



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**José Raniery Rodrigues Cirne**

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA E TAXAS DE FILTRAÇÃO NO TRATAMENTO  
DE ÁGUA UTILIZANDO DUPLA FILTRAÇÃO**

**Natal  
2014**

**JOSÉ RANIERY RODRIGUES CIRNE**

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA E TAXAS DE FILTRAÇÃO NO TRATAMENTO  
DE ÁGUA UTILIZANDO DUPLA FILTRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte

Natal  
2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.  
Catalogação da Publicação na Fonte.

Cirne, José Raniery Rodrigues.

Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração / José Raniery Rodrigues Cirne. – Natal, RN, 2014.

105 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo.

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Tratamento de água - Dissertação. 2. Dupla filtração - Dissertação. 3. Microcistinas - Dissertação. I. Araújo, André Luis Calado. II. Duarte, Marco Antonio Calazans. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.16

**JOSÉ RANIERY RODRIGUES CIRNE**

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA E TAXAS DE FILTRAÇÃO NO TRATAMENTO  
DE ÁGUA UTILIZANDO DUPLA FILTRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. André Luis Calado Araújo (IFRN) – Orientador

---

Prof. Dr. Marco Antônio Calazans Duarte (IFRN) – Co-orientador

---

Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto (UFRN) – Examinador Interno

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Weruska Brasileiro Ferreira (UEPB) – Examinador Externo

Natal  
2014

*Dedico esta dissertação aos meus pais  
que desde a minha infância tem dado  
grande incentivo aos meus estudos.*

## AGRADECIMENTOS

Em todos os momentos de nossa vida devemos agradecer os obstáculos ultrapassados, as vitórias que foram alcançadas e a vida que Deus nos concedeu.

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus mais uma vitória, pelo cuidado durante o mestrado, pela minha existência e proteção, dando-me sempre saúde e força para enfrentar as adversidades surgidas em meu caminho.

Aos meus pais, José de Arimatéia da Costa Cirne e Soemes Rodrigues Cirne e ao meu irmão Ruan Henrique Rodrigues Cirne, por terem dado todo o suporte e apoio na minha vida, estando sempre do meu lado em todas as minhas decisões.

À minha namorada Phalloma Torres, por me apoiar desde a minha ida a Natal, pelas palavras de consolo, as quais me animaram em diversos momentos do mestrado. Quero dizer que você foi de fundamental importância para o desenvolvimento do meu trabalho, mesmo que de uma forma indireta. Obrigado por tudo.

À minha família em geral, pela força, incentivo e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Luis Calado Araújo e co-orientador Prof. Dr. Marco Antônio Calazans Duarte, pela colaboração, paciência e seus conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento do trabalho, além da grande amizade formada.

À minha querida e grande amiga Hildérica Lima Campos, por ter estado ao meu lado durante todo o mestrado, me acompanhando nos momentos de alegria e de dificuldades também. Agradeço pela amizade formada e preservada.

À Professora Weruska Brasileiro Ferreira, pelo apoio prestado, confiança e atenção ao meu trabalho; ao Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto, por todo aprendizado e acompanhamento durante o mestrado.

Aos amigos e companheiros do LARHISA. Obrigado pela força e amizade.

A todos os amigos da CAERN, em especial a bióloga Fladjule Rejane, por todo apoio prestado com as análises de cianobactérias; ao engenheiro químico Canindé, que nos cedeu espaço para montarmos nosso laboratório e sempre nos acompanhou na pesquisa; e a técnica Francisca, que estava sempre presente nos ajudando com as análises. Agradeço a vocês pela força e o incentivo de concluir minha dissertação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como entidade de ensino responsável pela minha pós-graduação.

À CAPES, por ter financiado minha bolsa durante o período do mestrado.

**"Para conquistar coisas importantes, devemos não apenas agir mas também sonhar, não apenas planejar mas também acreditar."**

*(Anatole France)*

## RESUMO

CIRNE, J. R. R. (2014) **Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

A contaminação dos mananciais de abastecimento público de água por resíduos originados pelas atividades antrópicas vem trazendo diversos riscos para a saúde humana. Dentre as consequências de contaminantes pode-se destacar a floração de microalgas e cianobactérias, que têm o potencial de produzir toxinas perigosas para os seres humanos, e a presença de substâncias húmicas que são geradas pela decomposição da matéria orgânica natural (MON), tal como a vegetação, que quando encontradas em mananciais para abastecimento público, apresentam aspectos negativos conferindo cor elevada, odor e sabor. A tecnologia de dupla filtração apresenta boa eficiência em águas com presença de cianobactérias e variações distintas de qualidade. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da técnica de dupla filtração com pré-oxidação, para a potabilização da água da Lagoa de Extremoz-RN, que atualmente apresenta concentrações elevadas de cianobactérias. A pesquisa se resumiu em quatro fases. A primeira fase voltou-se para ensaios estáticos em equipamento de jarreste em laboratório e as fases subsequentes foram testadas em uma Instalação Piloto de Dupla Filtração. Para a segunda e terceira fase foram testadas taxas de filtração de 120 e 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para filtros ascendentes de pedregulhos e 160 e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia filtros rápidos descendentes de areia. A última fase objetivou avaliar a dupla filtração com pré-oxidação. Os resultados encontrados na instalação piloto de dupla filtração demonstraram que o filtro ascendente de pedregulho 4, que apresentava a menor granulometria, demonstrou a melhor eficiência e as melhores médias de turbidez e cor aparente. O Filtro rápido descendente de areia 1 foi mais eficiente na remoção de turbidez alcançando remoção em torno de 100%. Portanto, comprovou-se que quanto menor a granulometria dos filtros, maior a eficiência de remoção de turbidez. O uso da pré-oxidação favoreceu a remoção de cor no final dos ensaios, chegando a um percentual de remoção em torno de 60%. Com relação à remoção da turbidez, a técnica de dupla filtração se mostrou eficiente. Porém a remoção de cor e de cianotoxinas presentes na água só foi eficiente com o auxílio de um oxidante.

**Palavras-chave:** Tratamento de água; Dupla filtração; Microcistinas.

## ABSTRACT

CIRNE, J. R. R. (2014). **Influence of particle size and filtration rates for water treatment using double filtration.** Master's Dissertation - Federal University of Rio Grande do Norte.

The contamination of water sources of public drinking by waste originated by anthropogenic activities has brought various risks to human health. Among the consequences of such activities can highlight the bloom of microalgae and cyanobacteria, which have the potential to produce toxins dangerous to humans, and the presence of humic substances that are generated by the decomposition of natural organic matter (NOM), such as vegetation. When found in water sources for public supply, present negative aspects conferring high color, odor and taste. The double filtration technology has good efficiency in water with the presence of cyanobacteria and different quality variations. Therefore, this study aimed to evaluate the behavior of the technique of double filtration with pre-oxidation for water purifiers the lagoon of Extremoz-RN, which currently has high concentrations of cyanobacteria. The research is summarized in four phases: the first phase turned to static tests in jarteste equipment in the laboratory and subsequent phases were tested in the Pilot Plant of Double Filtration. For the second and third stage filtration rates were tested filtration rates of 120 and 180 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.day for ascending boulders filters and 160 and 240 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.day in the filters in quick sand descendants. The last phase aimed to evaluate the double filtration with pre-oxidation. The results demonstrated that the system could produce double filtration in all trials of good quality water according to the Decree n<sup>o</sup>. 2914/11 of the Ministry of Health. The use of pre-oxidation favored the removal of microcystin and color at the end of the tests, reaching a percentage of color removal around 60%. The analysis of variance in the data, enabled prove that the filtration rates of 180 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.d the gravel filter and 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d in rapid filters, were the most significant for the removal of turbidity. The ascending filter of boulder 4 with particle size finer filter layer showed the best performance and the best means of turbidity and apparent color. The rapid filter downward 1 was more efficient in removing turbidity reaching removal about 100%.

**Keywords:** Water treatment; Double filtration; Microcystin.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – A: Tecnologia de filtração lenta. B: Tecnologia de filtração direta em linha, C: Tecnologia de filtração direta. ....	<b>17</b>
<b>Figura 2</b> – Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta.....	<b>19</b>
<b>Figura 3</b> – Esquema de uma instalação de dupla filtração. ....	<b>24</b>
<b>Figura 4</b> – Trihalometanos formados .....	<b>28</b>
<b>Figura 5</b> – Estruturas químicas das hepatotoxinas .....	<b>31</b>
<b>Figura 6</b> – Bacia Doce – Lagoa de Extremoz-RN.....	<b>32</b>
<b>Figura 7</b> – Vista geral do lado esquerdo da IPDF em Extremoz/RN.....	<b>34</b>
<b>Figura 8</b> – Câmara de mistura rápida... ..	<b>36</b>
<b>Figura 9</b> – Filtros ascendentes de pedregulho (FAP). ....	<b>37</b>
<b>Figura 10</b> – Filtros rápidos descendentes de areia. ....	<b>38</b>
<b>Figura 11</b> – Curva granulométrica para os três tipos de área utilizados nos ensaios... ..	<b>39</b>
<b>Figura 12</b> – Jarteste utilizado na pesquisa.....	<b>40</b>
<b>Figura 13</b> – Filtros de laboratório de areia e meio filtrante.....	<b>41</b>
<b>Figura 14</b> – Variação de turbidez e de matéria orgânica natural no decorrer da pesquisa .....	<b>48</b>
<b>Figura 15</b> – Variação do pH na água bruta.....	<b>49</b>
<b>Figura 16</b> – Influência do TMR e gradiente na remoção de turbidez .....	<b>55</b>
<b>Figura 17</b> – Influência do TMR e gradiente na remoção de cor .....	<b>55</b>
<b>Figura 18</b> – Comparação das médias após uma ANOVA. ....	<b>59</b>
<b>Figura 19</b> – Remoção da turbidez segundo a taxa de filtração aplicada nos FAP.....	<b>60</b>
<b>Figura 20</b> – Remoção da cor segundo a taxa aplicada nos FAP. ....	<b>61</b>
<b>Figura 21</b> – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes dos FAP e FRDA para taxas FAP = 120 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d e FRD = 160 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d .....	<b>62</b>
<b>Figura 22</b> – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes dos FAP e FRDA para taxas FAP = 180 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d e FRD = 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d .....	<b>63</b>
<b>Figura 23</b> – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes do FAP 4 e dos FRDA para taxas FAP = 180 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d e FRD = 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d.....	<b>64</b>

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1</b> – Parâmetros de qualidade da água bruta para as tecnologias de filtração rápida.....	<b>22</b>
<b>Tabela 2</b> – Características gerais das toxinas produzidas por cianobactérias.....	<b>30</b>
<b>Tabela 3</b> – Materiais e dimensões da IPDF .....	<b>35</b>
<b>Tabela 4</b> – Características físicas das camadas filtrantes dos filtros FAP... ..	<b>37</b>
<b>Tabela 5</b> – Características físicas das camadas filtrantes dos FRDA.....	<b>38</b>
<b>Tabela 6</b> – Vazões afluentes, taxas de filtração no FAP e taxas de filtração resultantes nos filtros FRDA... ..	<b>45</b>
<b>Tabela 7</b> – Metodologias analíticas avaliadas.....	<b>45</b>
<b>Tabela 8</b> – Resultados médios mensais das características físico-químicas da água bruta. ....	<b>47</b>
<b>Tabela 9</b> – Resultados médios de espécies de cianobactérias e cianotoxinas encontradas na Lagoa de Extremoz-RN .....	<b>50</b>
<b>Tabela 10</b> – Ensaio de Jarreste 1 – Determinação da dosagem do coagulante HCA... ..	<b>51</b>
<b>Tabela 11</b> – Ensaio de Jarreste 2 – Determinação da dosagem do coagulante HCA... ..	<b>51</b>
<b>Tabela 12</b> – Ensaio de Jarreste 3 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade. ....	<b>53</b>
<b>Tabela 13</b> – Ensaio de Jarreste 4 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade .....	<b>53</b>
<b>Tabela 14</b> – Ensaio de Jarreste 5 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade. ....	<b>54</b>
<b>Tabela 15</b> – Ensaio de Jarreste 6 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade. ....	<b>54</b>
<b>Tabela 16</b> – Ensaio de Jarreste 7 – Determinação da dosagem do Cl <sub>2</sub> .....	<b>56</b>
<b>Tabela 17</b> – Ensaio de Jarreste 8 – Determinação da dosagem do Cl <sub>2</sub> .....	<b>56</b>
<b>Tabela 18</b> – Resumo com valores médios dos ensaios na IPDF .....	<b>58</b>
<b>Tabela 19</b> – Resultados médios do ensaio 9 .....	<b>64</b>
<b>Tabela 20</b> – Resultados de microcistinas.....	<b>65</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABS <sub>254</sub>	Absorbância 254nm
ABS <sub>f 254</sub>	Absorbância filtrada 254nm
CA	Cor aparente
CAERN	Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte
DF	Dupla filtração
DFI	Descarga de fundo intermediária
D <sub>HCA</sub>	Dosagem de hidroxicloreto de alumínio
ETA	Estação de tratamento de água
FAP	Filtro ascendente de pedregulho
FDD	Filtração direta descendente
FiME	Filtração em múltiplas etapas
FRDA	Filtro rápido descendente de areia
GMR	Gradiente de mistura rápida
IPDF	Instalação piloto de dupla filtração
MON	Matéria orgânica natural
PAC	Policloreto de alumínio
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SPO	Subprodutos da oxidação
TF	Taxa de filtração
THMs	Trihalometanos
TMR	Tempo de mistura rápida
uH	Unidade Hazen
UNT	Unidade nefelométrica de turbidez
VMP	Valor máximo permitido

## SUMÁRIO

<b>1.0 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.0 OBJETIVOS</b>	
2.1 GERAL .....	15
2.2 ESPECÍFICOS.....	15
2.3 HIPÓTESE .....	15
<b>3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
3.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	16
3.2 Filtração direta .....	18
3.2.1 FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE .....	20
3.2.2 Filtração direta descendente .....	22
3.3 Dupla Filtração .....	23
3.4 Coagulação .....	25
3.4.1 MECANISMOS E FATORES QUE INFLUENCIAM NA COAGULAÇÃO .....	26
3.5 Oxidação com o uso do cloro .....	27
3.6 Presença de cianobactérias nas águas superficiais .....	29
<b>4.0 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 Características do Manancial .....	32
4.2 Caracterização da água bruta .....	33
4.3 Instalação Piloto de Dupla Filtração – Concepção e montagem .....	34
4.3.1 Mistura rápida .....	34
4.3.2 Filtro ascendente de pedregulho .....	36
4.3.3 Filtro rápido descendente de areia .....	38
4.4 Fases da pesquisa .....	39
4.4.1 Fase 1 - Ensaio de tratabilidade .....	39
4.4.1.1 Determinação dos parâmetros da mistura rápida.....	41
4.4.1.2 Avaliação dos parâmetros da filtração .....	42
4.4.1.3 Pré-oxidação .....	42
4.4.2 Fase 2 – Ensaio na IPDF.....	43
4.4.3 Fase 3 – Ensaio na IPDF.....	44
4.4.4 Fase 4 – Ensaio na IPDF com pré-oxidação .....	44
4.5 Coleta e preservação das amostras .....	45

4.6 Indicadores .....	45
4.7 Análise estatística dos dados .....	46
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1 Caracterização da água bruta .....	47
5.2 Resultados dos ensaios de bancada .....	50
5.2.1 Fase 1 - Determinação dos parâmetros de mistura rápida .....	50
5.2.2 Pré-Oxidação .....	55
5.3 Resultados dos ensaios da IPDF .....	57
5.3.1 Análise de Microcistinas .....	65
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>
ANEXO A .....	71
ANEXO B .....	78

## 1.0 INTRODUÇÃO

A contaminação dos mananciais de abastecimento público por resíduos originados pelas atividades antrópicas traz diversos riscos para a saúde humana.

Dentre as diversas formas de poluição, a eutrofização se destaca por induzir o aumento da produção biológica em rios, lagos e reservatórios, tendo como um dos efeitos indesejáveis a floração de microalgas e cianobactérias, que têm o potencial de produzir toxinas perigosas para os seres humanos, mas que não são removidas eficientemente nas estações de tratamento de água convencionais.

As florações de cianobactérias podem causar gosto e odor desagradáveis na água, além de alterar o equilíbrio ecológico de ecossistema aquático. O maior problema está no fato de as cianobactérias produzirem toxinas (cianotoxinas) muito potentes atingindo um conjunto de organismos, além dos presentes na comunidade aquática. Essas cianotoxinas são acumuladas na rede trófica, causando intoxicações e efeitos crônicos, que geralmente são difíceis de serem diagnosticados.

A presença de substância húmicas também tem sido um problema para as águas de abastecimento. As substâncias húmicas são geradas pela decomposição da matéria orgânica natural (MON), tal como a vegetação. Quando encontradas em mananciais para abastecimento público, apresentam aspectos negativos conferindo cor elevada, odor e sabor (Tangerino e Di Bernardo, 2005). Além disso, quando o cloro é adicionado à água bruta, ele reage com a MON e pode produzir trihalometanos, destacando-se o clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), ácidos mono, di e tricloroacético e outros subprodutos clorados provenientes da oxidação - SPO. Estes subprodutos podem trazer danos à saúde da população. São tóxicos, cancerígenos, mutagênicos ou teratogênicos.

Muitos estudos já confirmaram que o tratamento por ciclo completo nas estações de tratamento de água não é eficiente para a remoção de cianobactérias e seus subprodutos. Desta forma, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias adequadas às condições técnicas e econômicas locais.

A tecnologia de dupla filtração é uma das tecnologias mais promissoras no tratamento de água. Di Bernardo *et al.* (2003) afirmam que esta tecnologia apresenta boa eficiência em águas com presença de protozoários, vírus e variações distintas de qualidade.

O processo da dupla filtração é simples sendo utilizada a filtração direta ascendente e a filtração rápida descendente. A utilização de pedregulhos na primeira filtração tem demonstrado bons resultados em diversos países. Pode-se citar como vantagens: trata água de qualidade inferior; suporta altas taxas de filtração nos filtros ascendentes; apresenta segurança em sua operação com relação às mudanças da qualidade da água; e eliminação de efluente no início da carreira de filtração (DI BERNARDO *et al.*, 2003).

Queiroz (2010) utilizou a dupla filtração, com taxas de filtração de  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  para filtro ascendente de pedregulho e  $180 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  para o filtro rápido descendente, e verificou remoção de cianobactérias e de clorofila "a", chegando à remoção de 99% para os dois indicadores. Em outra pesquisa, Machado e Sens (2012) também que conseguiram remoção de 96% para clorofila "a" e 75% para cianobactérias.

Pesquisa desenvolvida por Duarte (2011) no Açude Gargalheiras, Acari/RN, concluiu que a taxa de filtração dos pré-filtros entre  $160 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  e  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  foi a faixa escolhida pelo melhor desempenho e menores custos financeiros de implantação, reforma e ampliação de unidades existentes. A dupla filtração mostrou ótimo desempenho na remoção de flocos de células de cianobactérias e, conseqüentemente, de microcistinas totais-LR. Vale salientar que o filtro que apresentava no topo menor granulometria de areia variando de 2,0 a 3,2 mm, obteve melhores resultados. As remoções de cianobactérias nos pré-filtros variaram entre 52% (FAP2) e 96% (FAP4), representando densidades remanescentes entre  $20.000 \text{ células} \cdot \text{mL}^{-1}$  e  $13.000 \text{ células} \cdot \text{mL}^{-1}$ , enquanto que os filtros descendentes de areia atuaram como sistemas de polimento final com remoção na faixa de 61% a 98% ( $9.400 \text{ células} \cdot \text{mL}^{-1}$  a  $5.800 \text{ células} \cdot \text{mL}^{-1}$ ).

Diante do contexto mencionado, um grupo de pesquisadores de Natal, vem estudando a tecnologia de tratamento mais adequada para a qualidade da água da Lagoa de Extremoz, já que em determinadas épocas do ano há um aumento na produção de cianobactérias. Este trabalho investigou a tecnologia de dupla filtração para o tratamento de água da Lagoa de Extremoz.

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Este trabalho tem como proposta avaliar o comportamento da técnica de dupla filtração, com e sem pré-oxidação para a potabilização da água de manancial eutrofizado com presença de cianobactérias.

### 2.2 Específicos

- Caracterizar a qualidade da água bruta da Lagoa de Extremoz/RN;
- Estudar em ensaios estáticos de jarrestes com filtros de areia, o desempenho de dosagens de coagulantes, pH de coagulação e condições de mistura rápida, dosagens de oxidantes, tempos de contato para a remoção de cor aparente e turbidez.
- Avaliar a melhor taxa de filtração para a unidade FAP (filtro ascendente de pedregulho) e FRDA (filtro rápido descendente de areia), para a remoção de turbidez e cor aparente.
- Avaliar a influência do  $\text{Cl}_2$  no ensaio de pré-oxidação.

### 2.3 Hipótese

Os atuais objetivos buscam a confirmação da seguinte hipótese:

*A utilização de um sistema de dupla filtração com pré-oxidação é eficiente para o tratamento de água de mananciais eutrofizados.*

### 3.0 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Tecnologias de tratamento de água

O tratamento da água é um processo que consiste na remoção de contaminantes e impurezas deixando-a em qualidade adequada para consumo humano (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

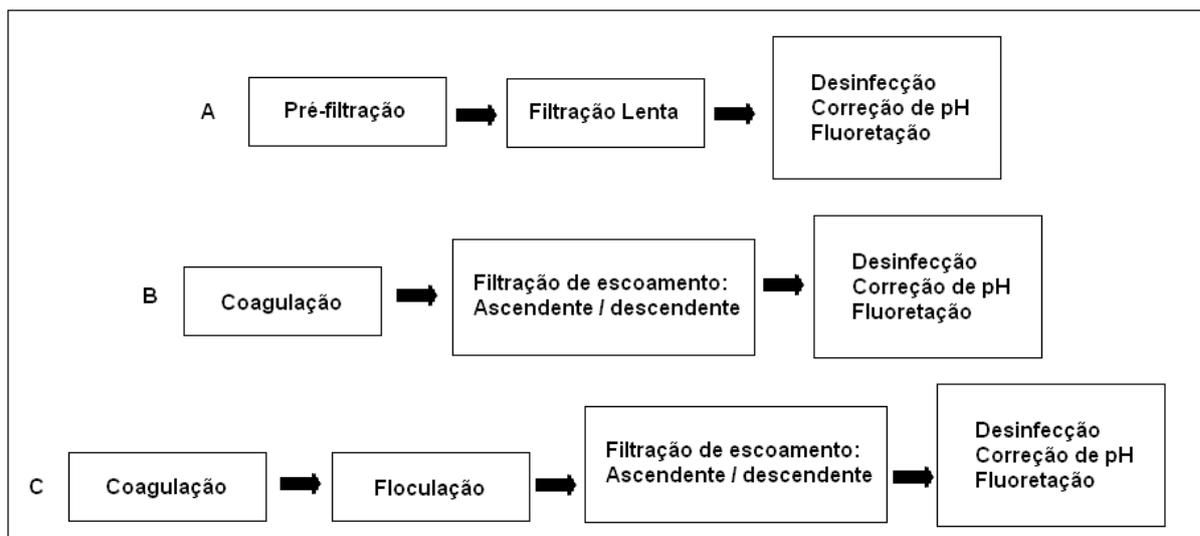
É de fundamental importância a qualidade da água para a escolha da melhor tecnologia de tratamento. Os projetos de ETA devem se basear em resultados coletados nas análises em laboratórios, utilizando equipamentos e instalações simples, contendo reatores estáticos ou instalações piloto de escoamento contínuo. (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

As tecnologias de tratamento de água estão divididas em dois grupos. A primeira é o grupo das que não apresentam a coagulação química em seu tratamento e a segunda, apresenta a coagulação química, proposição comprovada pela Resolução CONAMA e a NBR 12216/96. Quando não há a coagulação química é essencial à utilização da filtração lenta, com ou sem unidades de pré-tratamento em função das características da água bruta, como por exemplo a FiMe – filtração em múltiplas etapas (pré-filtração dinâmica, filtração grossa em pedregulho e filtração lenta em areia), e aquelas que utilizam a coagulação química, pode-se exemplificar o tratamento em ciclo completo (coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração rápida descendente), filtração direta descendente e ascendente, dupla filtração e floto-filtração (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Na Figura 1, Libânio (2008) apresenta algumas tecnologias de filtração e suas diferenças quanto ao uso da etapa da coagulação.

A utilização da filtração lenta se difere das demais tecnologias. Estas utilizam filtros lentos a jusante de filtros rápidos. A filtração lenta pode ser eficiente na remoção de cistos e oocistos de protozoários.

**Figura 1** – A: Tecnologia de filtração lenta. B: Tecnologia de filtração direta em linha, C: Tecnologia de filtração direta.



Fonte: Adaptado de LIBÂNIO, (2008).

A filtração lenta não apresenta a etapa de coagulação em seu tratamento. Quando se utiliza a coagulação química, as tecnologias de tratamento passam a apresentar, associadas à filtração rápida, duas variantes básicas dependentes da existência da unidade de decantação precedendo a etapa de filtração. Então, as tecnologias que não contam com essa etapa para a sedimentação dos flocos, são denominadas filtração direta. Estas se subdividem em relação à presença da unidade de floculação. Quando não se tem a etapa de floculação, a tecnologia é chamada de filtração direta em linha (LIBÂNIO, 2008).

A filtração lenta apresenta várias vantagens quando são comparadas com a filtração rápida: (1) apresenta construção simplificada (dispensa o uso de coagulante e da retro-lavagem); (2) não necessita mão de obra especializada; (3) apresenta pouco consumo de energia; (4) é um sistema confiável e produz água de boa qualidade. Ele demonstra ser mais eficiente na remoção de bactérias e vírus.

Apresenta como desvantagem à necessidade de grandes áreas para sua instalação, o que, de certa forma, inviabiliza a sua escolha como melhor tratamento quando se trata de grandes cidades que demandam grandes vazões. Desta forma, se recomenda a utilização deste tipo de tratamento para o atendimento de comunidades pequenas e de médio porte nos países que estão em desenvolvimento (EPA, 1992, KAWAMURA, 1991).

### 3.2 Filtração direta

Di Bernardo (2003) afirma que a tecnologia da filtração direta é umas das principais tecnologias de tratamento de água para abastecimento público. Já é utilizada há muito tempo aqui no Brasil e também tem demonstrados bons resultados em outros países. A quantidade dessas instalações vem crescendo devido ao aperfeiçoamento da técnica desde a sua primeira utilização no final do século passado.

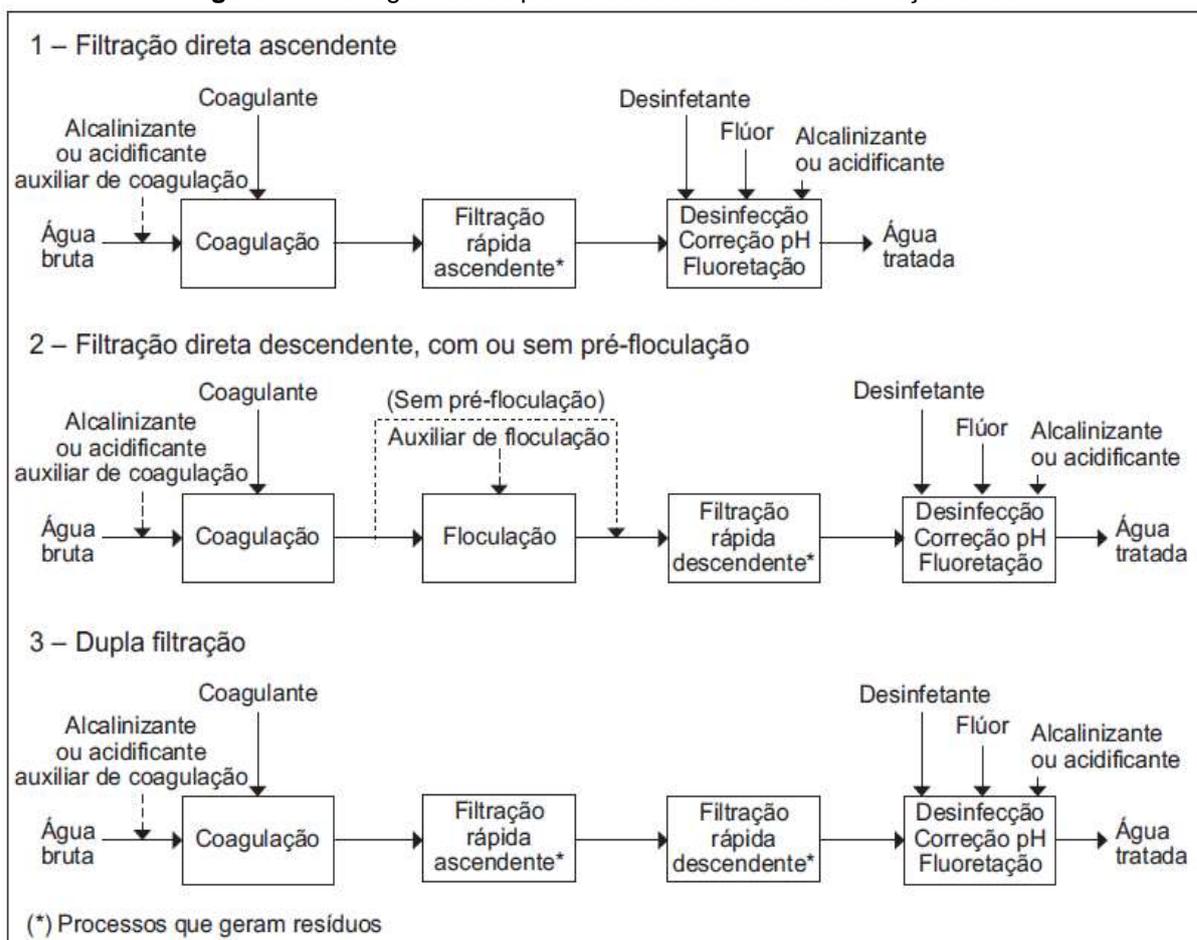
A filtração direta utiliza em seu processo de tratamento, a etapa de coagulante, mistura rápida, e filtração.

A filtração direta apresenta ótima vantagem com relação aos custos de implantação e operação, por não necessitar das unidades de decantação e às menores dosagens de produtos químicos necessárias à coagulação, em função do mecanismo utilizado. Assim, há uma redução, por vezes de até 50% da área necessária à construção da estação, e de até 70% do volume de lodo gerado (KAWAMURA, 1991).

Cleasby e Logsdon (1999) afirmam que a filtração direta apresenta vantagens quando comparado aos sistemas de tratamentos convencionais, dentre elas tem-se os investimentos para implantação, consumo de produtos químicos e a geração de lodo que é muito pequena. Mas este processo não é eficiente para remoção de águas com elevada concentração de turbidez e cor.

A filtração direta pode ser utilizada em três configurações diferentes para o tratamento de águas para abastecimento, como está ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** – Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta.



Fonte: Di Bernardo (2003).

A seguir são apresentadas as possíveis configurações básicas ilustradas na Figura 2 (DI BERNARDO, 2003).

- Filtração direta ascendente (FDA):
  - com camada filtrante constituída de pedregulho e areia;
  - com descargas de fundo intermediárias (DFI) e introdução de água na interface (IAI);
  - operação com taxa constante e lavagem com água.
  
- Filtração direta descendente (FDD):
  - com camada filtrante única, constituída de areia praticamente uniforme:
    - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;
    - operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;
  - com camada filtrante única, constituída exclusivamente de antracito:
    - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;

- operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;
- com camada filtrante dupla, de antracito e areia:
  - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;
  - operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;
- Dupla filtração (DF):
  - com filtros ascendentes de areia grossa (FAAG) e descendentes em areia (FD):
    - FAAG com DFI e IAI, operados com taxa constante;
    - FD com taxa constante e lavagem com água;
    - FD com taxa constante e lavagem com água + auxiliar;
    - FD com taxa declinante e lavagem com água;
    - FD com taxa declinante e lavagem com água + auxiliar;
  - com filtros ascendentes em pedregulho (FAP) e descendentes em areia:
    - FAP com DFI, operados com taxa constante;
    - FD com taxa constante e lavagem com água;
    - FD com taxa constante e lavagem com água + auxiliar;
    - FD com taxa declinante e lavagem com água;
    - FD com taxa declinante e lavagem com água + auxiliar;

### 3.2.1 Filtração direta ascendente

Algumas das vantagens da filtração direta ascendente, segundo Di Bernardo *et al.* (2005) são:

a) favorece a filtração no sentido do maior grão para o menor, alcançando menores valores de perda de carga no momento da filtração; como consequência, há aumento na carreira de filtração, além de permitir a utilização da altura total do meio filtrante para retenção de impurezas; b) possibilita menor quantidade de coagulante por m<sup>3</sup> de água tratada quando comparado com ETAs de ciclo completo, com coagulação, floculação, sedimentação ou flotação e filtração descendente, pois como a floculação ocorre na camada suporte, onde fica retida grande parte das impurezas, não há necessidade da formação prévia de flocos grandes e densos; c) requerer áreas menores e custo para implantação da estação pela eliminação das unidades de floculação e decantação; d) Custos de manutenção e operação são bem menores quando comparados ao de uma instalação na qual são usadas a coagulação,

floculação, decantação e filtração, devido à redução do consumo de energia e da produção de lodo.

A filtração direta apresenta também algumas limitações com relação à qualidade microbiológica e físico-química da água bruta, ou seja, ela apresenta desvantagens quanto a remoção de algumas variáveis, tais como: turbidez, cor verdadeira, e concentração de algas. Neste caso, recomenda-se como complemento do tratamento a utilização dos filtros rápidos descendentes. Essa proposta compõe a dupla filtração, técnica testada neste trabalho.

Di Bernardo *et al.* (2005) afirmam que a dupla filtração apresenta as mesmas vantagens da filtração direta ascendente e ainda possibilita o tratamento de água de baixa qualidade. Também favorece o uso de taxas de filtração mais elevadas, dando uma maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresenta remoção de microrganismos e pode não necessitar do descarte de água pré-filtrada no início da carreira de filtração.

Di Bernardo *et al.* (2003) apresentam um referencial para ajudar na escolha da melhor sequência de tratamento da água, tendo por base alguns parâmetros de qualidade da água bruta (Tabela 1). Faz-se necessário, como etapa preliminar, à realização de estudos em escala de bancada e piloto, e avaliar o quantitativo de dados de qualidade da água do manancial a ser utilizado. Isto é explicado pelo fato de que os mananciais sempre variam sua qualidade no decorrer das estações do ano.

**Tabela 1** – Parâmetros de qualidade da água bruta para as tecnologias de filtração rápida.

Características da água bruta	Tecnologias de tratamento			
	Filtração direta descendente	Filtração direta ascendente	Dupla filtração	Dupla Filtração
			Filtro ascendente + areia ou filtro descendente	Filtro ascendente + areia ou filtro descendente
Turbidez (UNT)	90% ≤ 10	90% ≤ 10	90% ≤ 100	90% ≤ 50
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150
Cor Verdadeira (uH)	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 50	90% ≤ 50
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 75	90% ≤ 75
	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 100	100% ≤ 100
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150
Coliformes Totais	1000	1000	5000	5000
<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	500	500	1000	1000
Densidade de algas (UPA/ml)	500	500	1000	1000
Taxa de filtração (m/d)	200-600	160-240	FAP 80-180 FRD 180-600	FAAG 120-240 FRD 200-600

Legenda: FAP – Filtro Ascendente de Pedregulho. FRD – Filtros Rápidos Descendentes. FAAG – Filtro Ascendente de Areia Grossa.

Fonte: (DI BERNARDO *et al.*, 2003).

### 3.2.2 Filtração direta descendente

A filtração direta descendente (FDD) é uma tecnologia de tratamento de água que não necessita da sedimentação ou flotação e pode ser realizada apenas de duas formas (PROSAB, 2003):

- a) *Filtração direta descendente sem pré-floculação*: apresenta um sistema com unidades de mistura rápida e direciona a água coagulada para o filtro.
- b) *Filtração direta descendente com pré-floculação*: apresenta unidades de mistura rápida, de floculação e de filtro.

No filtro descendente, as partículas que são removidas da água ficam retidas no meio filtrante, logo, é de fundamental importância que as impurezas sejam distribuídas em profundidade, com o objetivo de obter uma duração razoável na carreira de filtração. Para se conseguir resultados mais precisos quanto a especificação do material filtrante, se faz necessário a realização de estudos em instalação-piloto.

### 3.3 Dupla Filtração

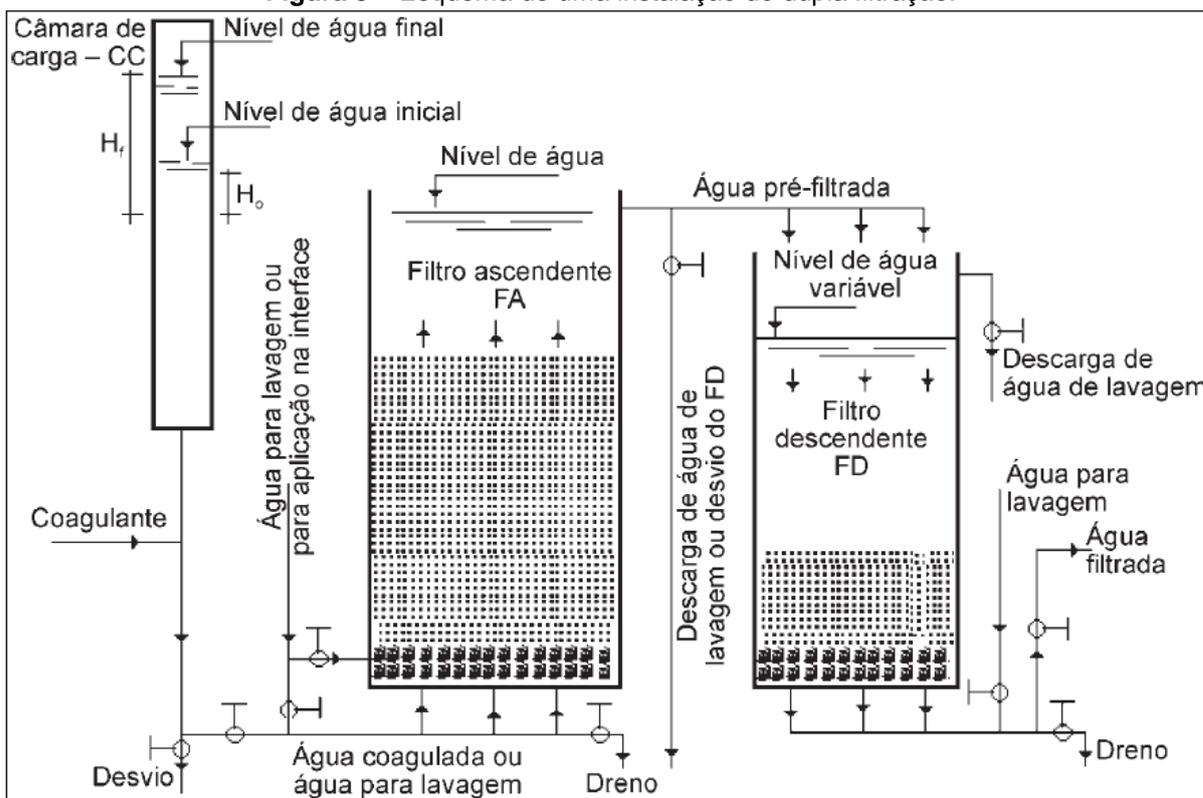
A dupla filtração utiliza a filtração direta ascendente como pré-tratamento para filtração descendente. A água circula no filtro FAP, com material granular tendo granulometria apropriada para que produza uma água com turbidez menor que a 10 UNT.

No Brasil, o estudo da dupla filtração utilizando na primeira etapa do processo a filtração ascendente com pedregulho está em crescimento. O FAP apresenta vantagens oferecendo um maior volume de acumulação de impurezas, favorece uma etapa de floculação na camada inferior do meio filtrante, e promove uma etapa de clarificação igual ao do processo de sedimentação.

A dupla filtração apresenta muitas vantagens, dentre elas: a) permite o tratamento de água com qualidade muito baixa; b) podem ser utilizadas taxas de filtração mais elevadas nos filtros ascendentes; c) é seguro com relação à mudanças bruscas da qualidade da água bruta; d) a remoção quanto aos microrganismos é maior que a filtração ascendente e descendente, aumentando a segurança em relação à desinfecção final; e e) não tem necessidade de descarte do FAP no início da carreira, pois esta água pode ser filtrada ainda nos filtros descendentes (DI BERNARDO, 2003).

A água pré-filtrada pelo FAP é coletada por meio de calhas geralmente situadas acima do topo da camada de areia grossa ou acima do topo da camada de pedregulho de menor granulometria, como mostra a Figura 3. Em seguida, é levada para os filtros rápidos descendentes de areia FRDA e o efluente deste (água filtrada final) é conduzido à etapa final, onde receberão produtos químicos (cloro, flúor, etc.). A lavagem do FAP e dos FRDA deve ser feita utilizando água filtrada final, proveniente de reservatório elevado ou de reservatório semienterrado, e com bombeamento direto e deve-se levar em consideração a carga hidráulica final fixada em cada filtro (DI BERNARDO *et al.*, 2003).

**Figura 3** – Esquema de uma instalação de dupla filtração.



Fonte: Di Bernardo *et al.* (2003).

A seguir, apresentam-se alguns estudos com a utilização da dupla filtração.

Gusmão e Di Bernardo (2003) avaliaram a dupla filtração e concluíram que para turbidez de água bruta até 12 UNT não seria necessária a filtração descendente, porque o FAP, por si só, atendia aos padrões de potabilidade. Eles estudaram taxas de 195 e 375 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no filtro ascendente e 190 e 490 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no filtro descendente. Na pesquisa eles utilizaram o sulfato de alumínio como coagulante e as dosagens não foram suficientes para a remoção de carbono orgânico total.

De Paula (2003) também avaliou a tecnologia de dupla filtração. A água bruta estudada apresentava valores entre 8,5 e 21 UNT e taxas variando 120 a 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia nos FAP e de 200 a 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia nos FRDA. Ele concluiu que os filtros ascendentes de areia grossa eram muito eficientes na remoção da turbidez, chegando a valores menores que 1 UNT; também concluiu que as carreiras de filtração mais longas foram as que executaram a descarga de fundo intermediária.

Wiecheteck *et al.* (2004) também estudaram o sistema de dupla filtração, utilizando dois sistemas, um utilizando o filtro ascendente de areia grossa e o outro utilizando o FAP, acompanhados por uma filtração descendente de camada única de areia. Seu trabalho objetivou a remoção de substâncias húmicas e sua água bruta

apresentava valores de cor verdadeira entre 90 e 110 uH. As taxas de filtração utilizadas nos filtros ascendentes foram de 80, 120 e 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e nos descendentes de 80, 120, 150, 160, 180, 200, 240 e 280 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. O efluente dos filtros rápidos descendentes apresentou cor aparente < 1 uH. A remoção de substâncias húmicas também foi significativa em termos de absorbância 254 nm, alcançando remoção de 93%.

Braga *et al.* (2007) também avaliaram o processo de dupla filtração. Utilizaram um FAP com taxa de 90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, seguido de dois filtros descendentes de areia em paralelos, com granulometrias diferentes. Estes filtros apresentaram taxas de 350 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Alcançaram-se resultados satisfatórios com relação a turbidez e a clorofila nos filtros descendentes de areia, chegando a valores de 0,30 UNT para turbidez e 0,9 mg/L para a clorofila. Os FAP também se demonstraram eficientes nos ensaios.

### 3.4 Coagulação

A etapa de coagulação consiste na adição de coagulantes ao meio líquido com o objetivo de desestabilizar as partículas coloidais e as partículas suspensas presentes na água, através de um processo físico e químico. As partículas desestabilizadas juntamente com o coagulante, vão formando partículas maiores, favorecendo facilmente sua remoção nas etapas posteriores de sedimentação e filtração.

As impurezas que estão na água apresentam carga superficial negativa, isto faz com que elas não se aproximem umas das outras. A adição do coagulante, ao promover a desestabilização dessas partículas, tem o objetivo de minimizar as forças de repulsão, fazendo com que as forças de atração predominem. Desta forma, se a hidrodinâmica do sistema permite o encontro entre as partículas, ocorrerá a formação do floco.

Os reagentes químicos mais utilizados são os coagulantes e auxiliares de coagulação, composto em sua maioria por sais de ferro e polímeros que tem como objetivo desestabilizar as partículas presentes na água (LIBÂNIO, 2008; RICHTER, 2009).

As fases que constituem a coagulação envolvem a formação de espécies hidrolisadas, desestabilização das partículas coloidais e suspensas dispersas na

massa líquida e agregação das partículas para a formação de flocos (SANTOS *et al.*, 2007).

### 3.4.1 Mecanismos e fatores que influenciam na coagulação

A coagulação é resultado de alguns mecanismos diferentes que atuam combinados ou individualmente. Dentre os mecanismos, têm-se: compressão da camada dupla elétrica, adsorção e neutralização, adsorção e formação de pontes. (DI BERNARDO, 2002).

Na etapa de coagulação, quanto mais aumenta a dosagem do coagulante, as partículas começam a ser adsorvidas pelo precipitado dos sais de alumínio ou ferro, se iniciando o mecanismo de varredura, na qual, tem como objetivo favorecer a coagulação com a adição de uma dosagem que capaz, na etapa de floculação, de formar flocos com densidades que permitam a sua deposição nos decantadores.

De modo geral pode-se dividir os mecanismos de coagulação em quatro tipos: compressão da dupla camada, neutralização-adsorção de cargas, varredura e formação de pontes (DI BERNARDO, 1992).

O primeiro mecanismo é natureza **eletrostática**. Ocorre devido à presença de grande quantidade de eletrólitos indiferentes e que serão atraídos para as proximidades da superfície dos colóides, fazendo com que haja a compressão da dupla camada formada na superfície das partículas.

No mecanismo de **adsorção-neutralização de cargas**, os hidroxocomplexos, os cátions hidratados, e os precipitados carregados positivamente serão adsorvidos na superfície dos colóides. Este mecanismo reduz a repulsão entre as partículas, possibilitando sua coagulação e remoção por sedimentação/flotação ou filtração. As ligações formadas entre as espécies químicas e os colóides não se rompem mediante diluição.

No mecanismo de **varredura**, as concentrações de coagulante são elevadas, de modo que o produto de solubilidade dos hidróxidos produzidos é sobrepassado. A precipitação floculenta destes hidróxidos removerá por captura os colóides presentes no meio, e os próprios colóides servirão como sementes para a formação do precipitado.

O mecanismo de **formação de pontes** é próprio de sistemas que sejam adicionados compostos orgânicos de cadeia longa (polieletrólitos). As interações entre os sítios ativos destas macromoléculas e os colóides promove a sua aglomeração.

Ribeiro e Junior (1998) comentam que os principais mecanismos de coagulação sofrem influência do gradiente de mistura principalmente porque as reações de hidrólise do sulfato de alumínio, por exemplo, no mecanismo de adsorção são muito rápidas enquanto que no mecanismo de varredura são mais lentas.

Algumas variáveis no processo de coagulação são a alcalinidade da água bruta e pH, tamanho das partículas, a natureza das partículas coloidais, o tipo e a dosagem dos produtos químicos utilizados.

### 3.5 Oxidação com o uso do cloro

O cloro no tratamento da água tem como objetivo a destruição dos microrganismos patogênicos (desinfecção), bem como a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes). A desinfecção se torna primordial na etapa da cloração, por isso que é comum encontramos na literatura a palavra desinfecção como sinônimo de cloração (BAZZOLI, 1993).

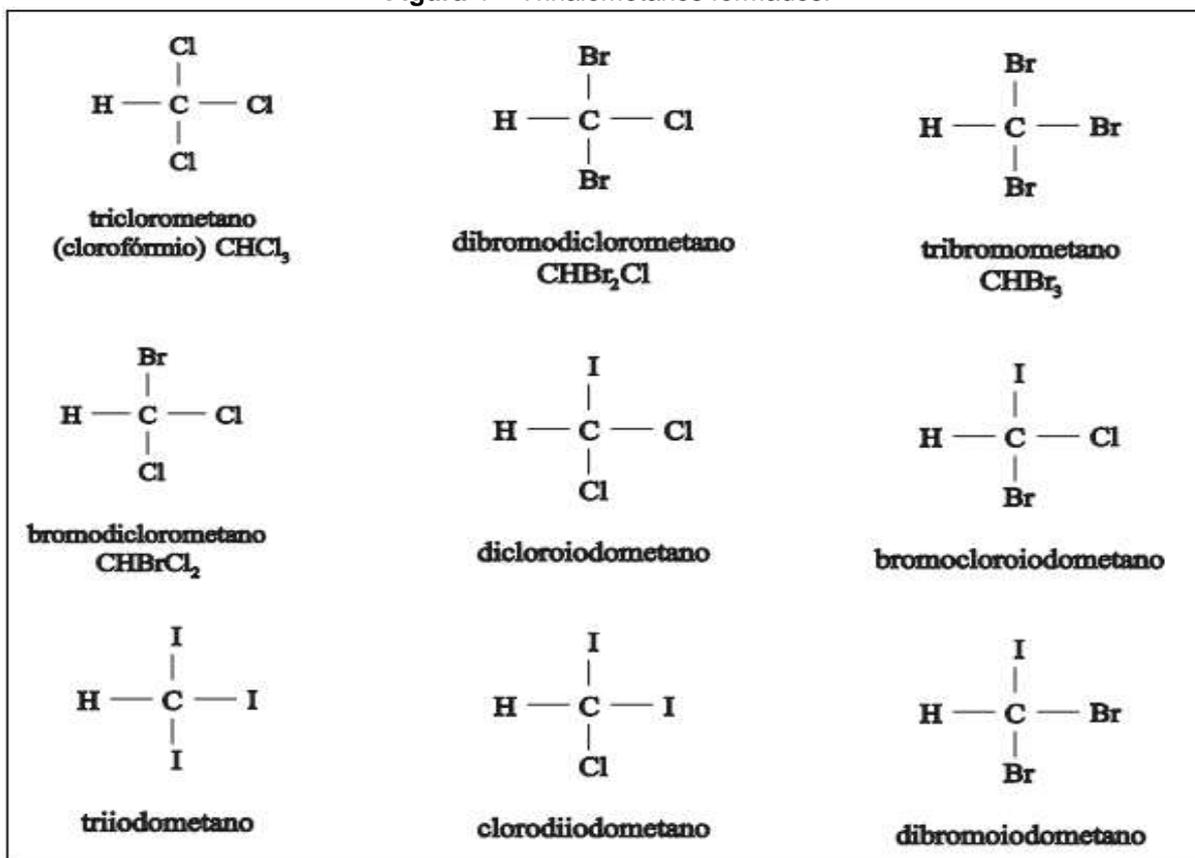
O cloro e seus compostos são agentes oxidantes muito fortes. Quando o pH da água se eleva, a reatividade do cloro diminui, e há um aumento na velocidade de reação como o aumento da temperatura. As reações do cloro com compostos inorgânicos redutores, como sulfitos, sulfetos, íon ferroso e nitrito, são geralmente muito rápidas. Geralmente, são necessárias algumas horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos se complete (MEYER, 1994).

Estudos comprovam que a utilização da pré-oxidação e desinfecção com o cloro pode formar trihalometanos (THMs) e outros subprodutos que trazem graves problemas à saúde. Estes compostos organoclorados se formam com a combinação do cloro residual livre e as substâncias húmicas presentes. A formação é representada pelo esquema abaixo:

**Cloro residual livre + precursores (substâncias húmicas) ↔ trihalometanos + outros subprodutos**

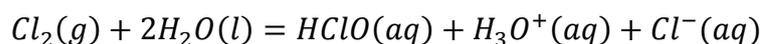
A Figura 4 mostra os trihalometanos que são formados.

Figura 4 – Trihalometanos formados.

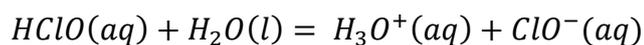


Fonte: Adaptado de Meyer (1994).

Quando o cloro é adicionado a uma água isenta de impurezas, ocorre a seguinte reação:



O ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) se ioniza e se forma o íon hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ), como mostra a equação a seguir:



Alguns estudos demonstram que em valores de pH superiores a 8, a quantidade de  $\text{HClO}$  é menor e a do íon  $\text{ClO}^-$  é maior. O pH das águas naturais está numa faixa em que há presença tanto do íon hipoclorito quanto do ácido hipocloroso.

### 3.6 Presença de cianobactérias nas águas superficiais

A poluição das águas superficiais provenientes de fontes antropogênicas tem afetado a qualidade e a utilização das águas para o abastecimento público, acarretando problemas de saúde pública e ao meio ambiente. E como consequência deste evento nos nossos ecossistemas aquáticos, há o surgimento de floração de cianobactérias, formadas por elevadas cargas poluidoras contendo compostos polifosfatados e nitrogenados.

As florações estão relacionadas com o crescimento excessivo de microrganismos em ecossistemas aquáticos ocasionados por alterações ambientais (OLIVEIRA 2003).

As florações de cianobactérias podem ocasionar alteração no equilíbrio ecológico do ecossistema aquático, também podem causar gosto e odor desagradáveis ao meio aquático. O problema maior é o da formação de toxinas (cianotoxinas) extremamente potentes atingindo um conjunto de organismos muito além daqueles presentes nas comunidades aquáticas.

As cianotoxinas podem ser acumuladas na rede trófica, e trazer efeitos crônicos difíceis de serem diagnosticados e sintomas de intoxicação. A mortandade de peixes é um evento comum em ambientes com a presença dessas toxinas, como já foram registrados em vários países (CARMICHAEL, 1992).

Pode-se citar, dentre as cianotoxinas, as neurotoxinas (que afetam o sistema nervoso), as hepatotoxinas (afetam o fígado) e as dermatotoxinas (afetam a pele). A presença elevada dessas toxinas podem trazer riscos a saúde da população como: febre, dores de cabeça, dores musculares e articulares, bolhas, dores de estômago, diarreia, vômito etc. Também se destacam as convulsões, insuficiência hepática, parada respiratória e em alguns casos (raros), podendo levar a morte. A exposição em longo prazo de microcistinas e cilindrospermopsina pode ocasionar o crescimento de tumores (USEPA, 2012).

A Tabela 2 mostra as características gerais de algumas toxinas.

**Tabela 2:** Características gerais das toxinas produzidas por cianobactérias.

<b>TOXINA</b>	<b>COMO e ONDE AGE</b>	<b>GÊNERO</b>
Microcistina	Inibidora das enzimas fosfatases 1 e 2 <sup>a</sup> – fígado (hepatócitos)	<i>Microcystis, Anabaena, Planktotrix (Oscillatoria), Nostoc, Hapalosiphon e Anabaenopsis</i>
Nodularina	Inibidora das enzimas fosfatases 1 e 2 <sup>a</sup> – fígado (hepatócitos)	<i>Nodularia</i>
Cilindrospermopsina	Inibidora de síntese proteica – fígado	<i>Cylindrospermopsis, Umezakia, Aphanizomenon e Raphidiopsis</i>
Saxitoxina	Liga-se aos canais de sódio – Membrana do Axônio	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya e Cylindrospermopsis</i>
Anatoxina-a	Liga-se ao receptor da acetilcolina – sinapse nervosa	<i>Anabaena, Planktotrix (Oscillatoria), Aphanizomenon, Raphidiopsis</i>
Anatoxina-a(s)	Inibidora de acetilcolinesterase – sinapse nervosa	<i>Anabaena</i>

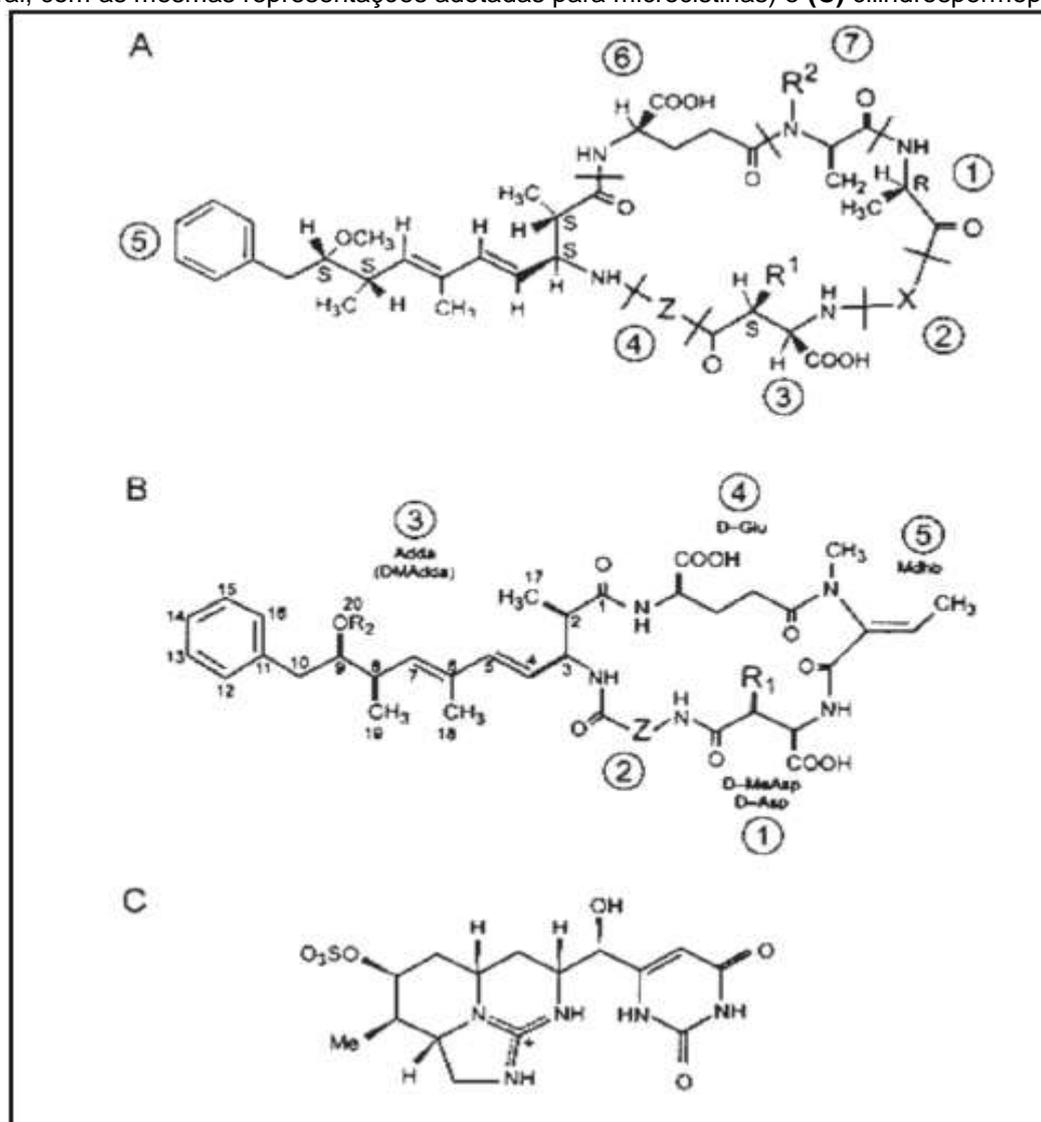
**Fonte:** Adaptado de Oliveira (2003).

As hepatotoxinas mais comumente encontradas são as microcistinas, as nodularinas e as cilindrospermopsinas. Estas são isoladas com maior frequência nas florações de cianobactérias ao redor do mundo e as que têm provocado maior número de intoxicações humanas.

As microcistinas e nodularinas são peptídeos cíclicos que apresentam peso molecular variando de 800 a 1000 e estrutura heptapeptídica, as microcistinas, e pentapeptídica, as nodularinas.

Na Figura 5 se apresenta a estrutura química destas hepatotoxinas.

**Figura 5:** Estruturas químicas das hepatotoxinas **(A)** microcistinas - MCYST, (estrutura geral), onde Z e X: são os dois L-aminoácidos variáveis; R1 e R2 são hidrogênios-(demetilmicrocistinas); e também locais de possíveis metilações com a incorporação de grupos metila -CH<sub>3</sub>; **(B)** nodularinas (estrutural geral, com as mesmas representações adotadas para microcistinas) e **(C)** cilindrospemopsina.

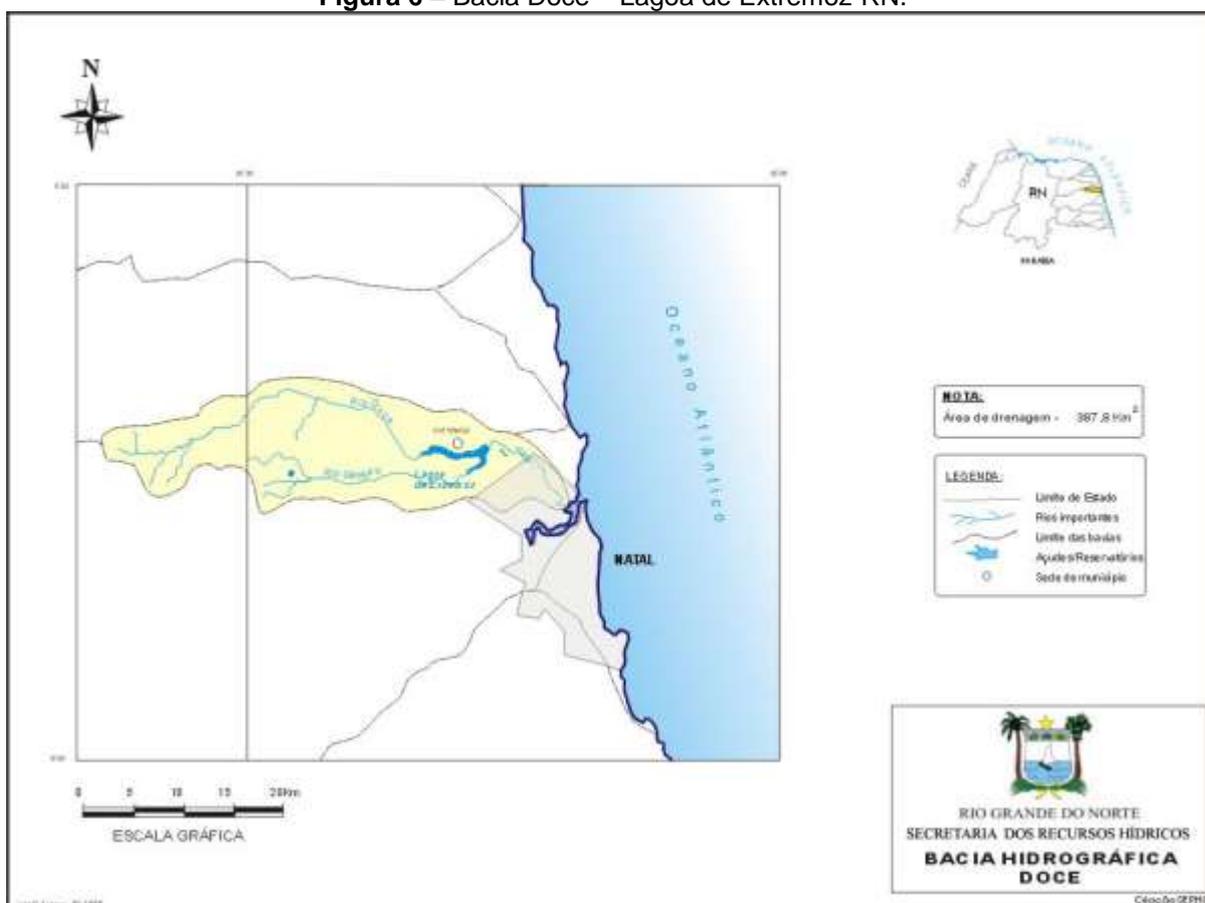


Fonte: CEBALLOS *et al.*, 2006.

## 4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

A Lagoa de Extremoz está localizada no município de Extremoz-RN, nas coordenadas geográficas: 5°42'54"S, 35°18'26"W. A lagoa é responsável por 70% do abastecimento de água da região Norte da cidade de Natal. A Figura 6 mostra a Bacia Doce, da qual faz parte a Lagoa de Extremoz.

**Figura 6 – Bacia Doce – Lagoa de Extremoz-RN.**



Fonte: SEMARH (2013).

### 4.1 Características do Manancial

A Lagoa de Extremoz é alimentada pelas águas de precipitação direta sobre a sua superfície, pelas águas subterrâneas e pelas águas dos canais superficiais dos rios Guajirú e Mudo. Suas águas são drenadas e descarregadas para o dreno superficial do Rio Doce. Além das perdas por escoamento superficial, as águas da Lagoa de Extremoz também se perdem por evaporação direta e principalmente para o abastecimento da Zona Norte de Natal.

Os dados mais recentes da SEMARH (2013), atualizados precisamente no mês de maio, informam que a Lagoa de Extremoz apresenta capacidade volumétrica em torno de 11.019.525 m<sup>3</sup>, volume atual equivalente a 7.376.774 m<sup>3</sup> e representa 66,94% de sua capacidade total.

Melo *et al.* (2010) em pesquisa sobre as águas superficiais intitulada “*Potencialidade e qualidade das águas do Aquífero Barreiras na região da Lagoa de Extremoz-RN*”, afirmam que as águas da Lagoa de Extremoz foram reconhecidas como águas ácidas (pH 6,15) e salinidade baixa média com valores de 404,0 µS.

Em relação aos parâmetros organolépticos, cor e turbidez, principal elemento de percepção pelos consumidores finais da água tratada, Jerônimo e Souza (2013) observaram uma severa influência dos índices pluviométricos nestes parâmetros. Esses resultados estabelecem o principal elemento de alteração na qualidade da água, envolvida nesse ambiente lacustre. Para o caso da cor foram observadas variações da ordem de 20 uH e para a turbidez oscilações de 10 UNT. Tais flutuações afetaram diretamente nas características do tratamento, principalmente pelo fato do tempo de residência para a decantação ser afetado, em especial nos seus índices de eficiência de coagulação, floculação e decantação.

#### **4.2 Caracterização da água bruta**

As coletas para a caracterização da água bruta foram realizadas semanalmente. Para que as amostras representem fielmente a água captada para o tratamento da ETA Extremoz, as coletas serão efetuadas em torneira situada na tubulação de entrada de água da ETA, próximo à Instalação Piloto de Dupla Filtração – IPDF. Dessa forma, a água utilizada nos ensaios em escala de bancada e na caracterização foi a mesma que é encaminhada para o tratamento da ETA Extremoz. Foram efetuadas no momento da coleta as medições de pH, temperatura, turbidez e cor.

### 4.3 Instalação Piloto de Dupla Filtração

A remontagem da IPDF foi realizada no período de junho de 2012 a março de 2013 e neste último mês, foram realizados os testes pré-operacionais para adequação da ETA piloto. A IPDF é a mesma utilizada para a pesquisa realizada por DUARTE (2011) no açude Gargalheiras/RN, com modificações em alguns pontos da atual instalação.

A Figura 7 mostra um perfil da IPDF. Da direita para a esquerda visualiza-se o reservatório de água bruta (RAB), e, na sequência, câmaras de pré-oxidação (CPOX) e de adsorção (CCAP), filtros ascendentes de pedregulho (FAP), câmaras de interoxidação (CIOX), filtros rápidos descendentes de areia (FRDA), colunas de adsorção (FCAG) e o reservatório de água tratada. A atual pesquisa não utilizará a etapa de adsorção (CCAP e FCAG).

**Figura 7** – Vista geral do lado esquerdo da IPDF em Extremoz/RN.



Os filtros FAP e FRDA têm diâmetros externos de 200 mm e 100 mm, respectivamente e foram construídos em fibra de vidro revestida com resina de poliéster, semitransparente.

Os materiais e dimensões das unidades de tratamento da IPDF estão mostrados na Tabela 3, conforme Duarte (2011).

**Tabela 3** – Materiais e dimensões da IPDF.

Unidade	Material Construtivo	Quantidade	Dimensões		
			DIN (mm)	Ht (m)	Hu (m)
CS	PRFV	2	500	0,90	0,75
CPOX	PVC esgoto	4	300	0,85	0,80
CCAP	PVC esgoto	4	300	0,85	0,80
FAP	PRFV	4	200	1,95	1,85
CIOX	PVC água	3	100	4,55	4,50
FRDA	RPFV	3	100	3,85	3,85
FCAG	RPFV	2	100	2,00	2,00

Legenda: CS – Câmaras de sucção (intermediária e de água tratada/lavagem); DIN – diâmetro interno; Ht – altura total; Hu – altura útil; PRFV – PVC revestido com fibra de vidro; RPFV – resina poliuretânica de fibra de vidro.

Fonte: Duarte (2011).

#### 4.3.1 Mistura rápida

A câmara de mistura rápida utilizada no sistema (Figura 8) foi feita de acrílico e suas dimensões eram idênticas as de um equipamento jarteste. Como as paletas do agitador também eram iguais às do jarteste, foi possível otimizar o gradiente de velocidade em bancada e aplicação do melhor resultado na IPDF.

**Figura 8** – Câmara de mistura rápida.

#### 4.3.2 Filtro ascendente de pedregulho

Após o processo de mistura rápida, a água era direcionada para o filtro ascendente de pedregulho (FAP). A IPDF era composta por 4 (quatro) filtros ascendentes de pedregulho, mas só funcionava um por ensaio, para poder ser avaliada a melhor granulometria dos FAP (Figura 9).

As perdas de carga foram medidas em cada piezômetro instalado (P0, P1, P2, P3, P4 e P5). Para facilitar a análise, as perdas parciais foram somadas e suas variações foram avaliadas em função da granulometria e taxa de filtração.

As características granulométricas das camadas filtrantes e suporte dos filtros FAP estão discriminadas na Tabela 4. Estas camadas estão apoiadas em flanges cegos de fibra de vidro perfurados com nove orifícios concêntricos de 6,4 mm de diâmetro.

**Tabela 4** – Características físicas das camadas filtrantes dos filtros FAP.

FILTRO	CAMADA FILTRANTE	TAMANHO DOS GRÃOS (mm)	ESPESSURA (cm)
FAP 1	1 (FUNDO)	19,0- 25,4	15
	2	12,7- 19,0	15
	3	7,9- 12,7	30
	4 (TOPO)	4,8- 7,9	60
ESPESSURA TOTAL			120
FAP 2	1 (FUNDO)	19,0- 25,4	15
	2	12,7- 19,0	15
	3	6,4- 12,7	30
	4 (TOPO)	3,2- 6,4	60
ESPESSURA TOTAL			120
FAP 3	1 (FUNDO)	15,9- 25,4	15
	2	9,6- 15,9	15
	3	4,8- 9,6	30
	4 (TOPO)	2,4- 4,8	60
ESPESSURA TOTAL			120
FAP 4	1 (FUNDO)	12,7- 19,0	15
	2	6,4- 12,7	15
	3	3,2- 6,4	30
	4 (TOPO)	2,0-3,2	60
ESPESSURA TOTAL			120

Fonte: Adaptado de DUARTE, (2011).

**Figura 9** – Filtros ascendentes de pedregulho (FAP).

### 4.3.3 Filtro rápido descendente de areia

A água pré-filtrada era conduzida para os 3 (três) filtros rápidos descendentes de areia (Figura 10). O meio filtrante era de areia fina, sendo as características descritas na tabela 5.

**Figura 10** – Filtros rápidos descendentes de areia.



**Tabela 5** – Características físicas das camadas filtrantes dos FRDA.

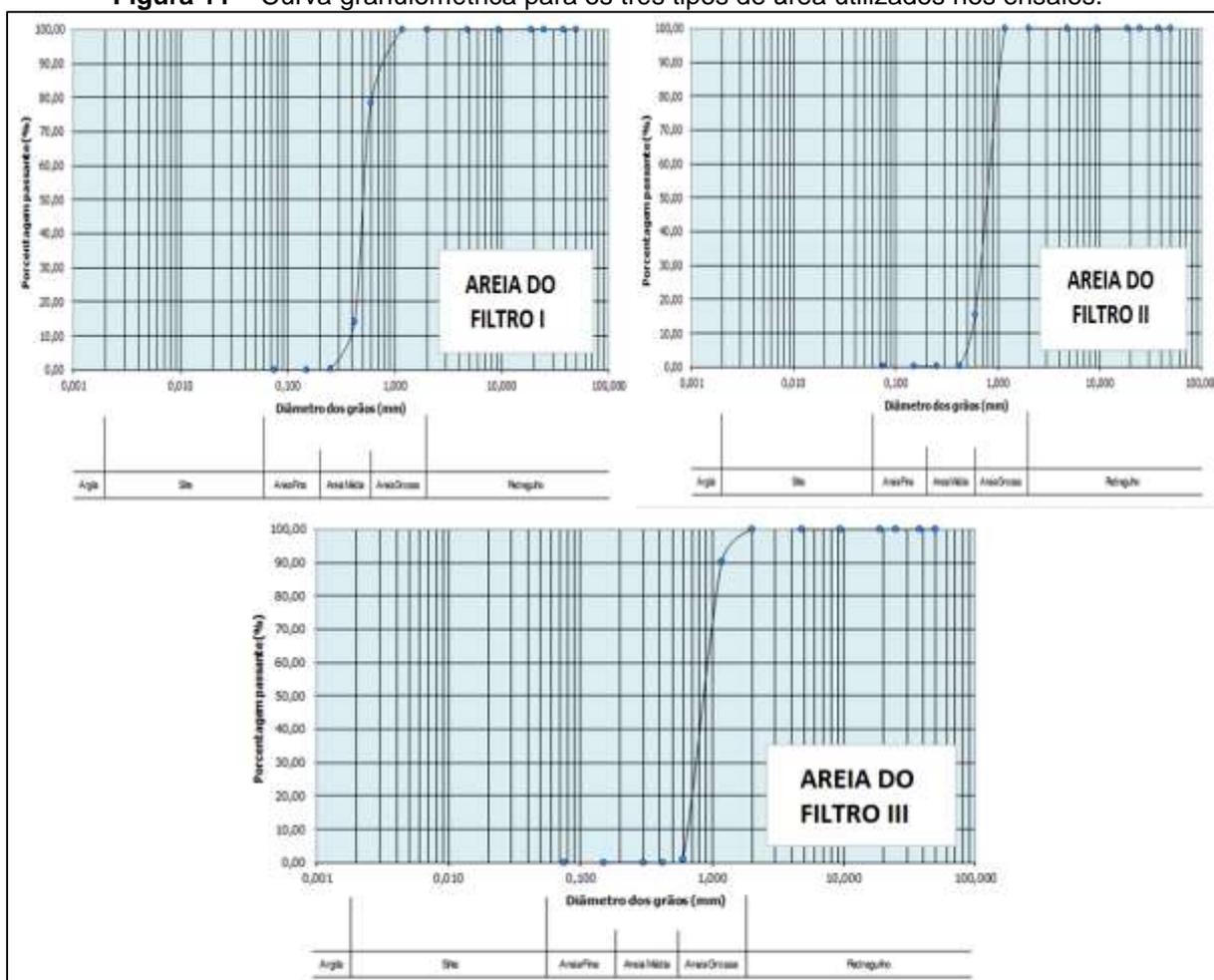
FRDA 1	AREIA: tamanho dos grãos – 0,30 a 1,00 mm; $d_{10} = 0,40$ mm; L=70 cm
FRDA 2	AREIA: tamanho dos grãos – 0,33 a 1,19 mm; $d_{10} = 0,55$ mm; L=70 cm
FRDA 3	AREIA: tamanho dos grãos – 0,40 a 1,41 mm; $d_{10} = 0,65$ mm; L=70 cm

Legenda:  $d_{10}$ - tamanho efetivo; L- espessura da camada.

Fonte: Adaptado de DUARTE, (2011).

A curva granulométrica foi produzida no laboratório do IFRN. A Figura 11 apresenta esta curva para os três tipos de areia usados nos filtros rápidos descendentes de areia. Os gráficos mostram a granulometria exata das areias, bem como o tamanho efetivo- $d_{10}$ . Para a areia tipo I foi encontrado  $d_{10}=0,40$ mm, areia tipo II,  $d_{10}=0,55$ mm, e para areia tipo III, foi encontrado  $d_{10}=0,65$ mm.

**Figura 11** – Curva granulométrica para os três tipos de areia utilizados nos ensaios.



#### 4.4 Fases da pesquisa

Esta pesquisa se resumiu em quatro fases: a primeira fase voltou-se para ensaios estáticos em equipamento de jarteste em laboratório e as fases subsequentes foram testadas na IPDF. Para a segunda e terceira fase foram testadas taxas de filtração diferentes no FAP e FRDA; e a quarta fase, objetivou-se avaliar a dupla filtração e POX.

##### 4.4.1 Fase 1 - Ensaios de tratabilidade

Nesta fase realizou-se a caracterização físico-química e microbiológica da água bruta e os ensaios de tratabilidade em bancada, através de equipamento jarteste (Figura 12) e filtros de laboratórios de areia (Figura 13), construídos em acrílico transparente de 19 mm com camada filtrante de areia de 15 cm de espessura.

O principal objetivo desta fase foi a obtenção de dados e informações para estabelecer as condições operacionais a serem empregadas nos ensaios da fase 2 com a IPDF.

Os ensaios de tratabilidade garantiram avaliar os parâmetros relacionados com a qualidade da água bruta e sua influência sobre a coagulação no mecanismo de neutralização das cargas. Foram definidas as dosagens e o tipo de coagulante, gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida e pH.

**Figura 12** – Jarteste utilizado na pesquisa.



Para cada reator há uma palheta metálica interligada ao misturador com mostrador digital com faixa de rotação que varia de 30 a 600 rpm (rotações por minuto), que correspondem a gradientes de velocidade de  $15 \text{ s}^{-1}$  a  $1486 \text{ s}^{-1}$ .

Nos ensaios de filtração direta, foram acoplados seis filtros de acrílico com diâmetro de 19 mm (Figura 13), os mesmos, após a etapa de mistura rápida receberam água coagulada para a execução da filtração descendente.

**Figura 13** – Filtros de laboratório de areia e meio filtrante.



#### **4.4.1.1 Determinação dos parâmetros da mistura rápida**

Foram determinadas as condições de dosagem de coagulante, pH de coagulação e de dispersão do coagulante na massa líquida (gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida).

Série I.1 – Determinação de dosagem do coagulante.

Esta série teve como objetivo determinar a dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação. O intuito principal foi encontrar uma dosagem que demonstre maior eficiência na remoção de cor aparente e turbidez.

Os ensaios no jarreste avaliaram o desempenho de coagulante industrial, à base de alumínio, utilizado em ETA operadas pela CAERN: hidroxicloreto de alumínio (HCA 23) líquido com 23% de alumina – m/m de  $Al_2O_3$  – e 18% de basicidade – m/m  $OH^-$  – com fórmula geral  $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$ . Assim, inicialmente, o parâmetro avaliado foi a dosagem do coagulante. As dosagens de coagulante testadas nos reatores jarreste foram correspondentes a 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 mg/L.

Uma vez definida a dosagem de coagulante, foram fixados em todos os jarros a dosagem do coagulante encontrado nos ensaios anteriores.

Série I.2 – Otimização da mistura rápida com determinação dos gradientes e tempos de mistura.

Após determinar a dosagem dos coagulantes e respectivo pH de coagulação, a próxima série objetivou a otimização da mistura rápida com a determinação do tempo e gradiente para o coagulante utilizado.

Para um melhor aperfeiçoamento da mistura rápida determinando a melhor combinação tempo e gradiente, os ensaios procederam com a fixação do gradiente e com variações do tempo de mistura entre os jarros de 15s e 30s e gradientes de  $800s^{-1}$  e  $1000s^{-1}$ .

No final de cada ensaio, após a filtração da água de todos os jarros, realizou-se a análise dos efluentes e identificação da eficiência de remoção de cor aparente e turbidez dos tempos pesquisados em cada gradiente de mistura.

#### **4.4.1.2 Avaliação dos parâmetros da filtração**

Para os ensaios desta série, foi utilizada areia com granulometria entre 0,297 e 0,420mm para a remoção de cor aparente e turbidez. Esta escolha deve-se à pesquisa de Eustáquio (2010), a qual objetivou a avaliação da influência da granulometria do meio filtrante empregada na filtração direta. As granulometrias pesquisadas por Eustáquio (2010) seguiram os valores propostos por Di Bernardo *et al.* (2002): areia tipo 1 – grãos entre 0,297 e 0,420 mm, areia tipo 2 – grãos entre 0,42 e 0,84 mm e areia tipo 3 – grãos entre 0,59 e 1,41 mm.

Seus resultados demonstraram um aumento linear na remoção de cor aparente com a diminuição da granulometria do meio. Logo, conclui-se que a utilização de uma menor granulometria no meio filtrante é mais eficiente para a remoção da cor aparente e da turbidez.

#### **4.4.1.3 Pré-oxidação**

Nesta fase foram encontrados os parâmetros da pré-oxidação usando o dicloro como oxidante.

### Série I.3 – Determinação da dosagem do Cl<sub>2</sub>

Nesta série determinou-se a dosagem de Cl<sub>2</sub> mais eficiente durante o tratamento com pré-oxidação e filtração. As dosagens de Cl<sub>2</sub> adotadas foram respectivamente 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 mgCl<sub>2</sub>/L no jarreste.

Os outros parâmetros como gradiente e tempo de mistura, taxa de filtração e meio filtrante foram adotados conforme os valores obtidos nas etapas anteriores.

### Série I.4 – Determinação do tempo de oxidação

Após o ensaio para a determinação da dosagem de Cl<sub>2</sub>, foi efetuada a determinação do tempo de oxidação. Para esta etapa foram mantidos constantes a dosagem do Cl<sub>2</sub>, os parâmetros de mistura rápida e filtração. Não houve variação do tempo de oxidação, foi testado tempo de 5 minutos.

#### **4.4.2 Fase 2 – Ensaio na IPDF**

Nesta fase da pesquisa foi utilizada a IPDF constituída por quatro filtros FAP e três filtros FRDA. Foram avaliados os desempenhos de arranjos de cada filtro FAP com os filtros FRDA para remoção de cor aparente e verdadeira, MON, turbidez e ABS<sub>254</sub>.

Foram estudadas taxas de filtração de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia no filtro FAP e 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia nos FRDA. Os ensaios foram realizados com um filtro FAP alimentando os três filtros FRDA, tendo em vista a área de filtração de cada unidade resultar nas taxas indicadas.

ENSAIO 1: FAP1 + 3FRDA

ENSAIO 2: FAP2 + 3FRDA

ENSAIO 3: FAP3 + 3FRDA

ENSAIO 4: FAP4 + 3FRDA.

Vale salientar, que foram estudadas as eficiências nos FRDA, já que estes apresentam granulometrias diferentes, conforme a tabela 5.

Foram avaliados os desempenhos de arranjos de cada filtro FAP com os filtros FRDA para remoção de cor aparente, MON, turbidez e ABS<sub>254</sub>.

#### **4.4.3 Fase 3 – Ensaios na IPDF**

Esta fase ocorreu de forma análoga à fase anterior e foram testadas taxas diferentes para o FAP e FRDA, isto é, foram estudadas taxas de filtração de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia no filtro FAP e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia nos FRDA.

ENSAIO 5: FAP1 + 3FRDA

ENSAIO 6: FAP2 + 3FRDA

ENSAIO 7: FAP3 + 3FRDA

ENSAIO 8: FAP4 + 3FRDA.

Avaliaram-se os desempenhos de arranjos de cada filtro FAP com os filtros FRDA para remoção de cor aparente e verdadeira, MON, turbidez e ABS<sub>254</sub>.

#### **4.4.4 Fase 4 – Ensaios na IPDF com pré-oxidação**

Nesta fase foram avaliados os desempenhos de arranjos do pré-filtro FAP selecionado nas fases 2 e 3, com os três filtros FRDA, associados com pré-oxidação (POX) para remoção de cor aparente, MON, turbidez e ABS<sub>254</sub>.

Com a melhor taxa encontrada na fase anterior, seguiram-se os ensaios com POX. Utilizou-se o Cl<sub>2</sub> com a melhor dosagem observada nos testes de tratabilidade.

Os ensaios foram:

ENSAIO: FAP<sub>i</sub> + 3 FRDA, POX

A Tabela 6 mostra as vazões de água bruta e taxas de filtração nos filtros FRDA resultantes da variação da taxa de filtração nos filtros FAP.

**Tabela 6** – Vazões afluentes, taxas de filtração no FAP e taxas de filtração resultantes nos filtros FRDA.

TF <sub>FAP</sub> (m/dia)	Q <sub>IPDF</sub> (L/h)		TF <sub>FRDA</sub> (m/dia)
	01 FAP	04 FAP	
120	157	628	160
180	236	944	240

**Legenda:** TF – taxa de filtração; Q<sub>IPDF</sub> – vazão afluente à IPDF

#### 4.5 Coleta e preservação das amostras

Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento das amostras foram realizados segundo orientações de APHA, AWWA e WEF (1999). As coletas tiveram periodicidade semanal, e foram coletadas sempre no período da manhã. Para que as amostras de água bruta representassem a mesma água utilizada na ETA Extremoz, as coletas foram efetuadas em uma derivação da tubulação de entrada que conduz a água da adutora de água bruta para a IPDF, próxima à entrada da ETA Extremoz.

#### 4.6 Indicadores

As metodologias analíticas para medição de variáveis de controle dos processos de tratamento e caracterização de água bruta foram realizadas seguindo as recomendações apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7** – Metodologias analíticas adotadas.

VARIÁVEIS	METODOLOGIA	REFERÊNCIA
Microcistinas e Saxitoxinas	Imunoensaio ligado à enzima (ELISA)	BEACON (2014)
Cor	Colorimetria	APHA, AWWA e WEF (1999)
Turbidez	Nefelometria	APHA, AWWA e WEF (1999)
pH	Potenciometria	APHA, AWWA e WEF (1999)
MON	Titulometria	ABNT (1990)
ABS <sub>254</sub>	Espectrofotometria	APHA, AWWA e WEF (1999)

#### **4.7 Análise estatística dos dados**

Foram calculados parâmetros da estatística descritiva, tais como, médias, aritmética e geométrica para estimar tendência central, intervalo máximo e mínimo para indicar a dispersão ocorrida e mediana como valor central do conjunto de dados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados os resultados e a discussão de dados obtidos na pesquisa. Inicialmente foram expostos os dados de caracterização da água da Lagoa de Extremoz, posteriormente os resultados dos ensaios de bancada e em seguida os dados da IPDF.

### 5.1 Caracterização da água bruta

A Tabela 8 apresenta os resultados médios mensais das análises físico-químicas da água bruta utilizada na pesquisa. Para os ensaios de tratabilidade e os ensaios na ETA Piloto utilizou-se água bruta provinda da Lagoa de Extremoz. Os dados foram coletados do mês de junho de 2013 a fevereiro de 2014.

É possível verificar que houve pouca variação nos resultados obtidos. A água da Lagoa de Extremoz demonstrou ser de boa qualidade. A turbidez da água bruta sempre estava abaixo do valor máximo permissível para consumo humano, segundo a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, que recomenda valores menores que 0,5 UNT na rede de abastecimento.

A Lagoa de Extremoz apresenta valores de cor aparente acima do permitido, chegando a 50 UNT no inverno e 25 UNT no verão. A Portaria recomenda valores menores que 15 uH na rede de abastecimento. Libânio (2008) explica que as possíveis causas de cor nas águas estão associadas a decomposição da matéria orgânica de origem vegetal e aos microrganismos que estão presentes no solo; também provém de atividades antrópicas, como o lançamento de esgoto doméstico e industrial, lixiviação e solos agriculturáveis.

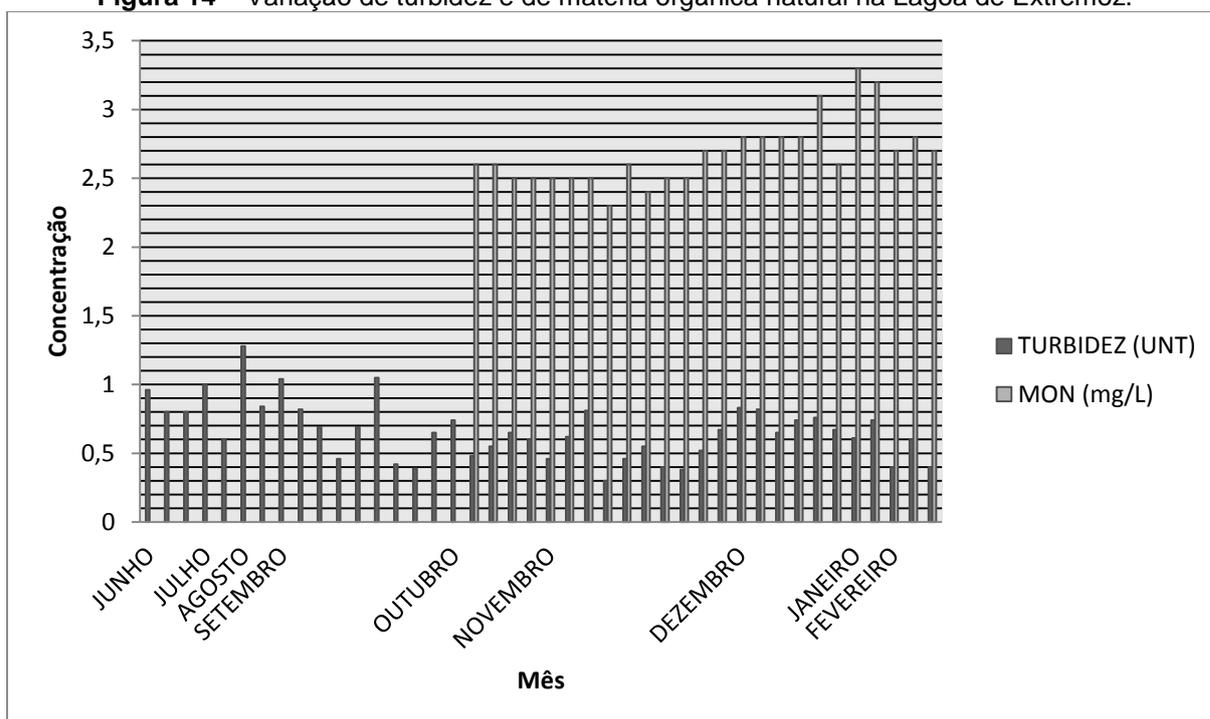
**Tabela 8** – Resultados médios mensais das características físico-químicas da água bruta.

2013-2014	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)	Cor Aparente (uH)	OD (mg/L)	Cond. Elétrica (µs/cm)	ABS 254 (cm <sup>-1</sup> )	ABS 254 F* (cm <sup>-1</sup> )	MON
<b>JUNHO</b>	7,13	26,1	0,85	54	-	-	-	-	-
<b>JULHO</b>	7,31	25,3	0,8	61	-	-	-	-	-
<b>AGOSTO</b>	6,94	24,7	1,06	57	-	-	-	-	-
<b>SETEMBRO</b>	7,13	25	0,69	41	-	-	-	-	-
<b>OUTUBRO</b>	7,33	25,4	0,57	39	6,5	346	0,159	0,112	2,4
<b>NOVEMBRO</b>	7,19	25,3	0,52	35	6,9	377	0,215	0,194	2,6
<b>DEZEMBRO</b>	7,64	25,8	0,75	28	7,0	375	0,200	0,134	2,8
<b>JANEIRO</b>	7,93	25,9	0,68	26	6,2	388	0,141	0,122	3,3
<b>FEVEREIRO</b>	6,93	25,4	0,46	20	6,5	370	0,122	0,111	2,7

\*ABS 254 F = Absorbância 254 filtrada.

Na Figura 14, pode-se observar que a turbidez da água bruta variou de 0,3 a 1,3 UNT na Lagoa de Extremoz e a matéria orgânica natural sofreu pouca variação, chegando a 3,3 mg/L. Wiecheteck *et al.* (2004) afirmam que a principal causa de cor na água é devido a presença de compostos oriundos da decomposição da matéria orgânica natural em águas superficiais, agrupados em substâncias não húmicas e húmicas.

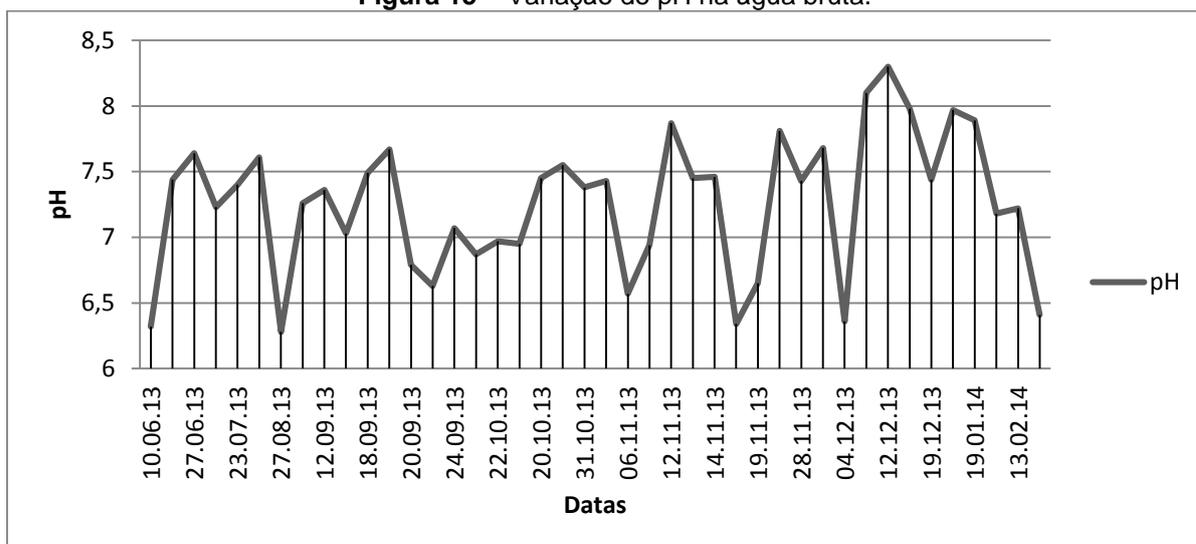
**Figura 14** – Variação de turbidez e de matéria orgânica natural na Lagoa de Extremoz.



A Figura 15 mostra a variação do pH no período de junho de 2013 a fevereiro de 2014. Do ponto de vista químico, a medição do pH pode ser considerado o teste mais importante para a caracterização físico-química da água.

O intervalo de pH recomendado para águas de abastecimento é estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde entre 6,0 a 9,5. Esse parâmetro objetiva minimizar problemas físicos como incrustação e corrosão nos sistemas de distribuição e hidráulico, mas também tem o objetivo de garantir que o cloro se estabilize na água de abastecimento, obtendo assim uma maior eficiência no processo de desinfecção.

**Figura 15** – Variação do pH na água bruta.



A Tabela 9 apresenta resultados de algumas espécies de cianobactérias e cianotoxinas encontradas na Lagoa de Extremoz-RN. Estes dados foram cedidos pelo laboratório de microbiologia da CAERN e foram analisados no período de novembro de 2013 a abril de 2014. As amostras foram coletadas no período da manhã, em torno das 09h00.

A análise quantitativa de cianobactérias, possibilitou verificar que o número de células/mL excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, segundo a Portaria 2914/11 do Ministério da saúde. As espécies encontradas em maior densidade para este período foram: *Merismopedia sp.* e *Planktolyngbya limnetica*, chegando a valores de 233.312 cél/mL e 1.262.294 cél/mL, respectivamente.

O percentual de remoção na ETA de Extremoz foi de aproximadamente 45% do total de células presentes na água bruta.

Não houve presença significativa de microcistina e saxitoxina. Na maioria das análises, sua concentração foi inferior ao limite de detecção do aparelho. Os valores médios de microcistinas e saxitoxinas foram de 0,216 µg/L e 0,015 µg/L, respectivamente.

**Tabela 9** – Resultados médios de espécies de cianobactérias e cianotoxinas encontradas na Lagoa de Extremoz-RN.

TÁXONS IDENTIFICADOS	CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA Resultados médios		ÁGUA TRATADA – ETA Resultados médios	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
CYANOPHYCEAE				
<i>Alphanocapsa sp.</i>	1.048	18.868	-	-
<i>Cyanodictyon sp.</i>	5.780	52.021	378	3.397
<i>Chroococcales</i>	6.905	6.905	2.594	2.594
<i>Merismopedia sp.</i>	6.727	107.640	4.674	74.790
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	46.496	511.465	27.204	299.248
CHLOROPHYCEAE				
<i>Kirchneriella sp.</i>	1.171	-	-	-
<i>Ekalatothrix sp.</i>	1.268	-	-	-
<i>Asterococcus sp.</i>	126	-	192	192
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Chroomonas sp.</i>	119	-	-	-
TOTAL	-	696.899	-	380.029

TOXINAS – água bruta	UNIDADE	VMP	LD	RESULTADO
MICROCISTINAS	µg/L	1,00	0,10	0,216
SAXITOXINAS	µg equivalente STX/L	3,00	0,015	0,015

Legenda: VMP – Valor máximo permitido; LD – Limite de detecção do aparelho.  
Fonte: CAERN (2014)

## 5.2 Resultados dos ensaios de bancada

### 5.2.1 Fase 1 - Determinação dos parâmetros de mistura rápida

A fase 1 objetivou a determinação dos parâmetros de mistura rápida para o coagulante HCA 23%. Nesta seção, encontraram-se a melhor dosagem do coagulante e a influência do pH na coagulação.

#### Série I.1 – Determinação de dosagens do coagulante

As Tabelas 10 e 11 apresentam os ensaios de jarteste 1 e 2 para a determinação da melhor dosagem do coagulante. Não foi feita a correção de pH nos ensaios de jarteste devido a qualidade do manancial ser de boa e já apresentar o pH em uma faixa ideal para melhor ocorrer o processo de coagulação. Utilizaram-se valores estimados para o tempo de coagulação e gradiente de mistura rápida.

Nos dois ensaios iniciais foi possível verificar que a dosagem de 1mg/L foi a que demonstrou resultados mais satisfatórios quanto à remoção da turbidez e a cor. Então, adotou-se o valor de 1mg/L como a dosagem ideal para os ensaios posteriores.

**Tabela 10** – Ensaio de Jarteste 1 – Determinação da dosagem do coagulante HCA.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
7,45	1,04	42	25,2	15	800		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	0,5	7,38	42	0,87	31	0,67	26,2	35,6	36
2	1	7,34	47	1,17	29	0,11	31,0	89,4	35
3	1,5	7,36	48	0,99	31	0,34	26,2	67,3	34
4	2	7,33	39	0,86	30	0,21	28,6	79,8	37
5	2,5	7,22	41	1,17	30	0,45	28,6	56,7	33

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

**Tabela 11** – Ensaio de Jarteste 2 – Determinação da dosagem do coagulante HCA.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
7,07	0,89	38	25,1	15	800		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	0,8	7,51	39	0,82	33	0,61	13,2	31,5	41
2	0,9	7,45	38	0,75	25	0,29	34,2	67,4	40
3	1	7,40	39	1,02	24	0,27	36,8	69,7	42
4	1,1	7,39	37	0,85	25	0,56	34,2	37,1	43
5	1,2	7,59	38	0,90	26	0,49	31,6	44,9	42

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

Série I.2 – Determinação do tempo de mistura e gradientes.

Com a melhor dosagem de coagulante encontrada, nesta série, pode-se determinar o melhor tempo e gradiente de mistura rápida.

Eustáquio (2010) em sua pesquisa no açude Gargalheiras verificou que para a variável turbidez, gradientes mais baixos demonstraram percentuais de remoção mais aproximados mediante as alterações no tempo de mistura. Para gradientes mais elevados, eram exigidos tempos mais elevados. Nos gradientes testados, os tempos de 17 e 22 segundos se destacaram em relação aos demais. Os gradientes que demonstraram mais eficientes foram 400, 600 e 700  $s^{-1}$  justamente nos tempos citados. A maior remoção de turbidez e cor ocorreu com a utilização de um gradiente de 700  $s^{-1}$  e um tempo de mistura rápida de 17 segundos.

Diante dos resultados obtidos por Eustáquio, para o trabalho atual foram testados tempos de 15 e 30s e gradientes de 800 $s^{-1}$  e 1000 $s^{-1}$ , com o coagulante HCA.

Os ensaios 3 a 6 (Tabelas 12 a 15) apresentam testes referentes ao tempo de mistura rápida e gradiente de velocidade.

Foi testado o menor tempo (15s) com o menor gradiente (800 $s^{-1}$ ); menor tempo (15s) com o maior gradiente (1000 $s^{-1}$ ); maior tempo (30s) com o menor gradiente (800 $s^{-1}$ ); maior tempo (30s) com o maior gradiente (1000 $s^{-1}$ );

Verificaram-se a partir das Tabelas 12 a 15 que as combinações de menor tempo e menor gradiente testados foram as que demonstraram resultados mais satisfatórios com relação ao percentual de remoção de turbidez e cor aparente, chegando a 97,6% para a turbidez e 33,3% para a cor. Com aumento do tempo e do gradiente, também se obteve bons resultados, porém alcançando percentuais de remoção inferiores (Figura 16 e 17).

**Tabela 12** – Ensaio de Jarreste 3 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
7,36	0,82	36	24,5	15	800		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	7,16	40	0,85	24	0,12	33,3	85,4	50
2	1	7,16	45	0,82	27	0,11	25,0	86,6	57
3	1	7,13	40	1,00	26	0,02	27,8	97,6	54
4	1	7,17	44	0,98	24	0,13	33,3	84,1	55
5	1	7,15	41	1,20	26	0,10	27,8	87,8	54

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

**Tabela 13** – Ensaio de Jarreste 4 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
6,81	1,06	39	25,4	15	1000		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	6,86	40	0,89	29	0,33	25,6	68,9	43
2	1	6,97	38	0,97	31	0,32	20,5	69,8	46
3	1	7,02	39	0,94	29	0,41	25,6	61,3	41
4	1	7,14	40	0,85	32	0,28	17,9	73,6	39
5	1	7,21	43	0,79	33	0,35	15,4	67,0	38

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

**Tabela 14** – Ensaio de Jarreste 5 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
7,81	0,9	40	24,4	30	800		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	7,10	42	1,03	28	0,36	30,0	60,0	48
2	1	7,09	40	0,81	29	0,45	27,5	50,0	37
3	1	7,14	41	0,71	28	0,37	30,0	58,9	47
4	1	7,18	40	1,10	28	0,32	30,0	64,4	48
5	1	7,23	40	0,86	29	0,43	27,5	52,2	44

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

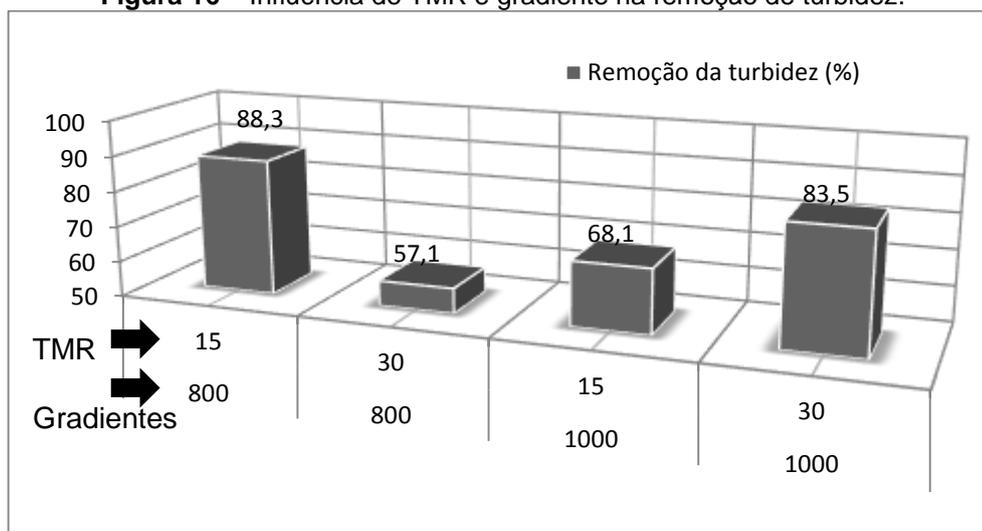
**Tabela 15** – Ensaio de Jarreste 6 – Determinação do tempo de mistura e gradiente de velocidade.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO	
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm	
7,08	0,68	42	25,7	30	1000		

Jarro	Dosagem HCA (mg/l)	Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
		pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	7,09	42	0,62	31	0,11	26,2	83,8	32
2	1	7,13	44	0,57	28	0,16	33,3	76,5	28
3	1	7,15	44	0,48	32	0,15	23,8	77,9	33
4	1	7,19	44	0,54	29	0,02	31,0	97,1	35
5	1	7,18	43	0,51	30	0,12	28,6	82,4	33

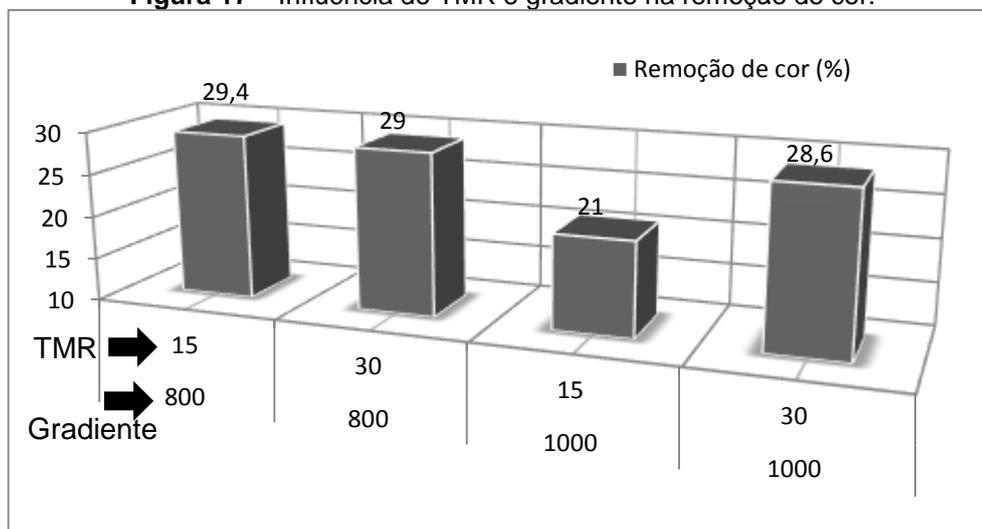
**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

**Figura 16** – Influência do TMR e gradiente na remoção de turbidez.



É possível verificar, nas Figuras 16 e 17 que para TMR e gradiente de velocidade mais baixos houve uma maior eficiência quanto à remoção da turbidez e da cor. Para o gradiente mais elevado, foi exigido maior tempo.

**Figura 17** – Influência do TMR e gradiente na remoção de cor.



### 5.2.2 Pré-oxidação

A dosagem do oxidante e tempo de oxidação basearam-se nos melhores resultados referentes a remoção de turbidez e cor aparente. Para esta etapa se fez necessário fixar alguns parâmetros de mistura rápida, encontrados nos ensaios anteriores.

Série I.3 – Determinação da dosagem do Cl<sub>2</sub>

As Tabelas 16 e 17 apresentam os resultados do ensaio para a determinação de dosagem de Cl<sub>2</sub>. Para este ensaio foi utilizado o HCA como coagulante, tempo de 15 s e gradiente de 800 s<sup>-1</sup> e tempo de oxidação de 5 minutos.

É perceptível o diferencial que o Cl<sub>2</sub> fez nos ensaios 7 e 8 com relação a cor. O melhor percentual de remoção de cor foi a dosagem 2 mg/L de Cl<sub>2</sub>.

**Tabela 16** – Ensaio de Jarreste 7 – Determinação da dosagem do Cl<sub>2</sub>.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm
7,44	1,12	31	25,3	15	800	

Jarro	Dosagem		Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
	Cl <sub>2</sub> (mg/L)	HCA (mg/l)	pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	1	7,47	32	1,14	9	0,31	71,0	72,3	42
2	2	1	7,51	33	1,19	7	0,28	77,4	75,0	43
3	3	1	7,52	31	1,20	7	0,29	77,4	74,1	41
4	4	1	7,55	31	1,18	8	0,35	74,2	68,8	45
5	5	1	7,49	33	1,10	8	0,31	74,2	72,3	44

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

**Tabela 17** – Ensaio de Jarreste 8 – Determinação da dosagem do Cl<sub>2</sub>.

ÁGUA BRUTA				MISTURA RÁPIDA		FILTRAÇÃO
pH	Turb (UNT)	Cor ap (uH)	Temp (° C)	TMR (s)	GMR (s <sup>-1</sup> )	Meio filtrante (Areia) 0,30mm - 0,42mm
7,61	0,98	29	25,3	15	800	

Jarro	Dosagem		Água coagulada			Água remanescente		Remoção (%)		Vazão (ml/min)
	Cl <sub>2</sub> (mg/L)	HCA (mg/l)	pH	CA	Turb	CA	Turb	CA	Turb	
1	1	1	7,66	32	1,10	8	0,02	72,4	98,0	46
2	1,5	1	7,67	32	1,04	8	0,12	72,4	87,8	47
3	2	1	7,66	31	1,07	7	0,02	75,9	98,0	49
4	2,5	1	7,68	30	1,11	7	0,02	75,9	98,0	46
5	3	1	7,69	31	1,09	7	0,11	75,9	88,8	51

**Legenda:** Tur – Turbidez; Cor ap – Cor aparente; TMR – Tempo de mistura rápida; GMR – Gradiente de mistura rápida.

### 5.3 Resultados dos ensaios da IPDF

Após os testes de tratabilidade, foram feitos os testes na IPDF. As mesmas condições encontradas nos ensaios de bancada foram utilizadas na IPDF. Nesta secção, serão apresentados os resultados e a discussão dos valores medidos.

Foram executados 8 ensaios para verificar a melhor taxa de filtração e granulometria para a remoção de turbidez e cor nos filtros FAP e FRDA.

Os resultados médios dos ensaios estão apresentados na tabela 18. Do ensaio 1 ao 4 foram testadas taxas de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no FAP e 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d nos FRDA. Nos ensaios de 5 ao 8, foram estudadas taxas de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no FAP e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d nos FRDA.

Tabela 18 – Resumo com valores médios dos ensaios na IPDF.

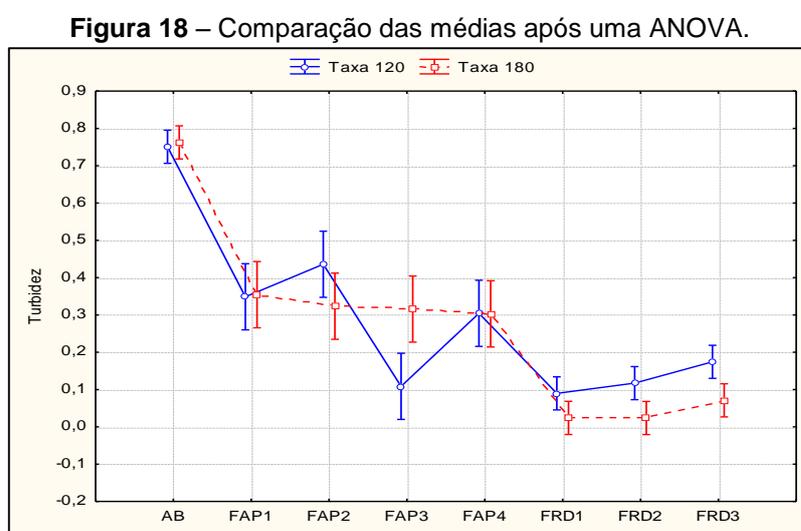
<b>Duração da carreira: 12h D<sub>HCA</sub> = 1 mg/L Taxas: FAP = 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e FRD = 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d</b>						
	<b>Parâmetros</b>	<b>Água Bruta</b>	<b>FAP</b>	<b>FRDA 1</b>	<b>FRDA 2</b>	<b>FRDA 3</b>
<b>ENSAIO 1</b> FAP 1	Turbidez (UNT)	0,6	0,3	0,1	0,1	0,2
	Cor aparente (uH)	31	29	27	28	27
	pH	7,4	7,4	7,5	7,6	7,6
	Temperatura (°C)	25,1	25,6	25,7	25,3	25,2
	Abs254 (mg/L)	0,125	0,119	0,112	0,117	0,114
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,105	0,101	0,101	0,099	0,098
	MON (mg/L)	2,3	1,8	1,4	1,6	1,5
<b>ENSAIO 2</b> FAP 2	Turbidez (UNT)	0,82	0,44	0,15	0,18	0,21
	Cor aparente (uH)	27	27	24	24	25
	pH	7,43	7,40	7,49	7,68	7,69
	Temperatura (°C)	26,1	26,3	25,9	25,6	25,7
	Abs254 (mg/L)	0,147	0,217	0,173	0,192	0,175
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,124	0,161	0,119	0,156	0,110
	MON (mg/L)	2,7	2,2	1,7	1,8	1,9
<b>ENSAIO 3</b> FAP 3	Turbidez (UNT)	0,96	0,11	0,02	0,02	0,16
	Cor aparente (uH)	23	21	18	19	19
	pH	7,55	7,54	7,56	7,65	7,74
	Temperatura (°C)	25,4	25,8	26,2	26,0	25,5
	Abs254 (mg/L)	0,175	0,171	0,166	0,165	0,164
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,162	0,153	0,149	0,152	0,147
	MON (mg/L)	2,7	2,3	1,9	2,0	2,0
<b>ENSAIO 4</b> FAP 4	Turbidez (UNT)	0,63	0,30	0,12	0,16	0,15
	Cor aparente (uH)	30	27	25	25	25
	pH	7,29	7,32	7,42	7,56	7,63
	Temperatura (°C)	26,6	26,8	26,7	26,2	26,3
	Abs254 (mg/L)	0,239	0,173	0,239	0,234	0,123
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,132	0,131	0,189	0,158	0,135
	MON (mg/L)	2,2	1,9	1,5	1,6	1,8
<b>Duração da carreira: 12h D<sub>HCA</sub> = 1 mg/L Taxas: FAP = 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e FRD = 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d</b>						
<b>ENSAIO 5</b> FAP 1	Turbidez (UNT)	0,65	0,35	0,02	0,02	0,08
	Cor aparente (uH)	22	19	17	17	17
	pH	6,73	6,80	6,93	7,03	7,11
	Temperatura (°C)	26,7	26,6	27,0	26,8	26,5
	Abs254 (mg/L)	0,096	0,067	0,057	0,056	0,062
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,089	0,149	0,054	0,052	0,057
	MON (mg/L)	2,7	2,2	1,8	1,9	1,9
<b>ENSAIO 6</b> FAP 2	Turbidez (UNT)	0,69	0,32	0,02	0,03	0,05
	Cor aparente (uH)	23	20	17	17	18
	pH	7,67	7,66	7,69	7,70	7,71
	Temperatura (°C)	26,4	26,5	26,6	26,6	26,2
	Abs254 (mg/L)	0,060	0,038	0,029	0,035	0,036
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,054	0,034	0,025	0,030	0,030
	MON (mg/L)	2,5	2,1	1,8	1,9	1,9
<b>ENSAIO 7</b> FAP 3	Turbidez (UNT)	0,86	0,32	0,02	0,02	0,08
	Cor aparente (uH)	19	17	14	14	15
	pH	7,09	7,19	7,28	7,38	7,49
	Temperatura (°C)	26,0	25,3	25,2	25,3	25,2
	Abs254 (mg/L)	0,073	0,044	0,035	0,032	0,033
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,054	0,032	0,024	0,028	0,027
	MON (mg/L)	2,8	2,5	2,2	2,2	2,3
<b>ENSAIO 8</b> FAP 4	Turbidez (UNT)	0,86	0,30	0,04	0,02	0,08
	Cor aparente (uH)	24	19	17	17	17
	pH	7,16	7,28	7,41	7,44	7,51
	Temperatura (°C)	24,4	24,6	24,6	24,6	24,4
	Abs254 (mg/L)	0,096	0,057	0,036	0,034	0,041
	ABS254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,065	0,036	0,026	0,027	0,029
	MON (mg/L)	2,5	2,1	1,8	1,9	1,9

É possível verificar que em todos os ensaios houve uma remoção satisfatória de turbidez, chegando a remoção de 50-65% nos FAP, e de aproximadamente 99% nos filtros rápidos descendentes de areia. Vale salientar que a qualidade da água da Lagoa de Extremoz é extremamente boa, com valor médio de turbidez de 0,70 UNT.

Os dados de turbidez mostram que não houve transpasse de flocos nos filtros FAP. Por isto não foi necessário fazer a descarga de fundo intermediária (DFI) nos ensaios durante a carreira de filtração.

Não houve remoção significativa para a variável cor aparente, visto que nessa etapa não foi usado nenhum oxidante, apenas o coagulante HCA. O FRDA1 foi o que demonstrou melhor eficiência na remoção de turbidez, cor e matéria orgânica natural. Isto ocorreu porque o FRDA 1 era o que apresentava a menor granulometria (tabela 18).

A Figura 18 apresenta uma média dos resultados após uma ANOVA. Lembrando que as taxas mencionadas (120 e 180) são referentes aos filtros FAP.



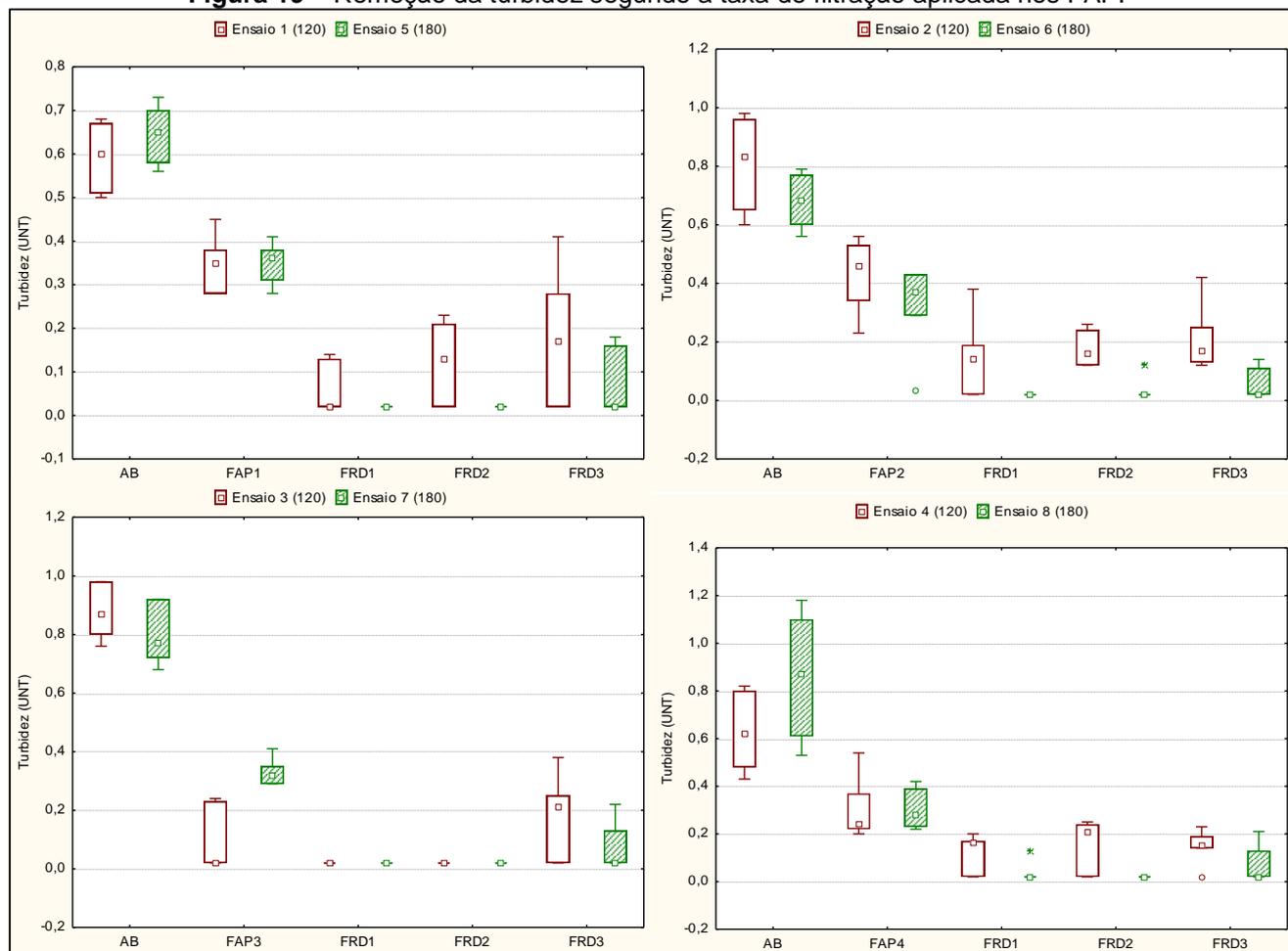
Verificou-se que para a taxa de 180  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , a eficiência quanto ao parâmetro turbidez nos FAP foi mais regular e o FAP 4 por apresentar a menor granulometria foi mais eficiente estatisticamente para as duas taxas. Para a taxa de 120  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  houve uma ótima eficiência no FAP 3 quanto a remoção da turbidez, mas estes valores podem ser questionados devido a alguma leitura imprecisa durante o ensaio.

Com relação aos filtros rápidos descendentes de areia, verificou-se estatisticamente que o FRDA 1 apresentou remoção mais significativa de turbidez

para as duas taxas. Isto comprova que o filtro de menor granulometria é o mais eficiente na remoção da turbidez.

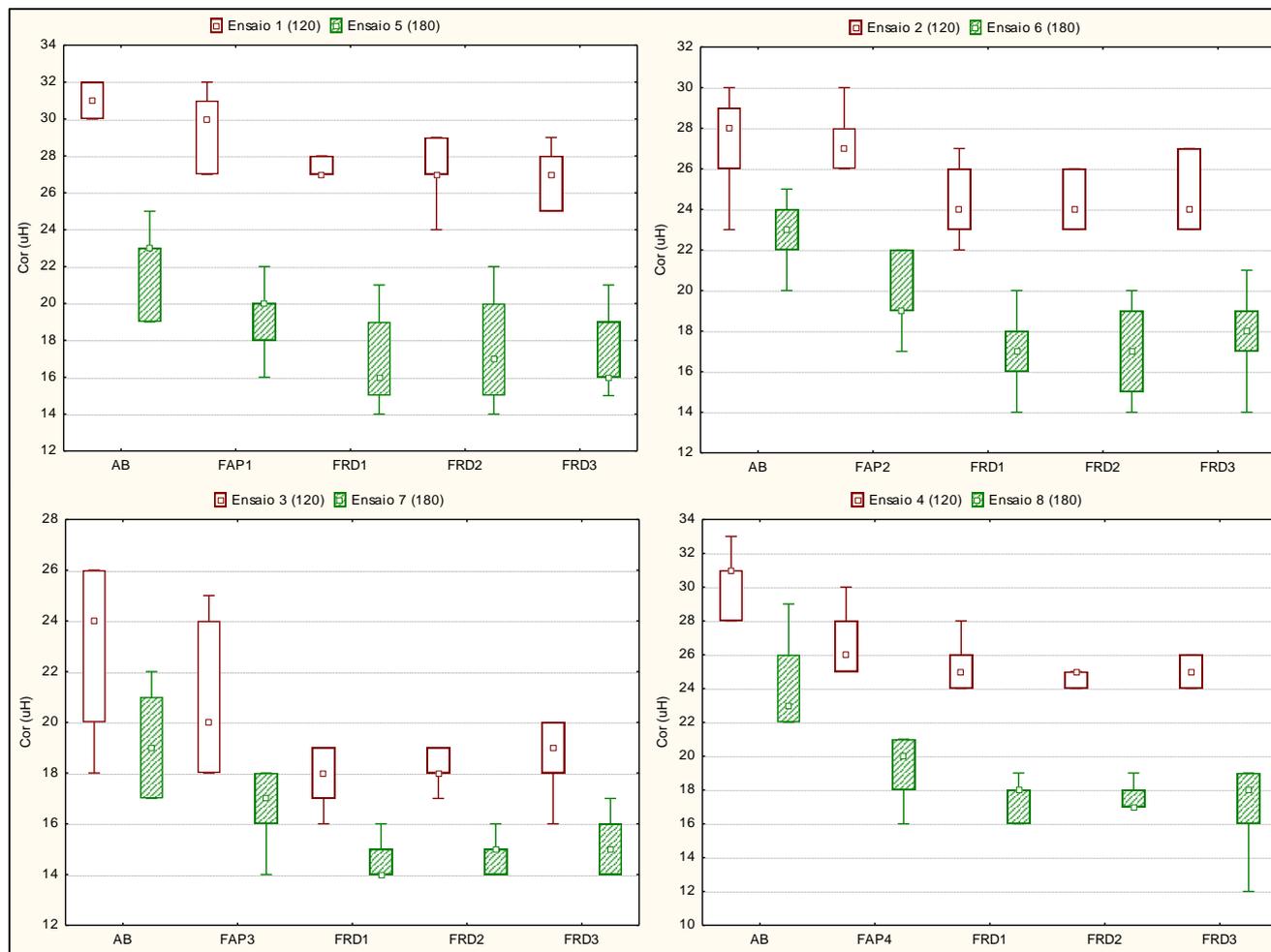
As Figuras 19 e 20 apresentam resultados comparativos para avaliar a melhor taxa entre os ensaios.

**Figura 19 – Remoção da turbidez segundo a taxa de filtração aplicada nos FAP.**



Verificou-se que os FAP 1, 3 e 4 foram mais eficientes na remoção de turbidez para a taxa de 120 m³/m².d. Já com relação aos três FRDA, percebe-se que com a taxa mais elevada obteve-se uma melhor remoção da turbidez alcançando valores bem próximos a zero (Figura 19).

**Figura 20** – Remoção da cor segundo a taxa aplicada nos FAP.

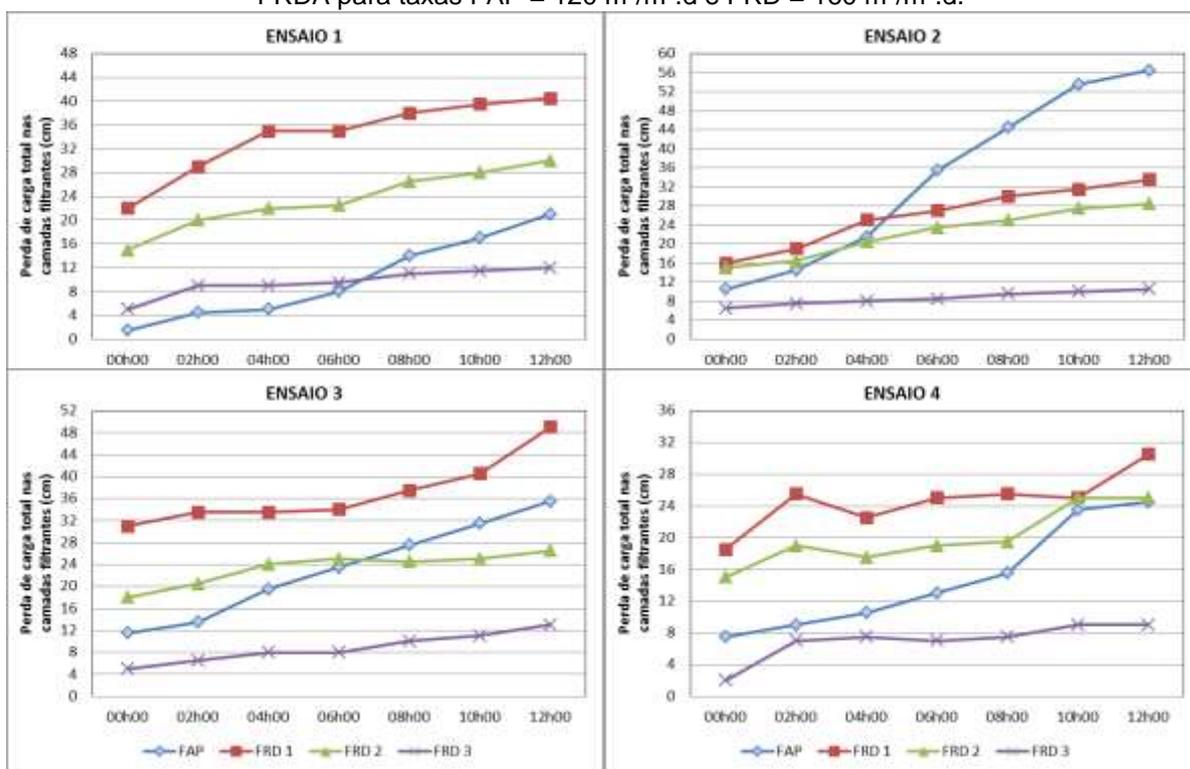


Com relação a variável cor aparente (figura 20), não se notou remoção significativa nos filtros FAP e FRDA. Houve remoção em torno de 20% de cor nos FAP chegando até 30% após a saída dos FRDA.

É notável uma redução nos valores de cor para a taxa de 180 m³/m².d porque durante os ensaios 5 a 8, a água bruta apresentava valores bem mais baixos de cor. Da mesma forma que para a turbidez, a figura 20 apresentou o FRDA 1 como melhor e mais eficiente na remoção de cor.

Os dados de variação de perda de carga total no interior das camadas filtrantes dos FAP e FRDA estão apresentados na figura 21 e 22. A figura 21 mostra a perda de carga dos ensaios 1 – 4, caracterizado pelas taxas de 120 m³/m².d no FAP e 160 m³/m².d nos FRDA.

**Figura 21** – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes dos FAP e FRDA para taxas FAP = 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e FRD = 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.

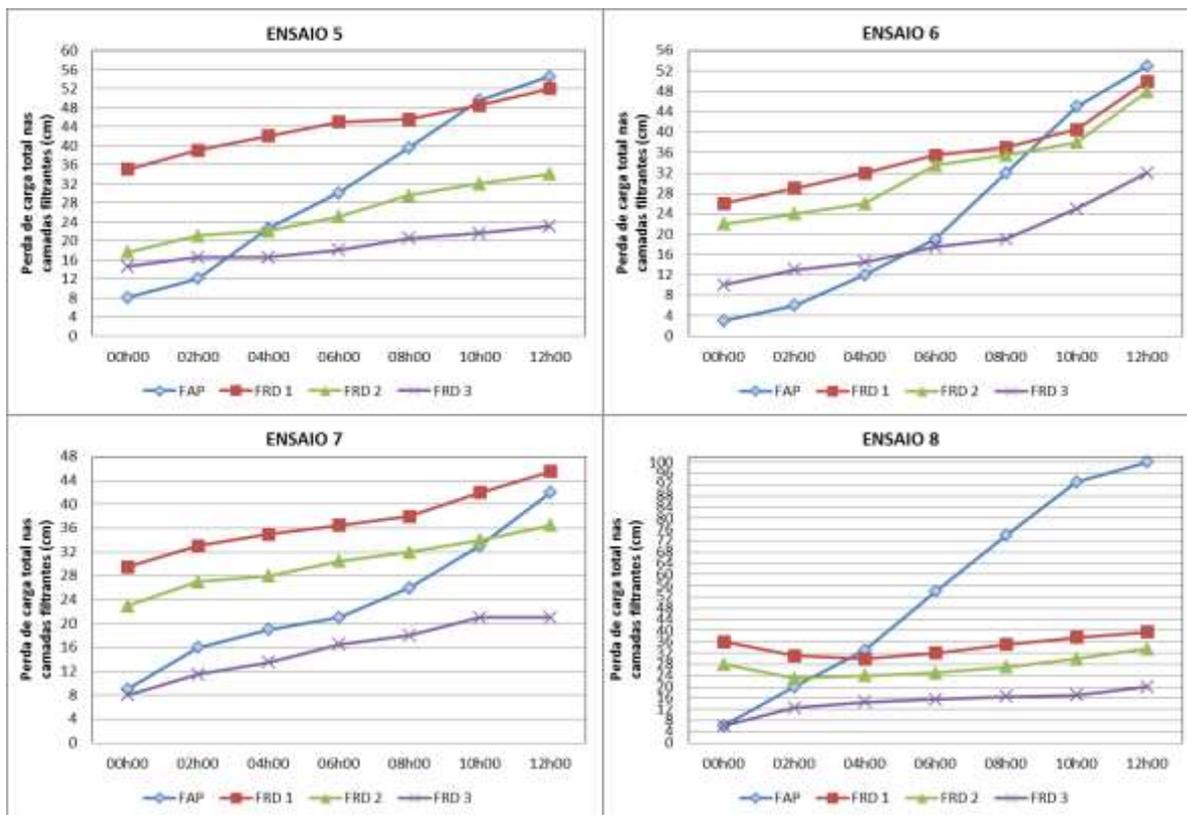


Levando em consideração que não houve DFI, percebe-se que a perda de carga nos FAP e FRDA foi crescente. Apenas o ensaio 2 que obteve uma perda de carga mais elevada no FAP no valor de 56 cm. O FAP 1 exibiu a menor perda de carga comparada ao FAP 2, FAP 3 e FAP 4, com taxa de crescimento média de 1,75 cm/h.

Nos quatro ensaios, o FRDA 1 obteve maior perda de carga, alcançando valores de 40 cm no ensaio 1 e 49 cm no ensaio 3. Verificou-se uma taxa de crescimento média de 3,06 cm/h para o FRDA 1.

A Figura 22 mostra a perda de carga dos ensaios 5 a 8, caracterizado pelas taxas de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no FAP e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d nos FRDA.

**Figura 22** – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes dos FAP e FRDA para taxas FAP = 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e FRD = 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.



De acordo com a Figura 22, percebeu-se que o FAP 4 obteve perda de carga de 100 cm, foi a maior perda de carga entre os FAP, com uma taxa de crescimento média de 8,33 cm/h. O FRDA 1 continua tendo a maior perda de carga, quando comparada com FRDA 2 e FRDA 3.

Nestes ensaios também não houve a DFI, porque durante as 12 horas de carreira de filtração, não houve transpasse de flocos nos FAP.

No ensaio 8, os FRDA apresentaram baixa taxa de crescimento da perda de carga. No mesmo ensaio, observa-se que o FRDA 1 e FRDA 2 apresentaram taxa de crescimento de perda de carga de 1 cm/h. O FRDA 3 apresentou taxa de perda de 2 cm/h.

O ensaio 9 foi caracterizado pelo melhor desempenho do FAP e a melhor taxa de filtração com relação a remoção de turbidez, cor e Matéria orgânica natural. Portanto, verificou-se que o FAP 4 obteve os melhores valores com a taxa de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para os FRDA.

A Tabela 19 apresenta os valores médios do ensaio 9. Vale salientar que neste ensaio foi adicionado o Cl<sub>2</sub> como oxidante na concentração de 2mg/L. Não houve tempo de contato, ou seja, o cl<sub>2</sub> foi adicionado no reservatório de mistura rápida e logo

a água bruta foi direcionada ao FAP 4. Isto ocorreu porque as câmaras de contato estavam em manutenção. As características de operação foram mantidas dos outros ensaios, gradiente de mistura rápida de  $800 \text{ s}^{-1}$  e a concentração do  $\text{Cl}_2$  de  $1,0 \text{ mg/L}$ .

**Tabela 19** – Resultados médios do ensaio 9.

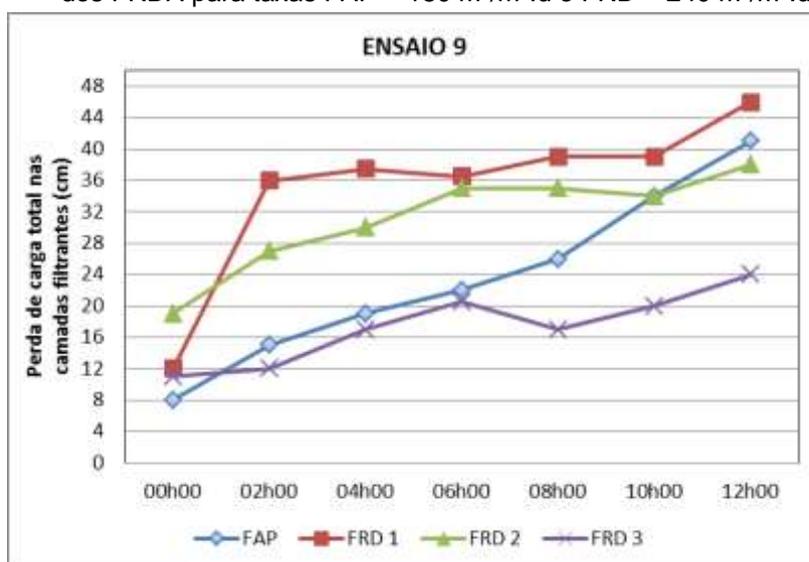
ENSAIO 9 FAP 4	Carreira: 12h $D_{HCA} = 1 \text{ mg/L}$ $D_{Cl_2} = 2 \text{ mg/L}$ Taxas: FAP 4 = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$					
	Parâmetros	Água Bruta	FAP 4	FRDA 1	FRDA 2	FRDA 3
	Turbidez (UNT)	1,03	0,38	0,02	0,02	0,04
	Cor aparente (uH)	27	12	11	11	11
	pH	7,74	7,77	7,84	7,82	7,83
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,9	24,3	24,6	25,1	25,1
	Abs254 (mg/L)	0,234	0,215	0,208	0,211	0,211
	Abs254 <sub>filtrada</sub> (mg/L)	0,143	0,130	0,122	0,125	0,269
	MON (mg/L)	2,1	1,7	1,2	1,3	1,3

O uso do oxidante nesta etapa objetivou a remoção de cor da água bruta. A concentração de cor para este ensaio foi de 27 uH. Com a utilização do  $\text{Cl}_2$ , este valor foi reduzido significativamente em aproximadamente 60%. Não houve remoção significativa de cor nos FRDA, indicando que o FAP funcionou também como câmara de contato para o oxidante.

O FAP 4 conseguiu remover em torno de 63% da turbidez e após passagem nos FRDA sua remoção foi praticamente em 100%.

A Figura 23 apresenta a perda de carga nas camadas filtrantes do ensaio 9.

**Figura 23** – Influência da granulometria sobre a perda de carga nas camadas filtrantes do FAP 4 e dos FRDA para taxas FAP =  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  e FRD =  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$



Segundo a figura 23, o FAP 4 apresentou uma perda de carga final de 42 cm. O FRDA 1 apresentou perda de 46 cm, a maior comparada aos outros FRDA. Percebe-se que houve um aumento da perda de carga no decorrer do tempo, porém um crescimento não linear. Neste ensaio também não foi feito a DFI (descarga de fundo intermediária).

### 5.3.1 Análise de Microcistinas

A Tabela 20 apresenta os resultados de microcistinas. A Lagoa de Extremoz apresentou baixa concentração de microcistinas para este período observado, quando comparado com outros mananciais que estão em processo de eutrofização. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde recomenda para água tratada valores até 1,0 µg/L para a concentração de microcistinas e o valor médio de microcistina na água bruta foi de 0,80 µg/L.

**Tabela 20** – Resultados de microcistinas.

Microcistinas (µg/L)						
	Ensaio	Água Bruta	FAP	FRDA 1	FRDA 2	FRDA 3
	1	0,085	0,093	0,00	0,115	0,516
	2	0,088	0,177	0,094	0,120	0,095
	3	0,092	0,099	0,091	0,093	0,126
	4	0,089	0,093	0,077	0,111	0,112
	5	0,095	0,084	0,086	0,064	0,067
	6	0,094	0,082	0,074	0,078	0,081
	7	0,045	0,076	0,063	0,068	0,076
	8	0,055	0,077	0,067	0,059	0,070
	9	0,088	0,054	0,067	0,075	0,073

A Tabela 20 mostrou algumas discrepâncias em alguns resultados. Isto pode ser explicado por problemas na leitura, já que as concentrações encontradas eram pequenas, não alcançando o limite de detecção do aparelho utilizado. Mas mesmo assim, pode-se observar que apenas a dupla filtração sem oxidação, não é eficiente para a remoção de microcistinas. Os ensaios 5 e 6, realizados com taxas de filtração maiores, foram as que demonstraram melhores remoções sem o auxílio do oxidante. No ensaio 9, o FAP 4 conseguiu remover quase que 40% da microcistina presente na água bruta.

## 6. CONCLUSÕES

Nas condições dos ensaios realizados na instalação piloto de dupla filtração, é possível concluir que:

1. Ao utilizar taxas de filtração mais elevadas, o percentual de remoção da variável turbidez foi maior, ou seja, as taxas de filtração de  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  no FAP e  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  nos FRDA, foram as mais significativas.
2. O filtro ascendente de pedregulho 4, que apresentava a menor granulometria, demonstrou a melhor eficiência e as melhores médias de turbidez e cor aparente. O Filtro rápido descendente de areia 1 foi mais eficiente na remoção de turbidez alcançando remoção em torno de 100%. Portanto, comprovou-se que quanto menor a granulometria dos filtros, maior a eficiência de remoção de turbidez.
3. O uso da pré-oxidação favoreceu a remoção de cor no final dos ensaios, chegando a um percentual de remoção em torno de 60%.
4. A descarga de fundo intermediária não foi necessária porque durante a carreira de filtração (12h), não houve transpasse de flocos nos filtros.
5. Com relação à remoção da turbidez, a técnica de dupla filtração se mostrou eficiente. Porém a remoção de cor e de cianotoxinas presentes na água só foi eficiente com o auxílio de um oxidante.

## 7. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. (1999). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed Washington: APHA, AWWA, WEF.

AZEVEDO, J. C. R. de; NOZAKI, J. Análise de fluorescência de substâncias húmicas extraídas da água, solo e sedimento da Lagoa dos Patos – MS. Revista Química Nova, Vol. 31, No. 6, 1324-1329, 2008.

BAZZOLI, N., 1993. O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacional de Saúde – Coordenação Regional de Minas Gerais. Recife: FNS/Opas. (Mimeo).

BEACON ANALYTICAL SYSTEMS INC. Microcystin Plate Kit. 2014. Disponível em: <http://www.beaconkits.com>. Acesso em: 22/05/2014.

BRAGA, F. M. G.; CORDEIRO, B. S.; BRANDÃO, C. C. S. Dupla filtração em filtros ascendentes de pedregulho e filtros descendentes de areia aplicada à remoção de algas: influência da granulometria do filtro de areia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais...ABES, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914/11**, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2011.

CARMICHAEL, W.W. Status report on planktonic cyanobacteria (bluegreen algae) and their toxins. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. 149p. 1992.

CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. Granular bed and precoat filtration. In: AWWA (Ed.). **Water quality & treatment. A handbook of community water supplies**. 5 ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: < [www.mma.conama.gov.br/conama](http://www.mma.conama.gov.br/conama) > Acesso em 31/05/2014.

DE PAULA, D. **Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando a filtração ascendente de areia grossa.** 2003. 117f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DI BERNARDO, L. ,Técnicas de tratamento de água, Vol. 1 e 2, Ed. ABES, 1992.

DI BERNARDO, L. (coord.), BRANDÃO, C. C. S., HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. PROSAB. São Carlos, 1999.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.

Di BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; POVINELLI, J. Desempenho de sistema de dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho no tratamento de água com turbidez elevada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande – MS. Anais. ABES, 2005.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CEUNTRIONE FILHO, P. L.. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** 1ed. São Carlos. Ed. Rima, 2002, 237p.

DI BERNARDO, L.; WIECHETECK, G. K; BENINI B. D. S. Utilização da dupla filtração ascendente de areia grossa para remoção de substâncias húmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES.

DUARTE, M. A. C.. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração.** Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

EPA (1992) Small Community Water and Wastewater Treatment, Summary Report, EPA, 92p.

EUSTÁQUIO, H. M. B.. **Ensaio de tratabilidade aplicados à determinação de parâmetros para dimensionamento de processos de tratamento de água de manancial eutrofizado.** Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2010.

GUSMÃO, P. T. R.; DI BERNARDO, L. Desempenho da dupla filtração utilizando a filtração ascendente em pedregulho e em areia Grossa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...ABES**, 2003.

JERÔNIMO, C. E. M., SOUZA, F. R. S. de. Determinação do índice de qualidade da água da Lagoa de Extremoz-RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos. **Revista Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. V. 10, nº 10, p. 2219-2232, JAN – ABR, 2013.

KAWAMURA, S. (1991) *Integrated Design of Water Treatment Facilities*, John Wiley, 658p.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Editora Átomo. Campinas, SP. 2008, 2ª edição.

MACHADO, B. C.; SENS, M. L. Remoção de cianobactérias com dupla filtração ascendente. **Revista de Ciências Ambientais**. Canoas, V.6, n.1, p33 a 42. 2012.

MELO J. G. de; MORAES, S. D. de; VASCONCELOS, M. B. Potencialidade e qualidade das águas do Aquífero Barreiras na região da Lagoa de Extremoz-RN. **Revista Geologia**, Vol. 22, n 2, 137-149,2010.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro n. 10, v.1: 99-110, 1994.

MIRANDA, Luis Alcides Schiavo. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento** / Luis Alcides Schiavo Miranda e Luis Olinto Monteggia. - Porto Alegre-RS, 2007. 148p.

OLIVEIRA, M. do C. B.; Cianobactéria invasora. *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento* - Edição nº 30 - janeiro/junho 2003.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (2003) Dupla Filtração. In: DI BERNARDO, L. (coord.), MENDES, C. G. N., BRANDÃO, C.C. S., SENS, M. L., PÁDUA, W. L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB. São Carlos: Rima, 2003.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (2006). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. In: CEBALLOS, B. S. O. de; AZEVEDO, S. M. O; BENDATE, M. M.de A. **Fundamentos biológicos e ecológicos relacionados as cianobactérias**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

QUEIROZ, S. C. B.; **Utilização da dupla filtração, oxidação e adsorção com carvão ativado pulverizado no tratamento de água eutrofizada**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, J. T.; BRESAOLA JUNIOR, R.. *Gradiente de velocidade: efeitos na adsorção-desestabilização para remoção de PFTHMs*. In: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998. p.1-6

RICHTER, CARLOS A. *Água: Método e tecnologia de tratamento*, São Paulo: Editora Blucher, 2009.

SANTOS, E. P. C. C. dos; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V. L. de. *Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente*. Engenharia sanitária e ambiental Vol.12 - Nº 4 - out/dez 2007, 361-370.

SEMARH – **Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos hídricos**. Disponível em: <http://WWW.semarh.rn.gov.br>; Acesso em: 25/05/2013.

TANGERINO, E. P.; Di BERNARDO, I. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e FIME. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol.10 - Nº 4 - out/dez, 2005.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Cyanobacteria and Cyanotoxins: Information for Drinking Water Systems. Office of Water 4304T. EPA-10F11001 July, 2012. Disponível em: [http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/nutrients/upload/cyanobacteria\\_factsheet.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/nutrients/upload/cyanobacteria_factsheet.pdf). Acesso em: 12/05/2014.

WIECHETECK, G. K.; BENINE, B. D. S.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas utilizando dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa ou de pedregulho. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n 2, p. 156-164, Abr/Jun 2004.

# **ANEXO A**

LAUDOS DAS ANÁLISES DE CIANOBACTÉRIAS - CAERN



Diretoria Técnica  
Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente  
Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes

ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA  
IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Cidade: **Extremoz**

Data da coleta: **26/11/2013**

Requisitante: **RNN**

Manancial: **Lagoa de Extremoz**

Hora da coleta: **09:00**

Resp. p/ Coleta: **Francisca Ferreira**

Cidade Abastecida: **Natal - Zona Norte**

RESULTADOS

Táxons identificados	Amostra N°1864/2013 Captação - Água Bruta		Amostra N°1865/2013 Saída da ETA - Água Tratada	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
CYANOPHYCEAE				
<i>Aphanocapsa sp.</i>	1.235	22.230	-	-
<i>Cyanodictyon sp.</i>	6.422	57.798	-	-
<i>Chroococcales</i>	13.832	13.832	7.210	7.210
<i>Mertismopedia sp.</i>	10.374	165.984	5.974	95.584
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	60.021	660.231	32.342	355.762
CHLOROPHYCEAE				
<i>Kirchneriella sp.</i>	1.235	-	-	-
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Chroomonas sp.</i>	247	-	-	-
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>920.075</b>		<b>458.556</b>
<b>DADOS DE COLETA:</b>	Temp.: <b>28,2°</b>	pH: <b>7,22</b>	Temp.: <b>28,4C</b>	pH: <b>6,63</b>
	Turbidez: <b>0,54 uT</b>	Cor: <b>26,0uH</b>	Turbidez: <b>0,85uT</b>	Cor: <b>11,7uH</b>
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b>	Cor da água bruta (olho nú): <b>Transparente</b> - Tempo: <b>Com nuvens</b> - Precipitação: <b>Ausente</b> - Ventos: <b>Fracos.</b>			

ANÁLISES DE CIANOTOXINAS

TOXINAS - água bruta	UNIDADE	VMP	LD	RESULTADO
MICROCISTINAS	µg/L	1,00	0,10	< 0,10
SAXITOXINAS	µg equivalente STX/L	3,00	0,015	0,015

CONCLUSÕES

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O percentual de remoção de Células durante o tratamento foi de aproximadamente 50% do total de Células presentes na água bruta. As análises quantitativas de cianotoxinas na água bruta não detectaram presença de microcistinas acima do VMP.

Notas:

1 - Metodologia Utilizada: Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermohl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005. Detecção de microcistina realizada pelo método ELISA.

2- Abreviaturas utilizadas: VMP-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água potável - uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.

3- Resultados apresentados: Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e possuem dados de coleta de responsabilidade do requisitante.

Natal, 11 de dezembro de 2013.

Fladjule Rêgo de Souza  
Bióloga - CRbio n°67.862/05-D

Ederson W. Figueiredo Nunes  
Biólogo/ Chefe da USTA

José Afonso Holanda de Araújo  
Gerente da Qualidade do Produto e Meio Ambiente



Diretoria Técnica  
Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente  
Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes

ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA  
IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Cidade: Extremoz

Data da coleta: 03/12/2013

Requisitante: RNN

Manancial: Lagoa de Extremoz

Hora da coleta: 09:00

Resp. p/ Coleta: Francisca Ferreira

Cidade Abastecida: Natal - Zona Norte

RESULTADOS

Táxons identificados	Amostra N°1866/2013 Captação - Água Bruta		Amostra N°1867/2013 Saída da ETA - Água Tratada	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
CYANOPHYCEAE				
<i>Aphanocapsa sp.</i>	1.902	34.236	-	-
<i>Cyanodictyon sp.</i>	12.680	114.120	1.332	11.988
<i>Chroococcales</i>	15.533	15.533	888	888
<i>Merismopedia sp.</i>	14.582	233.312	8.436	134.976
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	114.754	1.262.294	79.476	874.236
CHLOROPHYCEAE				
<i>Ekalathrix sp.</i>	1.268	-	-	-
BACILARIOPHYTA				
<i>Thalassiosira sp.</i>	317	-	-	-
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>1.659.495</b>		<b>1.022.088</b>
<b>DADOS DE COLETA:</b>	Temp.: 25,8°	pH: 7,12	Temp.: 26,6C	pH: 6,63
	Turbidez: 0,40 uT	Cor: 26,3uH	Turbidez: 1,18uT	Cor: 13,3uH
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b>	Cor da água bruta (olho nú): Verde claro - Tempo: Ensolarado - Precipitação: Ausente - Ventos: Fracos.			

ANÁLISES DE CIANOTOXINAS

TOXINAS - água bruta	UNIDADE	VMP	LD	RESULTADO
MICROCISTINAS	µg/L	1,00	0,10	0,245
SAXITOXINAS	µg equivalente STX/L	3,00	0,015	<0,015

CONCLUSÕES

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O percentual de remoção de Células durante o tratamento foi de aproximadamente 37% do total de Células presentes na água bruta. As análises quantitativas de cianotoxinas na água bruta não detectaram presença de microcistinas acima do VMP.

Notas:

- 1 - Metodologia Utilizada: Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermohl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005. Detecção de microcistina realizada pelo método ELISA.
- 2 - Abreviaturas utilizadas: VMP-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água potável. - uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.
- 3 - Resultados apresentados: Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e possuem dados de coleta de responsabilidade do requisitante.

Natal, 11 de dezembro de 2013.

Fladjulé Rejane Soares de Souza  
Bióloga - CRBio n°67.862/05-D

Ederson W. Figueiredo Nunes  
Biólogo/ Chefe da USTA

José Afonso Holanda de Araújo  
Gerente da Qualidade do Produto e Meio Ambiente



**Diretoria Técnica**  
**Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente**  
**Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes**

ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA  
 IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA**

Cidade: **Extremoz**                                  Data da coleta: **28/01/2014**                                  Requisitante: **RNN**  
 Manancial: **Lagoa de Extremoz**                                  Hora da coleta: **09:00**                                  Resp. p/ Coleta: **Francisca Ferreira**  
 Cidade Abastecida: **Natal - Zona Norte**

**RESULTADOS**

Táxons identificados	Amostra N°127/2014 Captação - Água Bruta		Amostra N°128/2014 Saída da ETA - Água Tratada	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
<b>CYANOPHYCEAE</b>				
<i>Aphanocapsa sp.</i>	615	11.070	-	-
<i>Cyanodictyon sp.</i>	12.423	111.807	56	504
<i>Chroococcales</i>	1.722	1.722	1.288	1.288
<i>Merismopedia sp.</i>	8.733	139.728	5.824	93.184
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	64.821	713.031	16.072	176.792
<b>CHLOROPHYCEAE</b>				
<i>Kirchneriella sp.</i>	1.107	-		
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>977.358</b>		<b>271.768</b>

<b>DADOS DE COLETA:</b>	Temp.: 28,1°C                                  pH: 7,47 Turbidez: 0,63 uT                                  Cor: 20,2uH	Temp.: 28,8°C                                  pH: 6,92 Turbidez: 0,43uT                                  Cor: 9,3uH
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b>	Cor da água bruta (olho nú): Transparente - Tempo: Com nuvens - Precipitação: Ausente - Ventos: Moderados.	

**ANÁLISES DE CIANOTOXINAS**

TOXINAS - água bruta	UNIDADE	VMP	LD	RESULTADO
MICROCISTINAS	µg/L	1,00	0,10	0,283

**CONCLUSÕES**

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O percentual de remoção de Células durante o tratamento foi de aproximadamente 72% do total de Células presentes na água bruta. As análises quantitativas de cianotoxinas na água bruta não detectaram presença acima do VMP.

**Notas:**

- 1 - Metodologia Utilizada: Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermöhl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005. Detecção de microcistina realizada pelo método ELISA.
- 2 - Abreviaturas utilizadas: VMP-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água potável.- uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.
- 3 - Resultados apresentados: Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e possuem dados de coleta de responsabilidade do requisitante.

Natal, 10 de fevereiro de 2014.

Fladjule Rejane Soares de Souza  
 Bióloga - CRbio n°67.862/05-D

Ederson W. Figueiredo Nunes  
 Biólogo/ Chefe da USTA

José Afonso Holanda de Araújo  
 Gerente da Qualidade do Produto e Meio Ambiente



Diretoria Técnica  
Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente  
Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes

ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA  
IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Cidade: Extremoz Data da coleta: 18/02/2014 Requisitante: RNN  
Manancial: Lagoa de Extremoz Hora da coleta: 09:00 Resp. p/ Coleta: Francisca Ferreira  
Cidade Abastecida: Natal - Zona Norte

RESULTADOS

Táxons identificados	Amostra N°356/2014 Captação - Água Bruta		Amostra N°357/2014 Saída da ETA - Água Tratada	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
CYANOPHYCEAE				
<i>Aphanocapsa sp.</i>	441	7.938	-	-
<i>Cyanodictyon sp.</i>	2.079	18.711	32	288
<i>Merismopedia sp.</i>	3.402	54.432	2.208	35.328
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	20.538	225.918	4.352	47.872
CHLOROPHYCEAE				
<i>Asterococcus sp.</i>	126	-	192	192
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Cryptomonas sp.</i>	63	-	-	-
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>306.999</b>		<b>83.488</b>
<b>DADOS DE COLETA:</b>	Temp.: 28°C Turbidez: 0,50 uT	pH: 7,51 Cor: 19,1uH	Temp.: 28,9°C Turbidez: 0,27uT	pH: 6,90 Cor: 9,1uH
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b>	Cor da água bruta (olho nú): Transparente - Tempo: Com nuvens - Precipitação: Ausente - Ventos: Moderados.			

CONCLUSÕES

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O percentual de remoção de Células durante o tratamento foi de aproximadamente 73% do total de Células presentes na água bruta.

Notas:

1 - Metodologia Utilizada: Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermöhl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005.

2 - Abreviaturas utilizadas: VMP-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água potável - uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.

3- Resultados apresentados: Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensaiada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e possuem dados de coleta de responsabilidade do requisitante.

OBS.: Devido a manutenção da Leitora de Microplacas não foi possível a realização das análises de cianotoxinas.

Natal, 05 de março de 2014.

Fladjute Rejane Soares de Souza  
Bióloga - CRBio n°67.862/05-D

Ederson W. Figueiredo Nunes  
Biólogo/ Chefe da USTA

José Afonso Holanda de Araújo  
Gerente da Qualidade do Produto e Meio Ambiente



**Diretoria Técnica**  
**Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente**  
**Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes**

**ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA**  
**IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS**

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA**

Cidade: **Extremoz**                      Data da coleta: **10/03/2014**                      Requisitante: **RNN**  
 Manancial: **Lagoa de Extremoz**                      Hora da coleta: **09:52**                      Resp. p/ Coleta: **Paulo**  
 Cidade Abastecida: **Natal - Zona Norte**

**RESULTADOS**

Táxons identificados	Amostra N°441/2014 Captção - Água Bruta		Amostra N°442/2014 Saída da ETA - Água Tratada	
	Indivíduos/mL	Células/mL	Indivíduos/mL	Células/mL
<b>CYANOPHYCEAE</b>				
<i>Cyanodictyon sp.</i>	477	4.293	90	810
<i>Chroococcales</i>	742	742	990	990
<i>Merismopedia sp.</i>	2.014	32.224	930	14.880
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	12.667	139.337	3.780	41.580
<i>Pseudanabaena sp.</i>	53	212	-	-
<b>CHLOROPHYCEAE</b>				
<i>Elakatothrix sp.</i>	265	-	-	-
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>				
<i>Cryptomonas sp.</i>	106	-	-	-
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>176.596</b>		<b>58.260</b>
<b>DADOS DE COLETA:</b>	Temp.: 28°C	pH: 7,61	Temp.: 30,1°C	pH: 7,12
	Turbidez: 3,05 uT	Cor: 18,7uH	Turbidez: 0,27uT	Cor: 6,4uH
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b>	Cor da água bruta (olho nú): <b>Transparente</b> - Tempo: <b>Com nuvens</b> - Precipitação: <b>Ausente</b> - Ventos: <b>Moderados</b> .			

**CONCLUSÕES**

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL (VMP), portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O percentual de remoção de Células durante o tratamento foi de aproximadamente 67% do total de Células presentes na água bruta.

**Notas:**

1 - **Metodologia Utilizada:** Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermöhl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005.

2- **Abreviaturas utilizadas:** VMP-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água potável.- uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.

3- **Resultados apresentados:** Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensaiada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e possuem dados de coleta de responsabilidade do requisitante.

**OBS.:** Devido a manutenção da Leitora de Microplacas não foi possível a realização das análises de cianotoxinas.

Natal, 11 de março de 2014.

Fladjule Rejane Soares de Souza  
 Bióloga - CRbio n°67.862/05-D

Ederson W. Figueiredo Nunes  
 Biólogo/ Chefe da USTA

José Afonso Holanda de Araújo  
 Gerente da Qualidade do Produto e Meio Ambiente



Diretoria Técnica  
Gerência de Qualidade do Produto e Meio Ambiente  
Laboratório Central de Monitoramento de Águas e Efluentes

ANÁLISE HIDROBIOLÓGICA  
IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE CIANOBACTÉRIAS

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Cidade: **Extremoz** Data da coleta: **01/04/2014** Requisitante: **RNN**  
Manancial: **Lagoa de Extremoz** Hora da coleta: **09:00** Resp. p/ Coleta: **Francisca Ferreira**  
Cidade Abastecida: **Natal - Zona Norte**

RESULTADOS

Táxons identificados	Amostra N°0617/2014	
	Captação - Água Bruta	
	Indivíduos/mL	Células/mL
<b>CYANOPHYCEAE</b>		
<i>Cyanodictyon sp.</i>	600	5.400
<i>Chroococcales</i>	2.700	2.700
<i>Merismopedia sp.</i>	1.260	20.160
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	6.180	67.980
<i>Pseudanabaena sp.</i>	120	1.320
<b>CHLOROPHYCEAE</b>		
<i>Ekalathrix sp.</i>	420	-
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>		
<i>Chroomonas sp.</i>	60	-
<b>TOTAL CIANOBACTÉRIAS</b>		<b>96.240</b>

<b>DADOS ADICIONAIS:</b>	Temp.: 28,6°C	pH: 7,18
	Turbidez: 0,39 uT	Cor: 19,1uH
<b>CONDIÇÕES DE COLETA:</b> Cor da água (olho nú): <b>Transparente -</b> Tempo: <b>Com nuvens -</b> Precipitação: <b>Ausente -</b> Ventos: <b>Fracos.</b>		

ANÁLISES DE CIANOTOXINAS

TOXINAS - água bruta	UNIDADE	VMP*	LD	RESULTADO
MICROCISTINAS	µg/L	1,00	0,100	0,121
SAXITOXINAS	µg equivalente STX/L	3,00	0,015	< 0,015

CONCLUSÕES

A análise quantitativa de Cianobactérias revelou que o número de células/mL presente excedeu 10.000 cél/mL, portanto, o monitoramento de cianobactérias deve obedecer a frequência semanal, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. As análises quantitativas de cianotoxinas na água bruta não detectaram presença acima do VMP\* dispensando análise na água tratada.

Notas:

- 1 - Metodologia Utilizada: Quantificação realizada em microscópio invertido pelo método de sedimentação de Utermöhl (1958), sendo calculada segundo APHA, 2005. Detecção de microcistina realizada pelo método ELISA.
- 2- Abreviaturas utilizadas: VMP\*-Valor máximo permitido pela portaria N°2914/2011, do Ministério da Saúde para água tratada.- uT: Unidade de turbidez (Jackson/Nefelométrica) - uH: unidade Hazen (Pt-Co) - LD: Limite de detecção.
- 3- Resultados apresentados: Têm significação restrita e se aplicam a amostra ensaiada, não podem ser utilizados para fins promocionais de qualquer natureza, só poderão ser reproduzido de forma integral e os dados de coleta são de responsabilidade do requisitante.

Natal, 04 de abril de 2014.

  
Fladjule Rejane Soares de Souza  
Bióloga - CRbio n°67.862/05-D

  
Ederson W. Figueiredo Nunes  
Biólogo/ Chefe da USTA

  
José Afonso Holanda de Araújo  
Gerente da Qualidade do Produto e Meio

# **ANEXO B**

PLANILHAS COMPLETAS DOS ENSAIOS NA IPDF

Data: 28/11/2013

### ENSAIO 1

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
120/160	157	450	800	-	PAC	1,0	2,0

#### Anotações e Cálculos

Utilizamos o FAP 1 para esta carreira de filtração.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{fi}$  (Reservatório de coagulante): 30cm

Restante: 14cm

Volume gasto: 17 L.

Data: 28/11/2013

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas										
Data	V CMB (rpm)		Volumenes acumulados e vazões instantâneas							
	HORA	AB	IN T	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
CMB AB					CMB INT	FAP 1	FRD1	FRD2	FRD3	
08h00	2265	----		35857	160	----	160	60	50	50
10h00	2256	----		35875	160	----	160	60	60	50
12h00	2265	----		35916	160	----	160	60	60	50
14h00	2265	----		35956	160	----	160	60	60	50
16h00	2265	----		36003	160	----	160	60	60	50
18h00	2265	----		36029	160	----	160	60	60	50
20h00	2265	----		36070	160	----	160	60	60	50

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
08h00	FAP 1	39	38	38	38	38	37,5
	FRD1	121	143	-	-	-	-
	FRD2	122	137	-	-	-	-
	FRD3	119	124	-	-	-	-
10h00	FAP 1	43	39	39	39	39	38,5
	FRD1	121	150	-	-	-	-
	FRD2	120	140	-	-	-	-
	FRD3	118,5	127,5	-	-	-	-
12h00	FAP 1	43	38,5	38,5	38,5	38,5	38
	FRD1	120	155	-	-	-	-
	FRD2	120	142	-	-	-	-
	FRD3	118	127	-	-	-	-
14h00	FAP 1	46	38,5	38,5	38,5	38,5	38
	FRD1	120	155	-	-	-	-
	FRD2	119,5	142	-	-	-	-
	FRD3	117,5	127	-	-	-	-
16h00	FAP 1	52	38,5	38,5	38,5	38,5	38
	FRD1	119	157	-	-	-	-
	FRD2	119	145,5	-	-	-	-
	FRD3	117	128	-	-	-	-
18h00	FAP 1	55	38,5	38,5	38,5	38,5	38
	FRD1	119	158,5	-	-	-	-
	FRD2	119	147	-	-	-	-
	FRD3	116,5	128	-	-	-	-
20h00	FAP 1	59	38,5	38,5	38,5	38,5	38
	FRD1	118,5	159	-	-	-	-
	FRD2	118,5	148,5	-	-	-	-
	FRD3	116	128	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP1	FRD1	FRD2	FRD3
08h00	Turbidez	0,60	0,35	0,02	0,17	0,41
	Cor aparente	30	27	28	29	29
	pH	7,78	7,68	7,66	7,69	7,69
	Temperatura	25,5	26,1	26,2	25,5	26,0
	Abs254	0,160	0,149	0,141	0,144	0,161
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,149	0,148	0,139	0,132	0,143
	MON (mg/L)	2,2	1,6	1,2	1,4	1,5
10h00	Turbidez	0,64	0,38	0,02	0,02	0,13
	Cor aparente	30	27	24	24	25
	pH	7,40	7,38	7,43	7,50	7,49
	Temperatura	26,7	27,1	28,1	27,6	27,4
	Abs254	0,156	0,137	0,130	0,136	0,148
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,139	0,091	0,110	0,121	0,108
	MON (mg/L)	2,4	1,9	1,6	1,7	1,6
12h00	Turbidez	0,67	0,28	0,02	0,13	0,02
	Cor aparente	30	28	27	27	25
	pH	7,43	7,38	7,41	7,46	7,57
	Temperatura	24,3	25	25,2	25,3	25,1
	Abs254	0,141	0,127	0,117	0,133	0,122
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,112	0,091	0,102	0,104	0,094
	MON (mg/L)	2,6	2,1	1,8	1,8	1,7
14h00	Turbidez	0,56	0,28	0,02	0,21	0,17
	Cor aparente	32	32	28	27	26
	pH	7,63	7,63	7,68	7,85	7,86
	Temperatura	26	27,2	27,5	26,5	26,7
	Abs254	0,143	0,139	0,133	0,129	0,124
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,102	0,128	0,118	0,115	0,121
	MON (mg/L)	2,8	2,0	1,4	1,8	1,9
16h00	Turbidez	0,50	0,32	0,14	0,02	0,02
	Cor aparente	32	30	28	29	28
	pH	7,83	7,86	7,91	7,93	7,96
	Temperatura	25,7	26,2	26	25,5	25,1
	Abs254	0,128	0,123	0,118	0,123	0,09
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,110	0,103	0,111	0,097	0,08
	MON (mg/L)	1,4	1,2	0,7	0,9	0,6
18h00	Turbidez	0,68	0,38	0,12	0,02	0,18
	Cor aparente	31	31	27	27	27
	pH	7,69	7,76	7,80	7,86	7,87
	Temperatura	25,3	24,6	24,4	24,2	24,2
	Abs254	0,053	0,052	0,041	0,051	0,050
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,032	0,051	0,038	0,033	0,043
	MON (mg/L)	2,1	1,8	1,5	1,6	1,3
20h00	Turbidez	0,51	0,45	0,13	0,23	0,28
	Cor aparente	31	31	27	35	28
	pH	6,68	6,75	7,00	7,07	7,14
	Temperatura	22	22,7	22,4	22,3	22,0
	Abs254	0,108	0,104	0,104	0,105	0,101
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,091	0,093	0,092	0,091	0,100
	MON (mg/L)	2,5	2,0	1,7	1,8	1,7

Data: 03/12/2013

## ENSAIO 2

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
120/160	157	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 2 para esta carreira de filtração.

V<sub>i</sub> (Reservatório de coagulante): 44cm

V<sub>f i</sub> (Reservatório de coagulante): 28cm

Volume gasto: 19 L.

Data: 03/12/2013

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotâmetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 2	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	2260	----	36085	160	----	160	50	60	50
11h00	2260	----	36126	160	----	160	50	60	50
13h00	2260	----	36160	160	----	160	50	60	50
15h00	2260	----	36198	160	----	160	50	60	50
17h00	2260	----	36235	160	----	160	50	60	50
19h00	2260	----	36268	160	----	160	50	60	50
21h00	2260	----	36301	160	----	160	50	60	50

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
09h00	FAP 2	42	39	39	39	38,5	31,5
	FRD1	117	133	-	-	-	-
	FRD2	121,5	136,5	-	-	-	-
	FRD3	118,5	125	-	-	-	-
11h00	FAP 2	46	39	39	39	38,5	31,5
	FRD1	116	135	-	-	-	-
	FRD2	121,5	138	-	-	-	-
	FRD3	118,5	126	-	-	-	-
13h00	FAP 2	53	39	39	39	38,5	31,5
	FRD1	115	140	-	-	-	-
	FRD2	119,5	140	-	-	-	-
	FRD3	118,5	126,5	-	-	-	-
15h00	FAP 2	67	39	39	39	39	31,5
	FRD1	115	142	-	-	-	-
	FRD2	119	142,5	-	-	-	-
	FRD3	118,5	127	-	-	-	-
17h00	FAP 2	76	39	39	39	39	31,5
	FRD1	115	145	-	-	-	-
	FRD2	119	144	-	-	-	-
	FRD3	118	127,5	-	-	-	-
19h00	FAP 2	85	39,5	39,5	39	39	31,5
	FRD1	114,5	146	-	-	-	-
	FRD2	119	146,5	-	-	-	-
	FRD3	118	128	-	-	-	-
21h00	FAP 2	88	39,5	39,5	39	39	31,5
	FRD1	114,5	148	-	-	-	-
	FRD2	118,5	147	-	-	-	-
	FRD3	117,5	128	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP2	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	Turbidez	0,96	0,56	0,02	0,24	0,42
	Cor aparente	28	28	22	23	24
	pH	6,18	6,59	6,87	7,59	7,56
	Temperatura	25,3	26,7	26,2	24	24,8
	Abs254	0,084	0,443	0,272	0,253	0,166
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,074	0,405	0,250	0,252	0,145
	MON (mg/L)	2,7	2,4	1,8	1,9	1,9
11h00	Turbidez	0,86	0,53	0,38	0,26	0,25
	Cor aparente	26	26	24	24	23
	pH	6,86	6,97	7,29	7,38	7,52
	Temperatura	26,2	28,2	27,2	27,3	27,4
	Abs254	0,191	0,254	0,134	0,279	0,269
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,154	0,180	0,113	0,245	0,177
	MON (mg/L)	2,2	1,8	1,3	1,6	1,6
13h00	Turbidez	0,83	0,46	0,14	0,19	0,25
	Cor aparente	29	27	26	26	25
	pH	7,68	7,63	7,63	7,80	7,75
	Temperatura	26,6	27	27	26,3	26,4
	Abs254	0,145	0,143	0,133	0,135	0,140
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,098	0,122	0,100	0,096	0,104
	MON (mg/L)	2,7	2,4	1,7	1,9	2,2
15h00	Turbidez	0,60	0,48	0,19	0,14	0,15
	Cor aparente	23	26	24	25	27
	pH	7,99	7,67	7,63	7,75	7,76
	Temperatura	26,6	25,6	25,8	26,7	26,7
	Abs254	0,040	0,146	0,133	0,080	0,141
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,082	0,030	0,091	0,129	0,036
	MON (mg/L)	2,8	2,4	1,8	1,9	1,8
17h00	Turbidez	0,65	0,34	0,16	0,16	0,12
	Cor aparente	30	30	27	26	27
	pH	7,81	7,67	7,76	7,84	7,80
	Temperatura	27,4	26,4	25,6	25,6	25,2
	Abs254	0,188	0,238	0,178	0,260	0,227
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,101	0,113	0,155	0,214	0,048
	MON (mg/L)	2,9	2,2	1,8	1,7	1,9
19h00	Turbidez	0,83	0,23	0,02	0,12	0,17
	Cor aparente	27	27	23	23	23
	pH	7,81	7,63	7,61	7,63	7,66
	Temperatura	24,6	24,8	24,2	23,9	24,1
	Abs254	0,138	0,054	0,096	0,153	0,144
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,090	0,094	0,077	0,068	0,137
	MON (mg/L)	2,2	1,7	1,2	1,4	1,3
21h00	Turbidez	0,98	0,45	0,12	0,12	0,13
	Cor aparente	28	27	24	24	23
	pH	7,69	7,62	7,66	7,75	7,77
	Temperatura	25,7	25,6	25,5	25,1	25,0
	Abs254	0,244	0,238	0,262	0,185	0,136
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,267	0,185	0,048	0,089	0,120
	MON (mg/L)	3,3	2,5	2,3	2,5	2,4

Data: 29/01/14

## ENSAIO 3

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
120/160	157	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 3 para esta carreira de filtração.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{f i}$  (Reservatório de coagulante): 29cm

Volume gasto: 18 L.

Data: 29/01/14

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
HORA	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotâmetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 3	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	2262	----	36556	170	----	170	60	60	50
11h00	2262	----	36582	170	----	170	60	60	50
13h00	2262	----	36610	170	----	170	60	60	50
15h00	2262	----	36635	170	----	170	60	60	50
17h00	2262	----	36664	170	----	170	60	60	50
19h00	2262	----	36690	170	----	170	60	60	50
21h00	2262	----	36716	170	----	170	60	60	50

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
09h00	FAP 3	43	38	38	38	38	31,5
	FRD1	120	151	-	-	-	-
	FRD2	122	140	-	-	-	-
	FRD3	120	125	-	-	-	-
11h00	FAP 3	45	38,5	38,5	38	38	31,5
	FRD1	120	153,5	-	-	-	-
	FRD2	121,5	142	-	-	-	-
	FRD3	119,5	126	-	-	-	-
13h00	FAP 3	51	38,5	38,5	38	38	31,5
	FRD1	120	153,5	-	-	-	-
	FRD2	121	145	-	-	-	-
	FRD3	119	127	-	-	-	-
15h00	FAP 3	55	38,5	38,5	38	38	31,5
	FRD1	120	154	-	-	-	-
	FRD2	121	146	-	-	-	-
	FRD3	118,5	126,5	-	-	-	-
17h00	FAP 3	59	39	39	39	39	31,5
	FRD1	119,5	157	-	-	-	-
	FRD2	120,5	145	-	-	-	-
	FRD3	118	128	-	-	-	-
19h00	FAP 3	63	39	39	39	39	31,5
	FRD1	119,5	160	-	-	-	-
	FRD2	120	145	-	-	-	-
	FRD3	118	129	-	-	-	-
21h00	FAP 3	67	39	39	39	39	31,5
	FRD1	119	168	-	-	-	-
	FRD2	119,5	146	-	-	-	-
	FRD3	117	130	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP3	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	Turbidez	0,94	0,02	0,02	0,02	0,38
	Cor aparente	18	18	18	18	20
	pH	8,08	7,82	7,76	7,85	7,93
	Temperatura	26	25,6	26,1	25,4	24,8
	Abs254	0,158	0,151	0,160	0,138	0,139
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,128	0,114	0,112	0,098	0,113
	MON (mg/L)	2,6	2,3	2,1	2,2	2,1
11h00	Turbidez	1,55	0,21	0,02	0,02	0,25
	Cor aparente	20	18	16	17	16
	pH	7,87	7,75	7,79	7,81	7,82
	Temperatura	25	26,8	27,4	27,4	26,6
	Abs254	0,192	0,197	0,198	0,196	0,204
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,182	0,179	0,193	0,188	0,188
	MON (mg/L)	3,3	2,7	2,1	2,4	2,5
13h00	Turbidez	0,87	0,23	0,02	0,02	0,21
	Cor aparente	21	20	19	19	20
	pH	6,78	6,81	6,85	6,86	6,90
	Temperatura	25,8	25,6	26,1	25,7	26,1
	Abs254	0,134	0,131	0,121	0,120	0,118
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,112	0,126	0,091	0,102	0,105
	MON (mg/L)	2,7	2,5	2,2	2,2	2,3
15h00	Turbidez	0,98	0,24	0,02	0,02	0,23
	Cor aparente	25	19	17	21	19
	pH	6,73	6,86	6,98	7,51	7,95
	Temperatura	25,8	27,1	27,6	26,5	25,8
	Abs254	0,134	0,129	0,125	0,134	0,129
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,131	0,114	0,110	0,133	0,090
	MON (mg/L)	2,8	2,7	2,3	2,3	2,4
17h00	Turbidez	0,80	0,02	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	26	21	17	18	19
	pH	7,94	7,96	7,91	7,89	7,89
	Temperatura	24,3	25,3	24,6	24,6	24
	Abs254	0,204	0,206	0,185	0,196	0,180
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,203	0,178	0,176	0,186	0,177
	MON (mg/L)	2,5	2,1	1,4	1,8	1,5
19h00	Turbidez	0,76	0,02	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	24	24	19	19	18
	pH	7,87	7,88	7,90	7,87	7,91
	Temperatura	25	25,6	25,7	26,6	25,8
	Abs254	0,199	0,187	0,176	0,186	0,189
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,177	0,165	0,169	0,178	0,181
	MON (mg/L)	2,7	2,1	1,5	1,4	1,4
21h00	Turbidez	0,85	0,02	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	26	25	18	18	18
	pH	7,60	7,69	7,70	7,74	7,76
	Temperatura	26	24,6	25,7	25,6	25,5
	Abs254	0,203	0,199	0,196	0,188	0,187
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,201	0,195	0,191	0,182	0,177
	MON (mg/L)	2,6	2,0	1,7	1,7	1,8

Data: 04/12/13

## ENSAIO 4

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
120/160	157	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 4 para esta carreira de filtração.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{f,i}$  (Reservatório de coagulante): 28cm

Volume gasto: 19 L.

Data: 04/12/13

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP4	FRD1	FRD2	FRD3
08h30	2258	----	36325	160	----	160	50	60	50
10h30	2258	----	36363	160	----	160	50	60	50
12h30	2258	----	36398	160	----	160	50	60	50
14h30	2258	----	36430	150	----	150	50	60	40
16h30	2258	----	36457	160	----	160	50	60	50
18h30	2258	----	36496	160	----	160	50	60	50
20h30	2258	----	36530	160	----	160	50	60	50

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
08h30	FAP 4	46	43,5	43,5	43	43	38,5
	FRD1	120	138,5	-	-	-	-
	FRD2	120	135	-	-	-	-
	FRD3	118	120	-	-	-	-
10h30	FAP 4	47,5	43,5	43,5	43,5	43	38,5
	FRD1	119,5	145	-	-	-	-
	FRD2	119,5	138,5	-	-	-	-
	FRD3	117	124	-	-	-	-
12h30	FAP 4	49	43	43	43	43	38,5
	FRD1	118,5	141	-	-	-	-
	FRD2	117,5	135	-	-	-	-
	FRD3	116,5	124	-	-	-	-
14h30	FAP 4	51,5	43	43	43	43	38,5
	FRD1	118	143	-	-	-	-
	FRD2	117	136	-	-	-	-
	FRD3	116	123	-	-	-	-
16h30	FAP 4	54	43	43	43	43	38,5
	FRD1	117	142,5	-	-	-	-
	FRD2	117	136,5	-	-	-	-
	FRD3	115,5	123	-	-	-	-
18h30	FAP 4	62	43,5	43,5	43,5	43	38,5
	FRD1	117	142	-	-	-	-
	FRD2	116,5	141,5	-	-	-	-
	FRD3	115	124	-	-	-	-
20h30	FAP4	63	43,5	43,5	43,5	43	38,5
	FRD1	116,5	147	-	-	-	-
	FRD2	116,5	141,5	-	-	-	-
	FRD3	115	124	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP4	FRD1	FRD2	FRD3
08h30	Turbidez	0,82	0,54	0,16	0,25	0,15
	Cor aparente	28	30	26	24	26
	pH	6,36	6,52	6,70	6,94	7,13
	Temperatura	25,9	26,7	26,1	24,8	25,6
	Abs254	0,284	0,133	0,184	0,258	0,244
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,054	0,100	0,128	0,224	0,232
	MON (mg/L)	2,8	2,4	1,9	1,9	2,2
10h30	Turbidez	0,70	0,37	0,17	0,24	0,15
	Cor aparente	31	25	24	24	25
	pH	7,49	7,46	7,56	7,89	7,85
	Temperatura	26,5	28,2	27,8	25	25,8
	Abs254	0,243	0,178	0,229	0,230	0,053
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,156	0,149	0,149	0,148	0,051
	MON (mg/L)	1,9	1,7	1,2	1,4	1,6
12h30	Turbidez	0,80	0,32	0,02	0,21	0,02
	Cor aparente	31	26	28	27	26
	pH	7,66	7,60	7,66	7,67	7,71
	Temperatura	26,6	28,2	29	29,2	29,5
	Abs254	0,146	0,100	0,081	0,071	0,112
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,075	0,094	0,072	0,044	0,108
	MON (mg/L)	2,2	2,0	1,6	1,7	1,9
14h30	Turbidez	0,55	0,24	0,16	0,02	0,14
	Cor aparente	33	27	26	25	24
	pH	6,42	6,60	6,77	7,07	7,18
	Temperatura	25,7	26,5	26,7	26,2	26,1
	Abs254	0,150	0,091	0,128	0,150	0,093
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,130	0,042	0,120	0,132	0,106
	MON (mg/L)	2,1	1,7	1,3	1,5	1,5
16h30	Turbidez	0,62	0,20	0,14	0,16	0,23
	Cor aparente	29	25	25	24	24
	pH	6,68	6,76	7,05	7,19	7,36
	Temperatura	28	27	27,1	26	26,3
	Abs254	0,119	0,094	0,082	0,346	0,025
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,078	0,080	0,032	0,069	0,013
	MON (mg/L)	2,4	2,1	1,7	1,7	1,8
18h30	Turbidez	0,48	0,22	0,20	0,21	0,17
	Cor aparente	31	28	24	25	25
	pH	8,46	8,30	8,15	8,16	8,15
	Temperatura	26,7	25,9	25,7	26,1	25,2
	Abs254	0,441	0,238	0,714	0,329	0,061
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,231	0,209	0,686	0,244	0,182
	MON (mg/L)	1,8	1,5	1,3	1,4	1,4
20h30	Turbidez	0,43	0,24	0,02	0,02	0,19
	Cor aparente	28	25	25	25	26
	pH	7,94	7,99	8,02	8,03	8,03
	Temperatura	26,6	25,4	24,2	26,1	25,7
	Abs254	0,290	0,379	0,253	0,252	0,274
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,198	0,240	0,136	0,244	0,250
	MON (mg/L)	2,3	2,0	1,7	1,7	1,9

Data: 20/02/14

## ENSAIO 5

PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
180/240	240	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 1 para o ensaio.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{f,i}$  (Reservatório de coagulante): 28cm

Volume gasto: 19 L.

Data: 20/02/14

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 1	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	2275	----	36707	240	----	230	85	70	75
11h00	2275	----	36750	240	----	240	85	70	75
13h00	2275	----	36809	240	----	240	85	70	75
15h00	2275	----	36852	240	----	230	85	75	75
17h00	2275	----	36909	240	----	240	80	80	80
19h00	2275	----	36955	240	----	235	75	85	80
21h00	2275	----	37011	240	----	240	75	85	80

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
09h00	FAP 1	47	40	40	40	39,5	39
	FRD1	115	150	-	-	-	-
	FRD2	119,5	137	-	-	-	-
	FRD3	113,5	128	-	-	-	-
11h00	FAP 1	51	40	40	40	39,5	39
	FRD1	115	154	-	-	-	-
	FRD2	119,5	140,5	-	-	-	-
	FRD3	113,5	130	-	-	-	-
13h00	FAP 1	61	39,5	39,5	39,5	39	38,5
	FRD1	115	157	-	-	-	-
	FRD2	120	142	-	-	-	-
	FRD3	113,5	130	-	-	-	-
15h00	FAP 1	68,5	39	39	39	39	38,5
	FRD1	115	160	-	-	-	-
	FRD2	118	143	-	-	-	-
	FRD3	113,5	131,5	-	-	-	-
17h00	FAP 1	78	39	39	39	39	38,5
	FRD1	114,5	160	-	-	-	-
	FRD2	118	147,5	-	-	-	-
	FRD3	113,5	134	-	-	-	-
19h00	FAP 1	88	39,5	39	39	39	38,5
	FRD1	114,5	163	-	-	-	-
	FRD2	118	150	-	-	-	-
	FRD3	113,5	135	-	-	-	-
21h00	FAP1	93	39	39	39	39	38,5
	FRD1	114,5	166,5	-	-	-	-
	FRD2	118	152	-	-	-	-
	FRD3	113,5	136,5	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP2	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	Turbidez	0,56	0,41	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	19	16	14	14	16
	pH	6,16	6,26	6,52	6,64	6,81
	Temperatura	25,3	24,8	25,2	25,4	24,9
	Abs254	0,097	0,078	0,069	0,070	0,073
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,089	0,074	0,067	0,068	0,070
	MON (mg/L)	2,7	2,2	1,7	1,8	1,7
11h00	Turbidez	0,62	0,38	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	21	20	15	16	15
	pH	6,49	6,58	6,86	7,11	7,19
	Temperatura	27,7	27,9	28,3	27,7	27,3
	Abs254	0,095	0,068	0,059	0,059	0,063
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,092	0,062	0,058	0,056	0,058
	MON (mg/L)	2,6	1,9	1,8	1,8	1,7
13h00	Turbidez	0,58	0,28	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	23	20	19	20	19
	pH	6,97	6,98	6,98	7,07	7,10
	Temperatura	27,9	28,0	28,5	28,2	27,3
	Abs254	0,088	0,059	0,049	0,052	0,054
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,085	0,056	0,048	0,051	0,050
	MON (mg/L)	2,5	2,1	1,8	1,9	2,0
15h00	Turbidez	0,68	0,38	0,02	0,02	0,14
	Cor aparente	25	22	21	22	21
	pH	6,98	7,03	7,04	7,03	7,12
	Temperatura	27,4	27,6	27,8	28,1	27,6
	Abs254	0,099	0,067	0,064	0,066	0,067
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,085	0,67	0,063	0,060	0,063
	MON (mg/L)	2,6	2,4	1,9	2,1	2,0
17h00	Turbidez	0,65	0,36	0,02	0,02	0,18
	Cor aparente	19	18	15	17	16
	pH	6,44	6,58	6,70	6,82	6,91
	Temperatura	26,5	25,9	26,7	26,1	25,8
	Abs254	0,110	0,051	0,049	0,032	0,044
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,101	0,048	0,045	0,029	0,038
	MON (mg/L)	2,8	2,4	2,1	2,3	2,2
19h00	Turbidez	0,73	0,31	0,02	0,02	0,16
	Cor aparente	23	20	16	15	16
	pH	6,93	7,02	7,21	7,33	7,38
	Temperatura	26,7	26,2	26,4	26,6	26,8
	Abs254	0,081	0,059	0,037	0,038	0,046
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,071	0,048	0,032	0,034	0,038
	MON (mg/L)	2,7	2,1	1,5	1,8	1,9
21h00	Turbidez	0,70	0,36	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	23	20	18	17	18
	pH	7,12	7,18	7,20	7,19	7,24
	Temperatura	25,5	25,8	25,9	25,5	25,9
	Abs254	0,105	0,089	0,074	0,075	0,084
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,097	0,085	0,067	0,069	0,082
	MON (mg/L)	2,8	2,3	1,9	1,9	2,0

Data: 27/02/14

## ENSAIO 6

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
180/240	240	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Para este ensaio, utilizou-se o FAP 2.

V<sub>i</sub> (Reservatório de coagulante): 44cm

V<sub>f i</sub> (Reservatório de coagulante): 26 cm

Volume gasto: 21 L.

Data: 03/12/2013

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumens acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 2	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	2273	----	37055	240	----	230	75	80	75
11h00	2273	----	37106	240	----	235	75	85	75
13h00	2273	----	37155	240	----	230	70	90	80
15h00	2273	----	37207	240	----	240	70	90	80
17h00	2273	----	37263	240	----	240	70	85	85
19h00	2273	----	37316	240	----	240	70	90	80
21h00	2273	----	37364	240	----	240	70	90	80

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
09h00	FAP 2	41	40	40	39,5	39,5	38
	FRD1	120	146	-	-	-	-
	FRD2	119	141	-	-	-	-
	FRD3	118	128	-	-	-	-
11h00	FAP 2	44	40	40	39,5	39,5	38
	FRD1	120	149	-	-	-	-
	FRD2	119	143	-	-	-	-
	FRD3	118	131	-	-	-	-
13h00	FAP 2	50	40	40	40	39,5	38
	FRD1	119	151	-	-	-	-
	FRD2	118	144	-	-	-	-
	FRD3	117	131,5	-	-	-	-
15h00	FAP 2	57	40	40	40	39,5	38
	FRD1	118,5	154	-	-	-	-
	FRD2	118	151,5	-	-	-	-
	FRD3	116,5	134	-	-	-	-
17h00	FAP 2	70	40	40	40	39,5	38
	FRD1	118	155	-	-	-	-
	FRD2	117,5	153	-	-	-	-
	FRD3	116	135	-	-	-	-
19h00	FAP 2	83	40	40	40	40	38
	FRD1	118,5	159	-	-	-	-
	FRD2	119	157	-	-	-	-
	FRD3	116	141	-	-	-	-
21h00	FAP2	91	40	40	40	40	38
	FRD1	118	168	-	-	-	-
	FRD2	119	167	-	-	-	-
	FRD3	116	148	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP 2	FRD1	FRD2	FRD3
09h00	Turbidez	0,60	0,32	0,02	0,02	0,14
	Cor aparente	20	17	14	14	14
	pH	8,26	7,94	7,80	7,75	7,77
	Temperatura	24,6	23,8	25,1	25,3	24,2
	Abs254	0,086	0,054	0,039	0,048	0,047
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,078	0,053	0,035	0,039	0,038
	MON (mg/L)	2,5	2,2	1,9	2,0	2,1
11h00	Turbidez	0,72	0,43	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	22	19	17	17	18
	pH	7,82	7,76	7,98	7,84	7,76
	Temperatura	25,6	26,6	26,5	26,7	26,8
	Abs254/Abs254 <sub>filtrada</sub>	0,094	0,056	0,043	0,049	0,054
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,093	0,052	0,042	0,042	0,052
	MON (mg/L)	2,7	2,4	2,2	2,4	2,3
13h00	Turbidez	0,68	0,39	0,02	0,12	0,02
	Cor aparente	24	21	18	19	18
	pH	7,87	7,88	7,92	7,91	7,90
	Temperatura	27,4	27,8	27,9	27,4	28,1
	Abs254	0,067	0,035	0,026	0,035	0,034
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,056	0,030	0,019	0,031	0,029
	MON (mg/L)	2,5	2,1	1,8	1,9	1,8
15h00	Turbidez	0,56	0,29	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	25	22	20	20	21
	pH	7,76	7,76	7,78	7,83	7,82
	Temperatura	27,8	27,9	28,3	28,1	28,4
	Abs254	0,046	0,031	0,028	0,029	0,026
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,038	0,029	0,018	0,019	0,021
	MON (mg/L)	2,4	2,2	1,7	1,7	1,8
17h00	Turbidez	0,79	0,37	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	23	19	16	16	17
	pH	6,73	6,93	7,09	7,23	7,33
	Temperatura	27,1	27,2	27,0	26,4	23,5
	Abs254	0,030	0,026	0,026	0,024	0,026
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,028	0,022	0,024	0,024	0,023
	MON (mg/L)	2,6	2,0	1,5	1,7	1,8
19h00	Turbidez	0,68	0,034	0,02	0,02	0,11
	Cor aparente	24	22	18	19	19
	pH	7,45	7,56	7,46	7,48	7,50
	Temperatura	26,7	26,7	26,5	26,3	26,8
	Abs254	0,043	0,028	0,018	0,023	0,027
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,039	0,021	0,017	0,021	0,022
	MON (mg/L)	2,5	2,0	1,7	1,9	1,8
21h00	Turbidez	0,77	0,43	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	22	19	16	15	17
	pH	7,78	7,79	7,80	7,83	7,88
	Temperatura	25,4	25,4	25,2	25,7	25,8
	Abs254	0,056	0,038	0,022	0,037	0,038
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,049	0,029	0,018	0,031	0,022
	MON (mg/L)	2,6	1,9	1,5	1,4	1,8

Data: 13/03/14

## ENSAIO 7

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
180/240	240	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 3 neste ensaio.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{f,i}$  (Reservatório de coagulante): 27cm

Volume gasto: 20 L.

Data: 13/03/14

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 3	FRD1	FRD2	FRD3
06h00	2270	----	37400	240	----	230	80	80	70
08h00	2270	----	37447	240	----	230	75	85	65
10h00	2270	----	37494	235	----	230	75	85	70
12h00	2270	----	37539	240	----	235	75	85	70
14h00	2270	----	37584	235	----	240	80	80	75
16h00	2270	----	37630	240	----	230	80	80	70
18h00	2270	----	37677	240	----	240	80	80	75

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
06h00	FAP 3	45	39	39	39	38,5	36
	FRD1	120,5	150	-	-	-	-
	FRD2	119,5	142,5	-	-	-	-
	FRD3	121	129	-	-	-	-
08h00	FAP 3	52	39	39	39	38,5	36
	FRD1	120	153	-	-	-	-
	FRD2	119	146	-	-	-	-
	FRD3	118,5	130	-	-	-	-
10h00	FAP 3	55	39	39	39	39	36
	FRD1	120	155	-	-	-	-
	FRD2	119	147	-	-	-	-
	FRD3	118,5	132	-	-	-	-
12h00	FAP 3	57	39	39	39	39	36
	FRD1	119,5	156	-	-	-	-
	FRD2	118,5	149	-	-	-	-
	FRD3	118,5	135	-	-	-	-
14h00	FAP 3	62	39	39	39	39	36
	FRD1	120	158	-	-	-	-
	FRD2	119	151	-	-	-	-
	FRD3	118	136	-	-	-	-
16h00	FAP 3	69	39	39	39	39	36
	FRD1	120	162	-	-	-	-
	FRD2	119	153	-	-	-	-
	FRD3	118	139	-	-	-	-
18h00	FAP 3	78	39	39	39	39	36
	FRD1	119,5	165	-	-	-	-
	FRD2	118,5	155	-	-	-	-
	FRD3	118	139	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP3	FRD1	FRD2	FRD3
06h00	Turbidez	1,34	0,19	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	17	14	11	12	14
	pH	6,41	6,55	6,75	6,91	7,06
	Temperatura	26,3	24,9	24,6	24,3	23,7
	Abs254	0,055	0,043	0,039	0,029	0,032
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,038	0,041	0,038	0,029	0,030
	MON (mg/L)	3,1	2,7	2,5	2,6	2,6
08h00	Turbidez	0,77	0,32	0,02	0,02	0,22
	Cor aparente	17	16	14	15	14
	pH	7,09	7,50	7,69	7,66	7,67
	Temperatura	26,8	23,4	23,3	23,4	23,6
	Abs254	0,065	0,032	0,021	0,022	0,022
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,052	0,025	0,018	0,020	0,021
	MON (mg/L)	2,9	2,7	2,7	2,6	2,6
10h00	Turbidez	0,72	0,35	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	19	17	15	14	15
	pH	7,23	7,28	7,38	7,54	7,66
	Temperatura	24,5	24,6	24,6	25,1	25,2
	Abs254	0,080	0,045	0,039	0,038	0,037
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,054	0,039	0,028	0,031	0,029
	MON (mg/L)	2,6	2,2	2,0	2,0	2,1
12h00	Turbidez	0,92	0,41	0,02	0,02	0,13
	Cor aparente	20	18	16	16	17
	pH	7,25	7,28	7,30	7,33	7,41
	Temperatura	25,1	25,2	25,4	25,4	24,9
	Abs254	0,092	0,059	0,049	0,047	0,049
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,075	0,048	0,038	0,046	0,042
	MON (mg/L)	2,7	2,5	2,1	2,2	2,1
14h00	Turbidez	0,76	0,31	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	21	17	14	15	15
	pH	7,25	7,21	7,31	7,33	7,48
	Temperatura	26,8	26,5	26,5	26,4	26,7
	Abs254	0,057	0,037	0,022/	0,025	0,027
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,025	0,014	0,015	0,019	0,018
	MON (mg/L)	2,8	2,4	1,8	2,0	2,3
16h00	Turbidez	0,68	0,34	0,02	0,02	0,11
	Cor aparente	19	16	14	14	15
	pH	7,28	7,25	7,31	7,56	7,68
	Temperatura	26,9	26,7	26,5	26,6	26,4
	Abs254	0,086	0,036	0,021	0,025	0,019
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,072	0,019	0,010	0,022	0,017
	MON (mg/L)	2,7	2,5	2,1	2,3	2,3
18h00	Turbidez	0,84	0,29	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	22	18	15	15	16
	pH	7,11	7,25	7,24	7,35	7,47
	Temperatura	25,4	25,6	25,4	25,8	25,6
	Abs254	0,075	0,056	0,038	0,039	0,044
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,065	0,041	0,022	0,027	0,033
	MON (mg/L)	2,9	2,5	1,9	2,0	2,2

Data: 02/04/14

## ENSAIO 8

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Q coag prevista (L/h)
180/240	240	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Utilizamos o FAP 4 para este ensaio.

$V_i$  (Reservatório de coagulante): 44cm

$V_{f.i}$ (Reservatório de coagulante): 26cm

Volume gasto: 21 L.

Data: 02/04/14

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotômetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 4	FRD1	FRD2	FRD3
08h15	2273	----	37712	240	----	240	70	80	70
10h15	2273	----	37760	240	----	230	75	80	80
12h15	2273	----	37817	240	----	240	75	80	75
14h15	2273	----	37867	250	----	240	70	85	70
16h15	2273	----	37920	245	----	240	70	85	70
18h15	2273	----	37969	245	----	240	70	85	75
20h15	2273	----	38019	245	----	240	70	85	75

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
08h15	FAP 4	41	45,5	45,5	45	45	35
	FRD1	121	157	-	-	-	-
	FRD2	122	150	-	-	-	-
	FRD3	120	126	-	-	-	-
10h15	FAP 4	55	45	45	45	44,5	35
	FRD1	121	152	-	-	-	-
	FRD2	122	145	-	-	-	-
	FRD3	118,5	131	-	-	-	-
12h15	FAP 4	68	45	45	45	44,5	35
	FRD1	120	150	-	-	-	-
	FRD2	120	144	-	-	-	-
	FRD3	118	132,5	-	-	-	-
14h15	FAP 4	89	45	45	45	44,5	35
	FRD1	120	152	-	-	-	-
	FRD2	120,5	145,5	-	-	-	-
	FRD3	118	133,5	-	-	-	-
16h15	FAP 4	109	45,5	45,5	45	44,5	35
	FRD1	120	155	-	-	-	-
	FRD2	120	147	-	-	-	-
	FRD3	117	133,5	-	-	-	-
18h16	FAP 4	128	45,5	45,5	45,5	45	35
	FRD1	119,5	157	-	-	-	-
	FRD2	119	149	-	-	-	-
	FRD3	117	134	-	-	-	-
20h15	FAP 4	135	45,5	45,5	45,5	45	35
	FRD1	119,5	159	-	-	-	-
	FRD2	118,5	152	-	-	-	-
	FRD3	117	137	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP4	FRD1	FRD2	FRD3
08h15	Turbidez	1,10	0,34	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	29	16	11	12	12
	pH	8,27	7,93	7,88	7,84	7,82
	Temperatura	23,3	24,3	24,5	24,7	24,4
	Abs254	0,099	0,052	0,038	0,039	0,041
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,074	0,044	0,034	0,035	0,039
	MON (mg/L)	2,6	1,9	1,4	1,6	1,7
10h15	Turbidez	0,98	0,39	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	26	21	18	18	19
	pH	6,90	7,21	7,32	7,21	7,16
	Temperatura	24,2	24,1	24,3	23,9	24,5
	Abs254	0,087	0,053	0,031	0,037	0,048
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,055	0,025	0,021	0,036	0,041
	MON (mg/L)	2,6	2,0	1,7	1,7	1,9
12h15	Turbidez	0,87	0,42	0,02	0,02	0,12
	Cor aparente	24	21	18	17	18
	pH	7,46	7,49	7,51	7,54	7,68
	Temperatura	27,2	27,3	26,5	26,4	26,1
	Abs254	0,103	0,039	0,031	0,028	0,037
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,088	0,021	0,026	0,023	0,014
	MON (mg/L)	2,5	1,9	1,6	1,8	1,8
14h15	Turbidez	0,61	0,22	0,13	0,02	0,21
	Cor aparente	23	18	16	17	16
	pH	6,30	6,90	7,21	7,23	7,23
	Temperatura	23,2	22,8	23,6	23,1	23,2
	Abs254	0,088	0,065	0,036	0,033	0,039
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,066	0,054	0,022	0,022	0,021
	MON (mg/L)	2,3	2,1	1,7	1,8	1,9
16h15	Turbidez	0,73	0,28	0,02	0,02	0,13
	Cor aparente	23	21	19	18	19
	pH	7,23	7,25	7,46	7,24	7,52
	Temperatura	24,6	24,5	24,1	24,6	24,2
	Abs254	0,085	0,056	0,039	0,032	0,039
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,043	0,022	0,027	0,014	0,026
	MON (mg/L)	2,5	2,4	2,0	2,0	2,2
18h15	Turbidez	0,53	0,23	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	22	20	18	19	18
	pH	7,62	7,64	7,68	7,85	7,84
	Temperatura	23,5	23,8	23,8	23,9	24,2
	Abs254	0,102	0,058	0,046	0,038	0,045
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,045	0,037	0,029	0,031	0,037
	MON (mg/L)	2,2	2,1	1,9	1,9	1,8
20h15	Turbidez	1,18	0,24	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	22	18	17	17	18
	pH	6,32	6,55	6,83	7,15	7,35
	Temperatura	24,7	25,3	25,2	25,3	23,9
	Abs254	0,110	0,077	0,031	0,032	0,039
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,085	0,052	0,022	0,027	0,027
	MON (mg/L)	2,8	2,6	2,1	2,3	2,2

Data: 09/04/14

## ENSAIO 9

PLANAJAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS OPERACIONAIS							
TF prevista (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Q prevista	V agitador (rpm)	GMR (S <sup>-1</sup> )	TMR (S)	Coagulante	D coag prevista (mg/L)	Dosagem Cl <sub>2</sub> (mg/L)
180/240	240	450	800	-	PAC	1,0	2,0

**Anotações e Cálculos**

Para este ensaio, utilizou-se as melhores condições encontradas nos ensaios 1-8, referente ao uso do FAP e a taxa aplicada.

Melhor FAP: FAP 4

Melhor Taxa: FAP: 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e FRDA: 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

V<sub>i</sub> (Reservatório de coagulante): 44cm

V<sub>f i</sub> (Reservatório de coagulante): 26cm

Volume gasto: 21 L.

Data: 09/04/14

Velocidades, volume acumulados, vazões instantâneas									
Data	V CMB (rpm)		Volumes acumulados e vazões instantâneas						
HORA	AB	INT	Hidrômetro (m <sup>3</sup> )	Vazões nos rotâmetros (L/h)					
				CMB AB	CMB INT	FAP 4	FRD1	FRD2	FRD3
07h15	2275	----	38061	240	----	240	80	80	70
09h15	2275	----	38112	240	----	240	85	80	70
11h15	2275	----	38161	240	----	220	75	70	75
13h15	2275	----	38208	240	----	240	80	80	70
15h15	2275	----	38266	245	----	230	70	85	75
17h15	2275	----	38315	245	----	240	80	85	70
19h15	2275	----	38362	240	----	235	70	85	80

LEITURAS DE NÍVEIS DOS PIEZÔMETROS DOS FILTROS (cm)							
HORA	FILTROS	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
07h15	FAP 4	43	38	38	38	37,5	35
	FRD1	118	130	-	-	-	-
	FRD2	120	139	-	-	-	-
	FRD3	116	127	-	-	-	-
09h15	FAP 4	49	38	38	38	37,5	34
	FRD1	119	155	-	-	-	-
	FRD2	119	146	-	-	-	-
	FRD3	117	129	-	-	-	-
11h15	FAP 4	53	38	38	38	38	34
	FRD1	119,5	157	-	-	-	-
	FRD2	119	149	-	-	-	-
	FRD3	119	136	-	-	-	-
13h15	FAP 4	56	38	38	38	38	34
	FRD1	119,5	156	-	-	-	-
	FRD2	119	154	-	-	-	-
	FRD3	118,5	139	-	-	-	-
15h15	FAP 4	60	38	38	38	38	34
	FRD1	120	159	-	-	-	-
	FRD2	120	155	-	-	-	-
	FRD3	119	136	-	-	-	-
17h16	FAP 4	68	38	38	38	38	34
	FRD1	121	160	-	-	-	-
	FRD2	119	153	-	-	-	-
	FRD3	119	139	-	-	-	-
19h15	FAP 4	75	38	38	38	38	34
	FRD1	120	166	-	-	-	-
	FRD2	119	157	-	-	-	-
	FRD3	119	143	-	-	-	-

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFLUENTES TRATADOS						
HORA	VARIÁVEL	AB	FAP4	FRD1	FRD2	FRD3
07h15	Turbidez	1,32	0,45	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	27	11	9	10	10
	pH	7,90	8,00	8,38	8,22	8,15
	Temperatura	24,4	24,9	26,1	25,6	25,2
	Abs254	0,209	0,191	0,183	0,187	0,188
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,156	0,147	0,126	0,135	1,138
	MON (mg/L)	2,0	1,6	1,0	1,2	1,1
09h15	Turbidez	1,08	0,37	0,02	0,02	0,12
	Cor aparente	26	13	12	14	13
	pH	7,98	8,00	8,04	8,03	8,08
	Temperatura	24,3	25,3	25,4	24,5	25,7
	Abs254	0,199	0,192	0,179	0,181	0,179
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,149	0,144	0,141	0,143	0,143
	MON (mg/L)	1,8	1,6	1,2	1,3	1,4
11h15	Turbidez	0,90	0,41	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	28	12	11	11	11
	pH	7,45	7,46	7,48	7,48	7,49
	Temperatura	24,3	24,1	24,4	25,6	25,3
	Abs254	0,235	0,227	0,220	0,227	0,224
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,120	0,117	0,115	0,115	0,116
	MON (mg/L)	2,2	1,7	1,4	1,6	1,6
13h15	Turbidez	1,10	0,33	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	27	10	10	10	10
	pH	7,78	7,78	7,79	7,80	7,81
	Temperatura	23,0	23,6	23,8	24,8	25,1
	Abs254	0,236	0,214	0,210	0,211	0,214
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,148	0,132	0,128	0,130	0,131
	MON (mg/L)	2,3	1,9	1,2	1,4	1,3
15h15	Turbidez	0,96	0,41	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	28	11	10	10	10
	pH	7,90	7,91	7,92	7,91	7,90
	Temperatura	24,2	24,5	24,7	25,8	25,1
	Abs254	0,264	0,233	0,231	0,233	0,233
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,123	0,114	0,110	0,111	0,114
	MON (mg/L)	1,8	1,5	0,9	1,0	0,9
17h16	Turbidez	0,87	0,38	0,02	0,02	0,02
	Cor aparente	26	13	12	12	12
	pH	7,73	7,71	7,74	7,74	7,78
	Temperatura	24,1	24,2	24,6	24,8	25,0
	Abs254	0,265	0,245	0,238	0,239	0,240
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,174	0,160	0,151	0,153	0,153
	MON (mg/L)	2,1	1,8	1,3	1,4	1,3
19h15	Turbidez	0,98	0,31	0,02	0,02	0,08
	Cor aparente	28	11	10	10	11
	pH	7,45	7,53	7,52	7,57	7,63
	Temperatura	23,1	23,4	23,1	23,7	24,5
	Abs254	0,227	0,201	0,194	0,199	0,200
	ABS254 <sub>filtrada</sub>	0,134	0,098	0,085	0,089	0,091
	MON (mg/L)	2,3	1,9	1,4	1,4	1,5