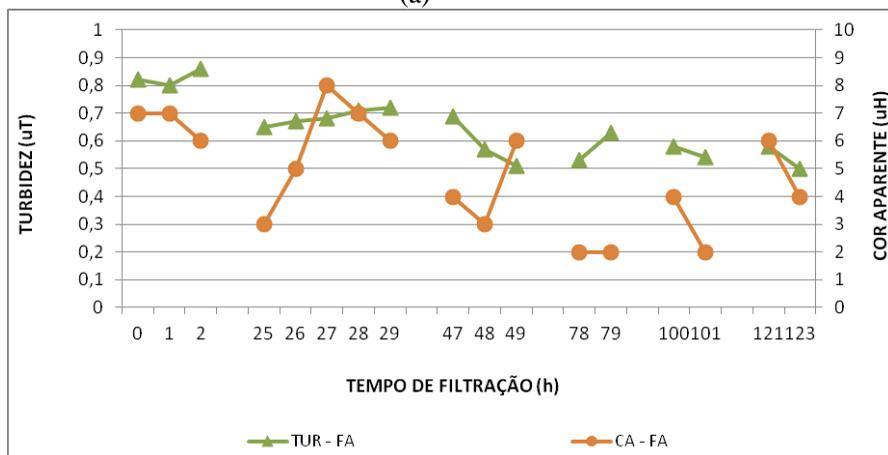
distribuição de 90%, seguida pelas espécies *Limnithrix planctonica* (6,8%), Clorófitas (1,0%) e *Planktolyngbya sp* (0,6%).

A Figura 4.20 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.21 apresenta os resultados da concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STXs para a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

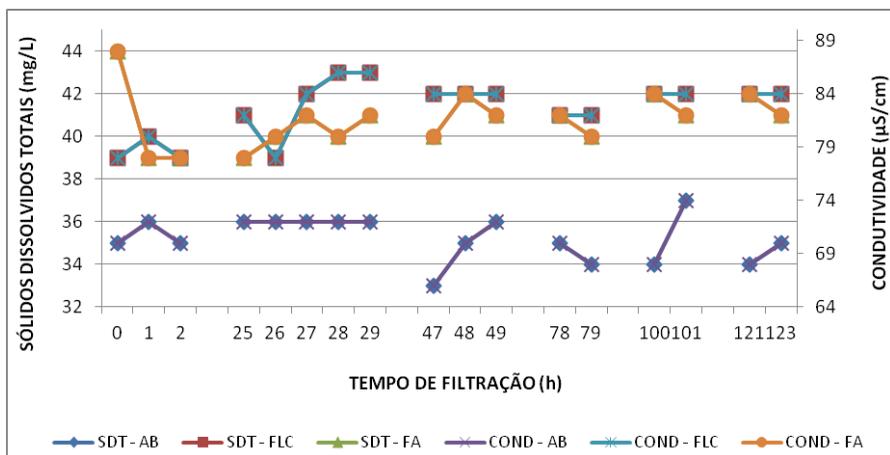
Figura 4.20 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



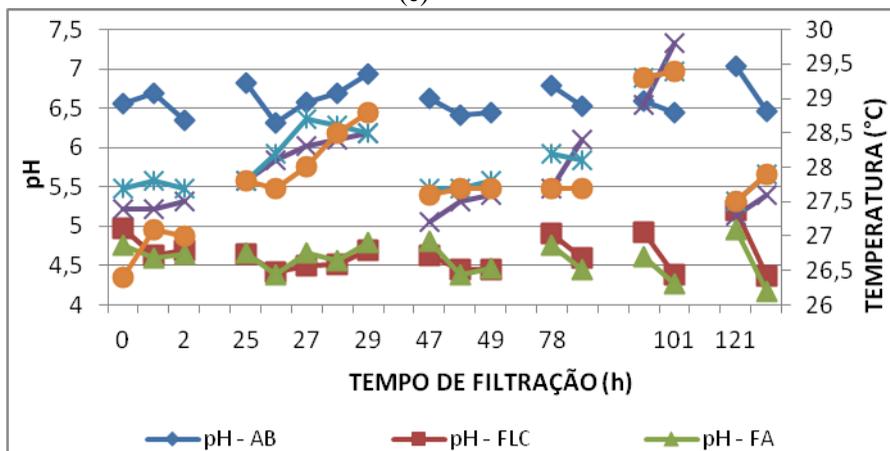
(a)



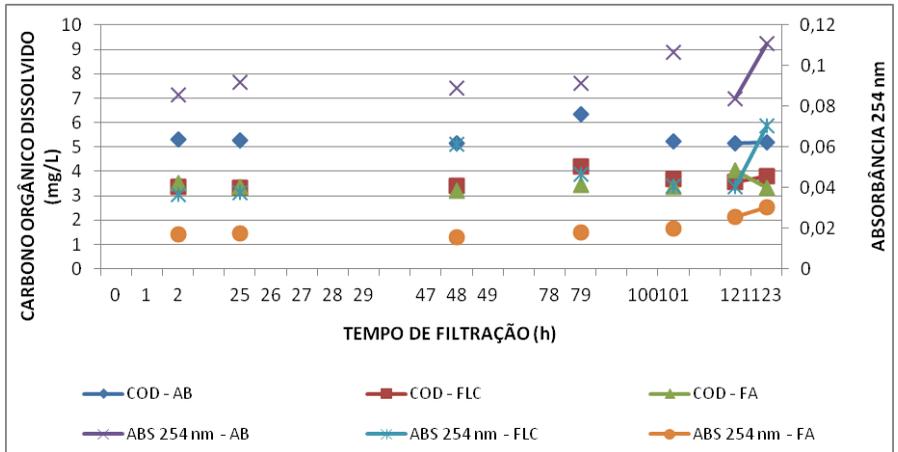
(b)



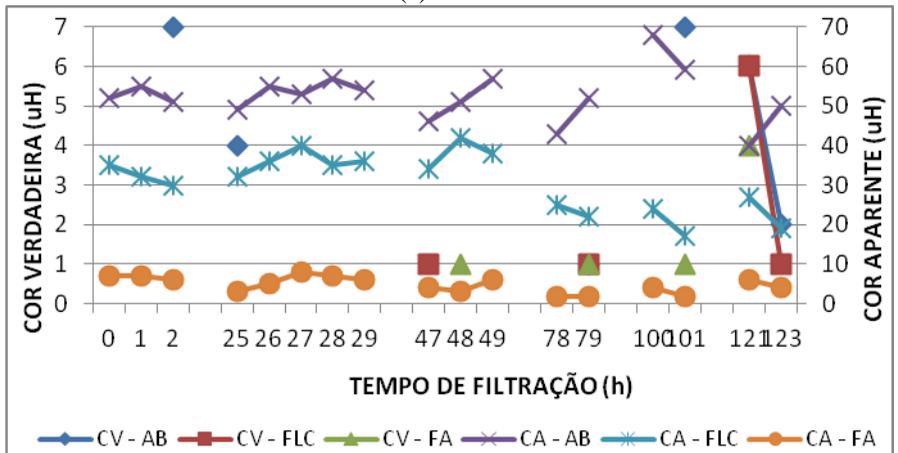
(c)



(d)



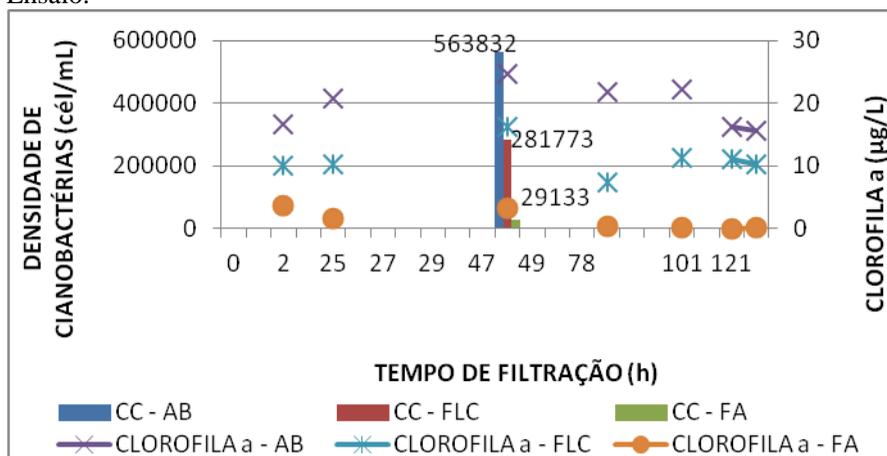
(e)



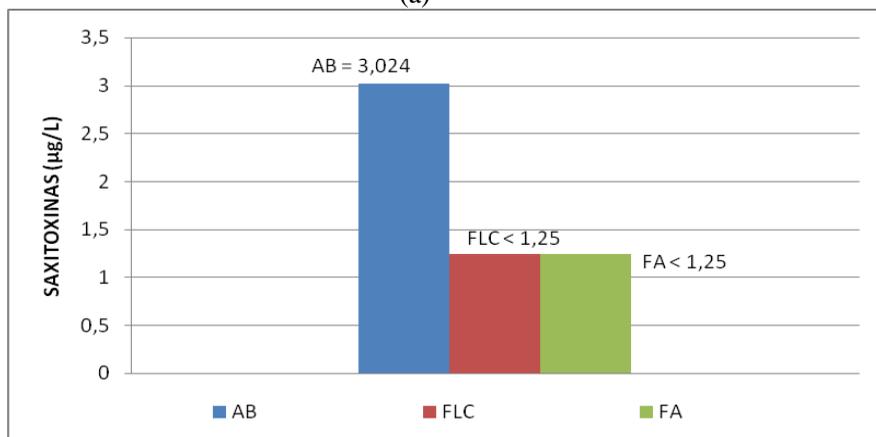
(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.21 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxinas totais para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Durante o Tratamento 1 do Terceiro Ensaio (Figura 4.20 a), os valores de turbidez e cor aparente do filtro de lavagem continua se mostraram acima do que foi obtido no Tratamento 1 do Primeiro Ensaio (Figura 4.8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a, b), sendo a média desses valores de 30,8 uT e 2,75 uH. Já no efluente do filtro

ascendente, os valores de turbidez e cor aparente foram baixos, sendo os valores máximos registrados inferiores a 1,0 uT, 10 uH e 4,8 uH para turbidez, cor aparente e média dos valores de cor aparente, respectivamente (Figura 4.20 a, b); situação semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1, no primeiro ensaio (Figura 4.8 a, b). A remoção final do sistema de dupla filtração ascendente foi de 83% para turbidez e 90% para cor aparente.

Percebe-se que os valores de condutividade e sólidos dissolvidos totais no efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente do filtro ascendente (Figura 4.20 c) são bem semelhantes; essa situação se deve ao fato da adição do coagulante, que aumenta a concentração de sólidos dissolvidos totais e consequentemente a condutividade.

Pela Figura 4.20 (e), percebe-se uma diminuição nos valores de absorvância 254 nm tanto no filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente, sendo a remoção final do sistema de 77%. Houve uma diminuição no efluente final do sistema de filtração para os valores carbono orgânico dissolvido quando se comparado à água bruta, remoção de 35%; sendo que o efluente do filtro de lavagem contínua e do filtro ascendente tiveram valores próximos.

Neste tratamento (Figura 4.21 a), percebeu-se uma diminuição nos valores de clorofila *a* tanto no filtro de lavagem contínua quanto no filtro ascendente, sendo a remoção final do sistema de dupla filtração superior a 93% deste, 44% no filtro de lavagem contínua. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de 3,63 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ e 0,11 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Em relação à densidade de cianobactérias (Figura 4.21 a), percebe-se uma diminuição de 94% na concentração do efluente final; sendo destes, 50% no filtro de lavagem contínua. Apesar da elevada remoção, a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de filtração ainda permanece elevada, 29133 $\text{cel}\cdot\text{mL}^{-1}$; situação semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.8 g), Tratamento 2 (Figura 4.10 g) e Tratamento 3 (Figura 4.12 g) do Primeiro Ensaio. Mondardo (2009), após o tratamento por filtração direta descendente da água do mesmo manancial, obteve valores na ordem de 10^4 $\text{cel}\cdot\text{mL}^{-1}$, já Melo Filho (2006), também com a água do mesmo manancial tratada por oxidação e filtração direta descendente, cita um transpasse no meio filtrante de $8,8 \times 10^4$ $\text{cel}\cdot\text{mL}^{-1}$.

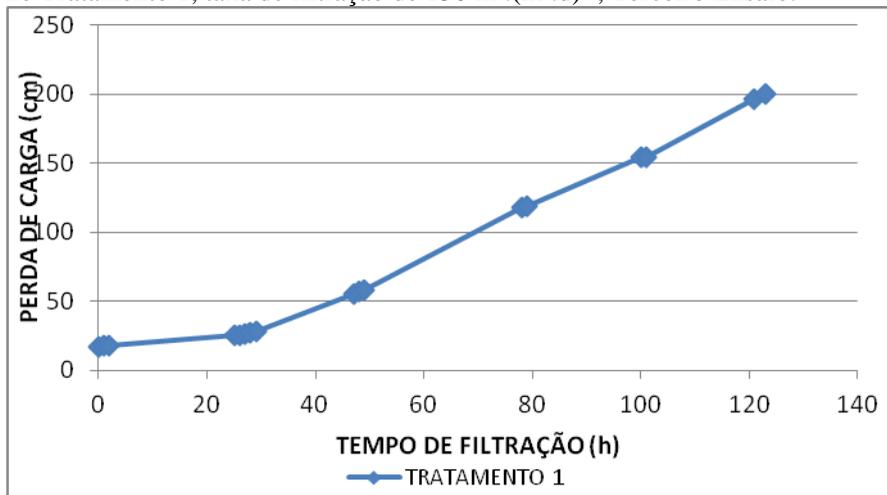
Da mesma forma que no Primeiro Ensaio (Figura 4.8 c, Figura 4.10 c, Figura 4.12 c), neste tratamento (Figura 4.20 f) houve transpasse de células de cianobactérias, o que implicou na diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira.

As análises de cianotoxinas (Figura 4.21 b) demonstraram uma concentração de saxitoxina total de $3,024 \mu\text{g.L}^{-1}$ na água bruta. No efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente final do sistema a concentração de saxitoxinas totais estava abaixo do limite de quantificação ($1,25 \mu\text{g.L}^{-1}$). Na filtração em margem, segundo Mondardo (2009), em relação à remoção de saxitoxinas, não foi detectado presença de toxinas nas amostras de água filtrada e Melo Filho (2006) trabalhando com oxidação com ozônio seguida de filtração descendente na água do mesmo manancial com concentração de $3,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ de saxitoxinas, obteve no efluente final uma concentração de $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ de saxitoxina. Em experimento realizado por Hart *et al.* (1998), a coagulação com sulfato de alumínio mostrou-se eficaz na redução da concentração da toxina total de células de *Microcystis*. Segundo os autores essa diminuição foi devido à remoção de células e não à eliminação de toxinas extracelulares; provável situação que ocorreu nesta pesquisa, já que não foram realizadas análises de saxitoxinas dissolvidas. Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.22 apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 1, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.22 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



No Tratamento 1 para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio o tempo de filtração foi de 123 horas para uma perda de carga de 200 cm, como pode ser observado na Figura 4.22.

4.8.2 Tratamento 2: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

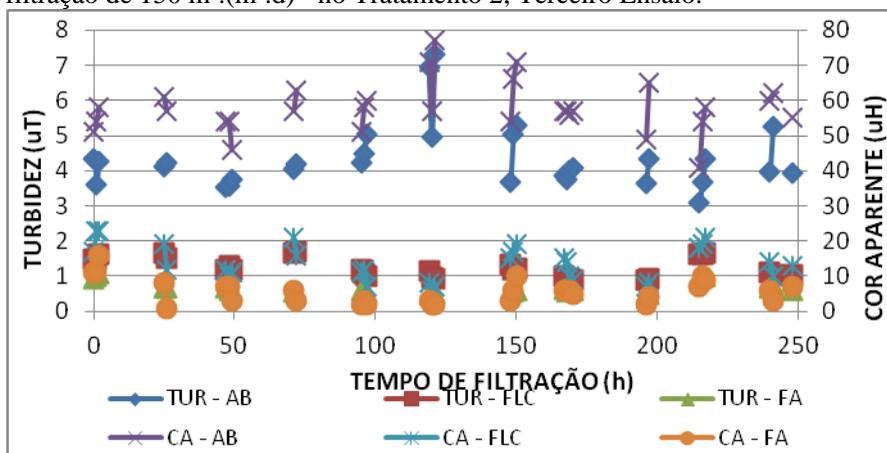
Esse tratamento se iniciou dia 20 de fevereiro e findou dia 02 de março de 2010, sendo um total de 248 horas de operação do sistema. Neste tratamento, a dosagem de SA adicionada da água bruta foi de $14,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ na água bruta e de $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e pH de coagulação de 4,63 no efluente do filtro de lavagem contínua

a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

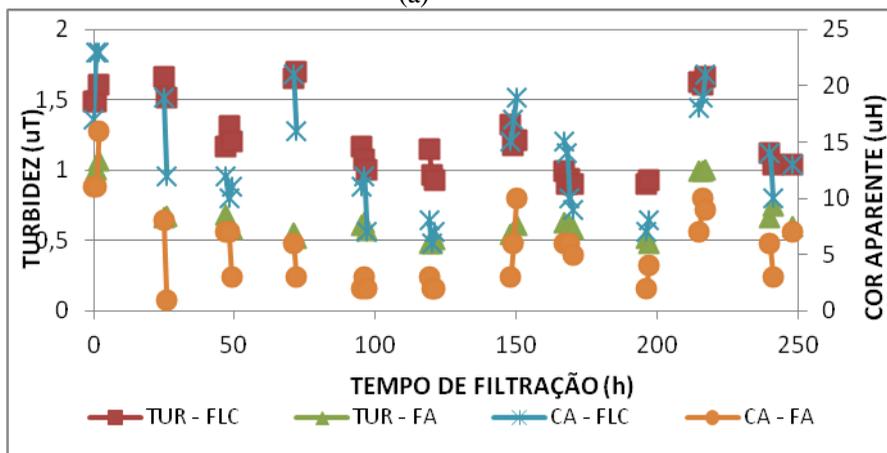
Na amostra de água bruta, do total de cianobactérias existentes, 81% da espécie é de *Cylindrospermopsis raciborskii*, seguida pelas espécies *Limnothrix planctonica* (14%), Clorófitas (1,6%) e *Planktolyngbya sp* (1%).

A Figura 4.23 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.24 apresenta os resultados da concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STXs para a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

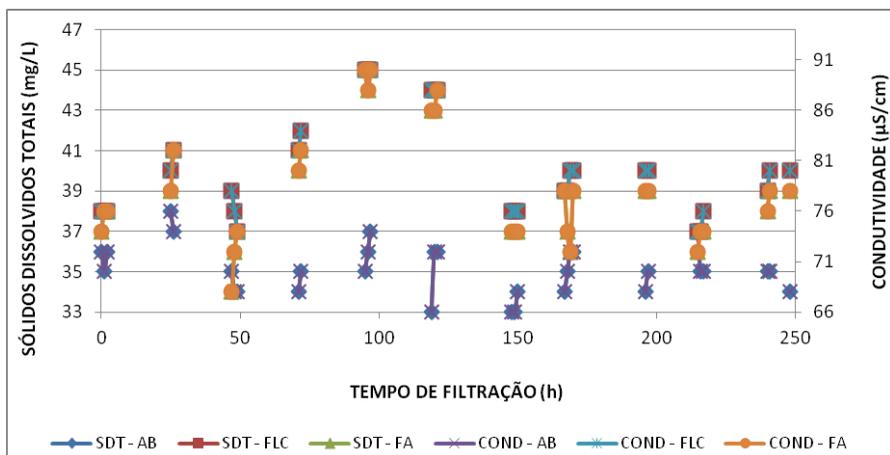
Figura 4.23 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



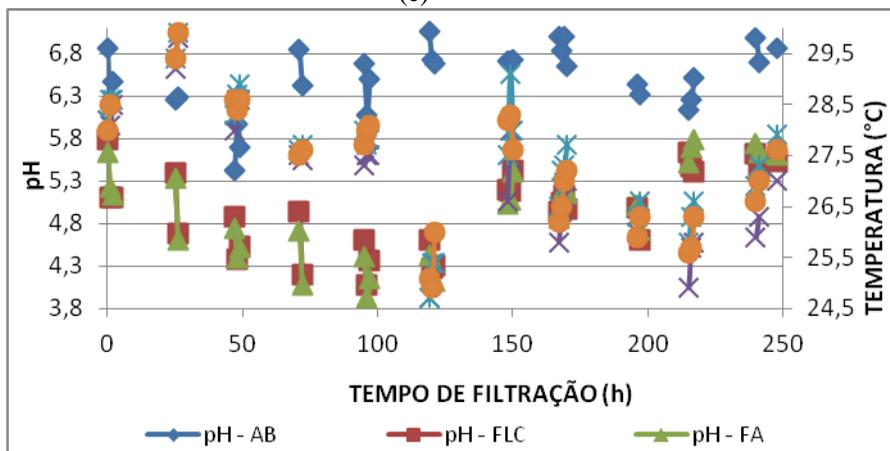
(a)



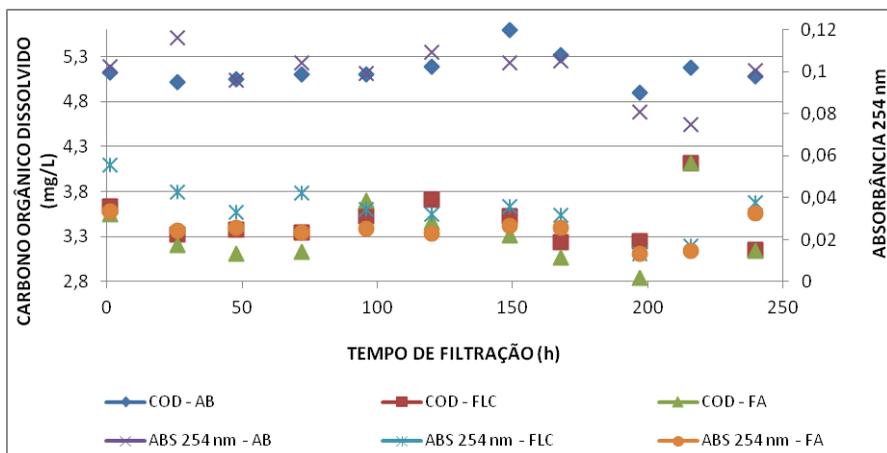
(b)



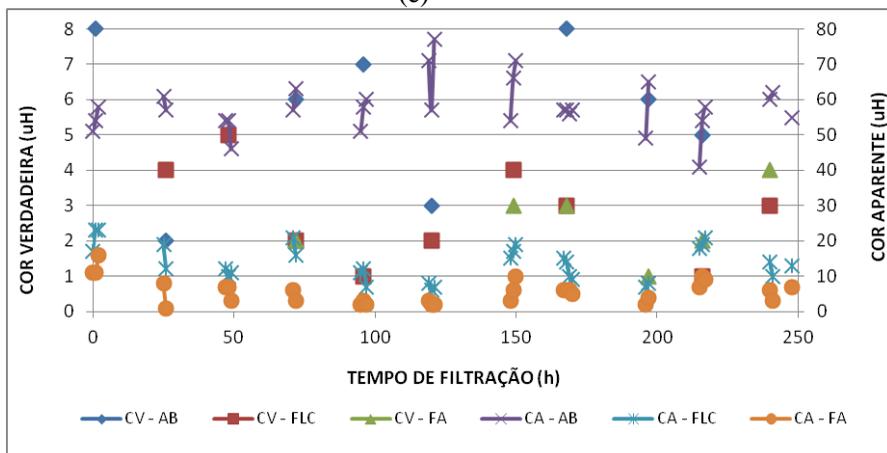
(c)



(d)



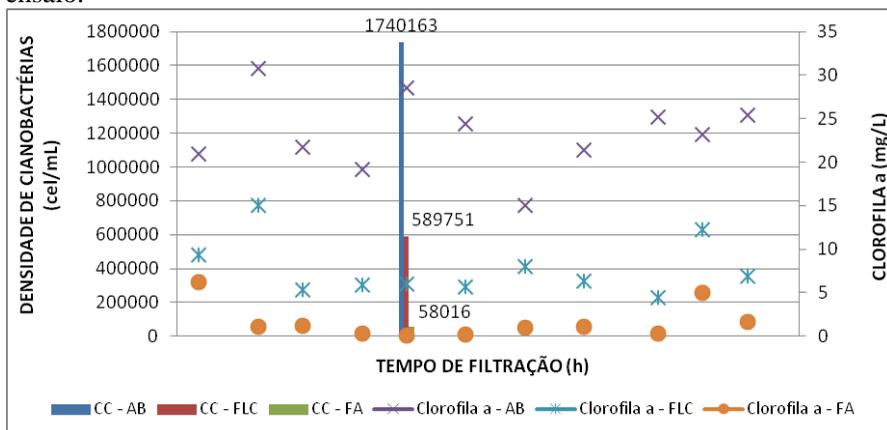
(e)



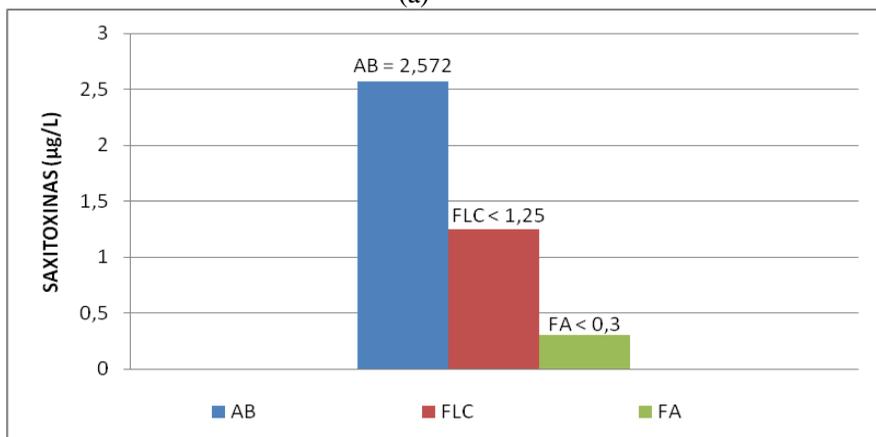
(f)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.24 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxinas totais para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, terceiro ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Durante esse tratamento, os valores de turbidez e cor aparente do filtro de lavagem contínua (Figura 4.23 a, b) apresentaram valores médios de 1,3 uT e 13,7 uH, respectivamente; sendo que se observaram picos de até 1,7 uT. Já no filtro ascendente, os valores de turbidez e cor aparente se apresentaram baixos, sendo os valores máximos registrados 1,0 uT e 10 uH para turbidez e cor aparente, respectivamente. A

remoção final do sistema foi de 84% e 90% para turbidez e cor aparente, respectivamente; esses valores são semelhantes ao observado no Tratamento 1 (Figura 4.20 a, b) e aos citados por Brandão *et al.* (2009).

Pela Figura 4.23 (e), percebe-se que os valores de carbono orgânico dissolvido no efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente do filtro ascendente são bem próximos; sendo a remoção final do sistema de 35%, remoção semelhante ao Tratamento 1 (Figura 4.20 e). Em relação à absorvância 254nm, a remoção final do sistema foi de 80%, superior à remoção do Tratamento 1.

Neste tratamento, a redução na concentração de clorofila *a* (Figura 4.24 a) foi de 92% no sistema de tratamento, sendo a remoção no filtro de lavagem contínua de 66%; percebe-se também uma semelhança nas curvas de remoção de ambos os filtros. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final foi de 6,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,11 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

Em relação à densidade de cianobactérias (Figura 4.24 a), houve uma redução superior a 96%, no sistema de dupla filtração e no filtro de lavagem contínua de 66%. Apesar da elevada remoção de cianobactérias observada neste tratamento – superior a 96%, a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de filtração ainda foi elevada (58016 cel.mL^{-1}), situação semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 do Terceiro Ensaio (Figura 4.21 a), Tratamento 1 (Figura 4.8 g), Tratamento 2 (Figura 4.10 g) e Tratamento 3 (Figura 4.12 g) do Primeiro Ensaio e no tratamento de Melo Filho (2006). O transpasse de células de cianobactérias implica na diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira (Figura 4.23 f).

Neste tratamento (Figura 4.24 b) a concentração de saxitoxina total na água bruta foi de 2,572 $\mu\text{g.L}^{-1}$; no efluente do filtro de lavagem contínua foi abaixo do limite de quantificação do método (1,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$), semelhante ao Tratamento 1 (Figura 4.21 b); e no efluente final do sistema não foram detectadas concentrações de saxitoxinas totais, sendo o limite de detecção do método de 0,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (AOAC, 2005). Situação semelhante à reportada por Mondardo (2009) e Melo Filho (2006).

Tanto no Tratamento 1 (Figura 4.21 b) quanto no Tratamento 2 (Figura 4.24 b) não houve o aumento de toxinas por lise (rompimento) de células, pois a concentração de toxina não aumentou após as filtrações. Situação diferente a citada por Himberg *et al.* (1989), que destacaram que em experimentos em escala laboratorial envolvendo a coagulação/floculação, filtração rápida e cloração não apresentou remoção de toxina, ou negativa, sugerindo que toxinas podem ter sido

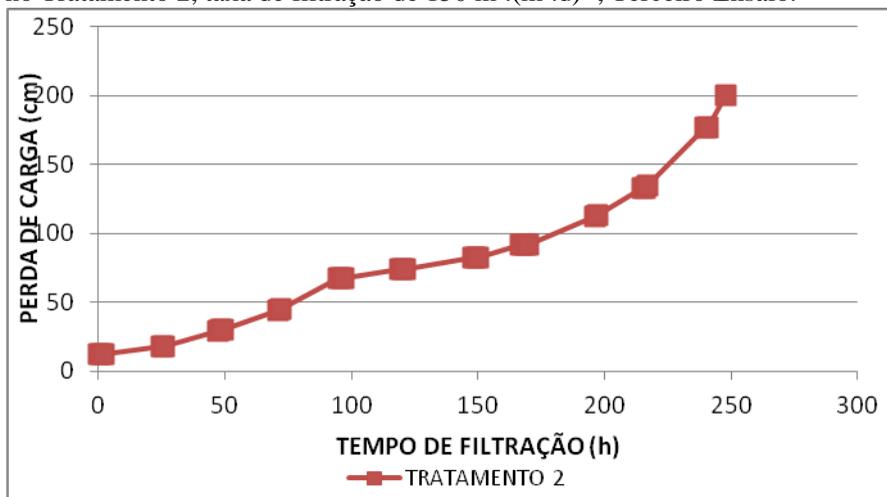
liberadas durante os processos de tratamento. Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

Como no Tratamento 2 da pesquisa ocorreu coagulação nos dois pontos (entrada do filtro de lavagem contínua e entrada do filtro ascendente) percebe-se a necessidade de analisar o residual de alumínio no efluente final do sistema. A concentração de alumínio residual detectada foi de $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$; ou seja, concentração inferior a da Portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), que determina que o valor máximo permitido é de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.25 apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 2, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.25 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.

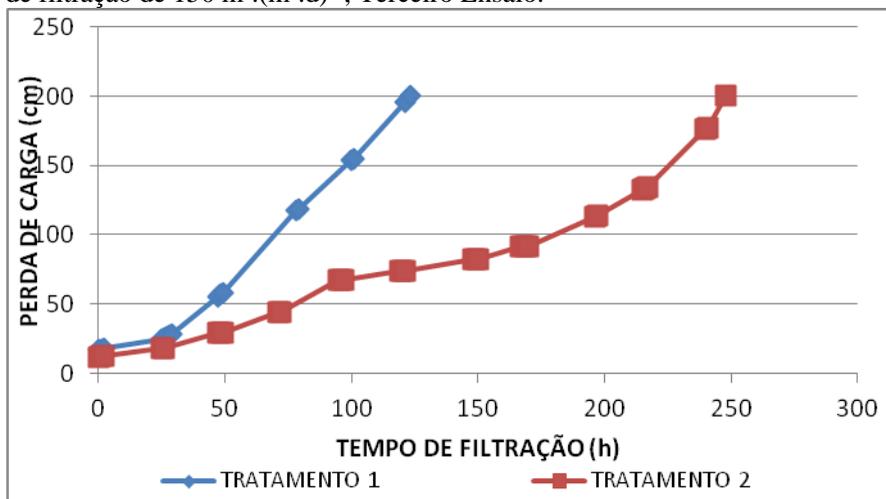


No Tratamento 2 do Terceiro Ensaio para a mesma taxa de filtração foi observado um tempo de filtração elevado, para uma perda de carga de 200 cm, o tempo de filtração foi de 248 h (Figura 4.25).

4.8.3 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

A Figura 4.26 apresenta a perda de carga dos Tratamentos 1 e 2 quando se utiliza a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Figura 4.26 – Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



Semelhante ao que ocorreu no Primeiro Ensaio (Figura 4.15), no Terceiro Ensaio para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ (Figura 4.26), a maior carreira de filtração foi no Tratamento 2 – adição de coagulante na entrada do filtro de lavagem contínua e na entrada do filtro ascendente – 248 h, contra 123 h no Tratamento 1.

A Tabela 4.3 apresenta valores de qualidade e remoção nos dois tratamentos, bem como o tempo de filtração de cada tratamento para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Tabela 4.3 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de 150 m³.(m².d)⁻¹.

	TRATAMENTO 1						TRATAMENTO 2					
	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)
Turbidez (uT)	3,93	2,75	30	0,65	76	83	4,34	1,24	71	0,66	46	84
Cor aparente (uH)	52,5	30,8	41	4,8	84	90	57,8	13,7	76	5,7	58	90
Cor verdadeira (uH)	5	2,2	56	1,7	22	66	7,4	2,8	62	2,5	10	66
COD (mg/L)	5,38	3,61	32	3,47	3	35	5,15	3,47	32	3,33	4	35
ABS 254 nm	0,09	0,05	44	0,02	60	77	0,10	0,03	70	0,02	33	80
pH	6,60	4,64	29	4,58	1	30	6,51	4,96	23	4,94	24	24
Condutividade (µS/cm)	70,4	82,6	17	81,4	1	15	70,2	80	13	78	2	11
SDT (mg/L)	35,2	41,3	17	40,7	1	15	35,1	40	13	39	2	11
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	19,7	11,0	44	1,31	88	93	23,2	7,75	66	1,67	78	92
Cianobactérias (x10 ⁵ cél/mL)	5,6	2,8	50	0,3	89	94	17,4	5,9	66	0,6	89	96
Carreira de filtração	123 h						248 h					

AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; RemFLC: Remoção no Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente; RemFA: Remoção no Filtro Ascendente; RemST: Remoção do Sistema de Tratamento.

4.8.4 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

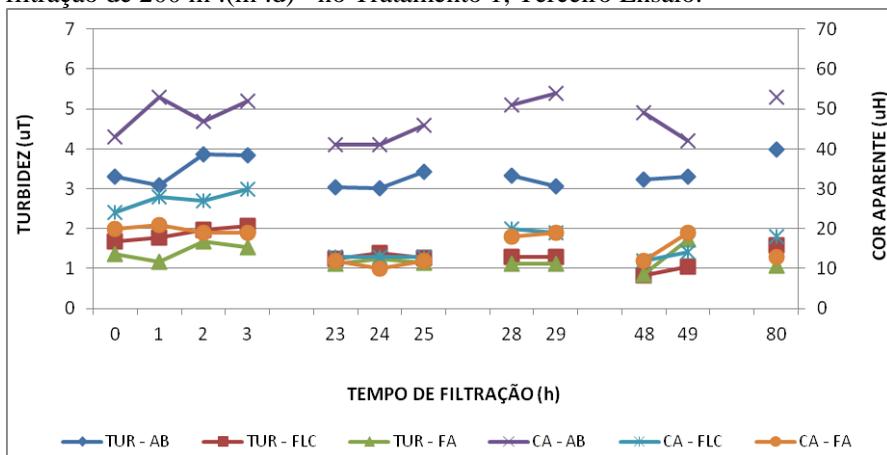
Esse tratamento se iniciou dia 25 e findou dia 28 de março de 2010, sendo um total de 80 horas de operação do sistema. Assim como no Tratamento 1, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, a dosagem de SA adicionada na água bruta, nesse tratamento, foi de $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e pH de coagulação de 5,95.

a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

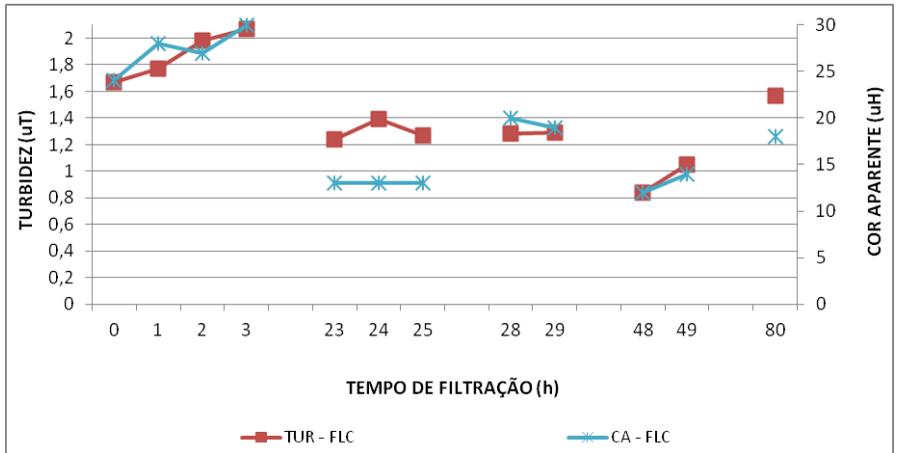
A espécie dominante na água bruta é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com uma ocorrência de 71%, seguida pelas espécies *Limnothrix planctonica* (24,9%), Clorófitas (2,8%) e *Planktolyngbya sp* (0,5%).

A Figura 4.27 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.28 apresenta os resultados da concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STXs para a taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$.

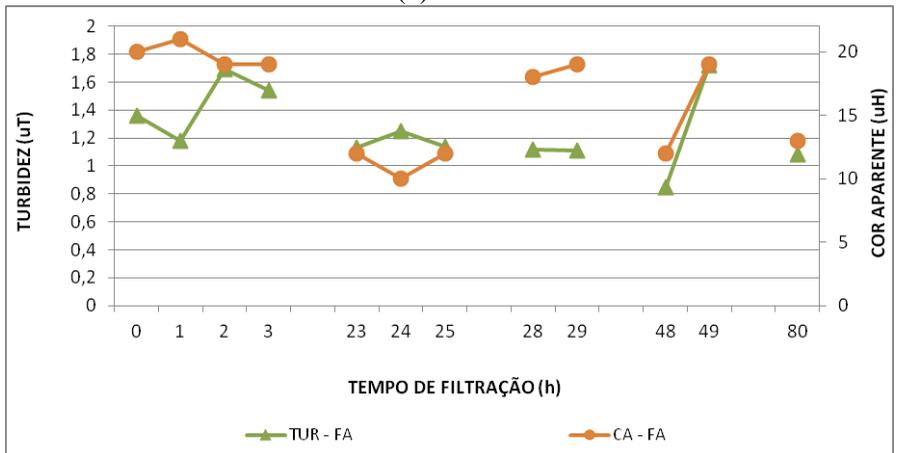
Figura 4.27 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



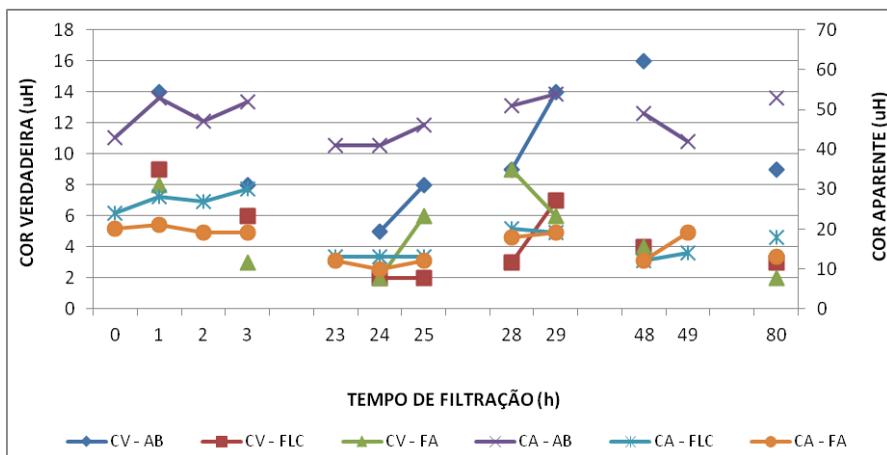
(a)



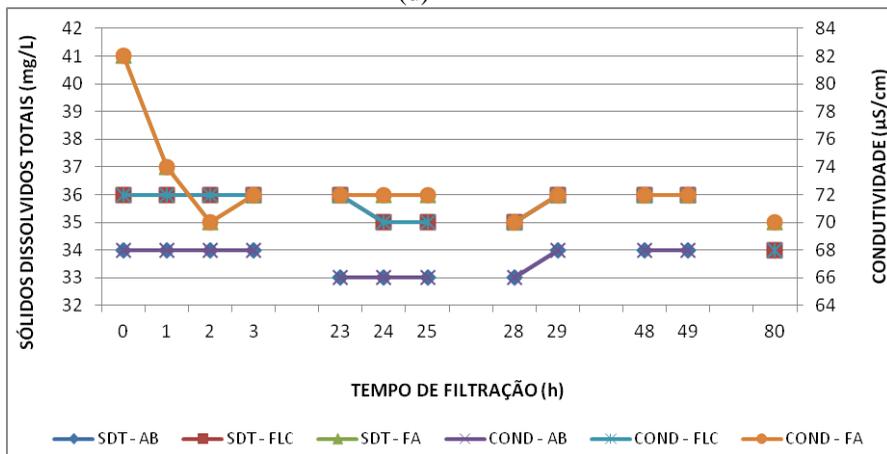
(b)



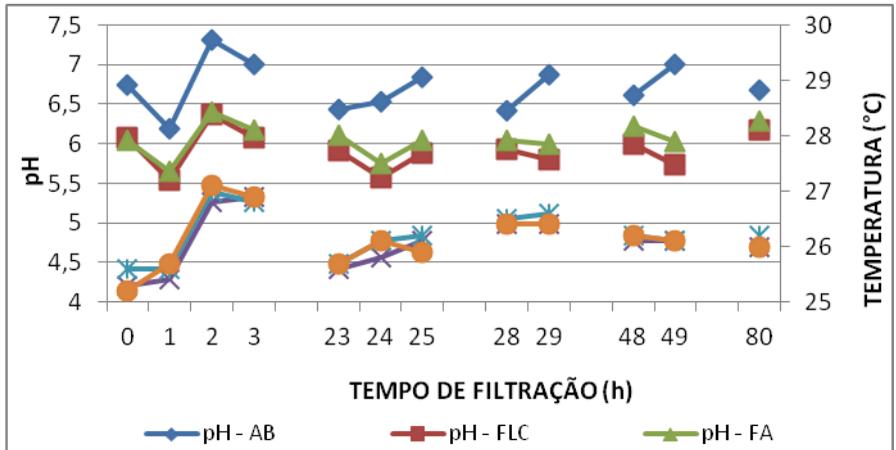
(c)



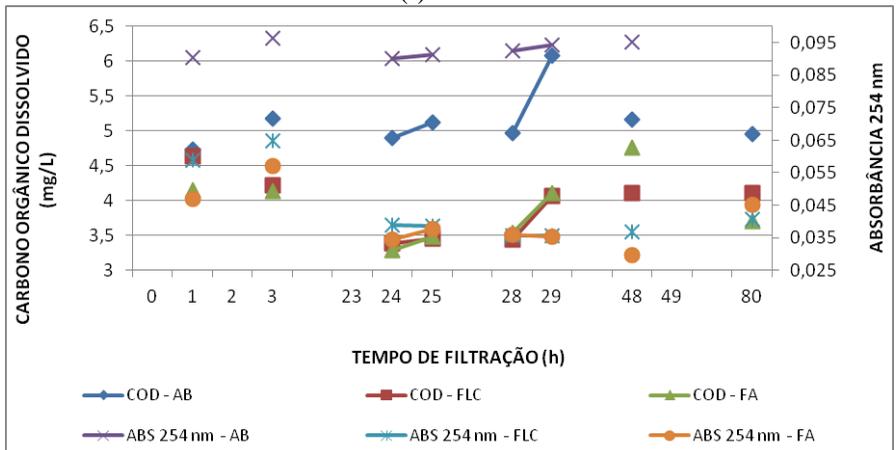
(d)



(e)



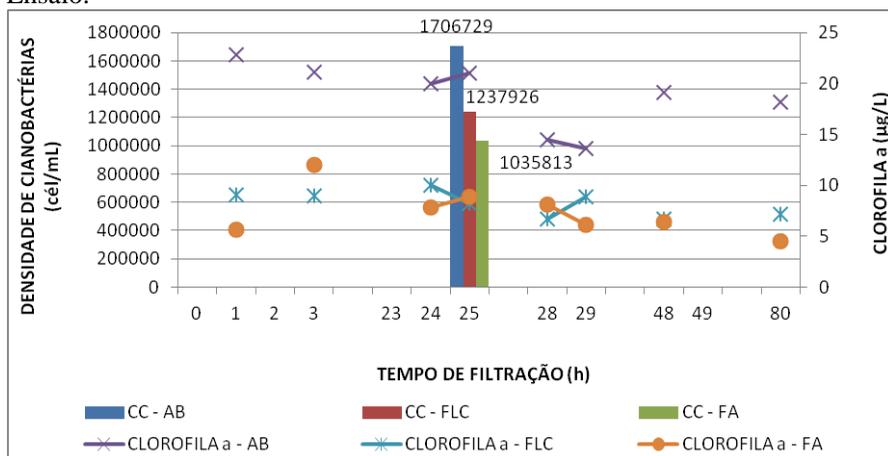
(f)



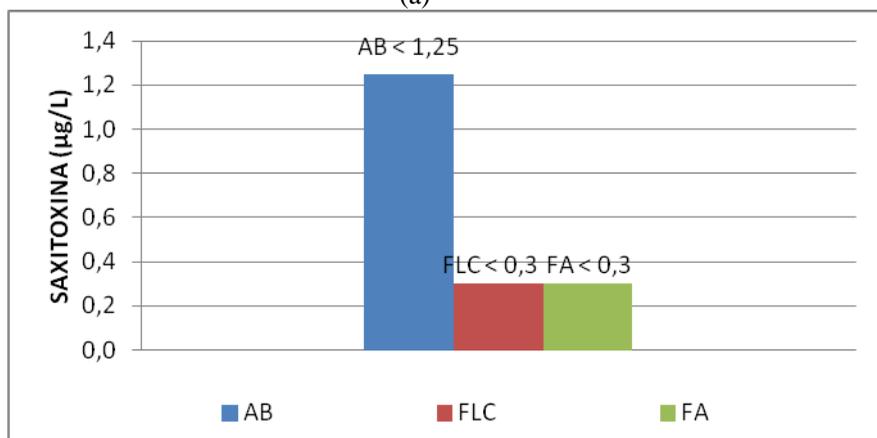
(g)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.28 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Neste tratamento, os resultados de turbidez e cor aparente (Figura 4.27 a, b) foram elevados, sendo que em apenas uma situação a turbidez e a cor aparente do efluente final do sistema foram inferiores a 1 uT e a 12 uH, respectivamente. A média final do sistema de

tratamento e a remoção de cor aparente e turbidez foi de 16,2 uH e 1,26 uT e 66% e 62%, respectivamente.

A remoção final do sistema para os parâmetros carbono orgânico dissolvido e absorbância 254 nm (Figura 4.27 g) foi de 24% e 55%, respectivamente.

Neste tratamento, percebeu-se uma redução na concentração de clorofila *a* (Figura 4.28 a), sendo a redução final do sistema superior a 60%; a menor remoção observada de todos os sistemas de tratamento. Ainda em relação a clorofila *a*, percebe-se que a maior remoção ocorre no filtro de lavagem contínua – 56% contra 9% no efluente do filtro ascendente; e que a maior e menor concentração de clorofila *a* no efluente final do sistema foi de 12,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 4,54 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

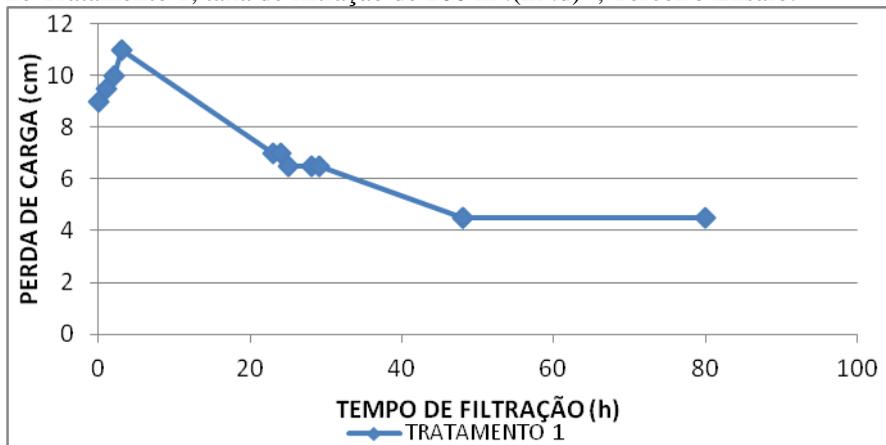
Em relação à densidade de cianobactérias, houve uma redução baixa, cerca de 41%, no sistema; diferentemente do que ocorreu anteriormente, nos outros tratamentos e ensaios – Tratamento 1 (Figura 4.21 a) e Tratamento 2 (Figura 4.24 a) do Terceiro Ensaio para taxa de filtração de $150\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, Tratamento 1 (Figura 4.8 g), Tratamento 2 (Figura 4.10 g) e Tratamento 3 (Figura 4.12 g) do Primeiro Ensaio –; como consequência a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de filtração foi elevada – $1035813 \text{ cel.mL}^{-1}$. Por conta do transpasse de células de cianobactérias, observa-se na Figura 4.27 (d) diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira.

As análises de cianotoxinas (Figura 4.28 b) demonstraram uma concentração de saxitoxina total inferior ao limite de quantificação do método ($1,25 \mu\text{g.L}^{-1}$) na água bruta. No efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente final não foram detectadas concentrações de saxitoxinas totais, sendo o limite de detecção de $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$. A não detecção de concentração de saxitoxinas nas amostras de água bruta no manancial da Lagoa do Peri também foram reportadas por Melo Filho (2006). Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.29 apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 1, para taxa de filtração de $200 \text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.29 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



No Tratamento 1 do Terceiro Ensaio, para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, houve um aumento da perda de carga até a 3 hora de operação do sistema, a partir desse hora o sistema apresentou problemas de operação (Figura 4.29).

4.8.5 Tratamento 2: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

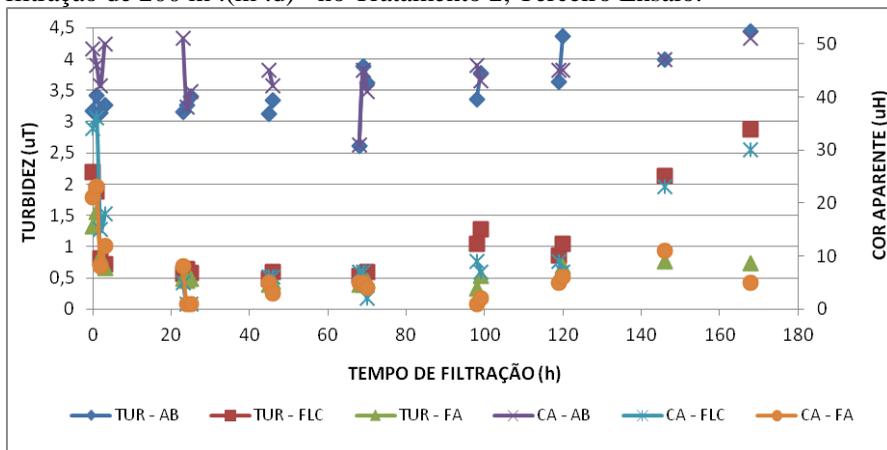
Esse tratamento se iniciou dia 19 e findou dia 26 de abril de 2010, sendo um total de 168 horas de operação do sistema. Adicionou-se $14,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de SA na água bruta e $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ do mesmo coagulante no efluente do filtro de lavagem contínua, sendo o pH de coagulação de 4,63.

a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

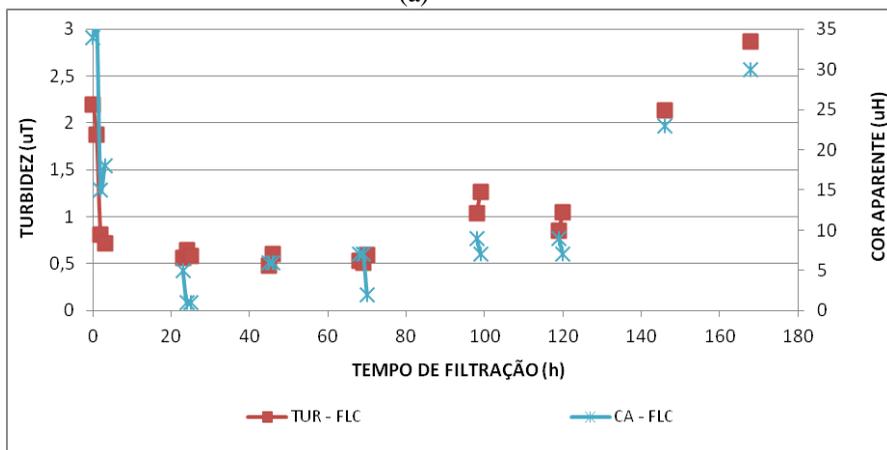
Na água bruta 71% da espécie dominante é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, seguida pelas espécies *Limnothrix planctonica* (16,5%), *Planktolyngbya limnetica* (6%) e *Planktolyngbya sp* (3,9%).

A Figura 4.30 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.31 apresenta os resultados da concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STX para a taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

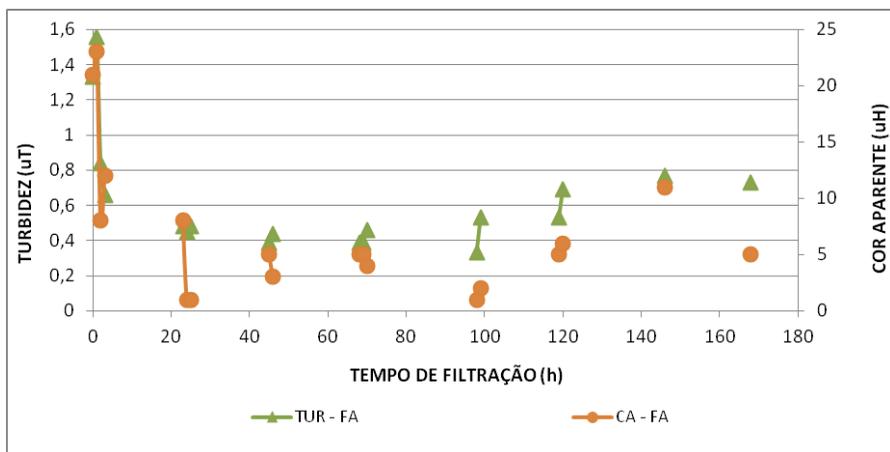
Figura 4.30 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



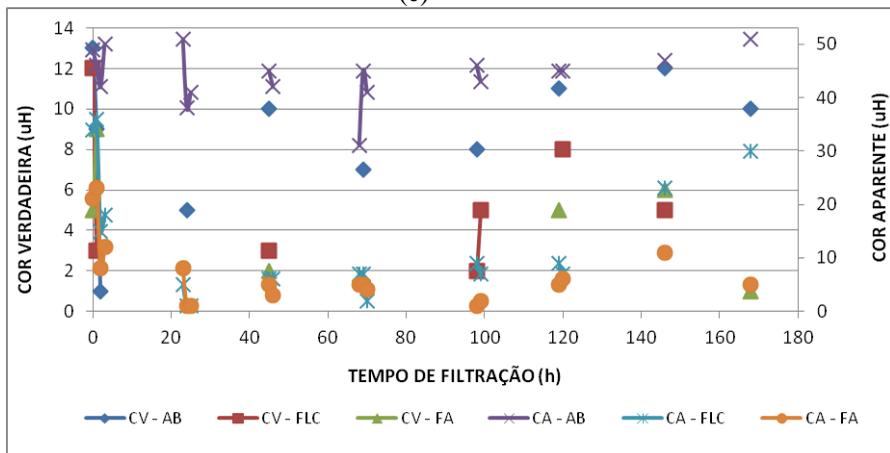
(a)



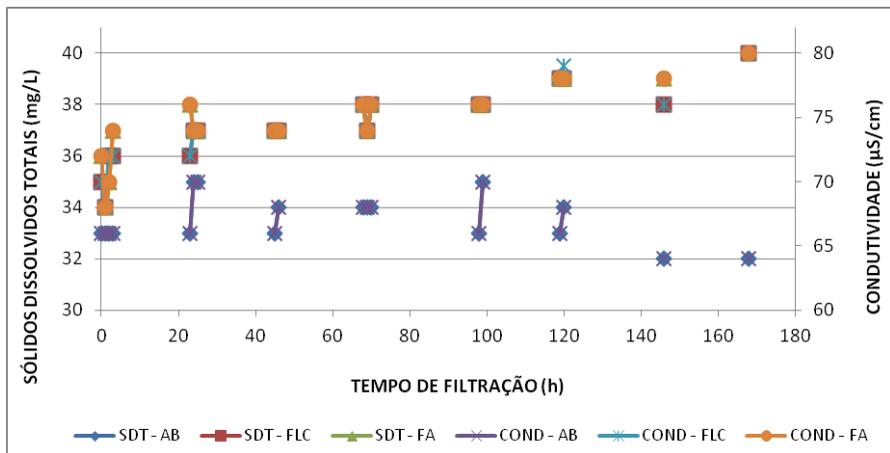
(b)



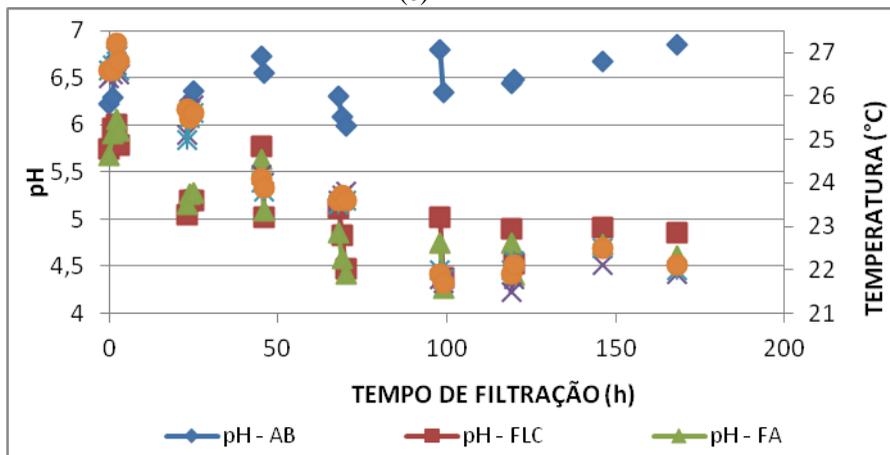
(c)



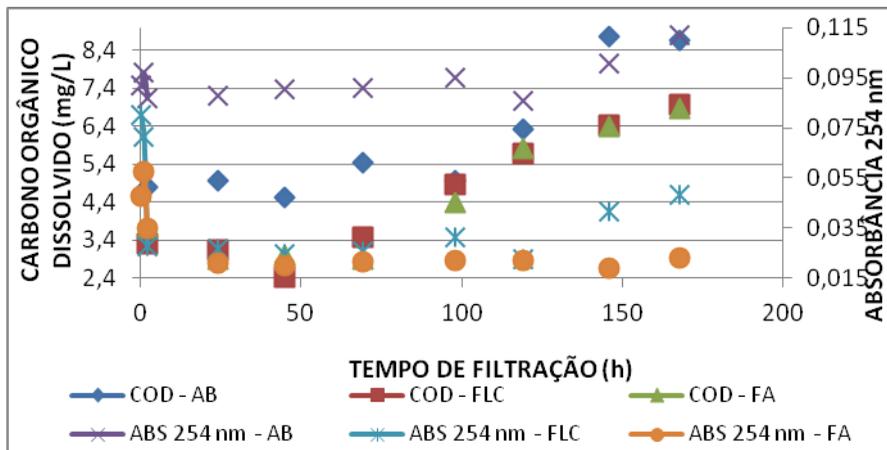
(d)



(e)



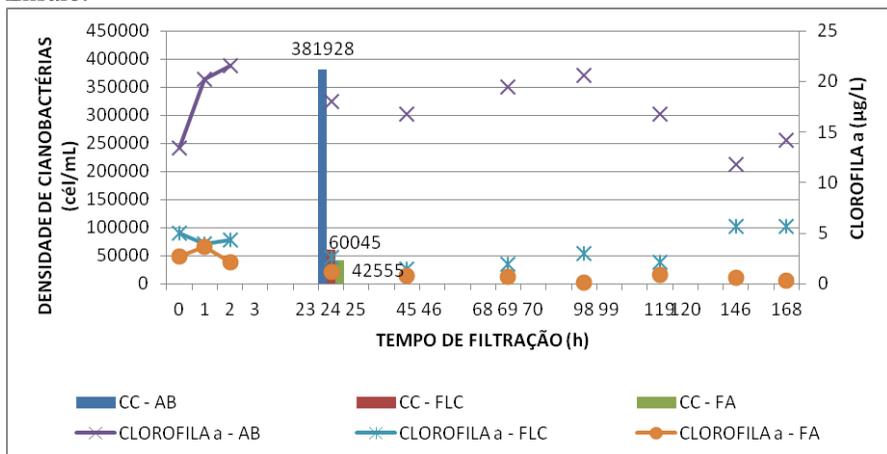
(f)



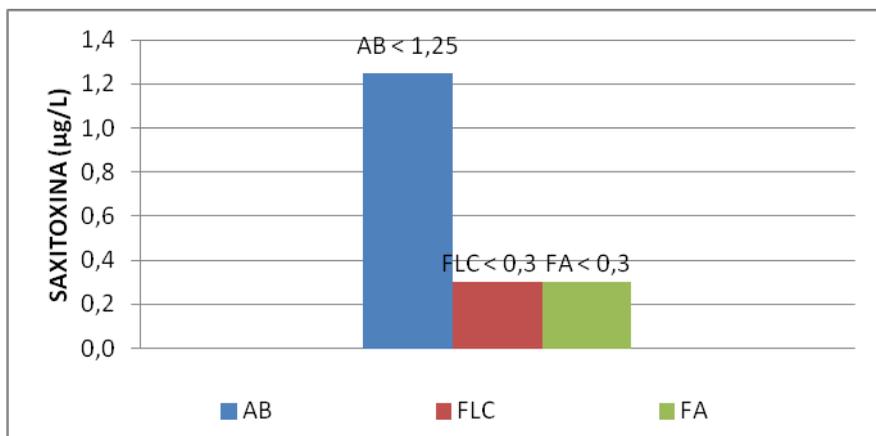
(g)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.31 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Neste tratamento, os resultados de turbidez e cor aparente (Figura 4.30 a, c) do efluente final do sistema estiveram sempre abaixo de 1,0 uT e 12 uH, com média de 0,63 uT e 5,07 uH e remoção de 84% e 81%, respectivamente. No filtro de lavagem contínua (Figura 4.30 a, b), os valores de turbidez e cor aparente apresentavam-se abaixo de 1,5 uT e 12 uH, respectivamente, até a 120ª hora; contudo, uma falha no compressor de ar pode ter prejudicado o funcionamento do filtro de lavagem contínua.

A remoção final do sistema de filtração para os parâmetros carbono orgânico dissolvido e de absorbância 254 nm (Figura 4.30 g) foi de 25% e 66%, respectivamente.

Neste tratamento, percebeu-se uma redução na concentração de clorofila *a* (Figura 4.31 a), sendo a redução final do sistema superior a 92%. Também em relação a clorofila *a*, percebe-se que, semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.28 a), a maior remoção ocorreu no filtro de lavagem contínua, 79% contra 63% no filtro ascendente e a concentração máxima e mínima encontradas no efluente final foi de 3,63 µg.L⁻¹ e 0,11 µg.L⁻¹, respectivamente.

Em relação a densidade de cianobactérias, diferente ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.28 a), neste tratamento (Figura 4.31 a) a remoção foi de cerca de 89%, no sistema. Apesar de ter ocorrido uma considerável remoção na densidade de cianobactérias, assim como em todos os outros tratamentos dessa pesquisa a densidade de

cianobactérias no efluente final do sistema de filtração foi elevada – $42555 \text{ cel.mL}^{-1}$. Assim como no Tratamento 1 (Figura 4.27 d), no Tratamento 2 (Figura 4.30 d) o transpasse de células de cianobactérias causou diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira.

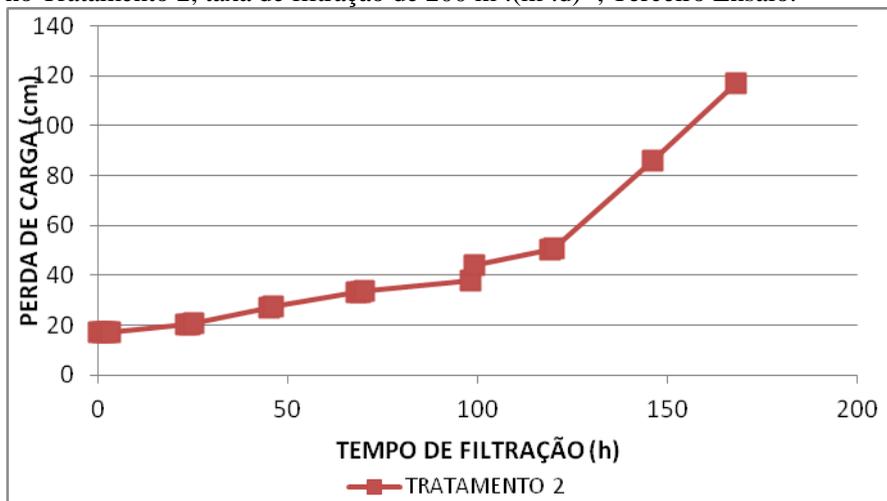
As análises de cianotoxinas deste tratamento (Figura 4.31 b) demonstraram uma concentração de saxitoxina total na água bruta inferior ao limite de quantificação do método ($1,25 \mu\text{g.L}^{-1}$); no efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente final não foram detectadas concentrações de saxitoxinas totais, sendo o limite de detecção de $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$, tal ao que ocorreu no Tratamento 1 (Figura 4.28 b). Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

Assim como para a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$; no Tratamento 2 também se realizou análise de alumínio residual. A concentração de alumínio residual detectada foi de $0,556 \text{ mg.L}^{-1}$; ou seja, concentração superior a permitida pela Portaria do Ministério da Saúde 518/04 – $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (BRASIL, 2004). Tal fato ocorre pelo aumento na vazão de coagulante devido ao aumento da vazão de água, para a mesma concentração de coagulante.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.32 apresenta o resultado da perda de carga versus carreira de filtração no Tratamento 2, para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.32 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.

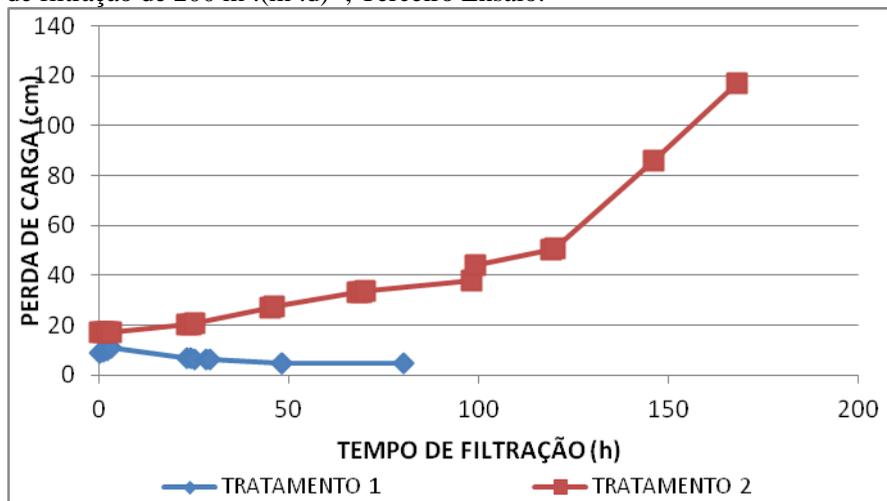


No Tratamento 2 do Terceiro Ensaio, para a mesma taxa de filtração, o tempo de filtração foi de 168 h para uma perda de carga de 117 cm, como pode ser visto na Figura 4.32.

4.8.6 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

A Figura 4.33 apresenta a perda de carga nos Tratamentos 1 e 2 quando se utiliza a taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Figura 4.33– Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



Semelhante ao que ocorreu no Primeiro Ensaio (Figura 4.15) e no Terceiro Ensaio para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ (Figura 4.26), no Terceiro Ensaio para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ (Figura 4.33), o maior tempo na carreira de filtração foi no Tratamento 2 – adição de coagulante na entrada do filtro de lavagem contínua e na entrada do filtro ascendente – tempo superior a 160 h, o Tratamento 1 teve uma duração de cerca de 80 h.

A Tabela 4.4 apresenta valores de qualidade e remoção nos dois tratamentos, bem como o tempo de filtração de cada tratamento para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Tabela 4.4 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de 200 m³.(m².d)⁻¹.

	TRATAMENTO 1						TRATAMENTO 2					
	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST (%)	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	Rem FA (%)	Rem ST(%)
Turbidez (uT)	3,37	1,45	59	1,26	13	62	3,50	1,07	69	0,64	40	81
Cor aparente (uH)	47,7	19,2	59	16,2	15	66	44,3	12,4	72	7	43	84
Cor verdadeira (uH)	10,4	5	51	4,5	10	56	8,6	5,4	37	4,7	12	45
COD (mg/L)	5,14	3,92	23	3,89	-	24	6,05	4,54	24	4,50	-	25
ABS 254 nm	0,09	0,04	55	0,04	-	55	0,09	0,04	55	0,03	25	66
pH	6,72	5,92	11	6,06	2	9	6,44	5,15	20	5,07	1	21
Condutividade (µS/cm)	67,2	71,2	5	72,4	1	7	67	74,6	11	75	-	11
SDT (mg/L)	33,6	35,6	5	36,2	1	7	33,5	37,3	11	37,5	-	11
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	18,8	8,21	56	7,44	9	60	17,3	3,57	79	1,31	63	92
Cianobactérias (x10 ⁵ cél/mL)	17	12	41	10	16	41	3,8	0,6	84	0,4	33	89
Carreira de filtração	80 h						168 h					

AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; RemFLC: Remoção no Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente; RemFA: Remoção no Filtro Ascendente; RemST: Remoção do Sistema de Tratamento.

4.8.7 Tratamento 1: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

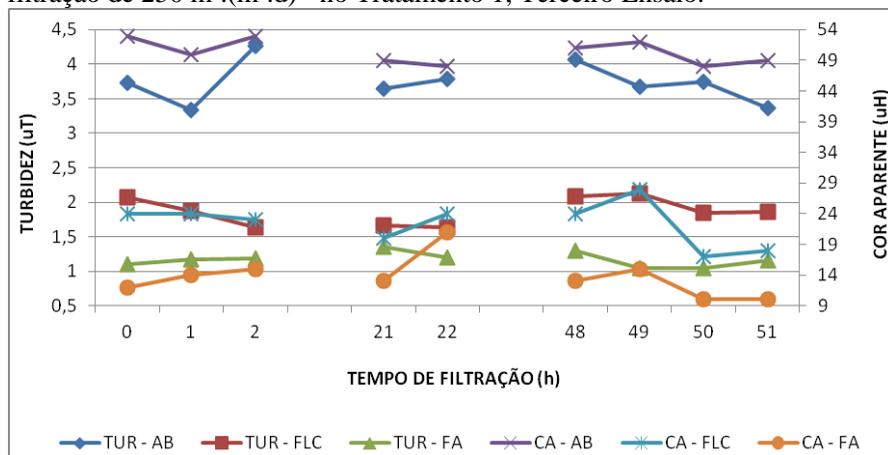
Esse tratamento se iniciou dia 05 e findou dia 07 de abril de 2010, sendo um total de 51 horas de operação do sistema. Assim como no Tratamento 1, para taxas de filtração de 150 e $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, neste tratamento a dosagem de coagulante adicionada na água bruta foi de $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e pH de coagulação de 5,95.

a) RESULTADOS DE QUALIDADE DE ÁGUA

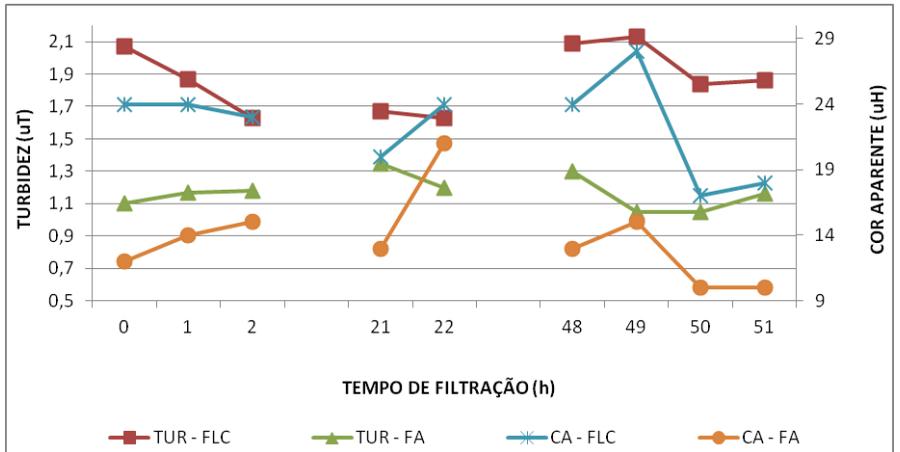
Pelos resultados da água bruta neste tratamento, 86% da espécie dominante é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, seguida pelas espécies *Limnothrix planctonica* (8,6%), *Planktolyngbya sp* (1,9%) e Clorófitas (1,6%).

A Figura 4.34 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.35 apresenta os resultados da concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STX para a taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$.

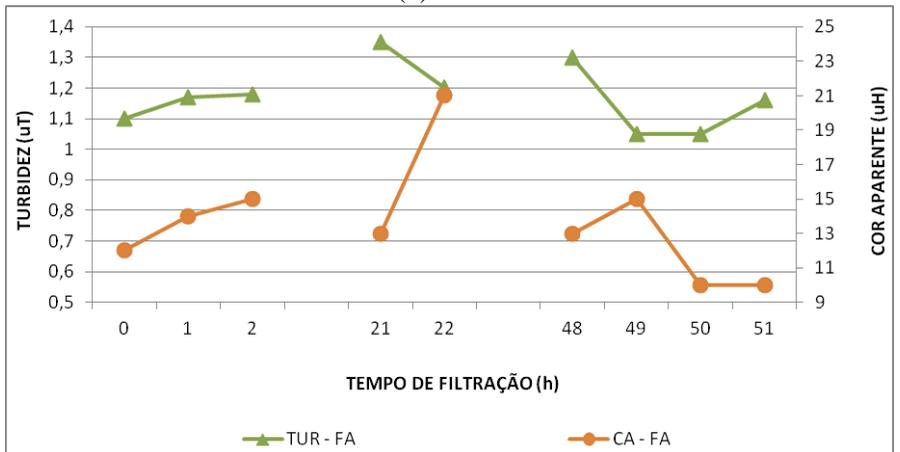
Figura 4.34 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



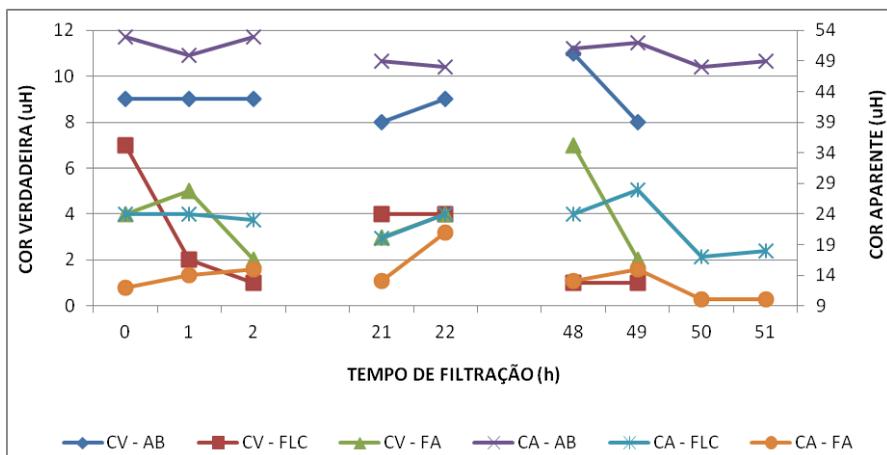
(a)



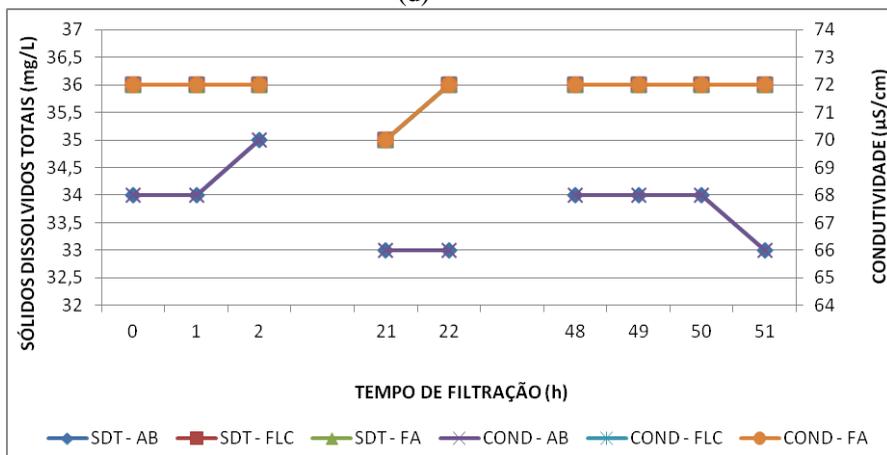
(b)



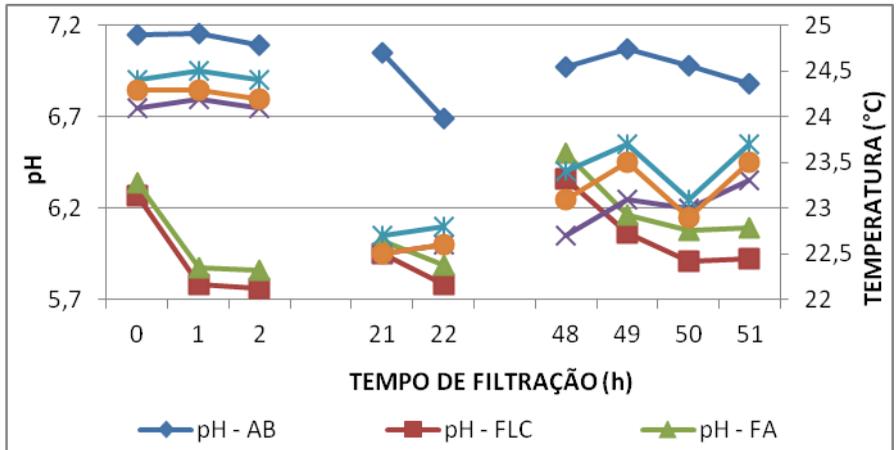
(c)



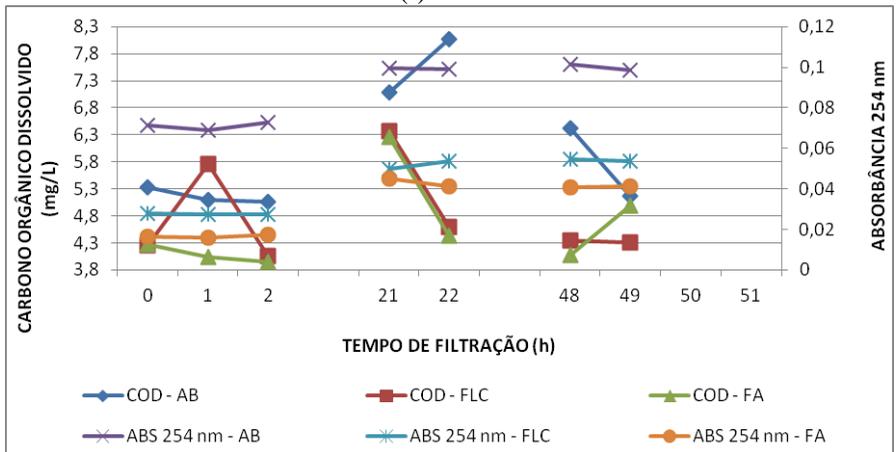
(d)



(e)



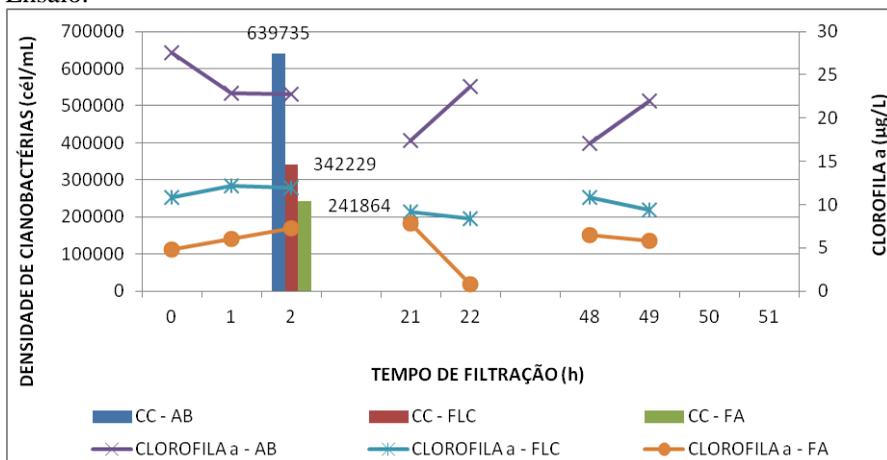
(f)



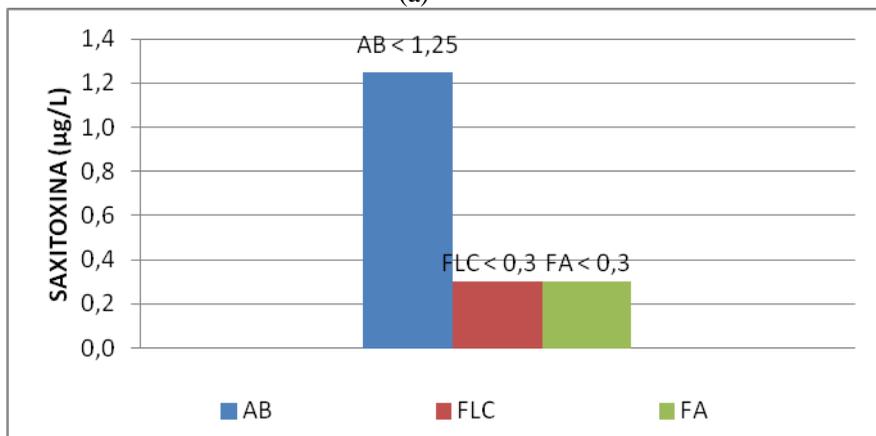
(g)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.35 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1, Terceiro Ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Neste tratamento, os resultados de turbidez e cor aparente (Figura 4.34 a, b) do efluente final do sistema foram superiores a 1,0 uT e 12 uH, respectivamente; sendo a média e a remoção do efluente para ambos os parâmetros de 1,17 uT e 6 uH e 68% e 72%, respectivamente. No filtro de lavagem contínua, os valores de turbidez e cor aparente

foram superiores a 1,5 uT e 20 uH, com média de 1,85 uT e 6,10 uH, respectivamente.

Os valores de carbono orgânico dissolvido e de absorvância a 254 nm (Figura 4.24 g) do filtro de lavagem contínua e do filtro ascendente tiveram comportamentos semelhantes; sendo a remoção final do sistema de tratamento de 24% e 66%, respectivamente.

Neste tratamento, percebeu-se uma redução na concentração de clorofila *a* (Figura 4.25 a), sendo a redução final do sistema de dupla filtração superior a 74%; sendo destes 52% no filtro de lavagem contínua e 46% no filtro ascendente. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final do sistema de tratamento foi de 7,83 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

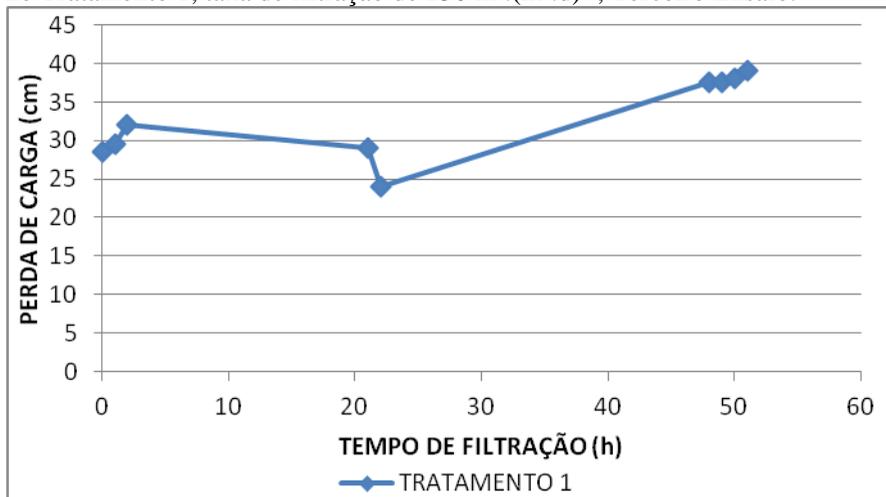
Em relação a densidade de cianobactérias, semelhante ao que ocorreu no Tratamento 1 do Terceiro Ensaio, para taxa de filtração de 200 $\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ (Figura 4.31 a), neste tratamento (Figura 4.35 a) a remoção foi baixa, cerca de 62% no sistema de tratamento, sendo que no filtro de lavagem contínua ocorreu a maior remoção, 46% e no filtro ascendente, remoção de 29%. Como observado ao longo desta pesquisa, neste tratamento também a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de filtração foi elevada – 241864 cel.mL^{-1} . A elevada densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de tratamento causa a diferença de valores entre os parâmetros cor verdadeira e cor aparente (Figura 4.34 d).

As análises de cianotoxinas neste tratamento (Figura 4.35 b) demonstraram uma concentração de saxitoxina total inferior ao limite de quantificação do método (1,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$) na água bruta; no efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente final não foram detectadas concentrações de saxitoxinas totais, sendo o limite de detecção de 0,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Essa situação é semelhante a observada nos Tratamento 1 (Figura 4.28 b) e Tratamento 2 (Figura 4.31 b) para taxa de filtração de 200 $\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$. Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.36 apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 1, para taxa de filtração de 250 $\text{m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.36 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 1, taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



Assim como no Tratamento 1 do Terceiro Ensaio para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ (Figura 4.29), no Tratamento 1 do mesmo ensaio para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, houve um aumento da perda de carga até a segunda hora de operação do sistema, a partir desse hora o sistema apresentou problemas de operação (Figura 4.36).

4.8.8. Tratamento 2: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

Esse tratamento se iniciou dia 27 e findou dia 29 de abril de 2010, sendo um total de 52 horas de operação do sistema. Semelhante ao Tratamento 2, para taxas de filtração de 150 e $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, neste tratamento a dosagem de coagulante adicionada na água bruta foi de $14,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e de $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de SA no efluente do filtro de lavagem contínua, sendo pH de coagulação de 4,63.

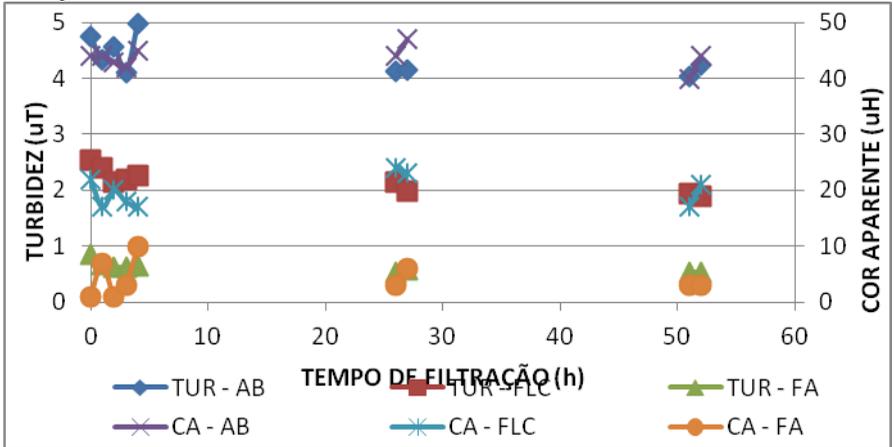
a) RESULTADO DE QUALIDADE DE ÁGUA

As amostras de água bruta mostraram que a espécie dominante é a *Cylindrospermopsis raciborskii*, com ocorrência de 73%, seguida pelas espécies *Planktolyngbya sp* (12,2%), *Limnothrix planctonica* (5,2%) e *Planktolyngbya limnetica* (1,1%).

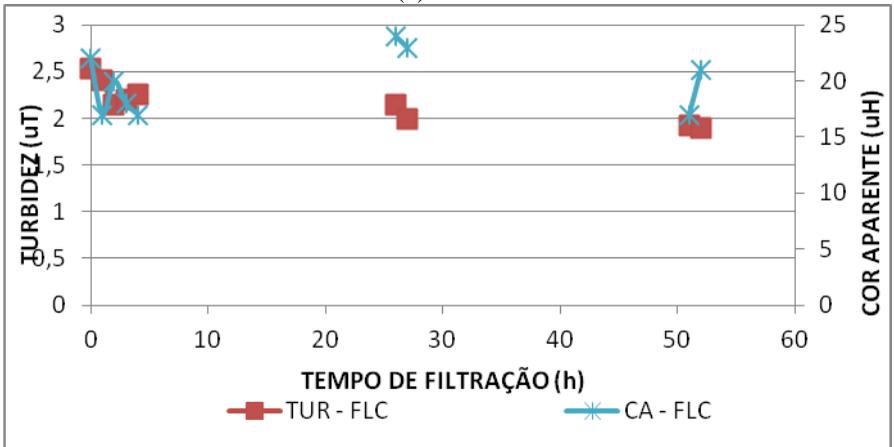
A Figura 4.37 apresenta o comportamento dos parâmetros de controle enquanto que a Figura 4.38 apresenta os resultados da

concentração de cianobactérias e densidade de clorofila *a* e STX para a taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

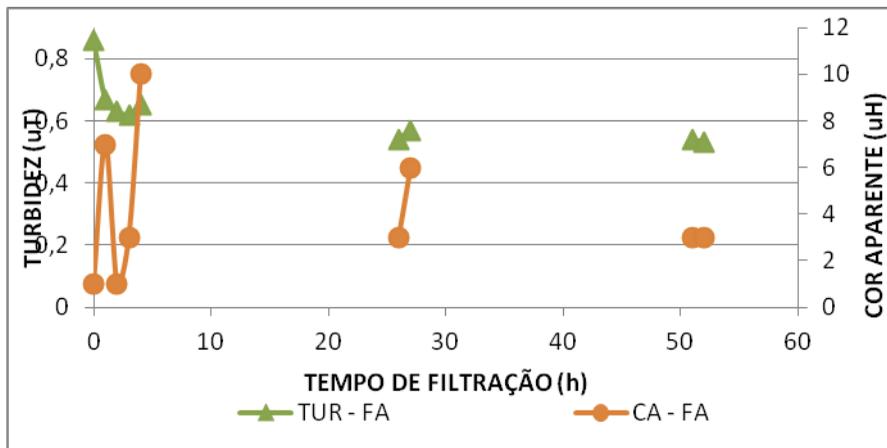
Figura 4.37 – Comportamento dos parâmetros de controle para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



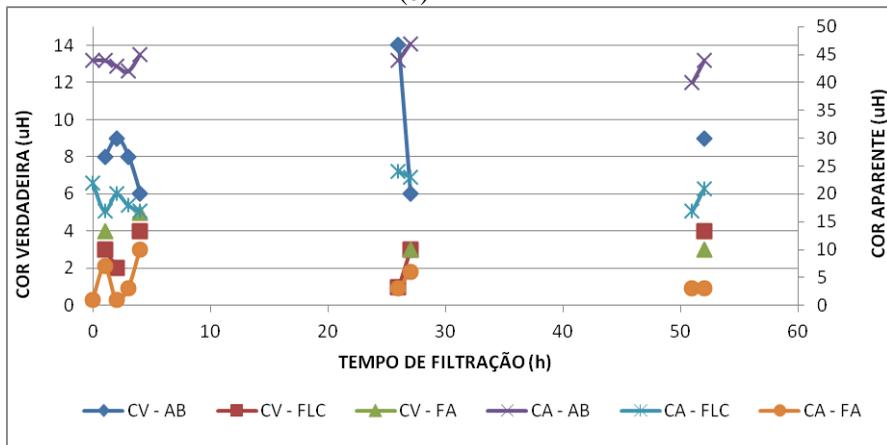
(a)



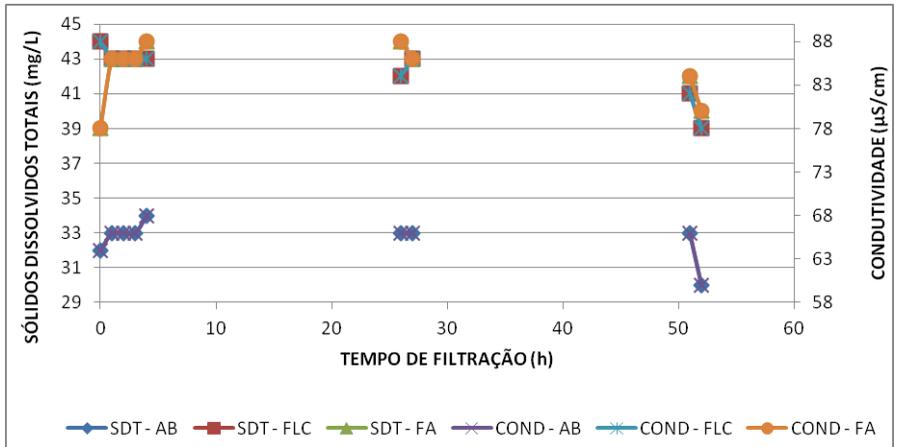
(b)



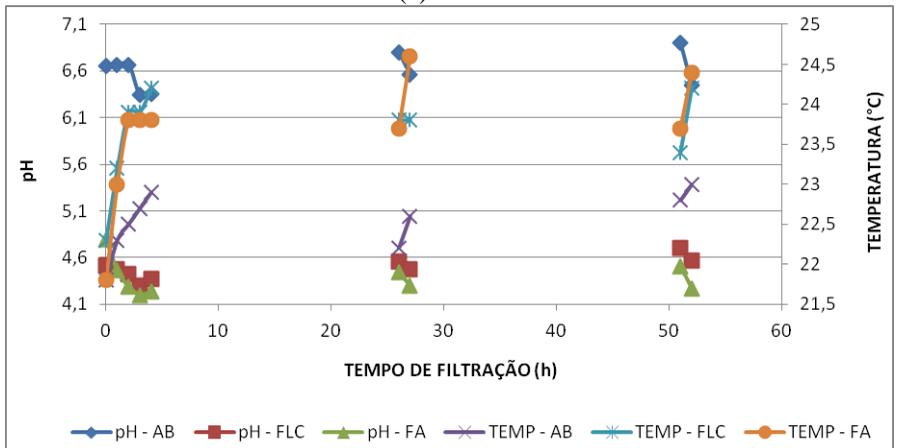
(c)



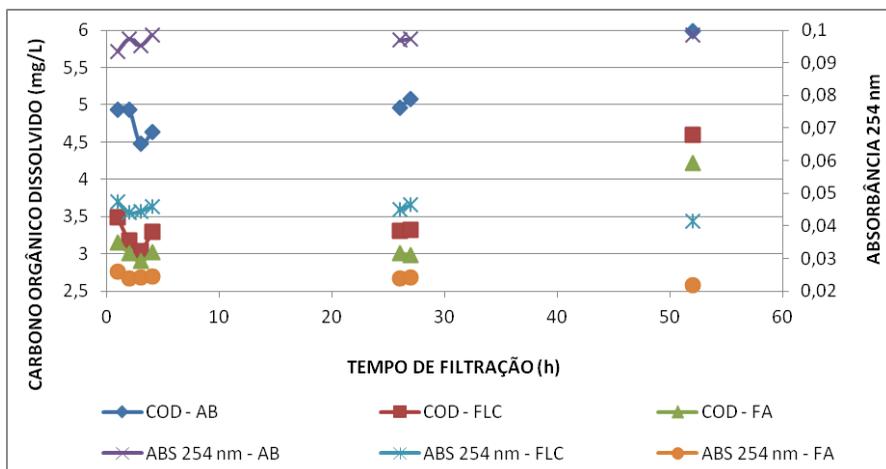
(d)



(e)



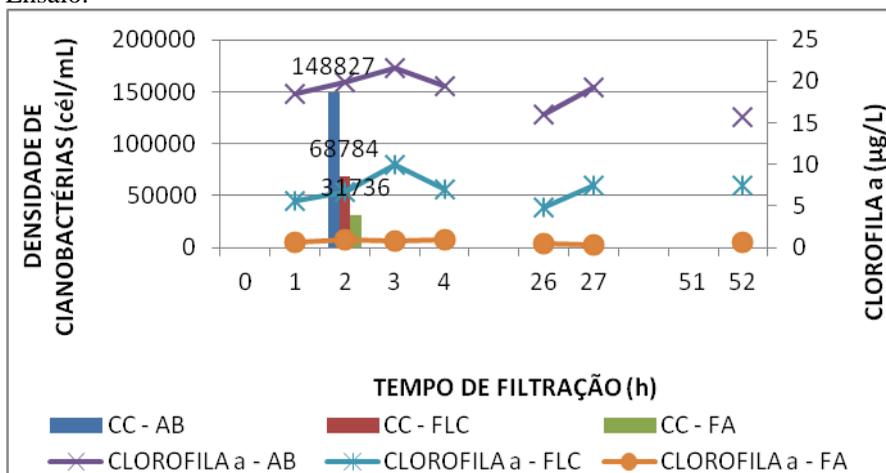
(f)



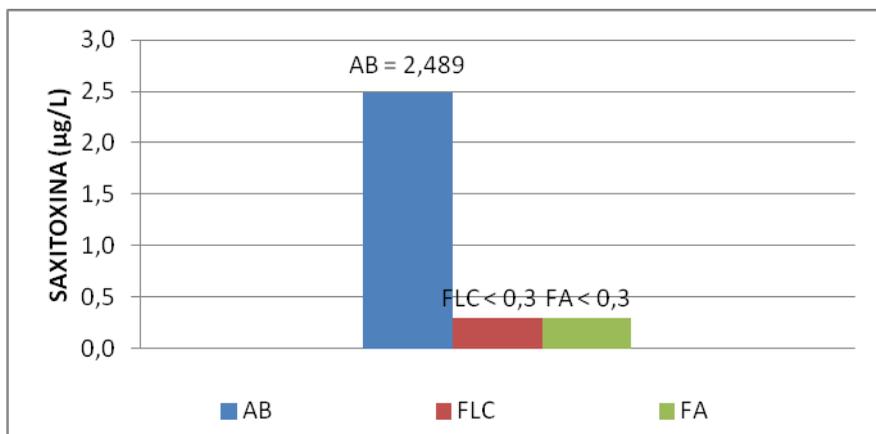
(g)

COD: Carbono Orgânico Dissolvido. TEMP: Temperatura. SDT: Sólidos Dissolvidos Totais. COND: Condutividade. CV: Cor Verdadeira. CA: Cor Aparente. TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Figura 4.38 – Densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxina total para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



(a)



(b)

CC: Densidade de Cianobactérias. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua. FA: Filtro Ascendente.

Neste tratamento, os resultados de turbidez e cor aparente (Figura 4.37 a, c) do efluente final do sistema foram inferiores a 1,0 uT e 10 uH, sendo a média e a remoção de 0,62 uT e 4,39 uH e 85% e 90%, respectivamente. No filtro de lavagem contínua (Figura 4.37 a, b), os valores de turbidez e cor aparente foram superiores a 1,9 uT e 17 uH, com média de 2,17 uT e 4,48 uH respectivamente.

O comportamento dos parâmetros carbono orgânico dissolvido e de absorvância a 254 nm (Figura 4.37 g) nos dois filtros foram diretamente proporcionais; sendo a remoção final do sistema de 36% e 77%, respectivamente.

Neste tratamento, percebeu-se uma redução na concentração de clorofila *a* (Figura 4.38 a), sendo a redução final do sistema superior a 96%, sendo que 63% desta remoção ocorreu no filtro de lavagem contínua e 90% no filtro ascendente convencional. A concentração máxima e mínima de clorofila *a* no efluente final do sistema de tratamento foi de 1,02 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ e 0,34 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Em relação à densidade de cianobactérias, semelhante ao que ocorreu no Tratamento 2 do Terceiro Ensaio, para taxa de filtração de 200 $\text{m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ (Figura 4.31 a), neste tratamento a remoção foi maior do que a remoção observada no Tratamento 1 para a taxa de filtração de 250 $\text{m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ (Figura 4.35 a), cerca de 80%, no sistema, sendo 53% no filtro de lavagem contínua e 57% no filtro ascendente. Tal como citado anteriormente, a densidade de cianobactérias no efluente final do

sistema de filtração foi elevada – $31736 \text{ cel.mL}^{-1}$. Assim como ocorreu em todos os ensaios desta pesquisa, a densidade de cianobactérias presente no efluente final do sistema de tratamento causou diferença entre os valores de cor aparente e cor verdadeira (Figura 4.37 d).

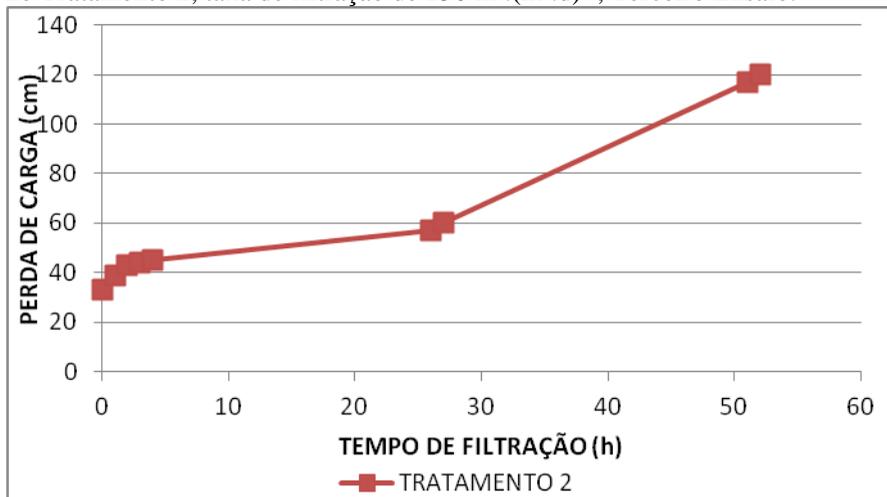
As análises de cianotoxinas (Figura 4.38 b) demonstraram uma concentração de saxitoxina total de $2,489 \mu\text{g.L}^{-1}$ na água bruta. No efluente do filtro de lavagem contínua e no efluente final não foram detectadas concentrações de saxitoxinas totais, sendo o limite de detecção de $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$. Semelhante ao que ocorreu em todos os tratamentos do Terceiro Ensaio, não se observa o aumento de toxinas por lise (rompimento) de células. Como citado por Mondardo (2009) e Melo Filho (2006), a concentração de saxitoxina encontrada na água da Lagoa do Peri é baixa; sendo assim, para uma análise de eficiência de remoção das composições de tratamento, os resultados mostraram inviabilidade para tal. Os cromatogramas das amostras encontram-se no apêndice C.

Semelhante ao que aconteceu no Tratamento 2 para taxa de filtração de $150 \text{ e } 200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$; para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ também se realizou análise de alumínio residual. A concentração de alumínio residual detectada foi de $0,570 \text{ mg.L}^{-1}$; ou seja, concentração superior à permitida pela Portaria do Ministério da Saúde 518/04 – $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (BRASIL, 2004). Tal situação se dá, provavelmente, pelo aumento na vazão de coagulante devido ao aumento da vazão de água, para a mesma concentração de coagulante; situação semelhante à observada na taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$.

b) RESULTADOS DE PERDA DE CARGA E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

A Figura 4.39 apresenta o resultado da perda de carga *versus* carreira de filtração no Tratamento 2, para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ do Terceiro Ensaio.

Figura 4.39 – Resultados de Perda de Carga versus Carreira de Filtração no Tratamento 2, taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.

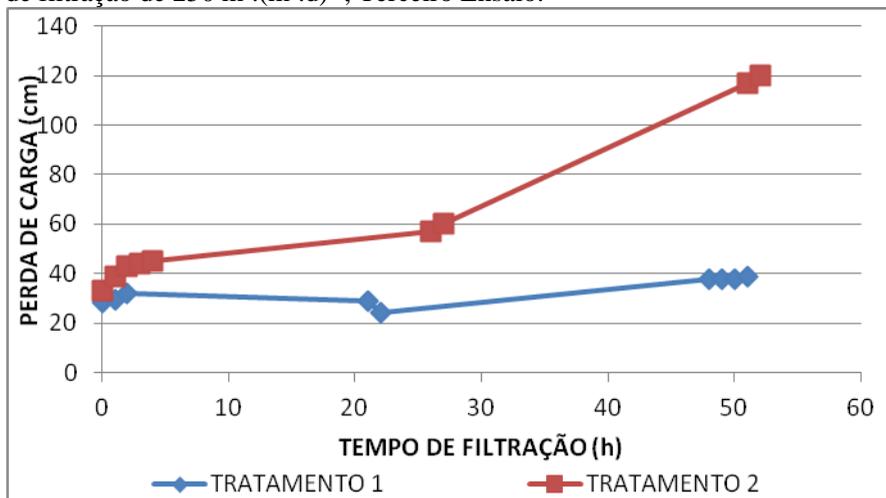


No Tratamento 2 do Terceiro Ensaio, para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, o tempo de filtração foi de 52 h, com uma perda de carga de 120 cm (Figura 4.39).

4.8.9 Comparação entre os Dois Sistemas de Tratamento para Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – Terceiro Ensaio

A Figura 4.40 apresenta a perda de carga nos Tratamentos 1 e 2 quando se utiliza a taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Figura 4.40 – Perda de carga no Tratamento 1 e Tratamento 2 para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Terceiro Ensaio.



Diferentemente do que aconteceu anteriormente (Figura 4.15, Figura 4.26 e Figura 4.33), quando se utilizou a taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ (Figura 4.40), os tempos de carreira de filtração do Tratamento 1 e do Tratamento 2 foram semelhantes.

A Tabela 4.5 apresenta valores de qualidade e remoção nos dois tratamentos, bem como o tempo de filtração de cada tratamento para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

Tabela 4.5 – Valores médios de qualidade e remoção nos tratamentos, para taxa de filtração de 250 m³.(m².d)⁻¹.

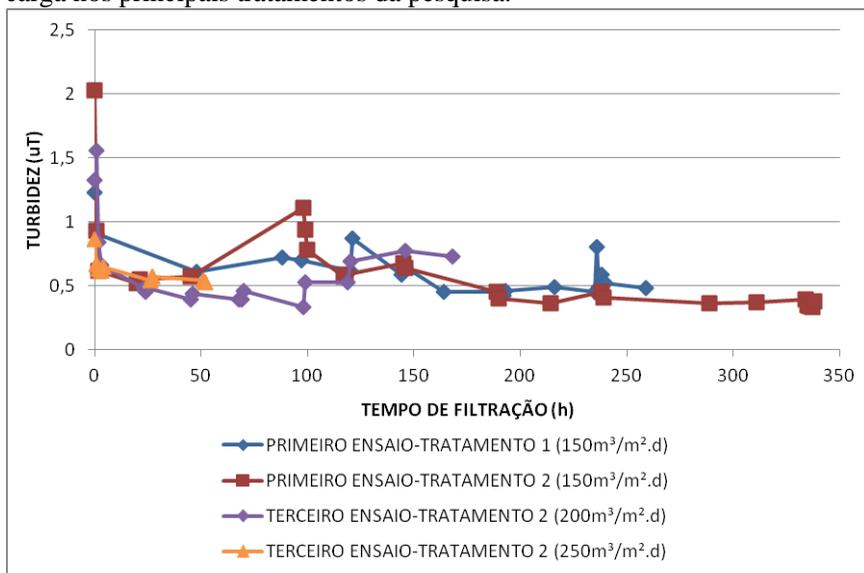
	TRATAMENTO 1						TRATAMENTO 2					
	AB	FLC	Rem FLC (%)	FA	FA (%)	Rem ST1 (%)	AB	FLC	FLC (%)	FA	FA (%)	Rem ST2 (%)
Turbidez (uT)	3,73	1,86	50	1,17	37	68	4,36	2,17	50	0,62	71	85
Cor aparente (uH)	50,3	22,4	55	13,7	38	72	43,7	19,9	54	4,1	79	90
Cor verdadeira (uH)	9	3,8	57	2,8	26	68	8,6	3,7	56	2,8	24	67
COD (mg/L)	6,03	4,81	20	4,57	4	24	5,00	3,46	30	3,19	7	36
ABS 254 nm	0,09	0,04	55	0,03	25	66	0,09	0,04	55	0,02	50	77
Ph	7,00	5,98	14	6,09	1	13	6,60	4,49	31	4,39	2	33
Condutividade (µS/cm)	67,4	71,8	6	71,8	-	6	65,4	84,6	29	84,6	-	29
SDT (mg/L)	33,7	35,9	6	35,9	-	6	32,7	42,3	29	42,3	-	29
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	21,9	10,4	52	5,57	46	74	19,1	7,01	63	0,68	90	96
Cianobactérias (x10 ⁵ cél/mL)	6,4	3,4	46	2,4	29	62	1,5	0,7	53	0,3	57	80
Carreira de filtração	51 h						52 h					

AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; RemFLC: Remoção no Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente; RemFA: Remoção no Filtro Ascendente; RemST: Remoção do Sistema de Tratamento.

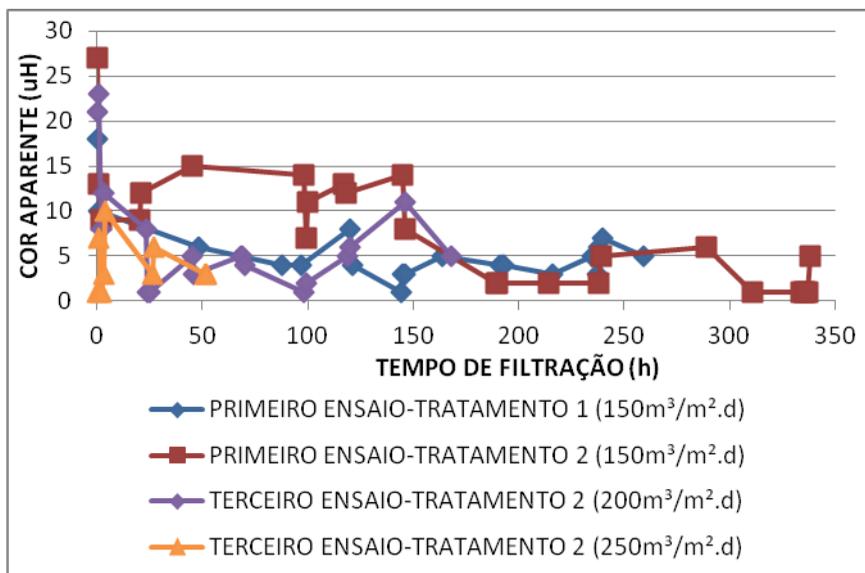
4.9 COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS E TAXAS DE FILTRAÇÃO ASCENDENTE

A Figura 4.41 apresenta os valores de turbidez, cor aparente, concentração de cianobactérias e perda de carga em todos os tratamentos dessa pesquisa, para as diferentes taxas de filtração.

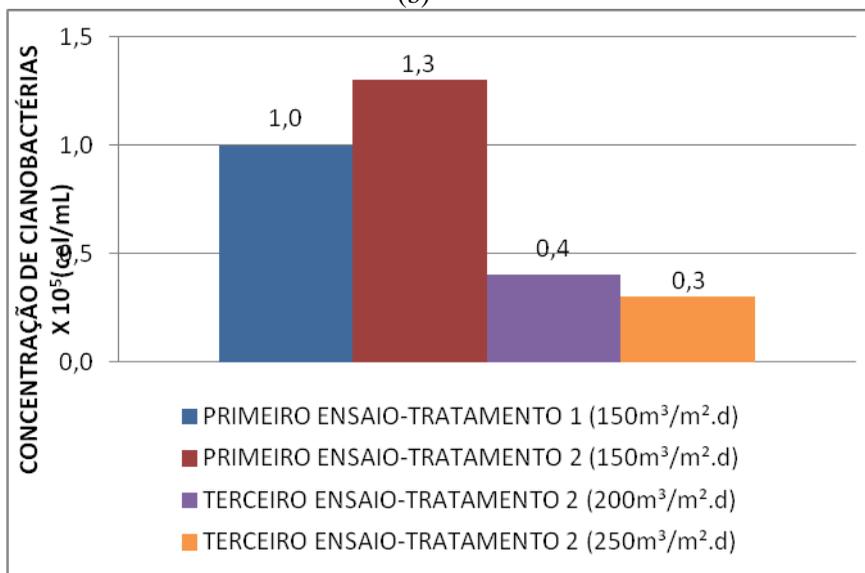
Figura 4.41 – Valores de turbidez, cor aparente e concentração de cianobactérias no efluente final do sistema de tratamento e perda de carga nos principais tratamentos da pesquisa.



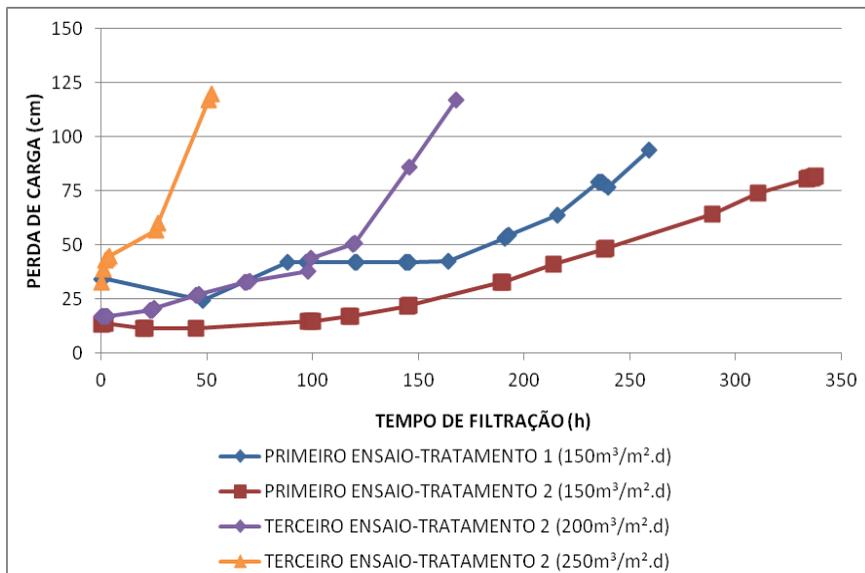
(a)



(b)



(c)



(d)

A partir das Tabela 4.3, Tabela 4.4 e Tabela 4.5 e da Figura 4.41 (a,b) percebe-se que os Tratamentos 1 e 2 para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, Tratamento 2 para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ e Tratamento 2 para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ apresentaram as melhores remoções para os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira e clorofila *a*; conseqüentemente melhores efluentes finais do sistema de tratamento, quando comparados com a água bruta.

Em relação à densidade de cianobactérias (Figura 4.41 c), a qualidade final do efluente do sistema de tratamento foi melhor no Tratamento 1 – taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – e Tratamento 2 – taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ –; seguido pelo Tratamento 2 – taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ – e pelo Tratamento 2 – taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. Vale salientar que em todos os tratamentos a densidade de cianobactérias no efluente final do sistema de filtração ainda foi elevada.

O melhor desempenho, em relação à carreira de filtração (Figura 4.41 d), ocorreu quando se adicionou coagulante no afluente dos dois filtros (Tratamento 2) e observou-se melhor resultado quando se adotou a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, tanto em relação à produção de água quanto em relação a produção efetiva de água, visto que quanto maior o tempo de filtração, menor o número de lavagens do filtro

ascendente e consequentemente menor o gasto de água para lavagem do filtro.

4.10. CONSUMO DE ÁGUA PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE DUPLA FILTRAÇÃO DE LAVAGEM CONTÍNUA

Um problema observado durante a operação do sistema de dupla filtração ascendente foi o consumo de água para a manutenção do sistema de tratamento. Por ser um filtro de lavagem contínua, cerca de 4,5% da vazão de entrada é utilizada para a lavagem do meio filtrante continuamente, o que acaba resultando em perda de água.

Foram realizados cálculos para verificar o consumo de água para lavagem do meio filtrante de filtros de lavagem contínua, ascendente e descendentes, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. A Tabela 4.6 apresenta o volume de água utilizado para lavagem do meio filtrante nos três filtros.

Tabela 4.6 – Volume de água utilizado para a lavagem do meio filtrante no filtro de lavagem contínua, filtro ascendente e filtro descendente.

FILTRO	VOLUME DE ÁGUA PARA LAVAGEM DO MEIO FILTRANTE (m³)
LAVAGEM CONTÍNUA	3,534
ASCENDENTE *	4,5
DESCENDENTE **	3,15

* Tempo de lavagem de 10 minutos; a cada 24 horas; velocidade de lavagem de $0,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

** Tempo de lavagem de 7 minutos; a cada 24 horas; velocidade de lavagem de $0,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Após o cálculo do volume de água utilizado para a lavagem do meio filtrante por filtro, analisou-se o volume de água utilizado para lavagem do meio filtrante para três sistemas de tratamento por filtração direta: filtro de lavagem contínua seguido por filtro ascendente; dupla filtração ascendente convencional; e filtração ascendente seguida por filtração descendente. Na Tabela 4.7 é apresentado o volume de água utilizado para lavagem do meio filtrante para três sistemas de tratamento por filtração direta (dupla filtração).

Tabela 4.7 – Volume de água utilizada para lavagem do meio filtrante para três sistemas de tratamento por Filtração Direta (Dupla Filtração).

SISTEMA	VOLUME DE ÁGUA DE LAVAGEM (m³)*.	VOLUME DE ÁGUA DE LAVAGEM (m³)**.
Filtro de Lavagem Contínua + Filtro Ascendente	22,15	39,93
Filtro Ascendente + Filtro Ascendente	38,25	67,50
Filtro Ascendente + Filtro Descendente	42,75	85,50

* Para um tempo de carreira de filtração igual a 5 dias.

** Para um tempo de carreira de filtração igual a 10 dias.

Percebe-se, pela Tabela 4.7, que dos três sistemas de filtração direta (dupla filtração), o sistema filtro de lavagem contínua seguido de filtro ascendente é o que consome menor volume de água para lavagem do meio filtrante. Percebe-se também que o volume de água de lavagem utilizado no sistema estudado nesta pesquisa não aumenta proporcionalmente, o que ocorre nos dois outros sistemas, diminuindo assim o volume de água gasto na lavagem do meio filtrante.

4.11. OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DE LAVAGEM CONTÍNUA EM ESCALA REAL COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM

Dentre as ETAs que utilizam o filtro de lavagem contínua, encontra-se a ETA-Boracéia, localizada na cidade de Bertioga, litoral Norte de São Paulo.

4.11.1. ETA – Boracéia

A ETA-Boracéia, sob responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), foi projetada para tratar uma vazão de 60 L.s⁻¹; para isso, a estação possui três filtros de lavagem contínua, com vazão unitária de 20 L.s⁻¹.

A água chega até a ETA-Boracéia por uma tubulação de ferro fundido de 250 mm e é abastecida pelo manancial Ribeirão Pedra Branca, situado na Reserva Indígena do Rio Silveiras. Pela qualidade da água, o manancial pode ser classificado como classe especial; inclusive, anterior a implantação da ETA-Boracéia, a água recebia apenas cloro e

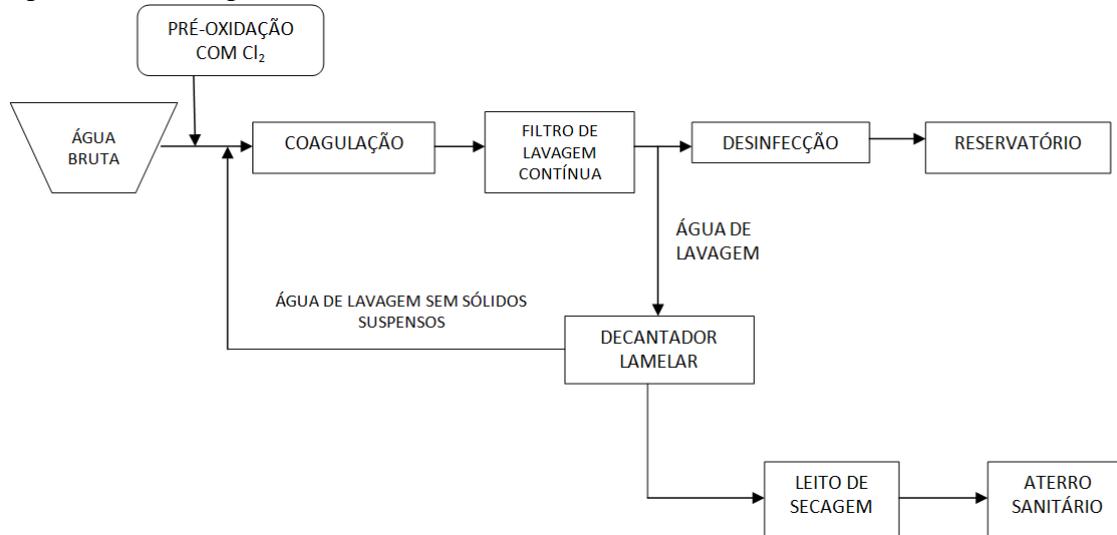
soda para correção de pH, antes de ser destinada ao abastecimento público. Contudo, no período de chuvas, a qualidade da água bruta piora bastante, chegando a ser registrada cor aparente de 70 uH e turbidez superior a 10 uT. Análises de água bruta constataram baixa densidade de cianobactérias, sendo o valor máximo encontrado de 29,7 cel.mL⁻¹, no mês de fevereiro de 2010. A Figura 4.42 apresenta uma foto da ETA-Boracéia e do manancial Ribeirão Pedra Branca.

Figura 4.42 – Estação de Tratamento de Água de Boracéia e manancial Pedra Branca.



Em cerca de 300 metros da estação é feita a pré-cloração da água bruta; ao chegar à estação, a água passa por um sistema de gradeamento para remoção de sólidos grosseiros; em seguida, adicionam-se coagulante (cloreto férrico) e soda para ajuste de pH. Devido ser um sistema ascendente, a cloração se dá na parte superior do filtro mantendo-se entre 12 e 15 minutos de tempo de contato; na calha de saída de cada filtro é dosado ácido fluorsilícico à 25%; em seguida, a água é armazenada em seis reservatórios de 50000 L cada, interligados entre si, totalizando 300 m³ de reservação. Entre a reservação e a casa de bombas há um ponto de dosagem de soda para correção de pH. A Figura 4.43 apresenta o fluxograma do tratamento.

Figura 4.43 – Fluxograma do Tratamento

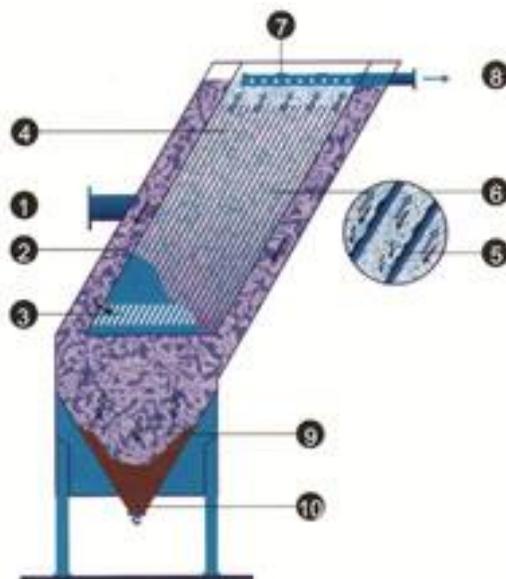


A água de lavagem dos filtros é coletada e encaminhada ao decantador lamelar. No decantador, as partículas sólidas sedimentam no cone formando o lodo, o qual é encaminhado ao sistema de secagem por *bags* e depois transportado para aterros sanitários. O sobrenadante é conduzido a um reservatório de 10000L e em seguida bombeado para o início do sistema, antes da dosagem de coagulante e soda, ou seja, não há perda de água no sistema.

4.11.2 Decantador Lamelar

O tanque do decantador e as placas de decantação foram construídos em polipropileno sendo a área total de decantação de 17,2 m² (projeção horizontal das placas). A Figura 4.44 mostra o funcionamento do decantador lamelar.

Figura 4.44 – Funcionamento do Decantador Lamelar.



A água de lavagem dos filtros entra pelo compartimento de acesso (1) do decantador lamelar e flui em ambos os lados, para baixo (2). Dentro do tanque, a água entra no sistema de lâminas (3), o qual é construído em um número de lâminas chatas (4) posicionadas em um

único ângulo. A área total de decantação e distância entre as lamelas é determinada pelas características do lodo.

Durante o transporte da água para cima (6), o lodo sedimenta nas lamelas (5), contrário ao transporte da água, e a água limpa deixa o decantador lamelar pelo duto (7) e a flange. A entrada da água pelas laterais das lamelas facilita o deslizamento do lodo, evitando acúmulo e entupimento entre as lamelas. O lodo é coletado no depósito cônico (9), onde ocorre um aumento de consistência e onde o desenho do depósito garante uma descarga de lodo homogênea.

A Figura 4.45 apresenta fotos do decantador lamelar, do sistema de secagem de lodo e do reservatório de água de lavagem.

Figura 4.45 – Fotos do decantador lamelar, do sistema de secagem de lodo e do reservatório de água de lavagem.







A cada 24 horas é feita a descarga do lodo do decantador, o qual era direcionado aos bags existentes. Após 4 semanas, tempo que demorava para os quatro *bags* ficarem cheios, eles eram retirados, levados para o leito de secagem e depois transportados até o aterro sanitário em containers.

4.11.3 Ensaio de Jarreste e Operação do Sistema

A qualidade da água do manancial Ribeirão Pedra Branca é, na maior parte do ano, considerada satisfatória para consumo humano, necessitando apenas de cloração e correção de pH. Contudo, no período chuvoso a qualidade da água do manancial piora bastante, sendo necessário o processo de filtração e consequentemente a dosagem de

coagulante; para tanto, fazem-se necessários ensaios de jarreste para verificar a melhor dosagem de cloreto férrico.

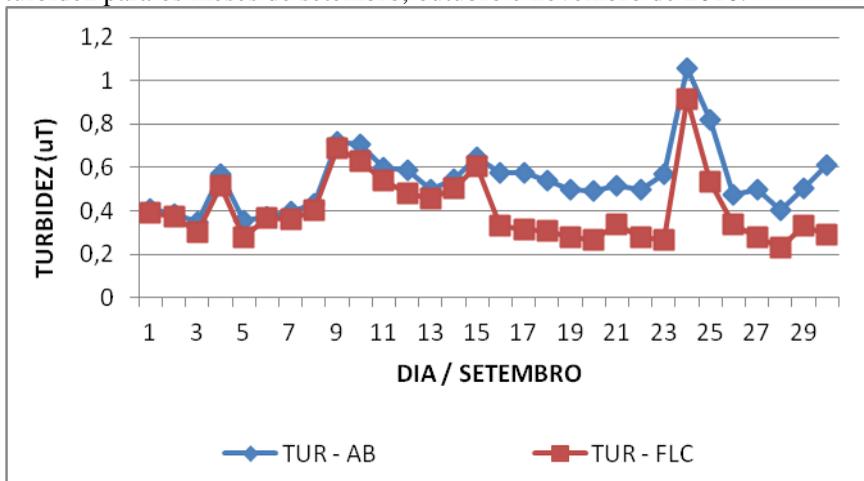
De acordo com os resultados de jarreste, para água com a seguinte qualidade: 11,5 uT; 57,0 uH e pH 6,62; a melhor dosagem de cloreto férrico é 10 mg.L⁻¹; o que resulta em efluente com 0,49 uT; 8,6 uH e pH 5,26. Contudo, durante os três meses de pré-operação – setembro, outubro e novembro – não houve dosagem de cloreto férrico no sistema devido ao fato de que a piora na qualidade da água foi num período de tempo muito curto.

No início da operação, setembro de 2010, a ETA-Boracéia funcionava apenas como reservação de água, visto que o sistema automático de cloro, flúor e correção de pH ainda não havia sido instalado, ou seja, a cloração, fluoretação e correção de pH aconteciam no ponto de captação. A partir do início de outubro, todo o processo de tratamento de água passou a ser realizado na ETA-Boracéia (filtração, cloração, fluoretação e correção de pH), exceto dosagem de coagulante.

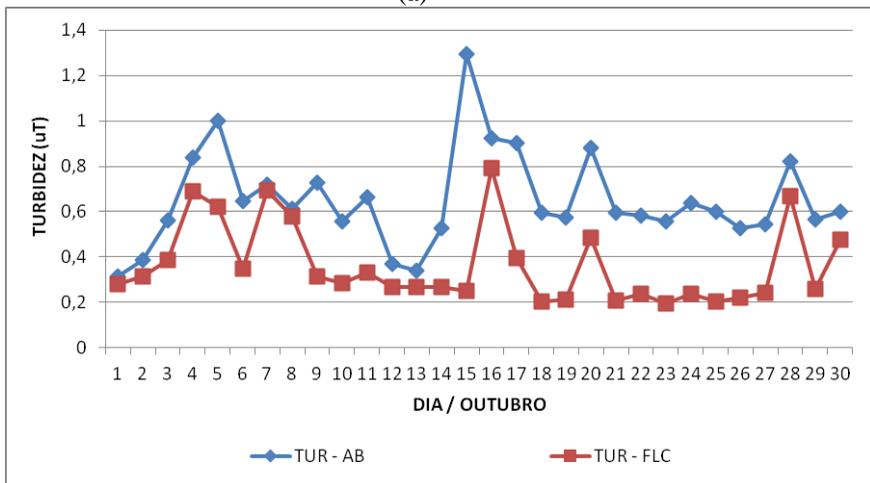
Durante os três meses de pré-operação, o efluente da ETA-Boracéia apresentou qualidade da água bastante satisfatória, sendo os valores de turbidez, cor aparente e pH de 0,5 uT, 10 uH e 7,00, respectivamente.

A Figura 4.46 apresenta o comportamento da água bruta e água filtrada em relação à turbidez para os meses de setembro, outubro e novembro de 2010, período da pré-operação do sistema.

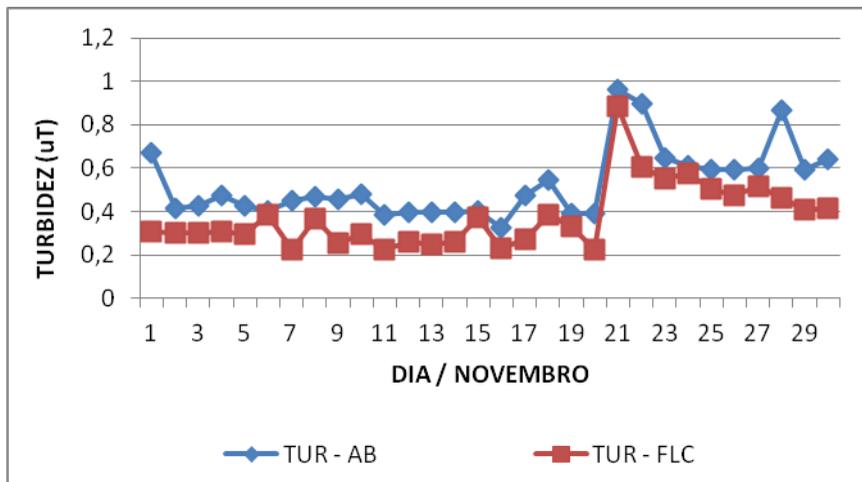
Figura 4.46 – Comportamento da água bruta e água filtrada em relação à turbidez para os meses de setembro, outubro e novembro de 2010.



(a)



(b)



(c)

TUR: Turbidez. AB: Água Bruta. FLC: Filtro de Lavagem Contínua.

Pela Figura 4.46 percebe-se a boa qualidade da água bruta, mesmo assim observou-se uma diminuição na concentração de turbidez no efluente final. Não se esperava que a água do manancial fosse tão boa. Durante os três meses de pré-operação, esperou-se o período de chuva intensa na região para operar a estação de tratamento de água da forma como se planejava; contudo, as chuvas, nesse período foram escassas, o que impediu a operação do sistema de tratamento por completo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com relação aos resultados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa, pode-se concluir:

- O sistema de tratamento de água por dupla filtração com filtro de lavagem contínua e filtro ascendente se mostrou eficiente para águas eutrofizadas com microalgas, cianobactérias e saxitoxinas quando comparados com o tratamento por filtração direta ascendente convencional, ou seja, sem a aplicação do filtro de lavagem contínua; contudo, ocorre ainda transpasse de células. O sistema é também vantajoso quanto aos serviços operacionais, tendo em vista que diminui sensivelmente as lavagens de filtro, resultando uma maior produção efetiva de água.
- O filtro de lavagem contínua, quando avaliado de forma independente, trata de maneira satisfatória as águas com elevada densidade de microalgas, cianobactérias e saxitoxinas, além de influenciar de maneira positiva na remoção dos parâmetros analisados. O efluente do filtro de lavagem contínua, por ser de melhor qualidade, prolonga a carreira de filtração do filtro ascendente.
- O sistema de dupla filtração teve melhores resultados em relação à carreira de filtração quando se adicionou coagulante a montante de ambos os filtros. No Primeiro Ensaio, no Tratamento 2, a carreira de filtração foi de 338 h, contra 259 h no Tratamento 1 e 53 h no Tratamento 3. Essas carreiras de filtração são muito superiores quando comparadas com o tratamento por filtração direta. Quanto à qualidade de água, os Tratamentos 1 e 2 foram equivalentes, ou seja, o efluente final dos dois tratamentos apresentou qualidade de água semelhante. Porém, devido ao maior tempo de filtração, no Tratamento 2 houve maior produção efetiva de água.
- Os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS 254 nm e clorofila *a*, em todos os tratamentos, decresceram significativamente; entretanto os parâmetros pH, condutividade e sólidos dissolvidos totais aumentaram no decorrer do tratamento, provavelmente devido a adição de coagulante (SA). Vale salientar que os valores são para água duplamente filtrada sem adição de desinfetante (cloro), o que melhoraria ainda mais a qualidade do efluente final.

Vale ressaltar que esta pesquisa é pioneira no estudo de sistema de dupla filtração ascendente utilizando filtro de lavagem contínua para remoção de cianobactérias e microalgas, sendo assim, deve ser considerada como estudo inicial; logo, há a necessidade de investigações mais detalhadas, que busquem maximizar a técnica estudada. Desta forma, com base na pesquisa realizada, sugere-se:

- Adicionar ao sistema de filtração estudado o decantador lamelar, objetivando minimizar o gasto de água para lavagem do meio filtrante do filtro de lavagem contínua.
- Testar diferentes taxas de filtração, além das três taxas estudadas.

Acrescentar, ao filtro ascendente, a descarga de fundo intermediária, com o objetivo de melhorar o efluente final do sistema.

REFERÊNCIAS

AOAC. association of Official Analytical Chemists. – Official Method (2005) “**06: Paralytic Shellfish Poisoning Toxins in Shellfish - Prechromatographic Oxidation and Liquid Chromatography with Fluorescence Detection**”. First Action 2005.

APHA - AWWA - WPCF (1999). "**Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**". American Public Health Association 20a Edition (CD-Rom), Washington DC.

ASSIS, R. S. S. (2006). "**Remoção de *Microcystis aeruginosa* e Microcistinas por Flotação por Ar Dissolvido – Estudo em Escala de Bancada Utilizando Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico como Coagulantes.**". Dissertação de Mestrado –Universidade de Brasília – Programa em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006. 119p.: il.

ASTRASAND DO BRASIL. (2008). Comunicação Pessoal.

ASTRASAND DO BRASIL. (2007a). “**Manual de Operação**”. Informações do Fornecedor.

ASTRASAND DO BRASIL. (2007b). “**Lista de Referências**”. Informações do Fornecedor.

ASTRASAND DO BRASIL. (2006). “**Filtro Astrasand para Contínua Purificação de Água**”. Informações do Fornecedor.

AZEVEDO, S.M.F. (1998). “**Toxinas de Cianobactéria: Causas e Conseqüências para a Saúde Pública.**” Medicina on Line, volume 1, Ano 1, nº3. Julho/Agosto/Setembro.

AZEVEDO, S.M.F.; 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.

BATOREÚ, M. C. C; DIAS, E.; PEREIRA, P; FRANCA, S. (2005). “**Risk of humam exposure to paralytic toxins of algal origin**”. Environmental Toxicology and Pharmacology, 19, 401–406.

BERGER, C.; BA, N.; GUGGER, M.; BOUVY, M.; RUSCONI, F.; COUTÉ, A.; TROUSSELLIER, M.; BERNARD, C. (2006). “**Seasonal dynamics and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Lake Guiers (Senegal, West Africa)**”. *FEMS Microbiol Ecol* 57, 355–366.

BOUAÏCHA, N. (2001). “**Impact Sanitaire des Toxines de Cyanobactéries en Milieu d'eau Douce**”. *Revue Française des Laboratoires*, octobre, N ° 336

BRANCO, C. W. C. e SENNA, P. A. C. (1994). “**Factores influencing the development of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* in the Paranoá Reservoir, Brasília, Brazil.**” *Algological Studies* 75: 85-96. Stuttgart, November 1994.

BRANDÃO, C. C. S. e SILVA, A. S. (2006). “**Remoção de Cianotoxinas por Adsorção em Carvão Ativado**”. In: Pádua, V. L. “*Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 415-465.

BRANDÃO, C. C. S.; MONDARDO, R. I.; BASTOS, R. K. X.; TANGERINO, E. P. (2009). “**Tratamento de Água e Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas**”. In: Pádua, V. L. “*Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2009. 151-195

BRASIL – Ministério da Saúde (2004). “**Portaria N° 518/GM em 25 de março de 2004.**”

BRUCHET, A.; BERNAZEAU, F.; BAUDIN, I.; PIERONNE, P. (1998). “**Algal toxins in surface waters: analysis and treatment**”. *Water Supply*. 16(1/2); 611-623.

CARMICHAEL, W. W. (1994). “**The toxins of cyanobacteria.**” *Scientific American*, 271, 78 – 86.

CARMICHAEL, W.W. (1992). “**Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins**”. *Journal of Applied Bacteriology*, 72: 445-459.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M. F. O.; AN, J.S.; MOLICA, J.R.; JOCHIMSEN, E. M.; LAUS, S.; RINEHART, K. L. E.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. (2001). “**Human Fatalities from Cyanobacteria: Chemical and Biological Evidence for Cyanotoxins**”. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, n. 7, July 2001.

CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, S. M. F. O. L.; BENDATE, M. M. A. (2006). **Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados as Cianobactérias**. In: Pádua, V. L. *Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 23-82.

CHENG, X.; SHI, H.; ADAMS, C. D.; TIMMONS, T.; MA, Y. (2009). “**Effects of Oxidative and Physical Treatments on Inactivation of *Cylindrospermopsis raciborskii* and Removal of Cylindrospermopsin**”. *Water Science & Technology*, 2009. **60**(3), 689-697.

CHOW, C.W.K; DRIKAS, M.; HOUSE, J.; BURCH, M. D.; VELZEBOER, R. M. A. (1999). “**The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis Aeruginosa***”. *Water Research*, **33**(15), 3253-3261

CHOW, C.; PANGLISCH, S.; MOLE, J.; DRIKA, M.; BURCH, M.; GIMBEL, R. (1997). “**A study of membrane filtration for the removal of cyanobacterial cells.**” *AQUA*, 1997 **46**(6); 324-334.

CODD, G. A. (1995). “**Cyanobacteriua toxins: occurrence, properties and biological significance**”. *Water Science & Technology*, 1995. **32**(4), 149-156.

CORAL, L. A. (2009). **“Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas em Águas de Abastecimento pela Associação de Flotação por Ar Dissolvido e Nanofiltração”**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2009. 198 p.: il.

DAAMEN, E. J.; WOUTERS, J. W.; SAVELKOUL, J. T. G. (2000). **“Side stream biofiltration for improved biofouling control in cooling water systems”**. Water Science and Technology 41 (4-5), pp. 445-451.

DALSASSO, R. L. (2008). Comunicação Pessoal.

DALSASSO, R. L. (2005). **“Estudo de Diferentes Materiais para Floculação em Meio Granular, Precedendo a Filtração Rápida Descendente no Tratamento de Água para Abastecimento Humano”**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2005. 272 p.: il.

DALSASSO, R. L. e SENS, M. L. (2006). **“Filtração Direta com Pré-Floculação e Coagulação com Sulfato de Alumínio e Hidroxicloreto de Alumínio: Estudo com Água de Manancial Eutrofizado.”** Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 11 n° 3. Rio de Janeiro – July/Sept. 2006.

DI BERNARDO, L. (2003). **“Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração direta”** Luiz Di Bernardo (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Projeto PROSAB 498 p.

DI BERNARDO, L. (1995). **“Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento”**. Rio de Janeiro: ABES: 1995. 140 p.

DI BERNARDO, L. e DANTAS, A.D. (2005). **“Métodos e Técnicas de Tratamento de Água”**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 1565 p. 2 v.

DI BERNARDO, L.; LUCA, S. J.; KURODA, E. K.; PEGORER, M. G. L. (2006). **“Oxidação”**. In: Pádua, V. L. **“Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano”**. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 381-414.

DUYVESTEIJN, C.P.T.M. (1998). “**Water re-use in an oil refinery**”. Desalination 119 (1-3), pp. 357-358.

EPA. Environmental Protection Agency (2005). “**Technologies and Costs - Document for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule and Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule**”. EPA 815-R-05-013, December 2005. Disponível em <http://www.epa.gov/safewater>.

FAO. Organização de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2005). “**Biotoxinas marinas. Estudio FAO: Alimentación e Nutrición.**”

FREED JR, A. J.; GUTIERREZ, M. A.; WESSELS, C . (2007) “**CBFs aid nutrient removal**”. Water and Wastewater International 22 (2), PP. 12-13.

FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. (2003). “**Cianobactérias Tóxicas: Impacto na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano**”. Brasília. DF.

GARCIA, T. V. (2007) “**Tratamento de Água Eutrofizada através de Ozoflotação**”. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2007, 135p.: II

GARCIA, T. V. (2002) “**Remoção de Algas Através da Eletroflotação - Tratamento Eletrolítico Seguido de Filtração Direta no Tratamento de Água de Abastecimento**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2002, 97p.: II

HART, J.; FAWELL, J. K.; CROLL, B. (1998). “**The fate of both intra and extracellular toxins during drinking water treatment**”. Water Supply. 16(1/2); 611-623

HASLE, G. R. (1978). The inverted microscope. In: PHYTOPLANKTON MANUAL, 1978, Paris, 6, p. 88-96 – (Hasle, 1978)

HIMBERG, K.; KEIJOLA, A. M.; HIISVIRTA, L. (1989). “**The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria: A laboratory study**”. *Water Research*. 23 (8) : 979 – 984.

HITZFELD, B. C.; HÖGER, S. J.; DIETRICH (2000). “**Cyanobacterial Toxins: Removal During Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment**”. *Environmental Health Perspectives*; v. 108, Supplement 1: 113-122. March 2000.

KRAMER, J. P.; WOUTERS, J. W.; NOORDINK, M. P. M.; ANINK, D. M. E.; JANUS, J. M. (2000). “**Dynamic denitrification of 3,600 m³/h sewage effluent by moving bed biofiltration**”. *Water Science and Technology* 41 (4-5), pp. 29-33.

KUIPER-GOODMAN, T.; FALCONER, I.; FITZGERALD, J. (1999). “**Human Health Aspects**”. In: “*Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*”. 1999. Edited by Ingrid Chorus and Jaime Bartram. London. UK.

KURODA, E. K. (2006). “**Remoção de Células e Subprodutos de *Microcystis* spp. por Dupla Filtração, Oxidação e Adsorção**”. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo – Hidráulica e Saneamento, 2006, 267p.: il.

LAHTI, K.; VAITOMAA, J.; KIVIMÄKI, A. L.; SIVONEN, K. (1998). “**Fate of cyanobacterial hepatotoxins in artificial recharge of groundwater and in bank filtration**”. In: Peters et al., (Eds.). *Artificial recharge of groundwater*. p. 211-216

LAUDARES-SILVA, R. “**Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica da Lagoa do Peri**”. 1999, 213p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos.

MARNOTO, M. J. E. (2008). “**A Influência da Expansão da Areia Durante a Retrolavagem dos Filtros Lentos sobre a Qualidade da Água para Abastecimento e a Duração das Carreiras**”. Dissertação de Mestrado – Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa – Engenharia do Ambiente – Tecnologia Ambiental, 2008. 86 p.: il.

MARNOTO, M. J. E.; DALSSASSO, R. L.; DUARTE, E. A.; SENS, M. L. (2008). “**A Influência da Expansão da Areia Durante a Retrolavagem na Qualidade da Água para Abastecimento Produzida por Filtros Lentos**”. XXXI Congresso Interamericano AIDIS. Santiago, Chile, 2008. 7p.

MELO FILHO, L. C. (2006). “**Avaliação da Ozonização como pré ou pós-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas**”. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2006. 268 p.: il.

MELO, A. E. S. (2006). “**Avaliação da Filtração Lenta na Remoção de Células de *Cylindrospermopsis Raciborskii* e Saxitoxinas**”. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília – Programa em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006. 178 p.: il.

MIERZWA, J. C. (2006) “**Processo de Separação por Membrana para Tratamento de Água**”. In: Pádua, V. L. “*Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 335-380.

MIERZWA, J. C. e HESPANHOL, I. (2005). “**Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**”. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 143 p.

MOLICA, R. J.; OLIVEIRA, E. J. A.; CARVALHO, P. V. V. C.; COSTA, A. N. S. F.; CUNHA, M. C. C.; MELO, G. L.; AZEVEDO, S. M. F. O. (2005). “**Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply.**” *Harmful Algae* 4: 743-753.

MONDARDO, R. I. (2009). “**Avaliação da Filtração em Margem como pré-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Células de Cianobactérias e Saxitoxinas**”. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2009. 308 p.: il.

MONDARDO, R. I. (2004). “**Influência da Pré-Oxidação na Tratabilidade das Águas via Filtração Direta Descendente em Manancial com Elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2004. 147 p.: il.

MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; SILVA, R. L.; PROENÇA, L. A. O. (2008). “**Filtração em Margem: Alternativa como um Pré-Tratamento à Filtração Direta na Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas**”. XXXI Congresso Interamericano AIDIS. Santiago, Chile, 2008. 8p.

NUSCH, E. A. (1980). “**Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination**”. Arch. Hydrobiol. Beih. Stuttgart, 14: 14-36.

OLÍMPIO, J. (1996). “**Caracterização e Conservação dos Ecossistemas da Ilha de Santa Catarina**”. Uma Cidade numa Ilha. CECCA. Florianópolis: Editora Insular, 1996.

OLIVEIRA, J. M. B. DE (2005). “**Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por Meio de Sedimentação e de Flotação: Avaliação em Escala de Bancada**”. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília – Programa em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2005. 122p.: il.

PEREIRA, G. G. (2005). “**Remoção de células de *Microcystis* sp por pré-cloração, coagulação, filtração direta e pós-cloração em escala de bancada**”. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo – Hidráulica e Saneamento, 2005. 95p.: il.

PERNFUß, B.; EBNER, C.; PÜMPEL, T.; DIELS, L.; MACASKIE, L.; TSEZOS, M.; KESZTHELYI, Z.; GLOMBITZA, F. (1999). “**The 'behaviour' of five metal biosorbing and bioprecipitating bacterial strains, inoculated in a moving-bed sand filter**”. *Process Metallurgy* 9 (C), pp. 373-382.

PIZZOLATTI, B. S. (2010). “**Estudo de Limpeza de Filtro Lento por Raspagem e Retrolavagem**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2010. 120 p.: il.

PROENÇA, L. A.; LAGOS, N.; RÖRIG, L.; SILVA, M.; GUIMARÃES, S. (1999) “**Occurrence of paralytic shellfish toxins - PST in south brasilian waters**”. *Ciência e Cultura*, v. 51:1, p. 16-21.

PÜMPEL, T.; EBNER, C.; PERNFUß, B.; SCHINNER, F.; DIELS, L.; KESZTHELYI, Z.; STANKOVIC, A.; WOUTERS, H. (2001). “**Treatment of rinsing water from electroless nickel plating with a biologically active moving-bed sand filter**”. *Hydrometallurgy* 59 (2-3), pp. 383-393.

PÜMPEL, T.; EBNER, C.; PERNFUß, B.; SCHINNER, F.; DIELS, L.; KESZTHELYI, Z.; STANKOVIC, A.; WOUTERS, H. (1999). “**Removal of nickel from plating rinsing water with a moving-bed sand filter inoculated with metal sorbing and precipitating bacteria**”. *Process Metallurgy* 9 (C), pp. 383-392.

RABELO, L. (2006). “**Estudos Preliminares para implantação da Filtração em margem na Lagoa do Peri de pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2006. 152 p.: il.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. (2004). “**Validação em Métodos Cromatográficos e Eletroforéticos**”. *Química Nova*, Vol. 27, N° 5, 771-780.

RODRIGUEZ, E.; ONSTAD, G. D.; KULL, T. P.; METCALF, J. S.; ACERO, J. L.; VON GUNTEN, U. (2007a). “**Oxidative elimination of cyanotoxins: comparison of ozone, chlorine, chlorine dioxide and permanganate**”. *Water Research* 41(15), 3381-3393.

RODRIGUEZ, E.; SORDO, A.; METCALF, J. S.; ACERO, J. L. (2007b). **“Kinetics of the oxidation of cylindrospermopsin and anatoxin-a with chlorine, monochloramine and permanganate”**. *Water Research* 41(9), 2048-2056.

ROSET, J.; AGUAYO, S.; MUÑOZ, M. J. (2001). **“Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión”**. *Revista de Toxicología*, 18: 65-71.

SANTA CATARINA – Secretária Municipal de Turismo. (1981). **“Criação do Parque Municipal da Lagoa do Peri e Institui o Plano Diretor de Ocupação e Uso do Solo.”** Florianópolis-SC.

SCHMIDT, W.; HAMBSCH, B.; PETZOLDT, H (1998). **“Classification of algogenic organic matter concerning its contribution to the bacterial regrowth potential and by-products formation”**. *Water Science Technology* v. 37, n. 2, p. 91-96, 1998.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. (2006). **“Filtração em Margem”**. In: Pádua, V. L. *“Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano”*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 173-236.

SILVEIRA, A. A. (2003). **“Remoção de algas da água da lagoa do peri através de filtração direta descendente com pré – filtração mecânica em micropeneiras”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.

SIN, G.; WEIJMA, J.; SPANJERS, H.; NOPENS, I. (2008). **“Dynamic model development and validation for a nitrifying moving bed biofilter: Effect of temperature and influent load on the performance”**. *Process Biochemistry* 43 (4), pp. 384-397.

SIVONEN, K. e JONES, G. (1999). **“Cyanobacterial Toxins”**. In: *“Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management”*. 1999. Edited by Ingrid Chorus and Jaime Bartram.London.UK.

SPAANS, P.H.; VAN ROY, S.; HOOYBERGHS, L.; WINTERS, J.; MACASKIE, L.; FINLAY, J.; PÜMPEL, T.; DIELS, L. (1999). “**Heavy metals removal from waste water by moving bed sand filters inoculated with heavy metal adsorbing or precipitating micro-organisms**”. Proceedings of the TMS Fall Extraction and Processing Conference 3, pp. 2337-2345.

TANGERINO, E. P.; CAMPOS, L. C.; BRANDÃO, C. C. S. (2006). “**Filtração Lenta**”. In: Pádua, V. L. “*Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 237-273.

TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. (1993). “**Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil**”. Bulletin of PAHO, 27(3): 244-253.

VIEIRA, J. M. S; AZEVEDO, M. T. P.; AZEVEDO, S. M. F. O.; HONDA, R. Y.; CORRÊA, B. (2005). “**Toxic cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region**”. Toxicon 45: 901-909.

VIEIRA, J. M. S; AZEVEDO, M. T. P.; AZEVEDO, S. M. F. O.; HONDA, R. Y.; CORRÊA, B. (2003). “**Microcystin Production by Radiocystis fernandoi (Chroococcales, Cyanobacteria) isolated from a Drinking Water Reservoir in the city of Belém, PA, Brazilian Amazonia Region**”. Toxicon 42: 709-713.

WHATELY, M.; BLAUTH, F.; WEIS, B. (2008). “**Haverá Água para Todos?**” Lê Monde Diplomatique Brasil, Número 6, Ano 2. Janeiro 2008.

WHO. World Health Organization. (1999). “**Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management.**” 1999.

WOUTERS, J.W. e DE BEEN, P. (2004). “**Delfland facility reports 98% denitrification efficiency**”. Water and Wastewater International 19 (2), pp. 41.

YUAN, M.; CARMICHAEL, W. W.; HILBORN, E. D. (2006).
**“Microcystin Analysis in Human sera and Liver from Human
Fatalities in Caruaru, Brazil 1996”**. *Toxicon* 48: 627-640.

YUNES, J. S.; CUNHA, N. T.; BARROS, L. P.; PROENÇA, L. A. O.;
MONSERRAT, J. M. (2003). **“Cyanobacterial Neuritoxins from
Southern Brazilian Freshwater”**. *Toxicology* 9: 103-115.

APÊNDICE A – Procedimentos de Operação e Lavagem dos Filtros e ETA Boracéia

A.1: Procedimento para Lavagem do Filtro Ascendente

Antes de iniciar as etapas da pesquisa é necessário realizar a lavagem no filtro ascendente. Ao iniciar o processo de lavagem, o filtro ascendente deve estar fora de operação (by-passado) e todos os piezômetros fechados (DALSSASSO, 2008).

De acordo com a Figura A.1, abrem-se os registros 1; 2; 5; 6; 7; 8 e 9 e fecham-se os demais. Em seguida, deve-se ligar a bomba. Abre-se o registro 4 e deixa-se o nível de água baixar até 20 cm acima do topo da camada de areia.

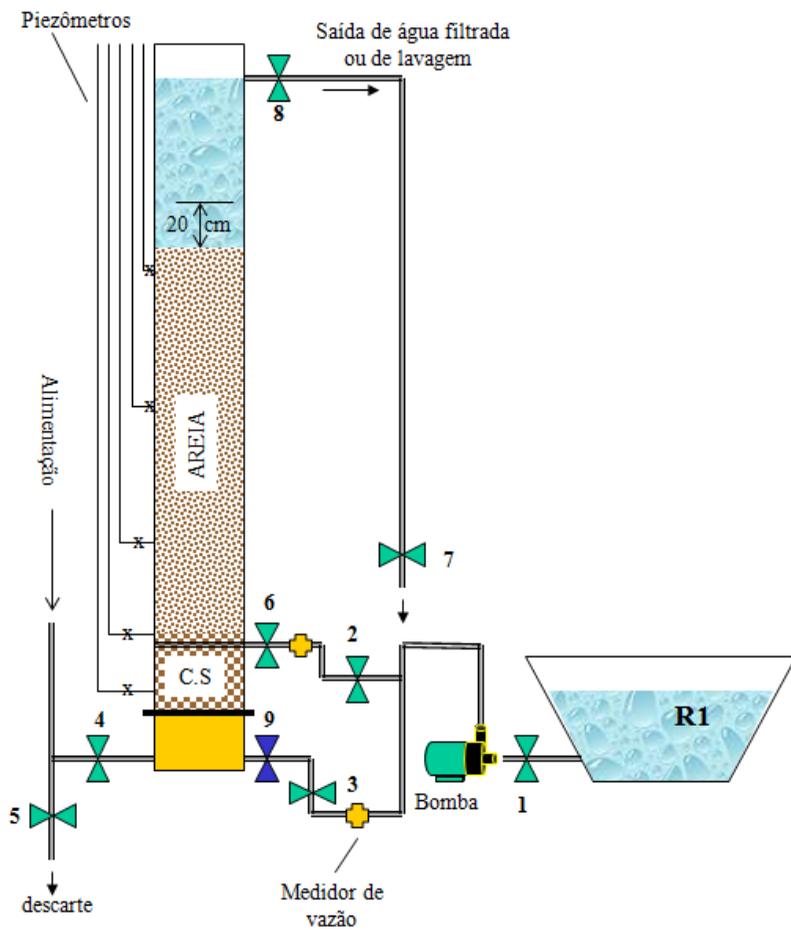
Deixa-se nessa condição por cerca de 1 minuto para que haja a limpeza da camada suporte (CS). Passado esse tempo, deve-se fechar o registro 4. A camada de areia expandirá, por isso, deve-se controlar o processo de expansão.

Se a camada subir em blocos, sem fluidizar, abre-se o registro 4 por alguns segundos e fecha-o em seguida, observando a ruptura e fluidização da camada de areia. Repetir abertura e fechamento do registro 4 até que o leito pare de subir em bloco, ou seja, adquira uma expansão estável. Quando a água de lavagem estiver saindo clara, com coloração constante, o processo deve ser interrompido. Deve-se tomar cuidado para que não ocorra a expansão da camada suporte.

Subseqüentemente, abre-se o registro 3 para que toda água do reservatório R1 seja consumida. Deve-se observar a clarificação da água de lavagem e caso haja necessidade, completar o reservatório com água tratada.

Para finalizar, fecham-se, por ordem, os registros 3; 6 e 2. Desliga-se a bomba e abrem-se os piezômetros. Não se pode recompactar a areia para acertar o nível; isto ocorrerá quando o filtro entrar em operação.

Figura A.1 – Esquema da lavagem do filtro ascendente.



A.2: Procedimento para Operação do Filtro de Lavagem Contínua

O primeiro passo é encher o filtro com água bruta. Quando começar a sair água tanto na água de lavagem quando no tubo de água filtrada, liga-se o compressor para que este forneça ar para o filtro.

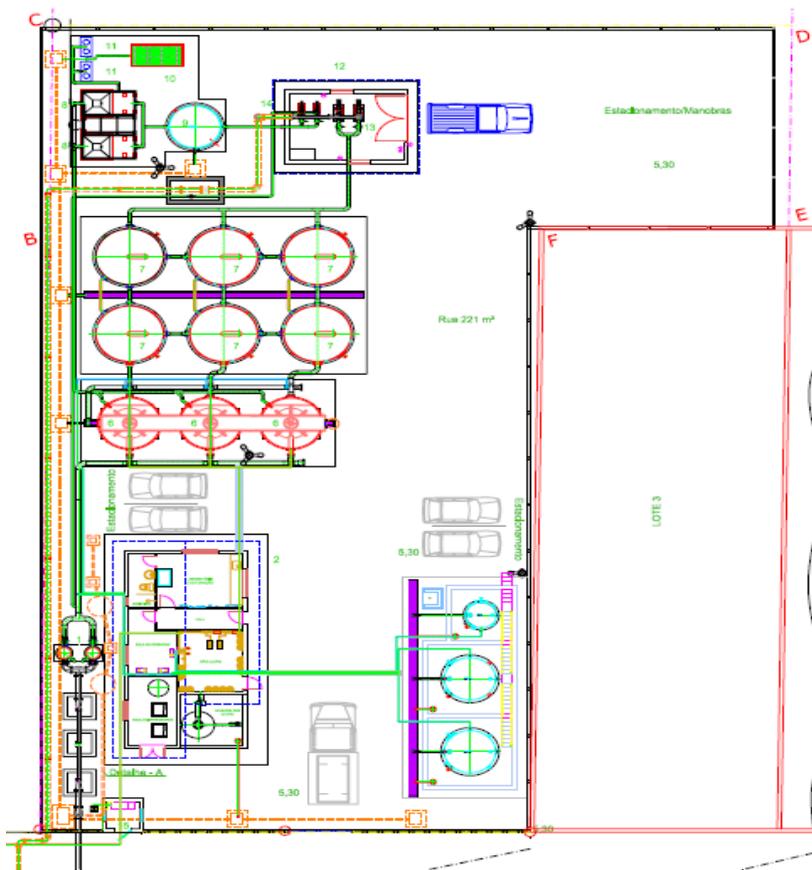
Para uma boa operação do equipamento, a vazão de entrada de água deve ser de aproximadamente $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo $4,65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na saída de água tratada e $0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de água de lavagem – perda de 4,5%.

O manômetro deve ser regulado para cerca de 5 Bar e o rotâmetro entre 6 e $10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. Para regular a velocidade de areia, ou seja, a vazão do rotâmetro, utiliza-se um tubo de PVC com escala, o qual deve ser colocado dentro do filtro, de forma que penetre alguns centímetros na areia. Em seguida, cronometra-se 10 minutos e a “régua” deve deslocar-se sozinha e para baixo por, no máximo, 5 cm. Caso essa variação seja maior ou menor, deve-se regular a vazão de ar no rotâmetro até atingir a vazão necessária.

A.3: Estação de Tratamento de Água de Boracéia/SP

A Figura A.2 mostra o esquema da Estação de Tratamento de Água de Boracéia/SP.

Figura A.2 – Esquema da Estação de Tratamento de Água de Boracéia.



APÊNDICE B – Resultados dos Parâmetros Monitorados e Jarteste

B.1: Resultados dos Ensaios de Jarteste na Água Bruta

Os resultados de jarteste de água bruta, quando utilizando o PAC, estão apresentados na Tabela B.1 e Figura B.1. Na

Tabela B.2 e Figura B.2, adicionou-se ácido e na

Figura B.2 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, com adição cal.

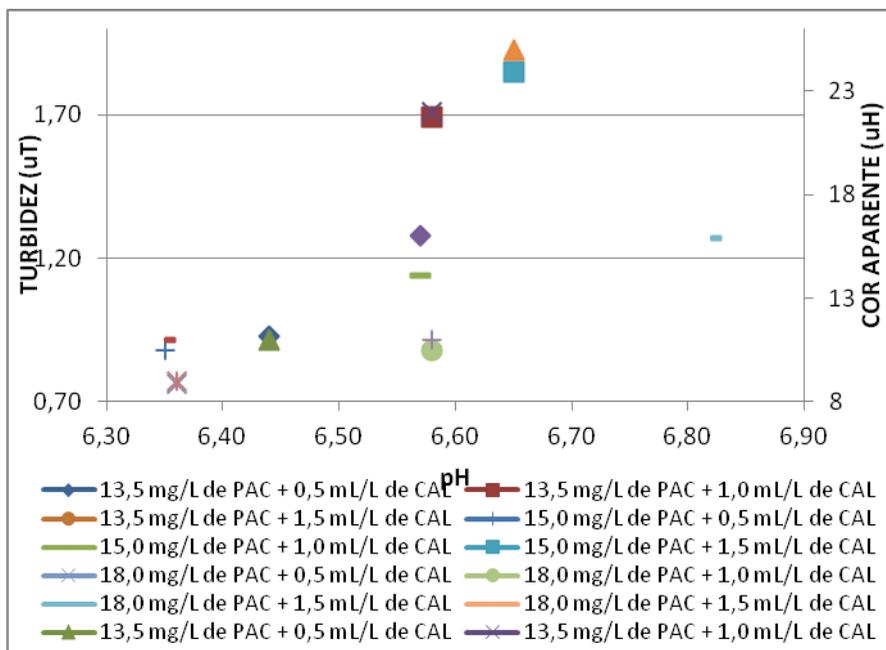


Tabela B.3 e Figura B.3, cal.

Tabela B.1 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, primeiro ensaio.

DOSE DE PAC (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
12,0	5,81	0,68	26,5	6
13,5	5,82	0,59	26,6	5
15,0	5,79	0,51	26,5	1
16,5	5,74	0,64	26,7	6
18,0	5,92	0,85	26,8	9
19,5	5,56	0,50	26,6	1

Figura B.1 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, sem adição de ácido ou cal.

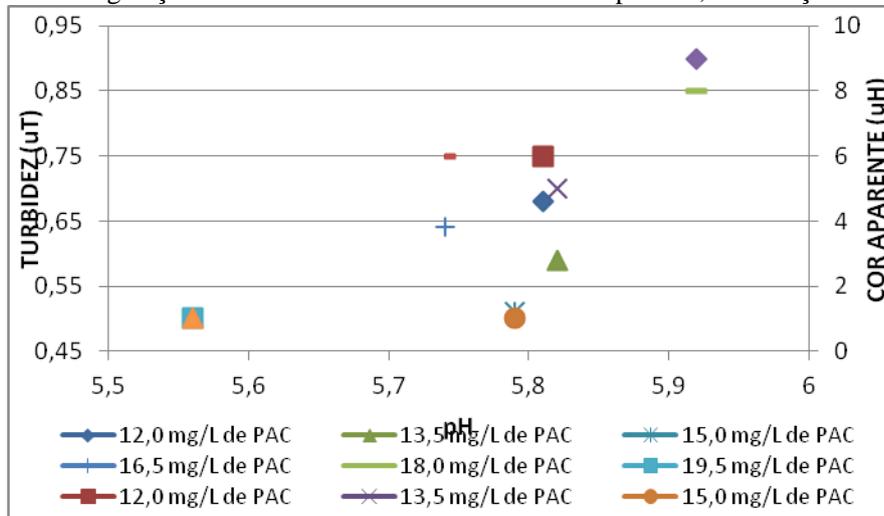


Tabela B.2 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, com adição de ácido, primeiro ensaio.

DOSE DE PAC (mg.L⁻¹)	ÁCIDO (mL.L⁻¹)	TURBIDEZ (uT)	COR (uH)	TEMPERATURA (°C)	pH DE COAGULAÇÃO
13,50	0,50	0,70	8	29,0	6,04
13,50	1,00	0,92	10	29,4	6,02
13,50	1,50	1,13	14	29,6	5,83
15,00	0,50	0,87	13	26,7	6,03
15,00	1,00	0,92	16	26,8	5,99
15,00	1,50	1,32	20	27,2	5,75
15,00	2,00	2,18	32	27,2	5,38
15,00	2,50	2,08	29	27,2	5,14
18,00	0,50	0,73	9	29,5	5,77
18,00	1,00	1,01	11	29,7	5,64
18,00	1,50	1,04	12	29,9	5,37

Figura B.2 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, com adição cal.

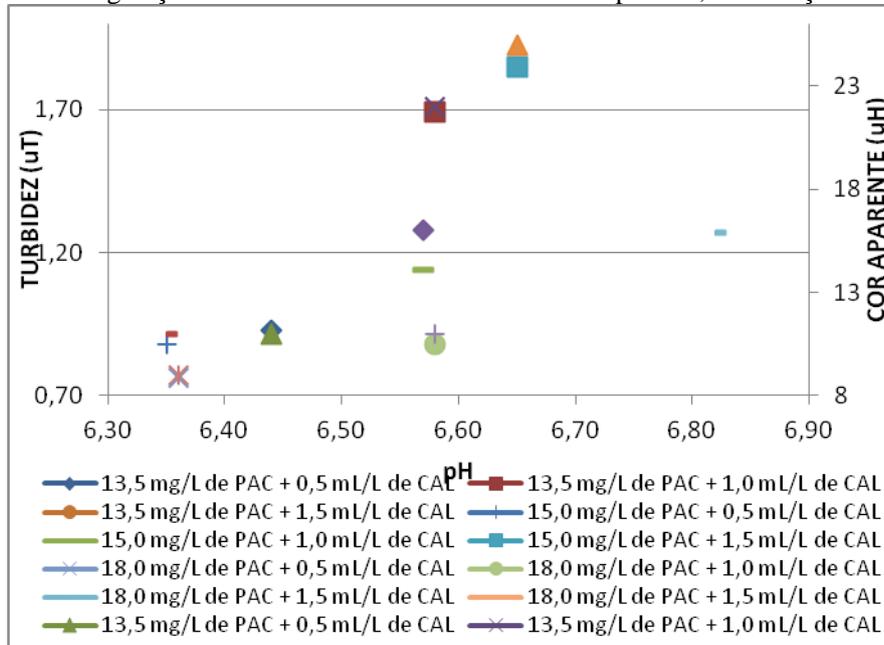
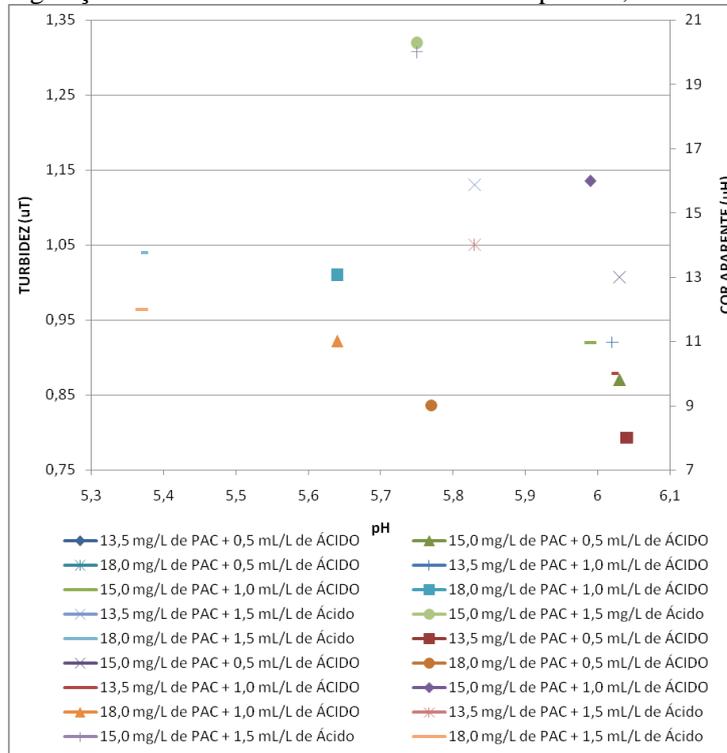


Tabela B.3 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, PAC, com adição de cal, primeiro ensaio.

DOSE DE PAC (mg.L⁻¹)	CAL (mL.L⁻¹)	TURBIDEZ (uT)	COR (uH)	TEMPERATURA (°C)	pH DE COAGULAÇÃO
13,50	0,50	0,93	11	28,1	6,44
13,50	1,00	1,69	22	28,2	6,58
13,50	1,50	1,84	25	28,3	6,73
15,00	0,50	0,88	11	26,5	6,32
15,00	1,00	1,14	16	26,5	6,57
15,00	1,50	1,85	25	26,5	6,65
15,00	2,00	1,94	28	26,4	6,81
15,00	2,50	1,86	25	26,3	6,90
18,00	0,50	0,76	9	28,1	6,36
18,00	1,00	0,88	11	28,3	6,58
18,00	1,50	1,27	16	28,7	6,82

Figura B.3 – Gráfico de Coagulação PAC com valores de turbidez e cor aparente, com adição de ácido.



Os resultados de jarreste de água bruta, quando utilizando o SA, no verão estão apresentados na Tabela B.4 e Figura B.4. Na Tabela B.5 e Figura B.5, adicionou-se ácido e na Tabela B.6 e Figura B.6, cal.

Tabela B.4 – Ensaio de Jarreste com Água Bruta, SA, verão, primeiro ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
12,50	5,81	0,93	26,6	12
15,00	5,72	0,88	26,6	11
17,50	5,72	0,78	26,6	10
20,00	5,75	0,63	26,7	4
22,50	5,51	0,86	26,7	7
25,00	5,41	0,68	26,6	2

Figura B.4 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, sem adição de ácido ou cal.

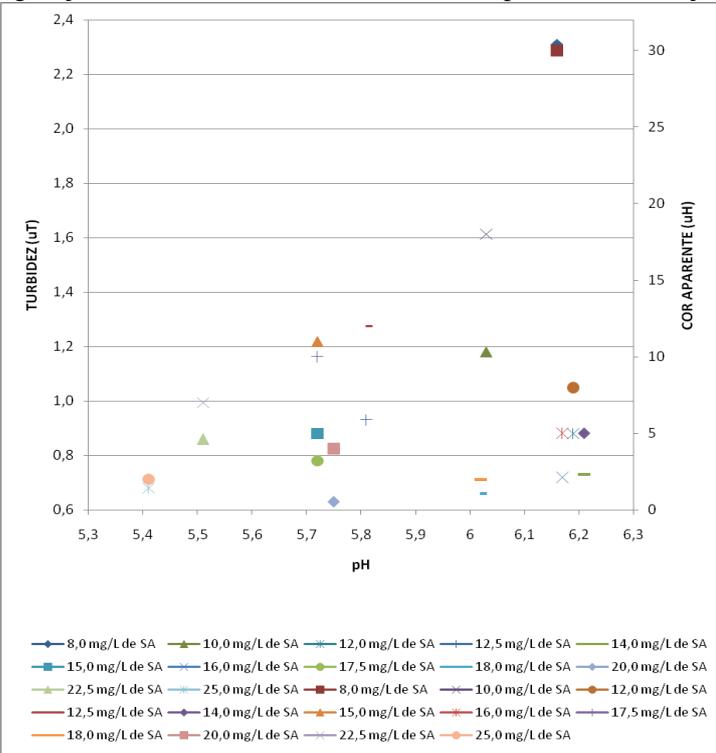


Tabela B.5 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, com adição de ácido, primeiro ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	ÁCIDO (mL.L⁻¹)	TURBIDEZ (uT)	COR (uH)	TEMPERATURA (°C)	pH DE COAGULAÇÃO
20,00	0,50	0,76	10	26,9	5,38
20,00	1,00	0,90	11	26,8	5,22
22,50	1,50	0,83	14	29,6	4,34
22,50	0,50	1,01	17	29,6	4,33
22,50	1,00	1,21	20	29,7	4,26
25,00	0,50	0,96	12	27,1	5,03
25,00	1,00	0,96	12	26,7	4,94

Figura B.5 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, com adição de cal.

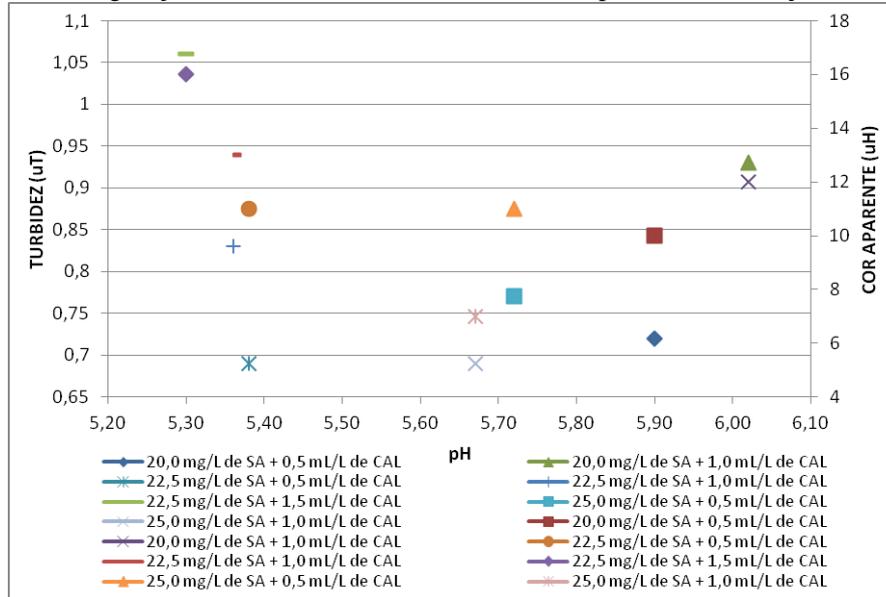
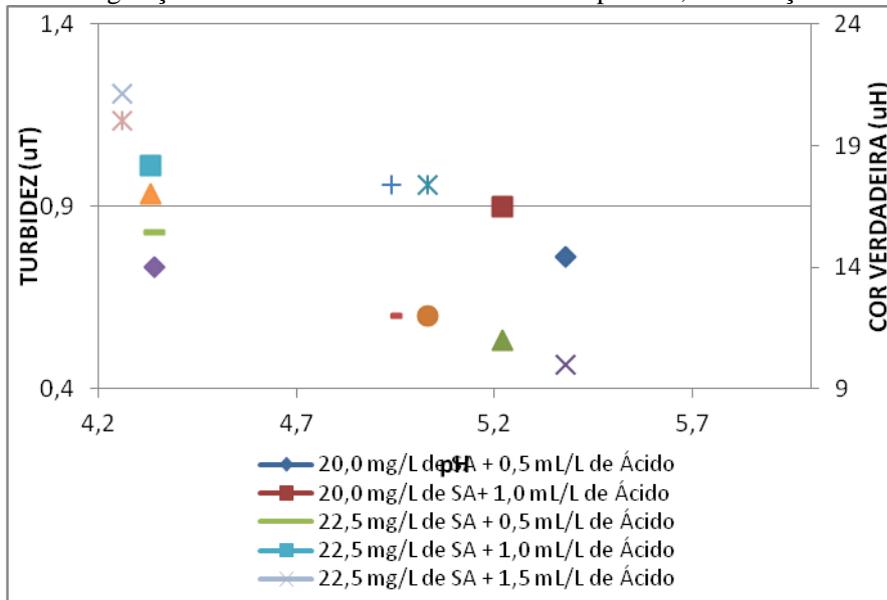


Tabela B.6 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, com adição de cal, primeiro ensaio.

DOSE DE PAC (mg.L⁻¹)	CAL (mL.L⁻¹)	TURBIDEZ (uT)	COR (uH)	TEMPERATURA (°C)	pH DE COAGULAÇÃO
20,00	0,50	0,72	10	27,2	5,90
20,00	1,00	0,93	12	27,1	6,02
22,50	1,50	0,69	11	29,6	5,38
22,50	0,50	0,83	13	30,0	5,36
22,50	1,00	1,06	16	29,7	5,30
25,00	0,50	0,76	11	27,1	5,72
25,00	1,00	0,88	7	26,5	5,67

Figura B.6 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, com adição de ácido

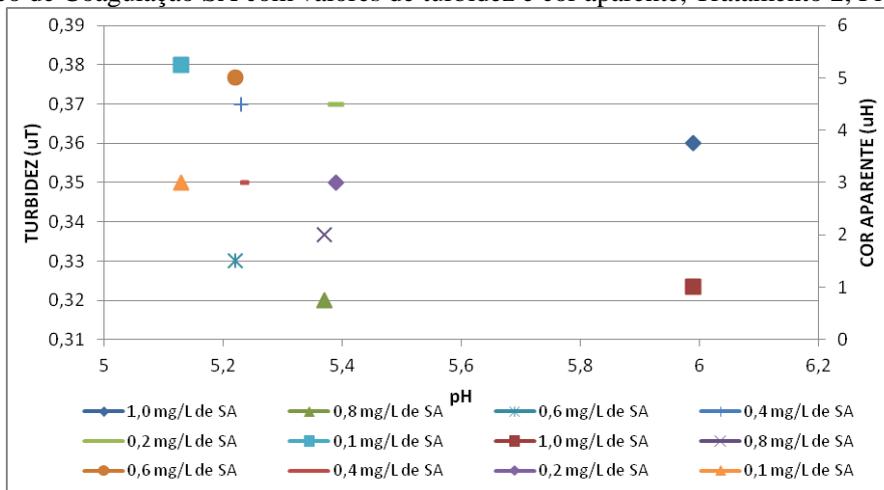


Os resultados de jarreste de água do filtro de lavagem contínua, depois do processo de coagulação, quando utilizando o SA, no verão, estão apresentados na Tabela B.7 e Figura B.7.

Tabela B.7 – Ensaio de Jarreste com Água do Filtro de Lavagem Contínua, depois de passar pelo processo de coagulação, para o Tratamento 3, outono, primeiro ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
1,00	5,99	0,36	19,3	1
0,80	5,37	0,32	19,0	2
0,60	5,22	0,33	19,0	5
0,40	5,23	0,37	19,1	3
0,20	5,39	0,37	18,9	3
0,10	5,13	0,38	18,9	3

Figura B.7 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 2, Primeiro Ensaio.

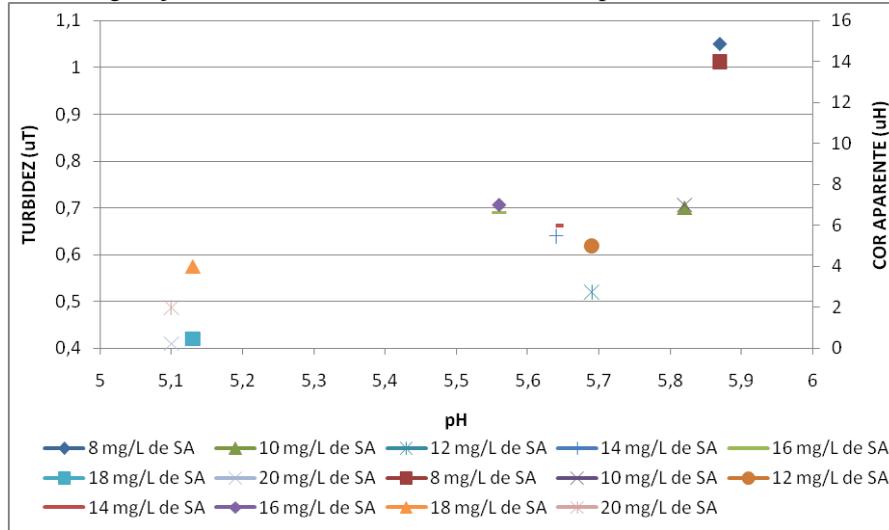


Os resultados de jarteste de água bruta, quando utilizando o SA, no inverno estão apresentados na Tabela B.8 e Figura B.8.

Tabela B.8 – Ensaio de Jarteste com Água Bruta, SA, inverno, segundo ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
8,00	5,87	1,05		14
10,00	5,82	0,70		7
12,00	5,69	0,52		5
14,00	5,64	0,64		6
16,00	5,56	0,69		7
18,00	5,13	0,42		4
20,00	5,10	0,41		2

Figura B.8 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 1, Segundo Ensaio.

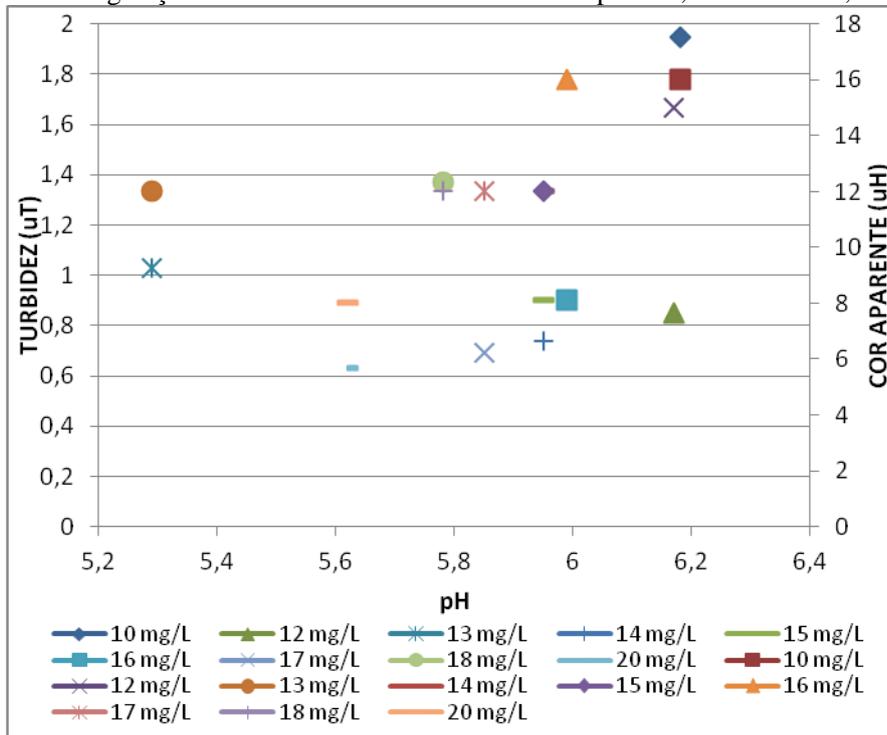


Os resultados de jarreste de água bruta, quando utilizando o SA, no verão, terceiro ensaio estão apresentados na Tabela B.9 e Figura B.9.

Tabela B.9 – Ensaio de Jarreste com Água Bruta, SA, verão, terceiro ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
10,00	6,18	1,95	25,3	16
12,00	6,17	0,85	25,3	15
13,00	5,29	1,03	25,3	12
14,00	5,95	0,74	25,3	12
15,00	5,95	0,90	25,3	12
16,00	5,99	0,90	25,3	16
17,00	5,85	0,69	25,3	12
18,00	5,78	1,37	25,3	12
20,00	5,62	0,63	25,3	8

Figura B.9 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 1, Terceiro Ensaio.

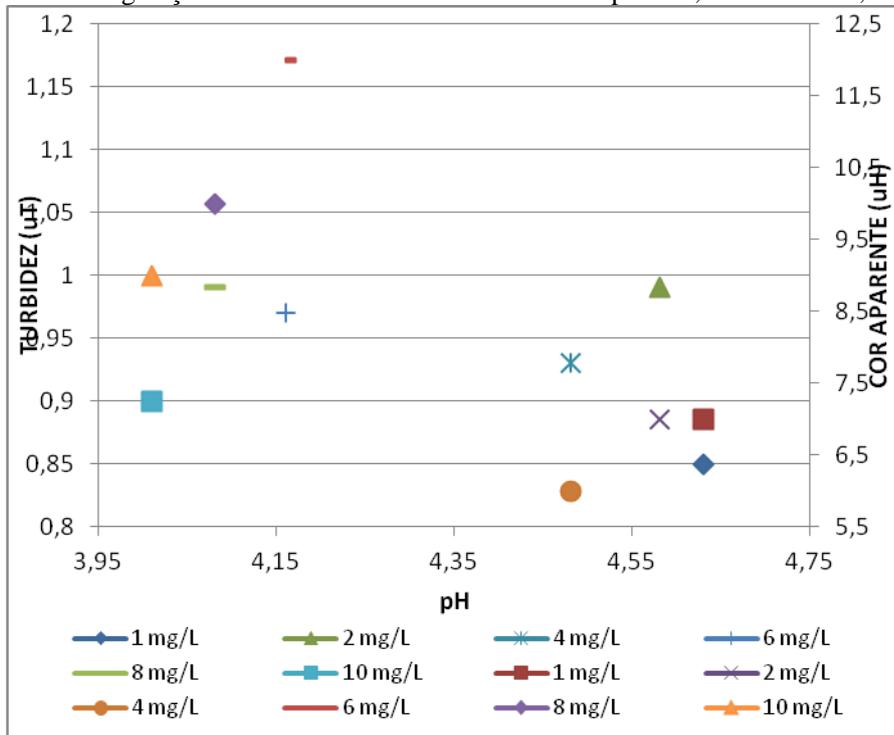


Os resultados de jarteste de água do filtro de lavagem contínua, depois do processo de coagulação, quando utilizando o SA, no verão, terceiro ensaio estão apresentados na Tabela B.10 e Figura B.10.

Tabela B.10 – Ensaio de Jarteste com Água do Filtro de Lavagem Contínua, depois de passar pelo processo de coagulação, para o Tratamento 2, verão, terceiro ensaio.

DOSE DE SA (mg.L⁻¹)	pH DE COAGULAÇÃO	TURBIDEZ (uT)	TEMPERATURA (°C)	COR (uH)
1,00	4,63	0,85	27,4	7
2,00	4,58	0,99	27,4	7
4,00	4,48	0,93	27,4	6
6,00	4,16	0,97	27,4	12
8,00	4,08	0,99	27,4	10
10,00	4,01	0,90	27,4	9

Figura B.10 – Gráfico de Coagulação SA com valores de turbidez e cor aparente, Tratamento 2, Terceiro Ensaio.



B.2: Resultados da Carreira de Filtração Utilizada como Branco

As Tabela B.11 e

Tabela B.12 apresentam os resultados da carreira de filtração somente do filtro ascendente, com adição de PAC, primeiro ensaio.

Tabela B.11 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza PAC, primeiro ensaio.

	pH	TEMPERATURA (°C)	TURBI- DEZ (uT)	COR (uH)	PERDA DE CARGA (cm)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
AB	6,62	24,7	4,90	66		21.01.09
BR	5,73	23,9	1,31	14	32,5	12h
AB	6,56	25,1	5,23	65		
BR	6,09	24,5	0,58	1	37,0	1
AB	6,49	25,0	4,98	66		
BR	5,86	24,8	0,54	3	42,5	2
AB	6,73	25,0	5,95	69		
BR	5,89	24,9	0,54	1	46,0	3
AB	6,60	27,1	5,50	71		
BR	5,45	25,2	0,45	1	50,0	4
AB	6,80	26,4	5,67	73		
BR	5,75	25,7	0,49	2	53,0	5
AB	6,66	27,5	5,61	72		
BR	5,81	27,1	0,49	5	58,5	6

AB	6,11	25,7	5,17	70		
BR	5,63	25,6	0,37	2	67,0	7
AB	6,11	25,4	5,57	74		
BR	5,43	25,3	0,42	5	71,0	8
AB	6,45	25,5	4,95	74		
BR	5,79	25,3	0,40	5	75,0	9
AB	6,61	25,1	4,93	74		
BR	5,21	25,1	0,45	7	83,0	10
AB	5,99	25,0	5,25	74		
BR	5,60	25,2	0,45	7	87,0	11
AB	6,26	24,8	5,11	73		
BR	5,35	25,0	0,40	6	90,0	12
AB	6,53	24,7	5,31	79		
BR	5,58	24,7	0,43	14	95,0	13
AB	6,75	24,7	4,93	76		
BR	5,88	24,8	0,42	8	100,5	14
AB	6,66	24,8	4,93	75		
BR	5,87	24,7	0,55	8	104,0	15
AB	6,57	24,8	5,32	74		
BR	5,12	24,4	0,45	8	110,0	16
AB	6,62	24,7	5,06	74		
BR	5,48	24,3	0,43	14	114,5	17
AB	6,43	24,3	4,93	81		
BR	5,54	24,2	0,51	15	120,5	18
AB	6,68	24,2	5,83	79		

BR	5,47	23,7	0,53	14	124,0	19
AB	6,67	24,1	5,62	76		
BR	5,45	23,9	0,51	13	129,5	20
AB	6,68	24,2	5,53	70		
BR	5,40	24,2	0,47	3	135,0	21
AB	6,21	24,9	6,24	72		
BR	5,60	24,2	0,56	3	138,0	22
AB	6,38	24,8	4,77	70		
BR	5,44	24,6	0,48	2	141,0	23
AB	6,99	24,5	5,99	64		
BR	5,77	24,5	0,56	1	143,5	24
AB	6,92	25,2	6,60	65		
BR	5,62	25,3	0,53	1	148,5	25
AB	6,78	25,4	5,45	68		
BR	5,46	25,4	0,77	1	152,0	26
AB	6,84	25,6	6,15	74		
BR	5,54	25,8	0,61	1	155,0	27
AB	6,61	26,0	6,84	70		
BR	5,69	26,0	0,57	1	158,0	28
AB	6,87	26,2	5,55	74		
BR	5,70	25,9	0,41	4	166,0	29
AB	6,61	25,4	6,20	69		
BR	5,96	25,6	0,40	1	167,5	30
AB	6,59	25,3	6,11	76		
BR	5,45	25,4	0,37	3	171,5	31

AB	6,68	25,3	5,61	70		
BR	5,48	25,4	0,45	1	173,0	32
AB	6,64	25,1	5,42	69		
BR	5,58	25,1	0,46	2	176,5	33
AB	6,81	25,3	5,32	81		
BR	5,63	25,2	0,50	3	181,0	34
AB	6,72	25,3	5,09	71		
BR	5,53	25,3	0,46	6	187,0	35
AB	6,74	25,2	5,10	72		
BR	5,52	25,3	0,47	5	195,5	36

AB: Água Bruta; BR: Branco.

Tabela B.12 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a* e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza PAC, primeiro ensaio.

	pH	TURBI- DEZ (uH)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L⁻¹)	SDT (mg.L⁻¹)	CONDUTI- VIDADE (µS.cm⁻¹)	Abs 254 nm	CLORO- FILA <i>a</i> (µg.L⁻¹)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
DATA: 21.01.09										
AB	6,66	5,61	72	12	9,26	33	66	0,0945	17,0	
BR	5,81	0,49	5	2	5,89	39	78	0,0266	-	6
DATA: 22.01.09										
AB	6,61	6,84	70	5	9,93	33	66	0,2776	18,0	
BR	5,69	0,57	3	1	6,83	30	60	0,0246	-	27

CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; AB: Água Bruta; BR: Branco

As Tabela B.13 e Tabela B.14 apresentam os resultados da carreira de filtração somente do filtro ascendente, com adição de SA, no verão, primeiro ensaio.

Tabela B.13 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza SA, no verão, primeiro ensaio.

	pH	TEMPERATURA (°C)	TURBI- DEZ (uT)	COR (uH)	PERDA DE CARGA (cm)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
AB	6,24	24,9	7,88	106		18.03.09
BR	5,90	25,1	1,23	14	16,0	20h 30
AB	5,94	24,4	4,67	66		
BR	5,52	24,9	0,80	10	21,5	1
AB	6,01	24,6	4,15	60		
BR	5,41	25,1	0,55	7	27,0	2
AB	5,79	24,2	3,96	59		
BR	4,79	24,7	0,51	8	31,0	3
AB	5,76	24,6	9,81	122		
BR	4,81	24,9	0,56	8	36,0	4
AB	5,88	24,6	5,75	74		
BR	4,78	24,7	0,58	12	44,0	5
AB	6,29	24,4	5,34	69		
BR	4,34	24,5	0,50	11	52,0	6
AB	6,10	24,5	4,34	63		
BR	4,52	24,7	0,60	9	55,5	7

AB	5,87	24,4	4,45	51		
BR	4,16	24,5	0,42	3	60,0	8
AB	6,12	23,5	7,07	95		
BR	4,12	23,8	0,49	11	69,0	9
AB	6,40	24,6	4,08	65		
BR	5,67	24,8	0,46	11	77,0	10
AB	6,73	24,7	4,26	64		
BR	6,02	24,3	0,50	13	84,5	11
AB	6,74	24,9	3,59	54		
BR	4,66	24,8	0,37	3	90,0	12
AB	6,03	25,1	4,45	58		
BR	4,55	25,1	0,38	4	97,0	13
AB	6,47	24,9	5,91	83		
BR	4,49	25,0	0,36	1	104,5	14
AB	6,65	25,3	10,1	124		
BR	4,83	25,2	0,32	1	116,0	15
AB	6,53	25,2	5,84	82		
BR	4,92	25,3	0,33	2	122,5	16
AB	6,46	25,2	3,91	58		
BR	5,18	25,4	0,35	2	128,0	17
AB	6,51	25,4	8,95	101		
BR	4,05	25,5	0,35	2	137,0	18
AB	4,07	24,8	4,46	63		
BR	4,07	25,6	0,37	4	143,0	19
AB	5,99	24,6	6,52	84		

BR 4,13 25,4 0,30 1 150 20

AB: Água Bruta; BR: Branco.

Tabela B.14 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a* e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza SA, no verão, primeiro ensaio.

	pH	TURBI- DEZ (uH)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	CONDUTI- VIDADE (µS.cm ⁻¹)	Abs 254 nm	CLOROFI- LA <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
DATA: 19.03.09										
AB	6,29	5,34	69	14	8,681	29	58	0,108	17,72	
BR	4,34	0,50	11	7	3,516	33	66	0,033	1,25	6

CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; AB: Água Bruta; BR: Branco.

As Tabela B.15 e Tabela B.16 apresentam os resultados da carreira de filtração somente do filtro ascendente, com adição de SA, no inverno, segundo ensaio.

Tabela B.15 – Resultados de pH; Temperatura; Turbidez e Cor; monitorados a cada hora, quando se utiliza SA, no inverno, segundo ensaio.

	pH	TEMPERA- TURA (°C)	TURBI- DEZ (uT)	COR (uH)	PERDA DE CARGA (cm)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
AB	6,25	16,8	5,65	74	22,5	05.08.09
BR	4,65	17,4	2,14	29		10h

AB	6,22	17,1	6,40	88	23,5	
BR	4,80	17,7	0,94	12		1
AB	6,13	17,6	5,66	75	27,0	
BR	4,86	18,0	0,80	7		2
AB	6,16	18,2	4,99	68	31,0	
BR	4,84	19,0	0,66	5		3
AB	6,21	19,3	5,40	71	37,0	
BR	4,92	19,7	0,71	6		4
AB	6,42	19,6	5,27	70	39,5	
BR	4,80	20,0	0,66	5		5
AB	6,34	20,0	5,49	70	43,0	
BR	4,82	20,5	0,66	5		6
AB	6,34	19,6	5,06	73	48,0	
BR	4,83	20,7	0,64	4		7
AB	6,10	19,6	5,63	75	51,5	
BR	4,77	20,3	0,61	4		8
AB	6,01	18,6	5,29	70	59,0	
BR	4,68	19,6	0,61	5		9
AB	6,05	18,6	5,37	71	62,0	
BR	4,75	19,3	0,64	4		10
AB	5,95	18,5	7,70	101	67,5	
BR	4,72	18,9	0,59	4		11
AB	5,96	18,4	5,50	75	72,0	
BR	4,68	18,9	0,64	6		12
AB	5,96	18,0	7,87	94	76,5	

BR	4,88	18,8	0,65	7		13
AB	5,95	17,6	5,52	76	82,0	
BR	4,81	18,6	0,63	5		14
AB	5,97	17,0	6,02	81	89,0	
BR	4,83	18,0	0,65	6		15
AB	6,01	16,5	5,42	73	93,5	
BR	4,91	17,0	0,64	6		16
AB	5,98	16,2	5,32	70	97,0	
BR	4,87	16,9	0,62	5		17
AB	5,97	16,1	5,02	74	100,5	
BR	4,86	16,6	0,65	7		18

AB: Água Bruta; BR: Branco.

Tabela B.16 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a* e Tempo de Carreira de Filtração; monitorado diariamente, quando se utiliza SA, no inverno, segundo ensaio.

	pH	TURBI- DEZ (uH)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	CONDUTI- VIDADE (μS.cm ⁻¹)	Abs 254 nm	CORO- FILA <i>a</i> (μg.L ⁻¹)	TEMPO DE CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
DATA: 05.08.09										
AB	6,10	5,63	75	8	17,88	31	62	0,107	23,29	8
BR	4,77	0,61	4	5	2,467	47	94	0,0390	2,39	

CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; AB: Água Bruta; BR: Branco.

DATA: 14.02.09												
AB	6,77	26,5	4,44	61	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	5,98	26,3	1,27	11	-	-	-	-	-	-	12,5	3
FA	6,03	26,0	0,72	5	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 14.02.09												
AB	6,55	26,1	5,49	70	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	5,63	26,6	0,99	10	-	-	-	-	-	-	13,0	4
FA	5,80	26,1	0,68	6	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 14.02.09												
AB	7,04	26,4	5,26	64	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	5,61	27,0	1,00	11	-	-	-	-	-	-	13,0	5
FA	5,83	26,6	0,76	5	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 14.02.09												
AB	7,01	27,4	5,28	68	6	5,155	34	68	0,088	27,26	-	-
FLC	5,52	27,4	0,95	8	2	3,121	38	76	0,055	7,04	13,0	6
FA	5,76	27,4	0,54	2	1	3,181	37	74	0,050	6,70	-	-
DATA: 14.02.09												
AB	6,64	27,9	5,13	73	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	5,43	27,9	0,94	15	-	-	-	-	-	-	13,0	7
FA	5,69	27,5	0,52	8	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 15.02.09												
AB	6,35	25,8	5,80	80	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	5,16	26,0	0,78	9	-	-	-	-	-	-	13,0	26
FA	5,17	25,8	0,54	4	-	-	-	-	-	-	-	-

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

As Tabela B.19, Tabela B.20 e Tabela B.21 apresentam os resultados do ensaio contínuo, nos Tratamentos 1, 2 e 3, com adição de SA, no verão, primeiro ensaio.

Tabela B.19 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração do Tratamento 1, verão, primeiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CL <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 25.03.09												
AB	6,82	26,6	10,60	123	-	-	-	-	-	-		25.03.09
FLC	5,09	26,6	2,31	27	-	-	-	-	-	-	34,0	15h
FA	4,70	26,2	1,23	18	-	-	-	-	-	-		
DATA: 25.03.09												
AB	6,48	26,3	6,48	57	7	6,136	29	58	0,103	12,6		
FLC	4,90	26,2	1,09	11	3	2,766	35	70	0,039	7,1	34,5	1
FA	4,98	26,5	0,91	10	1	3,823	37	74	0,037	3,7		
DATA: 27.03.09												
AB	6,82	27,9	4,29	35	9	9,746	34	68	0,101	19,4		
FLC	5,35	27,1	0,78	9	3	5,501	36	72	0,037	2,5	24,5	48
FA	5,45	27,1	0,61	6	1	2,713	36	72	0,040	1,4		
DATA: 28.03.09												
AB	6,76	26,2	5,29	63	2	4,956	32	64	0,113	19,9		
FLC	5,47	25,9	0,75	4	1	-	37	74	0,039	3,1	42,0	88
FA	5,58	25,9	0,72	4	1	3,157	37	74	0,043	2,4		
DATA: 29.03.09												
AB	6,86	28,6	5,50	68	7	3,799	35	70	0,108	25,4		

FLC	5,70	28,3	0,96	12	1	2,483	37	74	0,033	5,0	42,0	97
FA	5,63	28,4	0,70	4	1	2,238	37	74	0,035	1,7		
DATA: 30.03.09												
AB	6,70	28,1	4,80	62	9	4,701	38	76	0,099	15,3		
FLC	5,49	27,9	1,04	17	4	3,725	38	76	0,038	6,5	42,0	120
FA	5,59	28,0	0,62	8	3	2,809	37	74	0,037	1,2		
DATA: 30.03.09												
AB	6,77	27,9	4,19	54	-	-	-	-	-	-		
FLC	4,63	27,7	0,92	4	-	-	-	-	-	-	42,0	121
FA	4,59	27,8	0,87	4	-	-	-	-	-	-		
DATA: 31.03.09												
AB	6,60	28,6	4,51	52	11	3,734	36	72	0,110	16,7		
FLC	4,72	28,3	0,81	4	1	3,051	36	72	0,034	3,5	42,0	144
FA	4,95	28,4	0,59	1	1	2,518	37	74	0,034	1,2		
DATA: 31.03.09												
AB	6,39	28,2	4,87	60	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,13	28,2	0,83	4	-	-	-	-	-	-	42,0	145
FA	5,73	28,6	0,69	3	-	-	-	-	-	-		
DATA: 31.03.09												
AB	6,03	28,0	4,10	55	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,01	27,9	0,84	4	-	-	-	-	-	-	42,0	146
FA	5,38	28,1	0,65	3	-	-	-	-	-	-		
DATA: 01.04.09												
AB	6,65	26,6	4,76	57	9	4,864	35	70	0,114	18,0		
FLC	5,32	26,5	0,69	7	2	3,465	37	74	0,033	4,2	42,5	164
FA	5,91	26,8	0,45	5	2	2,176	37	74	0,028	1,4		
DATA: 02.04.09												
AB	6,74	25,5	3,85	59	-	-	-	-	-	-		
FLC	4,88	24,4	0,64	7	-	-	-	-	-	-	53,0	191

						DATA: 20.05.09							
AB	6,63	23,4	4,56	62	13	4,459	32	64	0,105	44,6			
FLC	6,05	23,1	0,89	10	5	4,500	34	68	0,053	2,6	14,0	2	
FA	6,06	23,5	0,62	9	4	2,818	36	72	0,058	2,7			
						DATA: 21.05.09							
AB	6,62	20,8	4,13	67	-	-	-	-	-	-			
FLC	4,78	20,5	0,68	6	-	-	-	-	-	-	11,5	20	
FA	5,51	21,0	0,52	9	-	-	-	-	-	-			
						DATA: 21.05.09							
AB	6,85	21,1	4,50	61	10	4,033	30	60	0,098	25,3			
FLC	5,65	21,4	0,61	11	6	2,288	34	68	0,039	2,9	11,5	21	
FA	5,52	21,9	0,55	12	5	2,271	35	70	0,035	1,0			
						DATA: 22.05.09							
AB	6,40	21,7	4,37	70	15	-	32	64	0,096	-			
FLC	5,43	21,8	0,67	10	9	3,166	34	68	0,041	-	41,5	45	
FA	5,35	21,9	0,57	15	7	2,566	34	68	0,043	-			
						DATA: 24.05.09							
AB	6,60	24,1	4,32	54	3	3,913	31	62	0,098	-			
FLC	5,86	24,2	1,15	12	3	3,254	33	66	0,045	-	15,0	98	
FA	5,74	24,5	1,11	14	3	2,824	34	68	0,052	-			
						DATA: 24.05.09							
AB	6,00	23,5	4,21	55	-	-	-	-	-	-			
FLC	4,86	23,7	0,84	3	-	-	-	-	-	-	15,0	99	
FA	4,75	24,3	0,94	7	-	-	-	-	-	-			
						DATA: 24.05.09							
AB	6,37	23,1	5,33	65	-	-	-	-	-	-			
FLC	5,58	23,4	0,84	12	-	-	-	-	-	-	15,0	100	
FA	5,78	23,9	0,78	11	-	-	-	-	-	-			
						DATA: 25.05.09							

FLC	5,14	18,9	0,71	7	-	-	-	-	-	-	48,0	238
FA	5,10	18,9	0,45	2	-	-	-	-	-	-		
DATA: 30.05.09												
AB	6,30	19,4	3,90	64	9	2,977	31	62	0,092	17,5		
FLC	5,46	19,3	0,68	10	5	-	35	70	0,037	3,7	48,5	239
FA	5,19	19,4	0,41	5	3	6,626	35	70	0,028	0,7		
DATA: 01.06.09												
AB	6,64	19,8	4,00	61	9	-	33	66	0,097	11,8		
FLC	5,50	19,6	0,75	13	3	-	35	70	0,037	3,4	64,5	289
FA	5,37	19,8	0,36	6	3	-	35	70	0,030	0,4		
DATA: 02.06.09												
AB	6,52	18,1	4,36	57	2	-	34	68	0,101	17,8		
FLC	5,57	17,9	0,65	6	1	-	37	74	0,037	3,4	74,0	311
FA	5,58	18,1	0,37	1	1	2,898	36	72	0,033	0,1		
DATA: 03.06.09												
AB	6,58	17,3	3,85	59	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,42	16,1	0,71	8	-	-	-	-	-	-	80,5	334
FA	5,25	15,8	0,39	1	-	-	-	-	-	-		
DATA: 03.06.09												
AB	6,46	17,4	4,90	57	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,41	16,5	0,71	4	-	-	-	-	-	-	81,0	335
FA	5,40	16,5	0,35	1	-	-	-	-	-	-		
DATA: 03.06.09												
AB	6,47	18,0	4,29	56	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,58	17,0	0,69	4	-	-	-	-	-	-	81,0	336
FA	5,40	17,1	0,34	1	-	-	-	-	-	-		
DATA: 03.06.09												
AB	6,17	18,4	4,76	57	4	3,995	33	66	0,091	12,5		
FLC	5,41	18,8	0,72	4	1	1,783	37	74	0,039	3,1	81,5	337

FA	5,14	18,5	0,33	1	1	2,462	37	74	0,033	0,6		
DATA: 03.06.09												
AB	6,10	18,7	4,19	64	-	-	-	-	-	-		
FLC	5,56	18,1	0,68	9	-	-	-	-	-	-	82,0	338
FA	5,39	18,4	0,38	5	-	-	-	-	-	-		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B.21 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração do Tratamento 3, verão, primeiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 04.05.09												
AB	6,64	22,5	3,77	61	-	-	-	-	-	-		04.05.09
FLC	6,21	22,4	3,22	51	-	-	-	-	-	-	14,5	11h30
FA	5,44	22,7	1,52	18	-	-	-	-	-	-		
DATA: 04.05.09												
AB	6,62	22,9	3,63	65	-	-	-	-	-	-		
FLC	6,29	22,9	3,39	55	-	-	-	-	-	-	16,0	1
FA	5,85	23,1	0,69	15	-	-	-	-	-	-		
DATA: 04.05.09												
AB	6,38	23,3	3,88	64	20	3,517	31	62	0,104	15,1		
FLC	6,52	23,8	3,19	59	22	4,134	31	62	0,101	12,5	17,0	2
FA	5,96	23,9	0,67	17	13	2,701	34	68	0,051	0,2		
DATA: 04.05.09												
AB	6,59	23,9	4,04	66	-	-	-	-	-	-		
FLC	6,06	23,8	3,07	55	-	-	-	-	-	-	18,5	3

FA	5,88	24,2	0,74	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 05.05.09													
AB	6,81	22,4	3,50	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	6,72	22,1	3,16	49	-	-	-	-	-	-	56,5	23	-
FA	6,04	22,4	0,62	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 05.05.09													
AB	6,84	22,8	4,05	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	6,68	22,8	3,68	60	-	-	-	-	-	-	59,5	24	-
FA	6,14	23,1	0,67	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 05.05.09													
AB	6,93	23,7	3,82	60	9	4,001	32	64	0,104	29,6	-	-	-
FLC	6,72	23,6	3,59	54	10	3,870	29	58	0,100	21,9	60,5	25	-
FA	6,16	23,7	0,67	8	6	2,833	34	68	0,038	1,7	-	-	-
DATA: 05.05.09													
AB	6,75	24,0	4,57	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	6,72	24,2	2,92	50	-	-	-	-	-	-	62,0	26	-
FA	6,09	24,3	0,66	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DATA: 06.05.09													
AB	6,87	23,0	4,04	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLC	6,72	23,1	3,02	53	-	-	-	-	-	-	141,	51	-
FA	6,03	23,4	0,62	9	-	-	-	-	-	-	0	-	-
DATA: 06.05.09													
AB	6,19	23,2	4,98	65	11	8,056	31	62	0,109	14,6	-	-	-
FLC	6,03	23,3	3,45	54	12	1,872	32	64	0,098	15,8	150,	53	-
FA	5,64	23,8	0,55	10	9	1,928	35	70	0,034	0,1	0	-	-

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

B.4: Resultados das Carreiras de Filtração no Inverno – Segundo Ensaio.

As Tabela B.22, Tabela B.23 e

Tabela B 24 apresentam os resultados do ensaio contínuo, nos Tratamentos 1, 2 e 3, com adição de SA, no inverno, segundo ensaio.

Tabela B.22 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1; monitorados diariamente, segundo ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CL <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 10.11.09												
AB	7,23	26,1	4,97	60	-	-	33	66	-	-		10.11.09
FLC	5,43	25,4	4,82	55	-	-	40	80	-	-	6	13h30
FA	6,10	25,5	4,59	53	-	-	38	76	-	-		
DATA: 10.11.09												
AB	7,02	25,8	4,55	66	0	5,606	33	66	0,1328	24,31		
FLC	5,26	26,2	4,81	84	0	4,707	42	84	0,1395	16,02	6,5	1
FA	6,52	25,2	2,53	74	0	3,359	37	74	0,1007	7,84		
DATA: 11.11.09												
AB	6,95	24,4	4,79	55	-	-	33	66	-	-		
FLC	4,75	24,1	5,03	59	-	-	49	98	-	-	14,0	20
FA	5,25	24,6	0,77	9	-	-	39	78	-	-		
DATA: 11.11.09												
AB	6,94	24,8	4,55	61	9	4,641	32	64	0,1366	16,93		
FLC	4,90	25,0	4,65	55	3	2,989	42	84	0,1297	10,90	14,5	21
FA	5,20	25,1	0,79	10	2	2,583	41	82	0,0753	4,09		

DATA: 12.11.09												
AB	7,01	25,6	5,14	54	12	5,934	34	68	0,1701	26,81		
FLC	4,70	25,8	5,09	53	2	3,091	42	84	0,1447	11,25	29,5	48
FA	4,74	25,9	0,74	7	3	3,131	47	94	0,0829	3,30		
DATA: 13.11.09												
AB	6,96	25,7	4,04	60	-	-	33	66	-	-		
FLC	4,89	25,4	5,94	91	-	-	45	90	-	-	43,5	68
FA	5,13	26,3	0,65	11	-	-	38	76	-	-		
DATA: 13.11.09												
AB	6,81	26,3	4,50	50	8	5,280	35	70	0,0762	16,24		
FLC	4,71	25,8	6,18	74	3	8,884	45	90	0,0734	14,42	45,0	69
FA	5,07	25,7	0,72	4	0	7,241	38	76	0,0195	2,16		
DATA: 14.11.09												
AB	60	25,3	4,74	60	13	5,634	34	68		18,52		
FLC	72	25,5	5,97	72	2	3,904	50	100		10,56	67,5	94
FA	5	25,4	0,62	5	1	7,220	45	90		1,36		
DATA: 15.11.09												
AB	6,90	25,5	5,10	60	15	8,999	39	78	0,0885	12,27		
FLC	4,30	25,6	6,09	65	8	8,096	60	120	0,0593	6,02	84,5	118
FA	4,27	25,9	0,53	4	2	7,020	41	82	0,0180	1,93		
DATA: 16.11.09												
AB	6,14		4,80	64	15	10,30	32	64	0,1072	12,95		
FLC	3,68		7,22	85	7	8,507	49	98	0,0773	12,15		
FA	4,03		0,50	4	4	3,401	40	80	0,0121	0,11		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B.23 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2; monitorados diariamente, segundo ensaio

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 03.12.09												
AB	6,75	26,9	3,90	49	-	-	32	64	-	-		03.11.09
FLC	5,96	27,0	6,71	73	-	-	36	72	-	-	7,0	14h30
FA	4,45	27,2	1,88	17	-	-	80	160	-	-		
DATA: 03.12.09												
AB	6,72	27,1	4,30	52	1	7,029	33	66	0,1153	24,08		
FLC	5,95	27,3	4,86	65	1	6,411	36	72	0,0861	25,33	7,5	1
FA	4,47	27,4	1,13	12	4	6,908	83	166	0,0842	3,07		
DATA: 04.12.09												
AB	6,95	24,7	3,47	49	-	-	34	68	-	-		
FLC	6,00	24,7	2,48	32	-	-	35	70	-	-	14,0	19
FA	4,41	23,8	0,74	9	-	-	76	152	-	-		
DATA: 04.12.09												
AB	6,90	24,5	4,05	49	7	6,959	34	68	0,1081	14,88		
FLC	6,05	24,7	2,51	30	3	8,111	35	70	0,0801	10,91	14,0	20
FA	4,43	24,3	0,82	8	3	7,000	78	156	0,0492	4,20		
DATA: 05.12.09												
AB	6,99	24,8	3,44	49	7	7,635	35	70	0,1116	20,56		
FLC	5,71	24,6	2,82	35	1	6,348	37	74	0,0679	10,91	24,5	45
FA	4,45	24,2	0,75	7	1	5,602	77	154	0,0435	4,54		

						DATA: 06.12.09							
AB	6,85	26,3	4,20	6	53	7,674	35	70	0,1009	19,08			
FLC	5,71	25,9	2,84	2	27	5,761	39	78	0,0563	9,43	33,5	71	
FA	4,46	25,0	0,66	0	5	6,774	77	154	0,0401	3,63			
						DATA: 06.12.09							
AB	6,91	27,2	4,29	54	-	-	36	72	-	-			
FLC	5,57	26,6	2,89	30	-	-	37	74	-	-	33,5	72	
FA	4,48	25,4	0,69	5	-	-	74	148	-	-			
						DATA: 07.12.09							
AB	6,77	25,8	4,41	53	12	8,218	34	68	0,1313	16,47			
FLC	5,41	26,2	2,61	34	2	6,491	39	78	0,0511	7,38	37,0	93	
FA	4,40	26,0	0,62	8	1	9,278	81	162	0,0401	1,82			
						DATA: 08.12.09							
AB	6,81	24,8	3,41	42	6	4,943	33	66	0,1046	16,81			
FLC	5,42	24,8	2,49	30	4	3,438	38	76	0,0543	7,84	45,0	116	
FA	4,36	24,3	0,62	8	2	3,593	80	160	0,0236	1,82			
						DATA: 08.12.09							
AB	6,77	24,8	3,78	52	-	-	34	68	-	-			
FLC	5,27	24,8	2,30	26	-	-	38	76	-	-	45,0	117	
FA	4,45	24,4	0,63	4	-	-	80	160	-	-			
						DATA: 09.12.09							
AB	6,75	25,5	3,56	48	6	5,143	34	68	0,0813	9,66			
FLC	5,29	25,9	1,95	22	0	3,649	39	78	0,0294	6,93	50,0	143	
FA	4,41	25,0	0,59	6	1	3,660	79	158	0,009	0,69			
						DATA: 09.12.09							
AB	6,84	25,4	3,92	54	-	-	34	68	-	-			
FLC	5,26	25,6	2,22	25	-	-	37	74	-	-	50,0	144	
FA	4,45	24,6	0,61	2	-	-	79	158	-	-			
						DATA: 10.12.09							

AB	6,72	26,2	3,28	41	6	4,888	33	66		7,72		
FLC	5,43	26,3	1,79	20	2	3,468	38	76		9,09	51,0	169
FA	4,43	25,2	0,55	4	0	3,909	83	166		0,23		
DATA: 10.12.09												
AB	6,78	26,1	3,41	44	-	-	35	70	-	-		
FLC	5,36	26,6	1,87	24	-	-	39	78	-	-	51,5	170
FA	4,44	25,5	0,60	6	-	-	80	160	-	-		
DATA: 11.12.09												
AB	6,82	25,2	3,14	45	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,29	25,3	1,75	21	-	-	39	78	-	-	49,0	187
FA	4,42	25,0	0,56	6	-	-	80	160	-	-		
DATA: 11.12.09												
AB	6,70	25,9	3,31	45	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,33	25,8	1,63	21	-	-	40	80	-	-	50,0	189
FA	4,44	25,8	0,57	5	-	-	82	164	-	-		
DATA: 11.12.09												
AB	6,77	26,4	3,39	49	12	5,050	34	68	0,1041	14,42		
FLC	5,39	26,3	1,51	22	7	3,347	38	76	0,0518	4,54	49,5	190
FA	4,44	25,8	0,59	10	7	3,761	80	160	0,0381	0,45		
DATA: 11.12.09												
AB	6,84	27,1	4,01	48	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,36	26,4	2,23	22	-	-	40	80	-	-	49,0	191
FA	4,42	25,9	0,68	5	-	-	84	168	-	-		
DATA: 12.12.09												
AB	6,78	25,7	4,53	46	8	5,448	33	66	0,1054	19,20		
FLC	4,86	25,7	2,89	30	0	4,679	44	88	0,0683	12,61	42,5	214
FA	4,38	25,6	0,75	4	0	4,604	88	176	0,0459	0,68		
DATA: 13.12.09												
AB	7,02	24,4	3,96	50	-	-	33	66	-	-		

FLC	4,93	24,3	2,53	28	-	-	42	84	-	-	48,5	239
FA	4,41	23,7	0,50	2	-	-	91	182	-	-		
DATA: 13.12.09												
AB	7,00	24,2	4,15	52	9	5,492	34	68	0,0560	16,92		
FLC	4,99	24,4	2,71	31	0	4,457	44	88	0,0312	7,5	48,0	240
FA	4,42	23,8	0,52	5	2	4,669	94	188	0,0048	0,11		
DATA: 14.12.09												
AB	6,95	23,2	3,42	49	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,97	22,9	2,80	36	-	-	43	86	-	-	42,0	259
FA	4,45	22,5	0,49	6	-	-	95	190	-	-		
DATA: 14.12.09												
AB	6,92	23,7	3,31	50	7	6,185	34	68	0,0878	18,74		
FLC	5,00	23,7	2,37	27	2	3,982	43	86	0,0368	6,92	19,5	160
FA	4,41	22,8	0,51	3	2	4,499	97	194	0,0270	0,57		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B 24 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 3; monitorados diariamente, segundo ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 24.11.09												
AB	6,88	25,8	4,35	57	-	-	33	66	-	-		24.11.09
FLC	6,62	25,6	4,53	57	-	-	32	64	-	-	4,0	14h30
FA	6,06	25,7	3,47	45	-	-	41	82	-	-		
DATA: 24.11.09												
AB	50	26,5	3,95	50	10	5,679	33	66	0,1067	26,13		

FLC	54	26,4	4,33	54	20	9,909	34	68	0,1056	15,90	4,0	1
FA	38	26,4	3,84	38	11	11,51	42	84	0,1164	16,13		
DATA: 25.11.09												
AB	6,82	25,1	5,05	56	4	6,419	34	68	0,1191	27,38		
FLC	6,80	25,5	4,70	54	6	6,480	34	68	0,1134	17,38	13,0	20
FA	4,55	25,2	0,98	9	0	6,921	54	108	0,0506	4,77		
DATA: 26.11.09												
AB	6,94	25,8	4,23	49	7	6,359	32	64	0,1091	21,02		
FLC	6,93	25,8	4,61	50	8	7,122	35	70	0,1035	13,97	35,0	44
FA	4,55	25,7	0,79	7	4	6,145	61	122	0,0476	2,5		
DATA: 27.11.09												
AB	6,71	25,9	3,71	50	-	-	33	66	-	-		
FLC	6,76	25,7	3,27	40	-	-	33	66	-	-	60,0	69
FA	4,47	25,8	0,79	4	-	-	63	126	-	-		
DATA: 27.11.09												
AB	6,90	26,2	3,81	53	7	7,409	31	62	0,1097	25,0		
FLC	6,90	26,3	3,71	46	10	6,690	35	70	0,1018	21,7	64,0	94
FA	4,45	26,3	0,66	10	3	5,299	64	128	0,0535	2,5		
DATA: 28.11.09												
AB	6,81	25,6	4,10	58	-	-	32	64	-	-		
FLC	6,94	25,9	4,34	50	-	-	33	66	-	-	81,0	115
FA	4,44	25,7	0,77	8	-	-	67	134	-	-		
DATA: 28.11.09												
AB	6,90	25,7	4,47	64	10	6,825	32	64	0,1158	24,19		
FLC	6,72	25,9	4,19	56	8	6,789	33	66	0,1096	19,54	86,0	116
FA	4,51	25,7	0,75	7	4	5,455	66	132	0,0399	2,61		
DATA: 28.11.09												
AB	6,79	25,9	4,17	55	-	-	33	66	-	-		
FLC	6,66	25,9	4,03	54	-	-	33	66	-	-	89	117

FA	4,49	25,6	0,64	8	-	-	62	124	-	-		
DATA: 28.11.09												
AB	6,80	26,0	4,30	60	-	-	34	68	-	-		
FLC	6,65	26,0	4,00	53	-	-	34	68	-	-	100,	119
FA	4,50	25,9	0,62	7	-	-	63	126	-	-	5	

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

B.5: Resultados das Carreiras de Filtração no Verão – Terceiro Ensaio.

As Tabela B.25 e Tabela B.26 apresentam os resultados do ensaio contínuo, nos Tratamentos 1 e 2, com adição de SA, no verão com taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, terceiro ensaio.

Tabela B.25 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (μS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (μg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 10.02.10												
AB	6,56	27,4	3,88	52	-	-	35	70	-	-		10.02.10
FLC	4,97	27,7	2,81	35	-	-	39	78	-	-	17,0	10h
FA	4,76	26,4	0,82	7	-	-	44	88	-	-		
DATA: 10.02.10												
AB	6,69	27,4	4,31	55	-	-	36	72	-	-		
FLC	4,63	27,8	2,85	32	-	-	40	80	-	-	17,5	1
FA	4,60	27,1	0,80	7	-	-	39	78	-	-		
DATA: 10.02.10												

AB	6,35	27,5	3,88	51	7	5,313	35	70	16,59		
FLC	4,69	27,7	2,69	30		3,357	39	78	10,11	18,0	2
FA	4,64	27,0	0,86	6		3,540	39	78	3,63		
						DATA: 11.02.10					
AB	6,82	27,8	4,35	49	4	5,266	36	72	20,67		
FLC	4,65	27,8	2,76	32		3,325	41	82	10,34	25,0	25
FA	4,66	27,8	0,65	3		3,360	39	78	1,59		
						DATA: 11.02.10					
AB	6,31	28,1	3,66	55	-	-	36	72	-	-	
FLC	4,42	28,2	2,78	36	-	-	39	78	-	-	25,5
FA	4,38	27,7	0,67	5	-	-	40	80	-	-	
						DATA: 11.02.10					
AB	6,58	28,3	3,49	53	-	-	36	72	-	-	
FLC	4,50	28,7	3,09	40	-	-	42	84	-	-	26,5
FA	4,66	28,0	0,68	8	-	-	41	82	-	-	
						DATA: 11.02.10					
AB	6,69	28,4	3,87	57	-	-	36	72	-	-	
FLC	4,52	28,6	3,00	35	-	-	43	86	-	-	27,5
FA	4,57	28,5	0,71	9	-	-	40	80	-	-	
						DATA: 11.02.10					
AB	6,93	28,5	3,94	54	-	-	36	72	-	-	
FLC	4,70	28,5	2,87	36	-	-	43	86	-	-	28,5
FA	4,80	28,8	0,72	6	-	-	41	82	-	-	
						DATA: 12.02.10					
AB	6,62	27,2	3,87	46	-	-	33	66	-	-	
FLC	4,63	27,7	3,31	34	-	-	42	84	-	-	55,5
FA	4,81	27,6	0,69	4	-	-	40	80	-	-	
						DATA: 12.02.10					
AB	6,42	27,5	3,60	51	8	5,134	35	70	0,0890	24,77	

FLC	4,45	27,7	3,61	42	1	3,392	42	84	0,0611	16,24	57,5	48
FA	4,39	27,7	0,57	3	1	3,209	42	84	0,0155	3,29		
DATA: 12.02.10												
AB	6,44	27,6	3,81	57	-	-	36	72	-	-		
FLC	4,45	27,8	3,66	38	-	-	42	84	-	-	58,0	49
FA	4,47	27,7	0,51	6	-	-	41	82	-	-		
DATA: 13.02.10												
AB	6,79	27,7	3,13	43	-	-	35	70	-	-		
FLC	4,90	28,2	2,38	25	-	-	41	82	-	-	118,0	78
FA	4,76	27,7	0,53	2	-	-	41	82	-	-		
DATA: 13.02.10												
AB	6,53	28,4	4,20	52	1	6,339	34	68	0,0912	21,81		
FLC	4,60	28,1	2,40	22	1	4,182	41	82	0,0465	7,37	119,0	79
FA	4,44	27,7	0,63	2	1	3,457	40	80	0,0181	0,45		
DATA: 14.02.10												
AB	6,59	28,9	6,19	68	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,92	29,3	2,29	24	-	-	42	84	-	-	154,0	100
FA	4,61	29,3	0,58	4	-	-	42	84	-	-		
DATA: 14.02.10												
AB	6,45	29,8	4,33	59	7	5,245	37	74	0,1065	22,27		
FLC	4,38	29,4	2,11	17		3,686	42	84	0,0409	11,25	154,5	101
FA	4,27	29,4	0,54	2	1	3,380	41	82	0,0200	0,11		
DATA: 15.02.10												
AB	7,04	27,3	2,88	40	6	5,147	34	68	0,0835	16,13		
FLC	5,20	27,5	1,99	27	6	3,573	42	84	0,0404	11,13	196,0	121
FA	4,96	27,5	0,58	6	4	4,039	42	84	0,0258	0		
DATA: 15.02.10												
AB	6,47	27,6	3,52	50	2	5,204	35	70	0,1110	15,68		
FLC	4,36	27,9	2,15	19	1	3,791	42	84	0,0704	10,34	200,0	123

FA 4,17 27,9 0,50 4 3,309 41 82 0,0305 0,11

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B.26 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 150 m³.(m².d)⁻¹.; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 20.02.10												
AB	6,86	28,2	4,33	51	-	-	36	72	-	-		20.02.10
FLC	5,78	28,0	1,49	17	-	-	38	76	-	-	12,0	11h
FA	5,63	28,2	0,94	11	-	-	38	76	-	-		
DATA: 20.02.10												
AB	6,18	28,1	3,62	54	8	5,118	35	70	0,1023	20,90		
FLC	5,10	28,6	1,49	23		3,639	38	76	0,0553	9,31	12,5	1
FA	5,23	28,5	1,00	11		3,554	38	76	0,0337	6,25		
DATA: 20.02.10												
AB	6,47	28,5	4,27	58	-	-	36	72	-	-		
FLC	5,11	28,6	1,61	23	-	-	38	76	-	-	12,5	2
FA	5,14	28,6	1,07	16	-	-	38	76	-	-		
DATA: 21.02.10												
AB	6,25	29,2	4,12	61	-	-	38	76	-	-		
FLC	5,40	29,4	1,66	19	-	-	40	80	-	-	18,0	25
FA	5,33	29,4	0,66	8	-	-	39	78	-	-		
DATA: 21.02.10												
AB	6,28	29,8	4,23	57	2	5,012	37	74	0,1160	30,78		
FLC	4,69	29,9	1,52	14	4	3,327	41	82	0,0428	14,99	18,0	26

FA	4,60	29,9	0,67	1		3,202	41	82	0,0242	1,14		
						DATA: 22.02.10						
AB	5,43	28,0	4,17	24	-	-	35	70	-	-		
FLC	4,88	28,3	1,17	12	-	-	39	78	-	-	29,5	48
FA	4,74	28,6	0,68	7	-	-	36	72	-	-		
						DATA: 22.02.10						
AB	5,97	28,6	3,58	30	16	5,043	34	68	0,0957	21,70		
FLC	4,38	28,7	1,31	17		3,383	38	76	0,330	5,34	29,0	49
FA	4,40	28,4	0,58	10		3,114	36	72	0,0255	1,25		
						DATA: 22.02.10						
AB	5,69	28,6	3,76	46	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,53	28,9	1,20	11	-	-	37	74	-	-	29,5	50
FA	4,51	28,6	0,58	3	-	-	37	74	-	-		
						DATA: 23.02.10						
AB	6,84	27,5	4,03	57	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,94	27,6	1,65	21	-	-	41	82	-	-	44,0	72
FA	4,72	27,5	0,55	6	-	-	40	80	-	-		
						DATA: 23.02.10						
AB	6,42	27,4	4,18	63	6	5,104	35	70	0,1040	19,20		
FLC	4,20	27,7	1,70	16	2	3,351	42	84	0,0420	5,91	44,5	73
FA	4,08	27,6	0,52	3	2	3,136	41	82	0,0235	0,34		
						DATA: 24.02.10						
AB	6,68	27,3	4,23	51	-	-	35	70	-	-		
FLC	4,60	28,0	1,17	11	-	-	45	90	-	-	69,5	96
FA	4,41	27,7	0,61	2	-	-	45	90	-	-		
						DATA: 24.02.10						
AB	6,08	27,5	4,50	58	7	5,102	36	72	0,0991	28,51		
FLC	4,07	28,0	1,08	12	1	3,524	45	90	0,0344	6,02	67,5	97
FA	3,93	27,7	0,63	3		3,701	44	88	0,0253	0,11		

							DATA: 24.02.10						
AB	6,50	27,5	5,05	60	-	-	37	74	-	-			
FLC	4,37	28,1	1,00	7	-	-	45	90	-	-	67,5	98	
FA	4,16	27,8	0,57	2	-	-	45	90	-	-			
							DATA: 25.02.10						
AB	7,05	24,7	6,93	71	-	-	33	66	-	-			
FLC	4,61	25,1	1,15	8	-	-	44	88	-	-	73,5	120	
FA	4,43	24,7	0,48	3	-	-	43	86	-	-			
							DATA: 25.02.10						
AB	6,73	25,1	4,97	57	3	5,191	36	72	0,1094	24,42			
FLC	4,28	25,4	0,97	6	2	3,713	44	88	0,0322	5,68	73,5	121	
FA	4,17	24,9	0,48	2		3,466	43	86	0,0230	0,23			
							DATA: 25.02.10						
AB	6,68	25,4	7,31	77	-	-	36	72	-	-			
FLC	4,31	26,0	0,93	7	-	-	44	88	-	-	74,0	122	
FA	4,12	25,4	0,51	2	-	-	44	88	-	-			
							DATA: 26.02.10						
AB	6,71	26,6	3,69	54	-	-	33	66	-	-			
FLC	5,20	27,5	1,32	15	-	-	38	76	-	-	82,0	149	
FA	5,03	28,2	0,54	3	-	-	37	74	-	-			
							DATA: 26.02.10						
AB	6,71	28,0	5,02	66	9	5,597	33	66	0,1041	14,99			
FLC	5,18	29,1	1,18	17	4	3,529	38	76	0,0357	7,95	82,5	150	
AA	5,07	28,3	0,55	6	3	3,318	37	74	0,0268	1,02			
							DATA: 26.02.10						
AB	6,73	27,4	5,28	71	-	-	34	68	-	-			
FLC	5,42	28,0	1,21	19	-	-	36	76	-	-	82,5	151	
AA	5,41	27,6	0,61	10	-	-	37	74	-	-			
							DATA: 27.02.10						

AB	6,99	25,8	3,88	57	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,94	26,5	0,99	15	-	-	39	78	-	-	91,5	168
AA	4,87	26,2	0,63	6	-	-	39	78	-	-		
DATA: 27.02.10												
AB	6,83	26,4	3,76	57	8	3,318	35	70	0,1052	21,36		
FLC	5,04	27,2	0,90	14	3	3,241	39	78	0,0317	6,36	91,5	169
AA	5,14	26,5	0,57	6	3	3,072	37	74	0,0255	1,14		
DATA: 27.02.10												
AB	7,00	26,7	4,02	56	-	-	36	72	-	-		
FLC	5,14	27,3	0,94	10	-	-	40	80	-	-	91,5	170
AA	5,23	27,0	0,61	6	-	-	38	76	-	-		
DATA: 27.02.10												
AB	6,65	27,0	4,09	57	-	-	36	72	-	-		
FLC	4,97	27,7	0,90	9	-	-	40	80	-	-	92,0	171
AA	5,15	27,2	0,58	5	-	-	39	78	-	-		
DATA: 28.02.10												
AB	6,44	26,0	3,66	49	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,98	26,3	0,90	7	-	-	40	80	-	-	112,5	197
AA	5,01	25,9	0,52	2	-	-	39	78	-	-		
DATA: 28.02.10												
AB	6,32	26,1	4,35	65	6	4,896	35	70	0,0806	25,22		
FLC	4,60	26,6	0,93	8		3,252	40	80	0,0134	4,43	113,5	198
AA	4,73	26,3	0,48	4	1	2,838	39	78	0,0131	0,34		
DATA: 01.03.10												
AB	6,13	24,9	3,08	41	-	-	37	74	-	-		
FLC	5,64	25,8	1,63	18	-	-	37	74	-	-	132,5	216
AA	5,52	25,6	0,99	7	-	-	36	72	-	-		
DATA: 01.03.10												
AB	6,25	25,7	3,67	54	5	5,178	35	70	0,0750	23,17		

FLC	5,47	26,3	1,61	19	1	4,115	37	74	0,0170	12,27	133,0	217
AA	5,69	26,1	0,99	10	2	4,121	37	74	0,0147	5,00		
DATA: 01.03.10												
AB	6,51	25,8	4,35	58	-	-	35	70	-	-		
FLC	5,41	26,6	1,66	21	-	-	38	76	-	-	134,5	218
AA	5,78	26,3	1,00	9	-	-	37	74	-	-		
DATA: 02.03.10												
AB	6,98	25,9	3,97	60	11	5,080	35	70	0,1003	25,45		
FLC	5,62	26,9	1,12	14	3	3,154	39	78	0,0377	6,93	176,5	241
AA	5,74	26,6	0,66	6	4	3,138	38	76	0,0327	1,59		
DATA: 02.03.10												
AB	6,70	26,3	5,24	62	-	-	35	70	-	-		
FLC	5,42	27,3	1,04	10	-	-	40	80	-	-	177,0	242
AA	5,64	26,9	0,75	3	-	-	39	78	-	-		
DATA: 02.03.10												
AB	6,86	27,0	3,92	55	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,63	27,9	1,04	13	-	-	40	80	-	-	191,0	249
AA	5,61	27,6	0,60	7	-	-	39	78	-	-		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

As Tabela B.27 e Tabela B.28 apresentam os resultados do ensaio contínuo, nos Tratamentos 1 e 2, com adição de SA, no verão com taxa de filtração de $200 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, terceiro ensaio.

Tabela B.27 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de 200 m³.(m².d)⁻¹; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 25.03.10												
AB	6,74	25,3	3,31	43	-	-	34	68	-	-		25.03.10
FLC	6,08	25,6	1,67	24	-	-	36	72	-	-	9,0	10h
FA	6,04	25,2	1,36	20	-	-	41	82	-	-		
DATA: 25.03.10												
AB	6,19	25,4	3,09	53	14	4,728	34	68	0,0903	22,83		
FLC	5,54	25,6	1,77	28	9	4,636	36	72	0,0590	9,09	9,5	1
FA	5,65	25,7	1,18	21	8	4,150	37	74	0,0470	5,68		
DATA: 25.03.10												
AB	7,31	26,8	3,87	47	-	-	34	68	-	-		
FLC	6,37	27,0	1,98	27	-	-	36	72	-	-	10,5	2
FA	6,41	27,1	1,69	19	-	-	35	70	-	-		
DATA: 25.03.10												
AB	7,01	26,9	3,83	52	8	5,172	34	68	0,0963	21,13		
FLC	6,08	26,8	2,07	30	6	4,212	36	72	0,0648	8,97	11,0	3
FA	6,17	26,9	1,54	19	3	4,138	36	72	0,0570	12,04		
DATA: 26.03.10												
AB	6,44	25,6	3,03	41	-	-	33	66	-	-		
FLC	5,91	25,7	1,24	13	-	-	36	72	-	-	7,0	23
FA	6,11	25,7	1,13	12	-	-	36	72	-	-		
DATA: 26.03.10												
AB	6,53	26,1	3,01	41	5	4,902	33	66	0,0902	19,99		
FLC	5,57	26,1	1,39	13	2	3,379	35	70	0,0388	10,00	7,0	24

FA	5,75	26,1	1,25	10	2	3,288	36	72	0,0345	7,84		
DATA: 26.03.10												
AB	6,84	26,9	3,42	46	8	5,121	33	66	0,0914	21,02		
FLC	5,88	26,2	1,27	13	2	3,448	35	70	0,0387	8,18	6,5	25
FA	6,04	25,9	1,14	12	6	3,478	36	72	0,0377	8,86		
DATA: 26.03.10												
AB	6,42	26,4	3,33	51	9	4,974	33	66	0,0926	14,43		
FLC	5,93	26,5	1,28	20	3	3,446	35	70	0,0355	6,70	6,5	26
FA	6,04	26,4	1,12	18	9	3,535	34	68	0,0359	8,06		
DATA: 26.03.10												
AB	6,87	26,4	3,06	54	14	6,086	34	68	0,0943	13,63		
FLC	5,80	26,6	1,29	19	7	4,067	36	72	0,0356	8,86	5,0	27
FA	5,99	26,4	1,11	19	6	4,104	36	72	0,0352	6,13		
DATA: 27.03.10												
AB	6,62	26,1	3,23	49	16	5,167	34	68	0,0953	19,08		
FLC	6,00	26,2	0,84	12	4	4,108	36	72	0,0368	6,70	4,5	48
FA	6,22	26,2	0,85	12	4	4,756	36	72	0,0296	6,36		
DATA: 27.03.10												
AB	7,01	26,1	3,31	42	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,74	26,1	1,05	14	-	-	36	72	-	-	4,5	49
FA	6,03	26,1	1,72	19	-	-	36	72	-	-		
DATA: 28.03.10												
AB	6,68	26,0	3,98	53	9	4,957	34	68	0,1021	18,18		
FLC	6,18	26,2	1,57	18	3	4,109	34	68	0,0406	7,16	4,5	80
FA	6,28	26,0	1,08	13	2	3,705	35	70	0,0452	4,54		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B.28 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 200 m³.(m².d)⁻¹; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
						DATA: 19.04.10						
AB	6,22	26,4	3,17	49	13		33	66	0,0918	13,40		19.04.10
FLC	5,75	26,6	2,20	34	12		35	70	0,0803	5,00	17,0	14h
FA	5,67	26,6	1,33	21	5		36	72	0,0479	2,73		
						DATA: 19.04.10						
AB	6,29	26,5	3,42	46	9		33	66	0,0970	20,22		
FLC	5,96	26,7	1,88	36	3		34	68	0,0713	3,98	17,0	1
FA	5,91	26,6	1,56	23	9		34	68	0,0575	3,63		
						DATA: 19.04.10						
AB	6,82	26,7	3,14	42	1	4,783	33	66	0,0869	21,58		
FLC	6,00	26,8	0,81	15		3,310	36	72	0,0275	4,32	17,0	2
FA	6,06	26,8	0,84	8		3,726	35	70	0,0350	2,16		
						DATA: 19.04.10						
AB	6,63	26,5	3,27	50	-	-	33	66	-	-		
FLC	5,79	26,6	0,72	18	-	-	36	72	-	-	17,0	3
FA	5,93	26,8	0,66	12	-	-	37	74	-	-		
						DATA: 20.04.10						
AB	6,16	25,1	3,16	51	-	-	33	66	-	-		
FLC	5,05	25,0	0,56	5	-	-	36	72	-	-	20,0	23
FA	5,15	25,1	0,48	8	-	-	38	76	-	-		
						DATA: 20.04.10						
AB	6,25	25,7	3,26	38	5	4,935	35	70	0,0877	18,06		

FLC	5,20	25,5	0,64	1		3,131	37	74	0,0267	2,61	20,0	24
FA	5,26	25,5	0,45	1		2,906	37	74	0,0212	1,14		
DATA: 20.04.10												
AB	6,36	25,8	3,41	41	-	-	35	70	-	-		
FLC	5,19	25,6	0,58	1	-	-	37	74	-	-	21,0	25
FA	5,28	25,6	0,48	1	-	-	37	74	-	-		
DATA: 21.04.10												
AB	6,73	24,2	3,12	45	10	4,524	33	66	0,0902	16,81		
FLC	5,77	24,0	0,48	6	3	2,415	37	74	0,0245	1,48	27,0	45
FA	5,64	24,1	0,39	5	2	3,017	37	74	0,0202	0,79		
DATA: 21.04.10												
AB	6,55	24,0	3,34	42	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,02	23,8	0,60	6	-	-	37	74	-	-	27,5	46
FA	5,09	23,9	0,44	3	-	-	37	74	-	-		
DATA: 22.04.10												
AB	6,30	23,6	2,61	31	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,11	23,5	0,53	7	-	-	38	76	-	-	33,0	69
FA	4,86	23,6			-	-	38	76	-	-		
DATA: 22.04.10												
AB	6,08	23,7	3,89	45	7	5,445	34	68	0,0911	19,42		
FLC	4,83	23,6	0,51	7		3,478	37	74	0,0256	1,93	33,0	70
FA	4,58	23,7	0,39	5		2,914	37	74	0,0214	0,68		
DATA: 22.04.10												
AB	5,99	23,8	3,62	41	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,47	23,6	0,59	2	-	-	38	76	-	-	33,5	71
FA	4,42	23,6	0,46	4	-	-	38	76	-	-		
DATA: 23.04.10												
AB	6,80	21,8	3,36	46	8	4,952	33	66	0,0951	20,56		
FLC	5,02	22,0	1,04	9	2	4,876	38	76	0,0314	2,95	38,0	98

FA	4,74	21,9	0,33	1		4,392	38	76	0,0218	0,11		
DATA: 23.04.10												
AB	6,35	21,7	3,78	43	-	-	35	70	-	-		
FLC	4,37	21,8	1,27	7	-	-	38	76	-	-	44,0	99
FA	4,27	21,7	0,53	2	-	-	38	76	-	-		
DATA: 24.04.10												
AB	6,44	21,5	3,64	45	11	6,326	33	66	0,0860	16,81		
FLC	4,90	22,0	0,85	9	5	5,687	39	78	0,0228	2,16	50,5	122
FA	4,75	21,9	0,53	5	5	5,802	39	78	0,0218	0,91		
DATA: 24.04.10												
AB	6,48	21,8	4,37	45	-	-	34	68	-	-		
FLC	4,52	22,2	1,05	7	-	-	39	78	-	-	51,0	123
FA	4,41	22,1	0,69	6	-	-	39	78	-	-		
DATA: 25.04.10												
AB	6,67	22,1	3,99	47	12	8,762	32	64	0,1005	11,81		
FLC	4,91	22,5	2,13	23	8	6,443	38	76	0,0417	5,68	86,0	146
FA	4,73	22,5	0,77	11	6	6,408	39	78	0,0190	0,57		
DATA: 26.04.10												
AB	6,85	21,9	4,45	51	10	8,669	32	64	0,1120	14,20		
FLC	4,86	22,0	2,87	30	5	6,961	40	80	0,0484	5,68	117,0	168
FA	4,61	22,1	0,73	5	1	6,869	40	80	0,0231	0,34		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila a; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

As Tabela B.29 e Tabela B.30 apresentam os resultados do ensaio contínuo, nos Tratamentos 1 e 2, com adição de SA, no verão com taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, terceiro ensaio.

Tabela B.29 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 1 com taxa de filtração de 250 m³.(m².d)⁻¹; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
						DATA: 05.04.10						
AB	7,15	24,1	3,73	53	9	5,322	34	68	0,0713	27,60		05.04.10
FLC	6,27	24,4	2,07	24	7	4,248	36	72	0,0277	10,79	28,5	14h
FA	6,34	24,3	1,10	12	4	4,276	36	72	0,0163	4,77		
						DATA: 05.04.10						
AB	7,16	24,2	3,33	50	9	5,100	34	68	0,0691	22,83		
FLC	5,78	24,5	1,87	24	2	5,753	36	72	0,0273	12,25	29,5	1
FA	5,87	24,3	1,17	14	5	4,029	36	72	0,0159	6,32		
						DATA: 05.04.10						
AB	7,09	24,1	4,27	53	9	5,063	35	70	0,0726	22,72		
FLC	5,76	24,4	1,63	23	1	4,050	36	72	0,0274	11,93	32,0	2
FA	5,86	24,2	1,18	15	2	3,949	36	72	0,0173	7,27		
						DATA: 06.04.10						
AB	7,05	22,5	3,65	49	8	7,078	33	66	0,0995	17,38		
FLC	5,95	22,7	1,67	20	4	6,365	35	70	0,0500	9,20	29,0	21
FA	6,02	22,5	1,35	13	3	6,253	35	70	0,0452	7,83		
						DATA: 06.04.10						
AB	6,69	22,6	3,78	48	9	8,065	33	66	0,0991	23,63		
FLC	5,78	22,8	1,63	24	4	4,589	36	72	0,0538	8,41	24,0	22
FA	5,89	22,6	1,20	21	4	4,435	36	72	0,0414	0,82		
						DATA: 07.04.10						
AB	6,97	22,7	4,07	51	11	6,419	34	68	0,1015	17,04		
FLC	6,36	23,4	2,09	24	1	4,334	36	72	0,0548	10,79	37,5	48

FA	6,50	23,1	1,30	13	7	4,071	36	72	0,0408	6,42		
DATA: 07.04.10												
AB	7,07	23,1	3,67	52	8	5,167	34	68	0,0987	22,04		
FLC	6,06	23,7	2,13	28	1	4,312	36	72	0,0538	9,43	37,5	49
FA	6,16	23,5	1,05	15	2	4,980	36	72	0,0414	5,79		
DATA: 07.04.10												
AB	6,98	23,0	3,74	48	-	-	34	68	-	-		
FLC	5,91	23,1	1,84	17	-	-	36	72	-	-	38,0	50
FA	6,08	22,9	1,05	10	-	-	36	72	-	-		
DATA: 07.04.10												
AB	6,88	23,3	3,36	49	-	-	33	66	-	-		
FLC	5,92	23,7	1,86	18	-	-	36	72	-	-	39,0	51
FA	6,09	23,5	1,16	10	-	-	36	72	-	-		

TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

Tabela B.30 – Resultados de pH; Turbidez, CA; CV; COD; SDT; Condutividade; Abs 254nm; Clorofila *a*; Perda de Carga e Tempo de Carreira de Filtração, Tratamento 2 com taxa de filtração de 250 m³.(m².d)⁻¹; monitorados diariamente, terceiro ensaio.

	pH	TEMP (°C)	TUR (uT)	CA (uH)	CV (uH)	COD (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	COND (µS.cm ⁻¹)	Abs 254nm	CLa (µg.L ⁻¹)	PC (m)	TCF (h)
DATA: 27.04.10												
AB	6,65	21,8	4,75	44	-	-	32	64	-	-		27.04.10
FLC	4,52	22,3	2,53	22	-	-	44	88	-	-	33,0	11h
FA	4,80	21,8	0,86	1	-	-	39	78	-	-		
DATA: 27.04.10												
AB	6,66	22,3	4,33	44	8	4,939	33	66	0,0936	18,52		

FLC	4,47	23,2	2,41	17	3	3,496	43	86	0,0474	5,68	39,0	1
FA	4,46	23,0	0,67	7	4	3,156	43	86	0,0259	0,68		
DATA: 27.04.10												
AB	6,67	22,5	4,56	43	9	4,934	33	66	0,0974	19,88		
FLC	4,42	23,9	2,14	20	2	3,496	43	86	0,0474	6,70	43,0	2
FA	4,29	23,8	0,63	1		3,016	43	86	0,0239	1,02		
DATA: 27.04.10												
AB	6,34	22,7	4,10	42	8	4,482	33	66	0,0954	21,58		
FLC	4,30	23,9	2,20	18		3,030	43	86	0,0445	10,00	44,0	3
FA	4,20	23,8	0,62	3	2	2,900	43	86	0,0242	0,79		
DATA: 27.04.10												
AB	6,35	22,9	4,97	45	6	4,636	34	68	0,0986	19,42		
FLC	4,37	24,2	2,26	17	4	3,299	43	86	0,0458	6,93	45,0	4
FA	4,24	23,8	0,65	10	5	3,025	44	88	0,0246	0,91		
DATA: 28.04.10												
AB	6,80	22,2	4,13	44	14	4,966	33	66	0,0969	16,02		
FLC	4,56	23,8	2,14	24	1	3,307	42	84	0,0449	4,77	57,0	26
FA	4,44	23,7	0,54	3		3,016	44	88	0,0239	0,45		
DATA: 28.04.10												
AB	6,56	22,6	4,16	47	6	5,071	33	66	0,0974	19,31		
FLC	4,48	23,8	1,99	23	3	3,316	43	86	0,0464	7,50	60,0	27
FA	4,30	24,6	0,57	6	3	2,990	43	86	0,0241	0,34		
DATA: 29.04.10												
AB	6,90	22,8	4,04	40	-	-	33	66	-	-		
FLC	4,70	23,4	1,93	17	-	-	41	82	-	-	117,	51
FA	4,51	23,7	0,54	3	-	-	42	84	-	-	0	
DATA: 29.04.10												
AB	6,45	23,0	4,25	44	9	5,987	30	60	0,0986	15,68		
FLC	4,57	24,2	1,90	21	4	4,600	39	78	0,0416	7,50	120	52

FA	4,27	24,4	0,53	3	3	4,224	40	80	0,0219	0,57
-----------	------	------	------	---	---	-------	----	----	--------	------

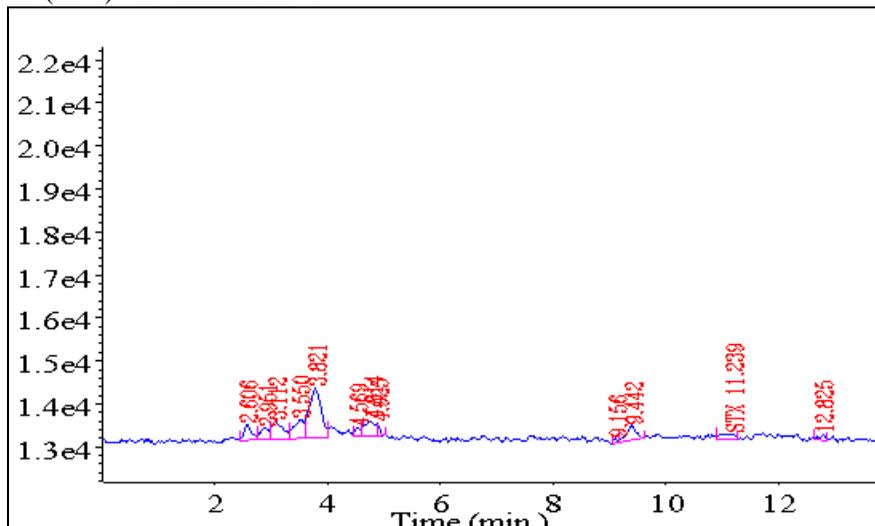
TEMP: Temperatura; TUR: Turbidez; CA: Cor Aparente; CV: Cor Verdadeira; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; COND: Condutividade; CLa: Clorofila *a*; PC: Perda de Carga; TCF: Tempo de Carreira de Filtração; AB: Água Bruta; FLC: Filtro de Lavagem Contínua; FA: Filtro Ascendente.

APÊNDICE C – Resultados da Concentração de Saxitoxinas

C.1: Tratamento 1: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$

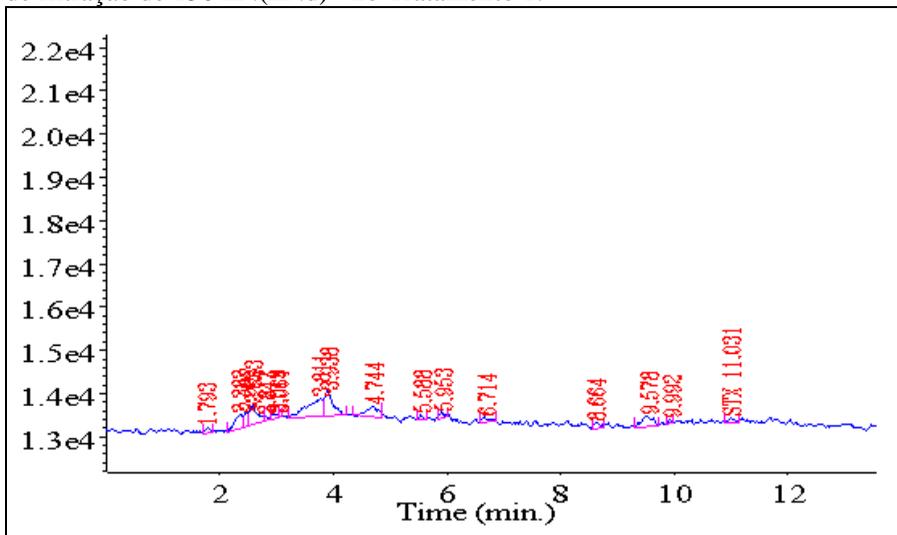
Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 1, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$, são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, Figura C.2 e Figura C.3.

Figura C.1 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.



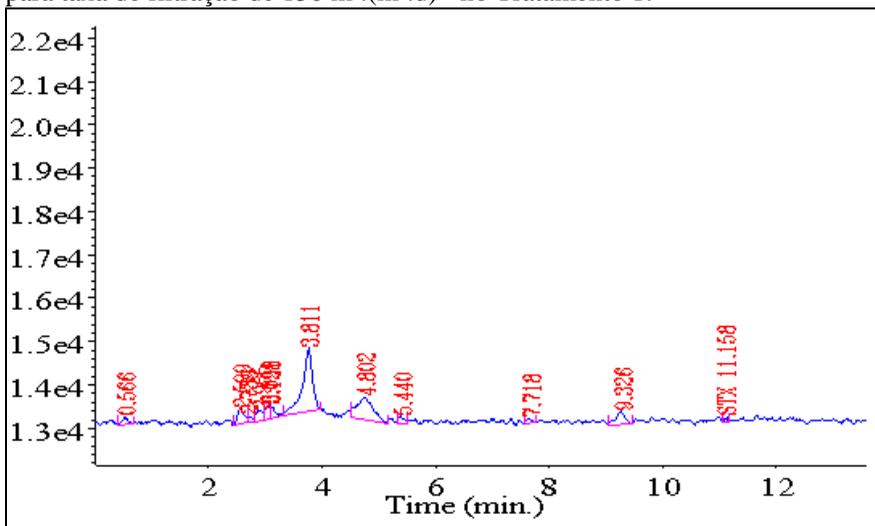
Amostra: Água Bruta (B1) – Código: STX00535

Figura C.2 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.



Amostra: Efluente do Filtro Ascendente (A1) – Código: STX00534

Figura C.3 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Contínua para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.

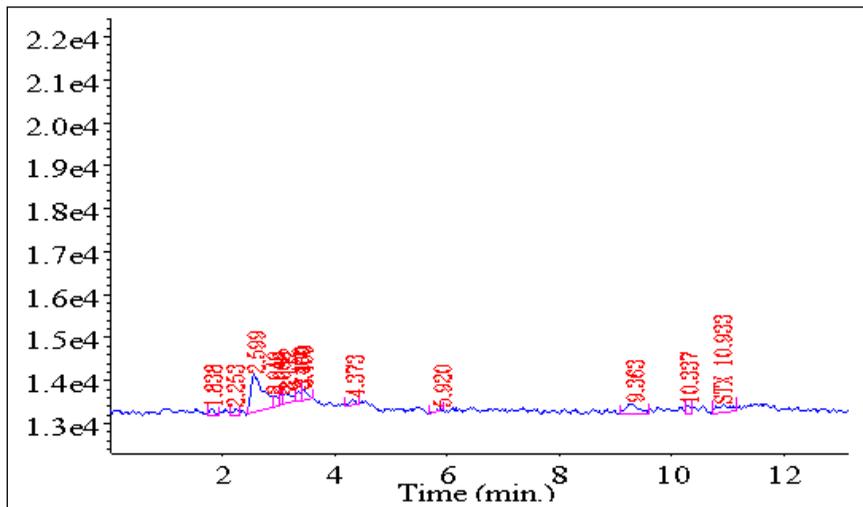


Amostra: Efluente do Filtro de Lavagem Contínua (L1) –
Código: STX00536.

C.2: Tratamento 2: Taxa de Filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$

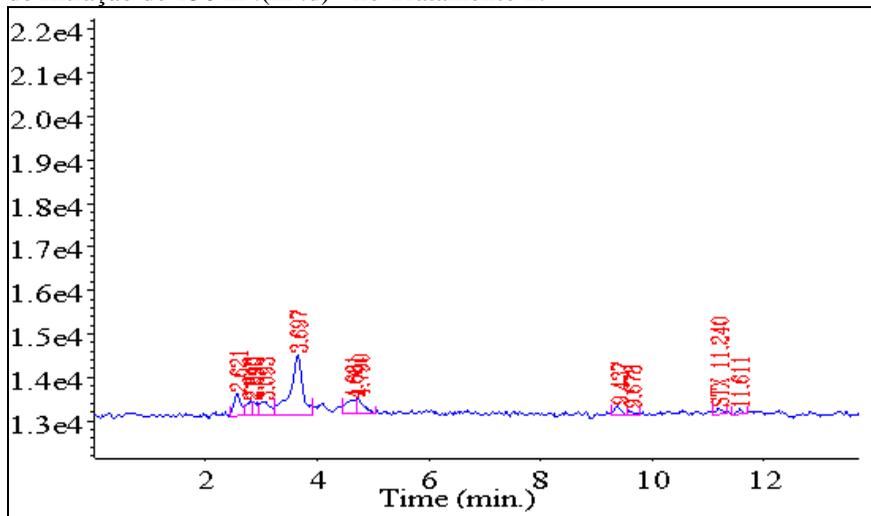
Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 2, para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, são apresentados na Figura C.4, Figura C.5 e Figura C.6.

Figura C.4 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



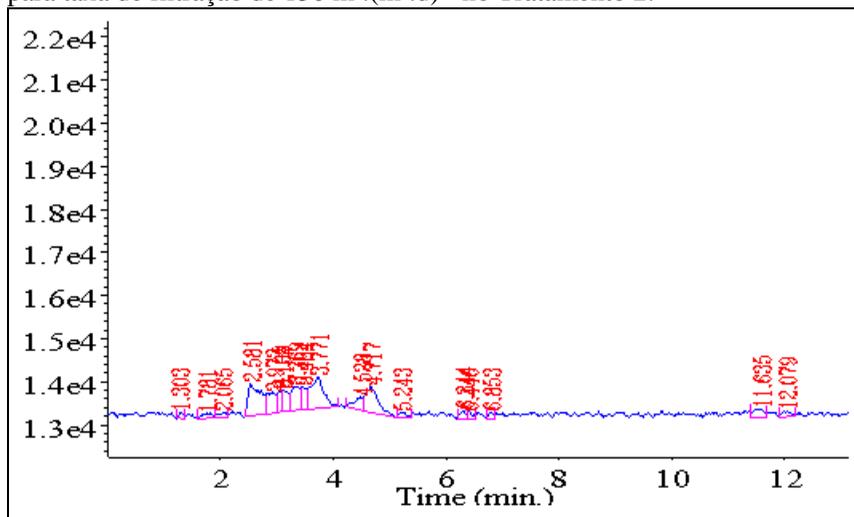
Amostra: Água Bruta (B2) – Código: STX00541

Figura C.5 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



Amostra: Efluente do Filtro Ascendente (A2) – Código: STX00537

Figura C.6 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Continua para taxa de filtração de $150 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.

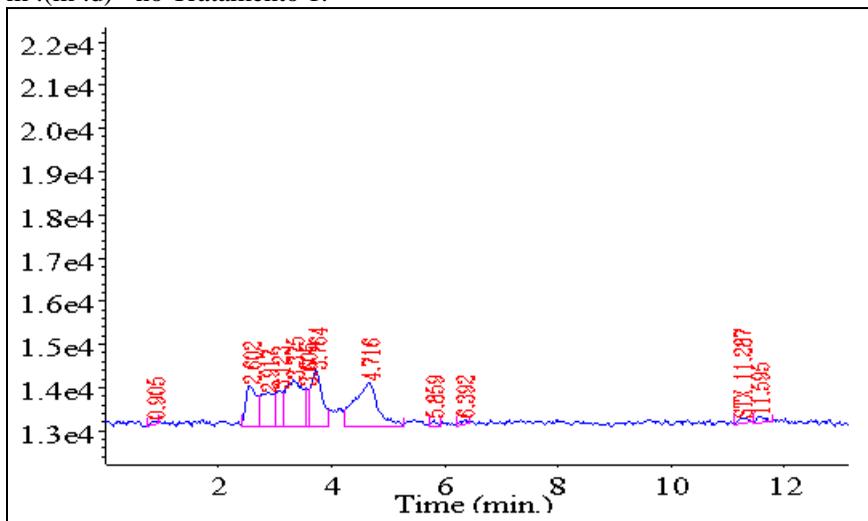


Amostra: Efluente do Filtro de Lavagem Continua (L2) – Código: STX00542

C.3: Tratamento 1: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$

Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 1, para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, são apresentados na Figura C.7, Figura C.8 e Figura C.9.

Figura C.7 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.

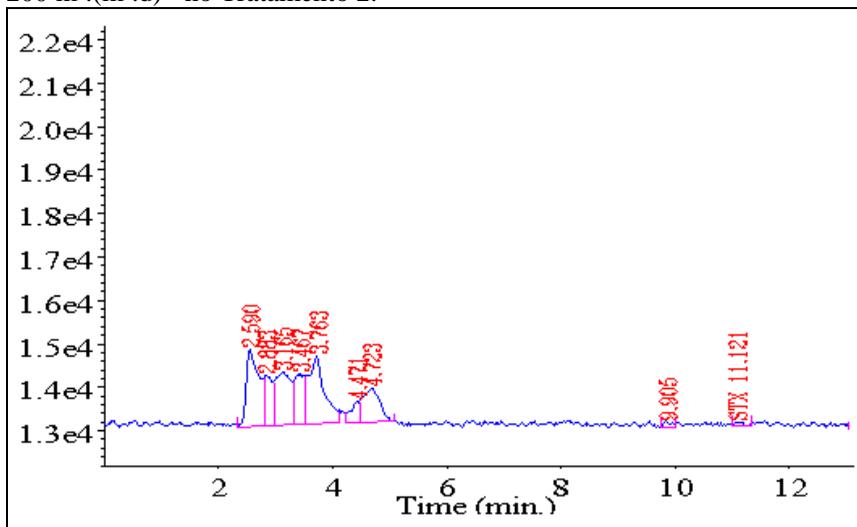


Amostra: Água Bruta (B3) – Código: STX00545

C.4: Tratamento 2: Taxa de Filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$

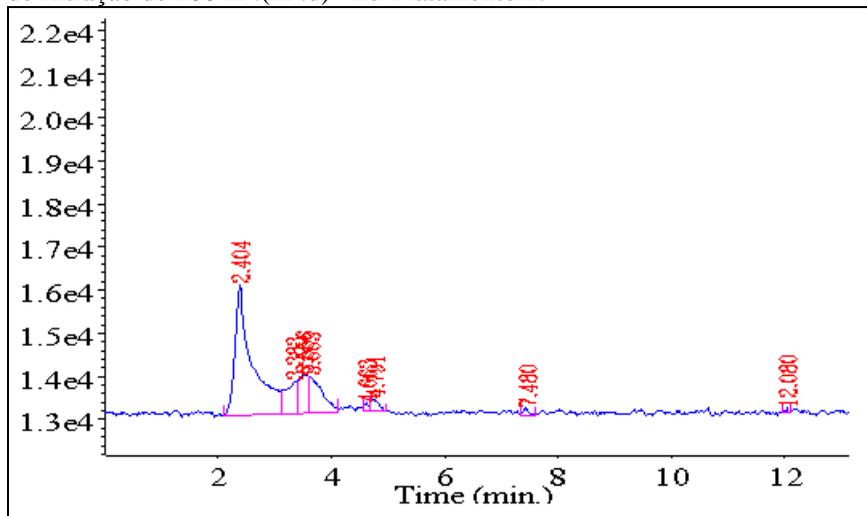
Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 2, para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, são apresentados na Figura C.10, Figura C.11 e Figura C.12.

Figura C.10 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



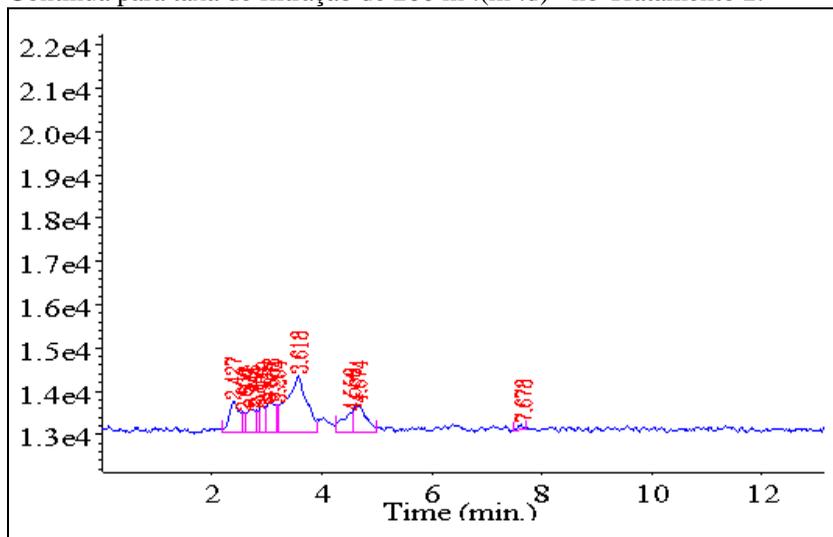
Amostra: Água Bruta (B4) – Código: STX00547

Figura C.11 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



Amostra: Efluente do Filtro Ascendente (A4) – Código: STX00546

Figura C.12 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Contínua para taxa de filtração de $200 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.

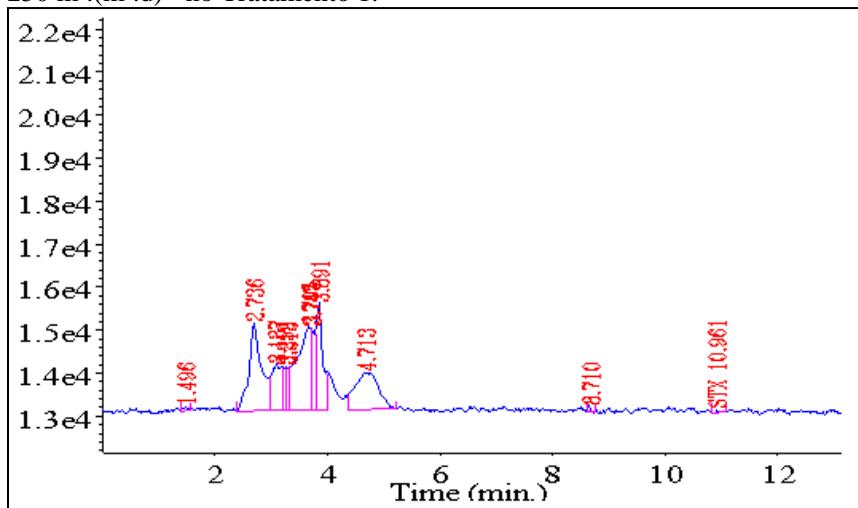


Amostra: Efluente do Filtro de Lavagem Contínua (L4) – Código: STX00548

C.5: Tratamento 1: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$

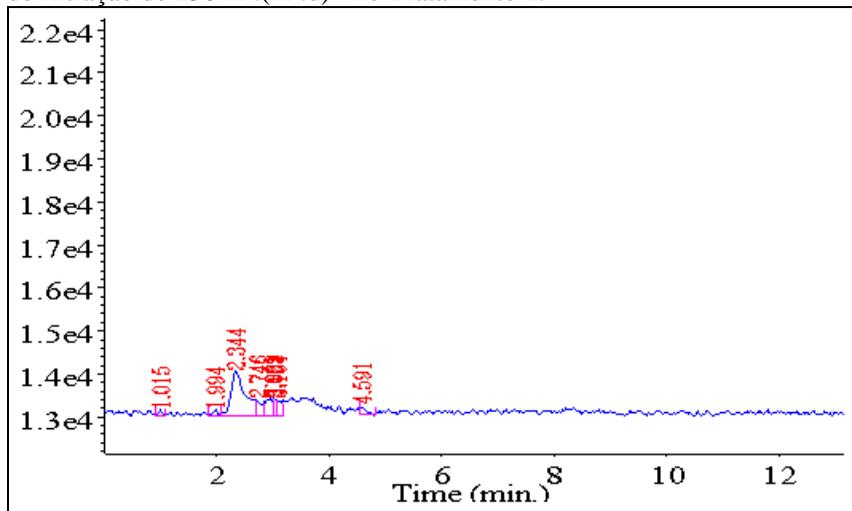
Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 1, para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, são apresentados na Figura C.13, Figura C.14 e Figura C.15.

Figura C.13 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.



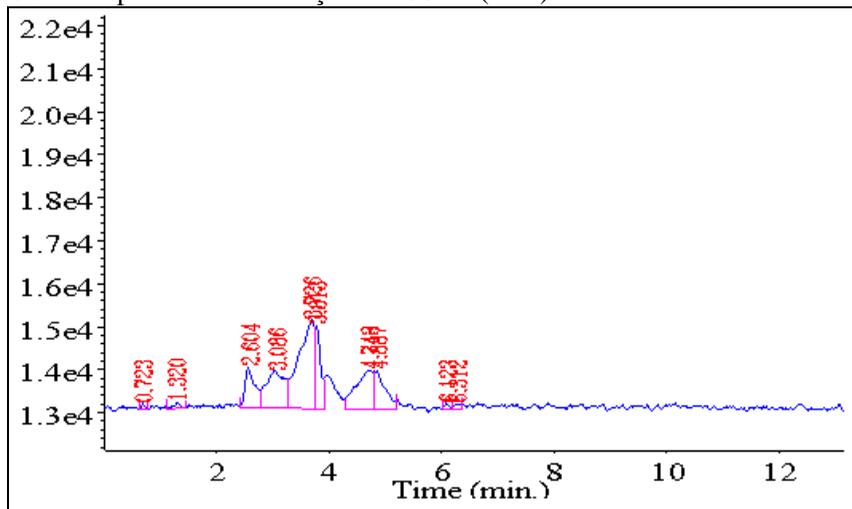
Amostra: Água Bruta (B5) – Código: STX00550

Figura C.14 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.



Amostra: Efluente do Filtro Ascendente (A5) – Código: STX00549

Figura C.15 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Contínua para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{d})^{-1}$ no Tratamento 1.

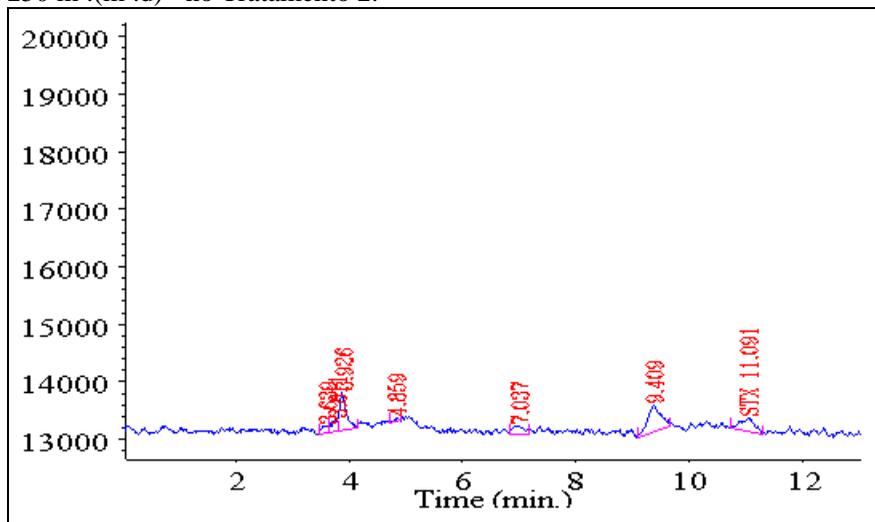


Amostra: Efluente do Filtro de Lavagem Contínua (L5) –
Código: STX00551

C.6: Tratamento 2: Taxa de Filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$

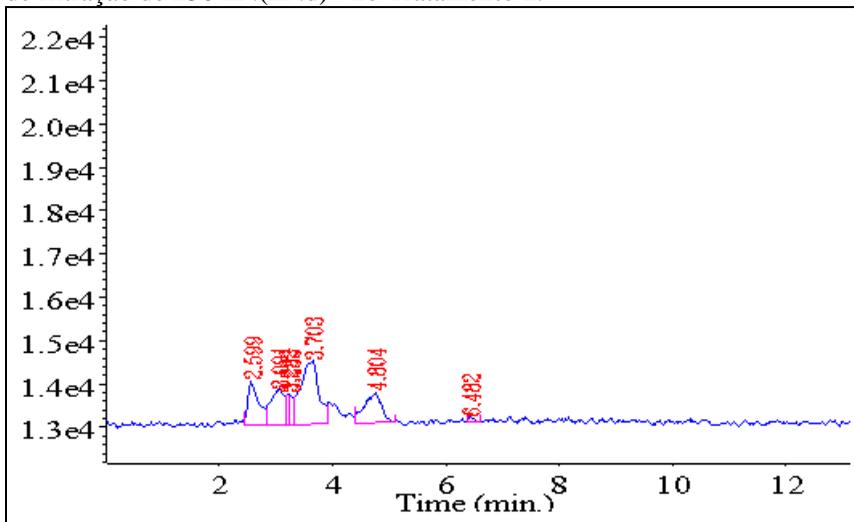
Os cromatogramas da água bruta e dos efluentes dos filtros de lavagem contínua e ascendente, no Tratamento 2, para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, são apresentados na Figura C.16, Figura C.17 e Figura C.18.

Figura C.16 – Cromatograma da Água Bruta para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



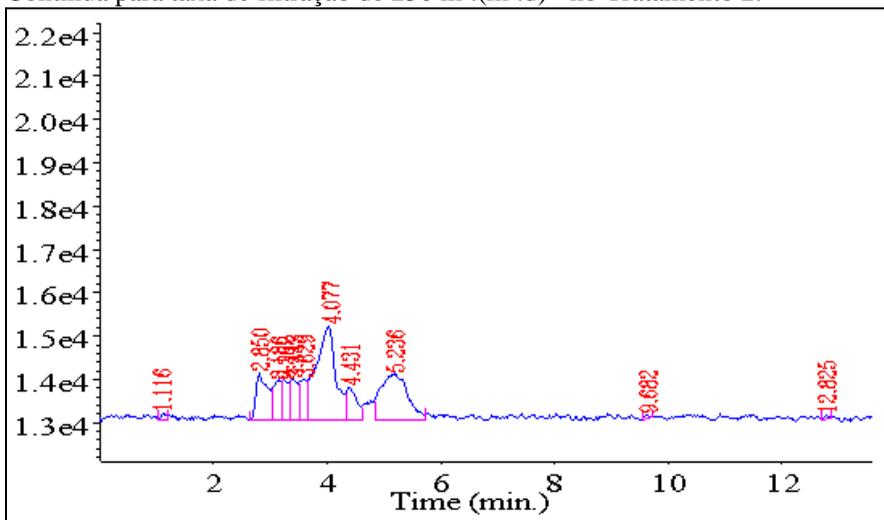
Amostra: Água Bruta (B6) – Código: STX00553

Figura C.17 – Cromatograma do efluente do Filtro Ascendente para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



Amostra: Efluente do Filtro Ascendente (A6) – Código: STX00552

Figura C.18 – Cromatograma do efluente do Filtro de Lavagem Contínua para taxa de filtração de $250 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ no Tratamento 2.



Amostra: Efluente do Filtro de Lavagem Contínua (L6)
Código: STX00554.