



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

THAIS CAVALCANTE DE BARROS

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM FILTROS DO TIPO RÁPIDO DE
FLUXO DESCENDENTE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PRE-
CLORAÇÃO.**

Delmiro Gouveia/AL

2019



THAIS CAVALCANTE DE BARROS

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM FILTROS DO TIPO RÁPIDO DE
FLUXO DESCENDENTE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PRE-
CLORAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antonio Oliveira Netto

Delmiro Gouveia/AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

B277a Barros, Thais Cavalcante de

Avaliação da remoção de turbidez em filtros do tipo rápido de fluxo descendente sob diferentes concentrações de pré-cloração / Thais Cavalcante de Barros. – 2019.

78 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto .
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Estação de Tratamento de Água - ETA. 2. Turbidez. 3. Controle e remoção de turbidez. 4. Pré-cloração. 5. Sulfato de alumínio. 6. Filtro rápido. 7. Filtro de fluxo descendente. I. Título.

CDU: 628.161.2

FOLHA DE APROVAÇÃO

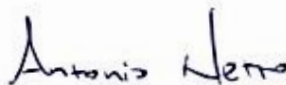
THAIS CAVALCANTE DE BARROS

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM FILTROS DO TIPO RÁPIDO DE FLUXO DESCENDENTE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PRE-CLORAÇÃO

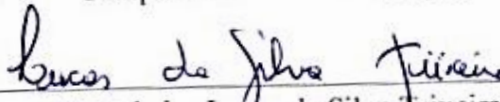
Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, campus do Sertão.

Data de Aprovação: 11/04/2013.

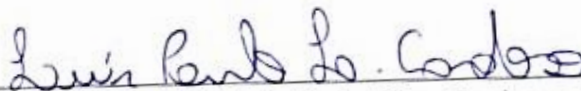
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus do Sertão - Orientador



Engenheiro Lucas da Silva Teixeira
Examinador



Engenheiro Luis Paulo Lima Cardoso
Examinador

Dedico este trabalho a minha mãe, Ligia Cavalcante que ao longo da minha formação não mediu esforços para me auxiliar a superar os obstáculos. Aos meus avôs, em memória, que torceram muito por mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus a minha infinita gratidão, por sempre estar presente na minha vida.

Agradeço a todos da minha família. Aos meus pais, em especial a minha mãe, Ligia Cavalcante, que sempre me deu o total suporte e participou de cada etapa vivida nesta caminhada. Aos meus irmãos Thulio Luiz e Thamiris por toda cumplicidade durante os momentos importantes da minha vida. Muito obrigada, amo vocês!

As minhas fieis amigas Helena Vanderlei e Danyele Ventura, pela contribuição valiosa na reta final deste trabalho. Pela disposição em me ajudar no último ensaio, pelo auxílio na correção deste trabalho. Adoro vocês.

Agradeço as minhas amigas e companheiras Rosineide Gonçalves, Raniele da Silva, Janicleia Santos, Maria Marcela Aquino e Luclécia Santos, por todos os momentos vividos na jornada acadêmica. Obrigada pelos conselhos, palavras de apoio e risadas. Só tenho a agradecer pela amizade construída.

Ao meu orientador Antonio Netto, pela confiança depositada na pesquisa, contribuindo de forma tão importante na minha formação.

A CASAL, que forneceu todos os meios necessários para a realização dos experimentos dessa dissertação.

Às pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

E por fim, aos membros da banca, que se dispuseram a conhecer, avaliar e contribuir para a melhoria deste trabalho.

A água é o princípio de todas as coisas.

Tales de Mileto

RESUMO

A qualidade da água de abastecimento público afeta diretamente na saúde da população. Por essa razão o Ministério da Saúde mediante a Portaria 2914/11 exige o controle da turbidez através dos limites máximos estabelecidos para água após a filtração que, para os filtros rápidos é 0,5 uT e 1,0 uT para os filtros lentos, visando a remoção de microrganismos patogênicos presentes na água bruta. O estudo da qualidade da água bruta e da água filtrada é fundamental na identificação de falhas e consequente proposição de melhorias para atender à Portaria vigente. O presente estudo desenvolvido na Estação de Tratamento de Água – ETA Alto Sertão consistiu na avaliação da eficiência de remoção da turbidez em dez filtros rápidos descendentes, em função de diferentes concentrações da pré-cloração. Esta avaliação por meio de análises realizadas através da coleta da turbidez da água nas entradas e nas saídas dos filtros em horários diferentes permitiu observar o comportamento dessas unidades sob as condições operacionais. Através dos dados obtidos analisou-se a eficiência na remoção da turbidez dos filtros com uma pré-cloração relativamente baixa variando de 20 kg/d há 25 kg/d em que apenas duas unidades apresentaram remoção de 51%, enquanto que as oito unidades alcançaram remoções inferiores a 32%, quando utilizado uma concentração maior de 40kg/d há 50kg/d na cloração foi constatado maiores percentuais de remoção da turbidez no processo de filtração, com uma diferença de até 30% . Apesar da redução da turbidez ser representativa, conclui-se que a água filtrada não atende, na média, ao Padrão de potabilidade para esse parâmetro.

Palavras-chave: Filtros; Pré-cloração; Turbidez; Eficiência; Portaria 2914, Estação de Tratamento de água.

ABSTRACT

The quality of public water supply directly affects the health of the population. For this reason, the Ministry of Health through Ordinance 2914/11 requires the control of turbidity through the maximum limits established for water after filtration, which for the fast filters is 0.5 uT and 1.0 uT for the slow filters, aiming the removal of pathogenic microorganisms present in raw water. The study of the quality of raw water and filtered water is fundamental in the identification of flaws and consequent proposition of improvements to meet the current Ordinance. The present study developed in the Water Treatment Station - ETA Alto Sertão consisted in the evaluation of the efficiency of turbidity removal in ten descending rapids filters, as a function of different pre-chlorination concentrations. This evaluation by means of the analyzes carried out by collecting the turbidity of the water in the entrances and exits of the filters at different times allowed to observe the behavior of these units under the operational conditions. The turbidity removal efficiency of the filters with a relatively low pre-chlorination ranging from 20 kg / d for 25 kg / d in which only two units showed a 51% removal, while the eight units reached removals of less than 32%, when using a concentration greater than 40kg / d there was 50kg / d in chlorination, it was observed higher percentages of turbidity removal in the filtration process, with a difference of up to 30%. Although the turbidity reduction is representative, it is concluded that the filtered water does not meet, on average, the Potability standard for this parameter.

Keywords: Filtration; Pre-chlorination; Turbidity; Efficiency; Potability 2914; Water treatment station.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Arranjo de filtro lento com elementos básicos de projeto..... | 21 |
| Figura 2: Localização da ETA. Fonte: Google Earth..... | 35 |
| Figura 3: Representação esquemática do processo de tratamento de água na ETA e pontos de coleta das amostras..... | 36 |
| Figura 4: Captação da água bruta que alimenta a ETA..... | 37 |
| Figura 5: Unidades de filtração mostrada em um lado da ETA, vista 01..... | 40 |
| Figura 6: Uma das unidades de Filtração da ETA, vista 02..... | 40 |
| Figura 7: Turbidímetro de modelo AP2000 e recipiente usado para coleta..... | 43 |
| Figura 8: Coleta da água na entrada dos filtros..... | 44 |
| Figura 9: Etapa inicial dos filtros do tipo rápido descendente..... | 63 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Período de amostragem, etapa1..... | 46 |
| Quadro 2: Período de amostragem, etapa 2..... | 47 |
| Quadro 3: Estatística de ensaio do ano de 2018..... | 49 |
| Quadro 4: Estatística de ensaio do ano de 2017..... | 50 |
| Quadro 5: Valores máximos e mínimos destacado do gráfico 2 | 52 |
| Quadro 6: Valores máximos e mínimos destacado do gráfico 7..... | 59 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Comportamento da turbidez média da água bruta durante o ano de 2018..... | 48 |
| Gráfico 2: Representação gráfica da eficiência dos filtros no período em análise...52 | |
| Gráfico 3: Média da eficiência dos filtros 1,2,3,4 e5 de acordo com a distribuição na estação..... | 53 |
| Gráfico 4: Média da eficiência dos filtros 6,7,8,9 e 10 de acordo com a distribuição na estação..... | 54 |
| Gráfico 5: Eficiência dos filtros que foram lavados no dia 05 de julho..... | 55 |
| Gráfico 6: Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1,5,6 e10 (monitoramento 05/07/2018) | 56 |
| Gráfico 7: Representação gráfica da eficiência dos filtros no período de 05/03/2019..... | 59 |
| Gráfico 8: Média da eficiência dos filtros do 1 a 5..... | 60 |
| Gráfico 9: Média da eficiência dos filtros do 6 a 10..... | 60 |
| Gráfico 10: Valores de turbidez da água filtrada pelo filtro 7 monitorada a cada 20 min..... | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Valores indicados pela norma para os parâmetros hidráulicos dos filtros | 18 |
| Tabela 2: Valores padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção Valor máximo permitido..... | 23 |
| Tabela 3: Resumo das recomendações que constam na NBR 12216..... | 31 |
| Tabela 4: Discriminação de algumas características do equipamento..... | 43 |
| Tabela 5: Ensaio correspondentes ao monitoramento do comportamento dos filtros | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Objetivos | 16 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 16 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 2.1 Tipos de Filtros em ETAs | 17 |
| 2.1.1 Filtros rápidos | 19 |
| 2.1.2 Filtros lentos | 20 |
| 2.2 Remoção De Turbidez | 23 |
| 2.2.1 Pré-cloração (desinfecção com cloro e seus derivados) | 28 |
| 2.2.2 Sulfato de Alumínio | 29 |
| 2.3 Fatores que Influenciam na Remoção de Turbidez | 29 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| 3.1 Área de estudo | 34 |
| 3.1.1 Descrição dos processos e etapas da ETA | 37 |
| 3.1.2 Limitações da ETA | 41 |
| 3.2 Turbidez | 42 |
| 3.3 Descrição do equipamento utilizado | 42 |
| 3.4 Qualidade da água bruta e tratada | 43 |
| 3.5 Análises realizadas | 44 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 48 |
| 4.1 Caracterização mensal da água bruta e da água tratada | 48 |
| 4.2 Processo de coleta de dados nos filtros através do ensaio de turbidez | 51 |
| 4.2.1 1º Etapa | 51 |
| 4.2.2 2º Etapa | 58 |
| 4.3 Qualidade da água após a limpeza do filtro | 62 |
| 4.4 Análise descritiva dos dados | 64 |
| 4.5 Proposição de Melhorias | 64 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 66 |
| REFERÊNCIAS | 68 |
| APÊNDICES | 71 |

1. INTRODUÇÃO

A água é um componente indispensável para o bem-estar de todos os seres vivos. A expansão das cidades acompanhada do crescimento da população dos últimos anos trouxe uma série de atividades antrópicas relacionadas ao lançamento de resíduos nos rios e lagos, esse cenário preocupante tem como consequência a degradação da qualidade dos recursos hídricos, aliada as alterações nas características físicas da água como a turbidez.

A turbidez pode ser entendida como a propriedade óptica de absorção e reflexão da luz, causado pela presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, representadas por argilas, silte, areia, matéria orgânica em geral. A presença desses materiais normalmente interfere na análise da água, além de estarem associados a microrganismos como bactérias e protozoários que utilizam as partículas responsáveis pela turbidez como forma de proteção a etapa de desinfecção (FERREIRA, 2014).

Diante disso, com comprometimento da qualidade da água surgem várias doenças de veiculação hídrica que são consideradas um problema para a saúde humana, essa preocupação no âmbito do abastecimento público requer uma atuação preventiva mediante ao uso de indicadores de qualidade da água, tarefa está, indispensável para as estações de tratamento de água, e é por essa razão que a redução da turbidez é tão importante, pois afeta diretamente na melhoria da qualidade de vida da população.

Tendo em vista a necessidade de produzir uma água potável e segura do ponto de vista químico e microbiológico as ETAs visam atender a um Padrão de Potabilidade estabelecido pela portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde, que determina a turbidez como um dos requisitos de aceitação da água tratada. De maneira geral, as unidades de filtração devem atender aos os limites máximos de turbidez estabelecidos para água após a filtração que, para os filtros rápidos é 0,5 uT e 1,0 uT para os filtros lentos.

Para atender a esse critério as ETAs utilizam como um indicador de eficiência da remoção de turbidez os sistemas de filtração, razão pela qual a unidade é o principal responsável pela remoção de microrganismos patogênicos, portanto, quanto

menor o valor da turbidez da água filtrada melhores serão as condições para uma boa desinfecção.

Nesse contexto, a avaliação da eficiência de remoção de turbidez nos filtros se configura como uma ferramenta importante no diagnóstico da situação da ETA em termos de adequabilidade da qualidade da água. Com o aumento da presença de novas substâncias tóxicas e microrganismos nos mananciais é necessária uma estratégia com o uso de produtos químicos no processo de tratamento capaz de auxiliar na remoção de turbidez nas ETAs. Dessa forma é fundamental o pré-tratamento químico no desenvolvimento das unidades de filtração.

No tratamento convencional os filtros rápidos de fluxo descendentes normalmente são os mais utilizados, apesar disso são poucos os estudos relacionados à eficiência dessas unidades na remoção de turbidez, visto que considerando as variações da qualidade da água se torna um desafio produzir uma água com qualidade. De acordo com Lúcio (2013) no Brasil é observado que existem dificuldades para que várias ETAs não atendam ao Padrão de Potabilidade relacionado a turbidez da água tratada, uma delas é a falta de mão de obra qualificada, esse problema impede que seja realizado o monitoramento da qualidade da água para corrigir ou prevenir erros nas unidades.

Para tentar melhorar a eficiência dos sistemas de filtração, promover a pré-cloração (antes das etapas seguintes do tratamento convencional) com o objetivo de favorecer a formação dos flocos através da reação do cloro auxiliando na remoção de turbidez, pode ser uma medida para adequação e otimização da ETA Alto Sertão, da qual é abastecida pela a água bruta proveniente do Canal do Sertão que possui em épocas distintas matéria orgânica, além disso é um tratamento químico prévio que possui uma estreita relação com o processo de filtração.

Diante da temática apresentada, o presente estudo propõe avaliar a eficiência do sistema de filtração na remoção da turbidez através de análises da água na entrada e da água filtrada na saída, na ETA Alto Sertão administrada pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) cujo tratamento é de ciclo completo, verificando se os filtros rápidos de fluxo descendente que compõe a unidade são considerados satisfatórios de acordo com os valores de filtração recomendados pela Portaria Vigente.

O acompanhamento do comportamento dos filtros no decorrer do período de análise possibilita a identificação de possíveis falhas no procedimento de operação na unidade. Tendo em vista a problemática discutida é que o presente trabalho consistiu especificamente avaliar a qualidade da água filtrada produzida na ETA com a influência do emprego da pré-cloração conforme concentrações diferentes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da tecnologia de filtração na remoção de turbidez para aplicação em águas que abastecem a ETA Alto Sertão, em função do tipo de filtro descendente utilizado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento teórico sobre o funcionamento dos tipos de filtros de uma estação de tratamento de água e a relação do coagulante Sulfato de Alumínio na remoção de turbidez da água.
- Analisar a qualidade da água que abastece a unidade de tratamento e a produzida em termos de turbidez.
- Demonstrar a eficiência dos filtros antes e depois da ETA passar a empregar uma concentração maior da pré-cloração, identificando as condições operacionais dessas unidades.
- Propor ações que diminuam a turbidez na saída do tratamento da ETA, visando minimizar os riscos de saúde pública.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tipos de Filtros em ETAs

A filtração constitui um dos principais processos do tratamento de água de uma ETA que, segundo Ghisi (2016), cabe à filtração a função essencial de remoção das partículas responsáveis pela cor e turbidez, de modo que o fluido passe através de um meio poroso capaz de remover ou reter a matéria em suspensão e contaminantes biológicos resistentes a desinfecção. É uma etapa que garante a correção de possíveis falhas ocorridas na coagulação, floculação e sedimentação.

De acordo com Brinck (2009), o filtro é considerado uma barreira final no tratamento de água, para a eliminação de material particulado de todos os tamanhos presentes na água bruta ou que tenha sido gerado ao longo dos processos de tratamento, no qual esses materiais causam o aumento de turbidez. Portanto a filtração representa um importante mecanismo efetivo na remoção de partículas indesejadas incluindo algas, compostos húmicos coloidal e outros organismos de modo a produzir um fluido mais limpo com pequenas impurezas capazes de serem retiradas na desinfecção de forma satisfatória.

Para Braga (2014), os filtros a serem usados em um sistema de tratamento de água são determinados de acordo com a taxa de filtração máxima, onde os valores correspondentes são recomendados pela NBR 12216 (1992). Assim os filtros podem ser denominados de filtros rápidos e filtros lentos, sendo o filtro rápido o mais usado no sistema convencional de tratamento.

Os filtros são classificados da seguinte forma de acordo com Ghisi (2016):

1. Quantidade de camadas, (um meio filtrante, duas ou múltiplas camadas em série).
2. Conforme o fluxo, (ascendente; descendente e bifluxo).
3. Segundo o material do meio granular, (areia; carvão e areia; carvão, granada e areia) dentre outros.
4. De acordo com a taxa de filtração (lentos e rápidos).
5. Dependendo da pressão presente (superfície sob pressão e de gravidade).

Já segundo Vieira (2013), o tipo de filtração varia de acordo com a velocidade com que o líquido atravessa o meio poroso, sendo esses caracterizados como filtro lento ou rápido. O filtro é chamado de lento, quando a taxa de filtração é baixa e a velocidade com que a água passa pelo leito filtrante também, já quando a taxa de filtração é alta, o filtro é denominado filtro rápido. O autor ainda menciona a areia, carvão ativado e antracito como meio granular usual.

Dependendo das características encontradas nas águas superficiais que abastecem as ETAs, a presença de partículas em suspensão pode determinar o tipo de tratamento a ser utilizado, dessa forma Lucio (2013) apresenta que a escolha do tipo de filtração também depende da turbidez na água bruta a ser tratada, no qual a filtração lenta é adequada para tratar águas com índice de turbidez menor que de 20 uT, já a filtração utilizada no sistema convencional é apropriada para turbidez elevada maior de 100 uT.

A taxa de filtração citada é um dos critérios usados para diferenciar os tipos de filtros mencionados, os valores podem ser encontrados através de ensaios de filtração, na qual a NBR 12216 (1992) recomenda valores para quando não for possível a realização do ensaio. Os valores estão indicados na tabela 1.

Tabela 1: Valores indicados pela norma para os parâmetros hidráulicos dos filtros

| Tipo de Filtro | Taxa de Filtração Máxima |
|---|--------------------------------------|
| Lento | $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ |
| Rápido (Meio filtrante- Camada Simples) | $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ |
| Rápido (Meio filtrante- Camada Dupla) | $360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ |

Fonte: NBR 12216 (1992).

No decorrer de um ciclo de uma unidade de filtração as impurezas são retidas no meio granular ficando repleto de material orgânico, para tanto é preciso manter o desempenho do tratamento realizando a lavagem dos filtros. A lavagem remove o material contido na camada de filtração pela ação de jatos de água no sentido ascensional ou por meio de injeção de ar que pode ser aplicada antes ou durante a passagem de água, esses são um dos métodos utilizados conforme Franco (2009) menciona.

A lavagem dos filtros tipo rápido é realizada periodicamente em intervalos de 24 a 72 horas, que duram cerca de 10 a 25 minutos, ou quando a altura de lâmina de água estiver alta por causa da perda de carga no meio filtrante, que é consequência da elevação de material sólidos suspensos nos vazios. Já os filtros lentos possuem intervalos maiores entre uma lavagem e outra Pizzolatti (2010) discorre que a limpeza deverá ser feita removendo a superfície da camada filtrante colmatada de acordo com algumas técnicas.

Outra tecnologia usada para o processo de filtração são as membranas apresentadas por Oliveira (2010), é um tratamento de águas de abastecimento usado em estações convencionais mais compactas, os métodos existentes se dividem em quatro categorias, conhecidos por microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. O estudo realizado pelo autor mostra a utilização dessa tecnologia em países como Japão, China, Estados Unidos dentre outros, por ser um equipamento excelente na remoção de poluentes da água, como também ter grande potencial na dessalinização, contudo não é muito empregado no Brasil.

Para melhor entendimento dos filtros rápidos e lentos será demonstrado a seguir a composição e funcionamento de cada um.

2.1.1 Filtros rápidos

A filtração rápida compõe filtros de altas taxas, com elevada velocidade de escoamento, cuja passagem da água previamente tratada passe através de um leito granular, no qual o fluxo usual é descendente, podendo ser chamado de filtros por gravidade ou por pressão de acordo com Brinck (2009). Fernandes (2014) cita que esse tipo de filtro a depender do tipo de ETA, tipo de material filtrante e ação da profundidade trabalham com taxas de filtração de 80 e $600m^3/m^2d$.

Kerry et al. (2016), explica que é comum encontrar filtros rápidos com uma composição física apresentando uma estrutura profunda aberta ao ambiente feito de concreto armado, onde a água chega no filtro através de uma calha de alimentação na sua extremidade que na maioria das vezes as mesmas são usadas para coleta da água de lavagem. A água passa pelo material granular combinado com uma camada suporte e coletada pelo sistema de drenagem transportada para reservatórios.

De forma geral, os filtros rápidos usuais apresentam fluxo descendente, seu meio filtrante pode ser formado de uma única camada de areia com 0,6 a 0,8 m de espessura, ou por duas camadas uma sobre a outra, sendo a primeira de areia com 0,2 a 0,3 m de espessura e a segunda de antracito com 0,45 a 0,6 m de espessura, sendo que qualquer uma das combinações precisa de uma camada suporte composta por pedregulhos de 0,5 m (ABREU,2009).

A remoção de partículas é realizada através de mecanismos físicos e químicos no qual se destaca o transporte, aderência e desprendimento. Depois que as partículas ficam retidas no meio filtrante devido os mecanismos citados, será indispensável à lavagem dos filtros caso o valor máximo de turbidez (0,5 uT) seja superado através da perda de carga no meio filtrante, bem como aumento de turbidez causado pela passagem das partículas explica Ferreira (2014). Com o propósito de permitir a retirada de impurezas contidas no material granular, é usando água tratada no sentido ascensional se o fluxo for descendente com velocidade adequada capaz de expandir o material filtrante removendo a sujeira.

É dito filtração rápida quando a água bruta é submetida a todas as etapas preliminares ao processo de filtração: coagulação, floculação, seguida da decantação ou não, contudo quando o processo compreende filtros rápidos exclusivamente usados para remoção do material suspenso na água bruta, sem o uso das unidades de floculação e decantação, é chamado de filtração direta (HELLER E PÁDUA, 2010).

O mesmo menciona algumas técnicas de tratamento da filtração direta, dentre elas a dupla filtração usual quando a água bruta é péssima, o fluido passa pela unidade de filtração ascendente e descendente. Assim, temos a filtração direta ascendente, quando a água já coagulada flui por meio da camada filtrante no sentido de baixo para cima, onde a água já filtrada sai por cima. A filtração direta descendente, oposto ao que se disse o fluido escoar de cima para baixo (ABREU,2009).

2.1.2 Filtros lentos

Ferraz e Paterniani (2002) descrevem que o filtro lento é capaz de produzir uma água potável com qualidade, permitindo melhorar suas propriedades químicas, físicas e bacteriológicas, filtro esse composto por um meio granular geralmente de areia e pedregulho com granulometria específica. Além disso, é um tratamento simples de baixo custo de implantação, sem a necessidade do uso de produtos químicos,

entretanto opera com uma vazão baixa, sem que a água bruta tenha cor e turbidez altas.

Há três tipos de filtros lentos: filtro lento descendente, ascendente e dinâmico. Dentre os parâmetros analisados dessa tecnologia de tratamento, temos a taxa de filtração num intervalo de 2 a $14\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ obtidos através da realização de ensaios, valores esses 50 vezes inferiores que os filtros rápidos, com taxas tão pequenas os filtros desempenham carreiras de filtração longas chegando há 61 dias, não afetando a qualidade da água (PIZZOLATTI,2010).

Alguns elementos são essenciais para garantir um bom desempenho de um filtro lento, tais como a dimensão da camada de areia, granulometria do meio filtrante e a taxa de filtração que, portanto, devem se mostrar efetivos na remoção do material suspenso e de organismos patogênicos. Observações feitas por Farias (2011), diz que a estrutura desse tipo de filtro é composta por uma entrada para receber a água bruta, uma camada de areia e outra de granulometria maior caracterizando a base por onde a água deve percorrer até chegar no sistema de drenagem. Estrutura essa apresentada na figura abaixo com valores recomendados pela literatura.

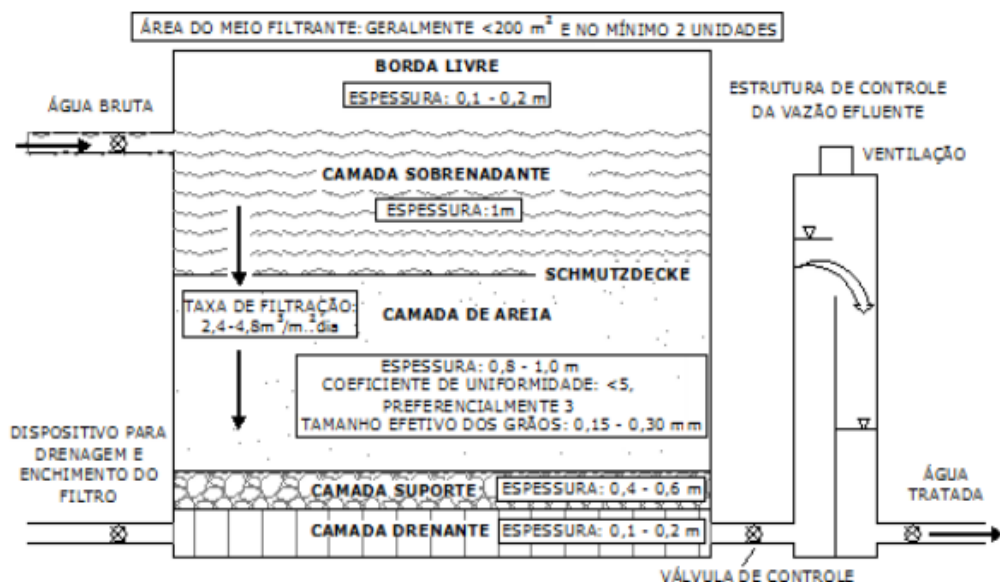


Figura 1: Arranjo de filtro lento com elementos básicos de projeto
Fonte: (FARIAS 2011).

Cabe ressaltar que os filtros lentos se tornaram uma solução satisfatória e sustentável devido seu custo operacional, são unidades que comparadas aos filtros rápidos não precisam de lavagem com frequência e o uso de aditivos, contudo, é um

sistema que precisa de grandes áreas para ser implantada e limitações referente às características da água, destacando o baixo nível de turbidez para operar de forma eficiente, isso porque uma turbidez elevada provoca um aumento da perda de carga levando a uma carreira de filtração de poucos dias.

Silveira e Coutinho (2016) menciona que a remoção de sólidos suspensos através da filtração depende de mecanismos de transporte e aderência que contribuem para um bom funcionamento do filtro lento, contudo, sua eficiência não depende apenas desses fenômenos, existem alguns aspectos que são essenciais como a concentração de sólidos em suspensão, métodos de operação do filtro, taxa de aplicação e outros como completa Souza (2015) que sugere fatores que influenciam na eficiência da filtração lenta, como:

- Qualidade da água, como parâmetro limitador do emprego da tecnologia apresentando turbidez de 10 uT tal qual é mais comum.
- Meio filtrante diretamente ligado a menor diâmetro efetivo comparado com os que são usados no filtro rápido, no qual para o filtro lento se resulta maior eficiência na remoção de turbidez dependendo do equilíbrio juntamente com a perda de carga.
- Presença de algas e microalgas, que podem ser um ponto positivo e negativo devido às algas exercerem papel fundamental na filtração lenta por facilitar a coesão do *schmutzdecke* (camada biológica) no topo do meio filtrante contribuindo significativamente para retenção de partículas, contudo em grande quantidade prejudicam o sistema.

O desempenho do filtro lento tem se mostrado eficiente na remoção de turbidez e cor aparente, como mostra o estudo realizado por Ishi (2013) que através de alternativas de retrolavagem utilizando água bruta e água filtrada, avaliou a eficiência do filtro lento em termos de alguns parâmetros como turbidez e cor aparente. O resultado das análises apresentou valores abaixo do valor máximo permitido para esta tecnologia de acordo com a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde, cujos respectivos valores foram 0,8 uT e 0,96 uT na saída do tratamento com remoção de 55% e 64% da cor aparente.

2.2 Remoção De Turbidez

Um dos principais indicadores da qualidade da água bruta é a turbidez, que através de parâmetros controlados pelo Ministério da Saúde, busca garantir água limpa para consumo, segundo Reis (2016), isso porque existe uma preocupação com microrganismos que permanecem com a adição de cloro na etapa de desinfecção das estações de tratamento de água, por isso a remoção da turbidez se tornou importante por ser um indicador de impurezas. Farias (2014) demonstra os valores especificados pela Portaria n° 2914/2011 com novo padrão de potabilidade da água para consumo humano, que estabelecendo parâmetro para limites de turbidez, considerando uma água de pós- filtração ou pré-desinfecção mostrado na tabela abaixo.

Tabela 2: Valores padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção - Valor máximo permitido

| TRATAMENTO DE ÁGUA | VPM ⁽¹⁾ |
|---|---|
| Desinfecção (para águas subterrâneas) | 1,0 uT⁽²⁾ em 95% das amostras |
| Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) | 0,5⁽³⁾ uT⁽²⁾ em 95% das amostras |
| Filtração lenta | 1,0⁽³⁾ uT⁽²⁾ em 95% das amostras |

Fonte: Adaptado de (FARIAS 2014).

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade de turbidez.

(3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º art.30.

Segundo Lopes (2008), a turbidez é expressa como uma medida que representa o grau de interferência com que um feixe de luz atravessa uma quantidade de água específica indicada em termos de unidade de turbidez (uT) ou pelas unidades nefelométricas de turbidez (NTU). É causada devido à presença de matéria em suspensão como argilas, areias, coloides, matérias orgânica e inorgânica, etc., que contidos na água é o motivo pelo qual exista uma alteração da penetração da luz através da difusão e absorção, ficando áreas propícias que livram os microrganismos

patogênicos de entrar em contato com a substância desinfetante, resultando numa água de potencial perigoso.

O método mais utilizado para determinar a turbidez em águas é chamado de unidade nefelométrica (Turbidímetro), que consiste em um aparelho com feixe de luz que incide na amostra e através de um detector fotoelétrico mede a intensidade da dispersão da luz em um ângulo de 90° em relação à luz incidente, assim a turbidez será fornecida de acordo com a suspensão padrão de referência, quanto maior o espalhamento da luz maior a turbidez (CORREIA *et al*,2008).

Dessa forma avalia-se a turbidez como uma propriedade que simboliza o somatório de alguns contaminantes, que em outras palavras é um indicador usado para controle de qualidade de um sistema de tratamento de água, como também parâmetro de projeto, isso porque a escolha do processo de remoção mais apropriado é feita baseada pelo tamanho e natureza das partículas que causam a turbidez. Os problemas relacionados à turbidez vão desde a aparência estética da água até a transmissão de doenças, por isso é preciso que a turbidez esteja dentro dos limites exigidos já mostrados na tabela 2.

Neste contexto, Di Bernardo (2004), demonstra que o comportamento dessas partículas no meio dispersante encontra-se vinculado a suas dimensões (tamanho, forma e composição), entendido como três fenomenologias a medida que tenham soluções significando o fracionamento das partículas, dispersões coloidais quando acontece a divisão ocasionando um tempo maior para sedimentar e suspensões de acordo com a separação de fases através da decantação em tempo menor. Para Marques (2016) esse entendimento é de fundamental importância para definir o comportamento dos flocos em continuar íntegros para que tenham força capaz de preservar sua coesão e suportar os processos do tratamento proporcionando uma eficiente decantação.

Do mesmo modo Lédo (2008) menciona que é através da adição de produtos químicos que o conjunto de mecanismos como, agregação das partículas coloidais, aglomeração e floculação envolvendo a desestabilização de suspensão coloidal de partículas sólidas é adquirida. O processo de coagulação e floculação exerce a função dominante nas ETAs, isso por ser uma etapa de alteração físico-química de partículas coloidais contidas na água definindo assim a desenvoltura das demais fases, principalmente sobre o desempenho das unidades filtrantes.

De acordo com a influência causada pela presença das partículas em suspensão na água devido à condição de qualidade dos mananciais, no atual momento o propósito fundamental das estações de tratamento convencionais é a remoção da turbidez. Desta forma, Franco (2009) realizou um estudo sobre a influência de dois coagulantes tipicamente mais utilizados em ETAs convencionais, o sulfato de alumínio e cloreto férrico, com o objetivo de remover a turbidez e cor da água bruta e a sua ligação com sólidos que geram o lodo na estação. O estudo realizado pelo autor possibilitou o comparativo de amostras de duas ETAs distintas com seus respectivos valores de turbidez, que através de ensaios de bancada com Jar- Test foram encontradas as dosagens ótimas para cada situação no qual verificou-se qual dosagem apresentou maior remoção de turbidez.

Assim, os testes mostraram que as dosagens ótimas para os dois coagulantes aumentam com a turbidez da água bruta até valores de turbidez iguais para um determinado valor referente à água bruta coagulada, e permanecem constantes para valores posteriores, conforme em uma das situações onde o valor de turbidez obtido variou de 50uT a 500uT, com dosagens ótimas constantes para valores de turbidez entre 300uT e 500uT sendo possível observar através de gráficos que para esse caso as dosagens ótimas do sulfato de alumínio em relação ao cloreto férrico foi menor, significando que para atingir a remoção de 500uT por exemplo, foi necessário uma dosagem de 10mg/L enquanto para o cloreto férrico uma dosagem equivalente a 15mg/L.

De forma análoga, o comportamento de cada situação ocorreu em função de um dos mecanismos de coagulação (varredura e adsorção) que influenciaram a variação das dosagens ótimas para uma melhor remoção da turbidez. Com a correlação entre a turbidez da água bruta e os sólidos produzidos no lodo do decantador, foi possível determinar a forma e tratamento final desse lodo com os dados da turbidez da água bruta, como também facilitar a construção de um cronograma de operação de uma estação de tratamento de água através do conhecimento desses materiais.

Por isso a importância do uso de coagulantes vem do conceito de que grande parte das impurezas contidas na água bruta não decantem com facilidade, por isso é essencial a ação da coagulação na etapa inicial para desestabilização das partículas

formando coágulos e em seguida flocos que por meio da força gravitacional decantem, facilitando a remoção e desempenho nos filtros.

Braga (2005) descreveu o estudo realizado por Haarhoff e Cleasby (1989), sobre a influência da coagulação e floculação na etapa do tratamento de água, procedendo a um aumento na eficiência da remoção de partículas grandes e pequenas. Quando não havia a floculação, ocorria o transpasse da turbidez através do material filtrante causado pelo tamanho das partículas que não chegaram a obter tamanho ideal para remoção. Normalmente isso acontece devido a agregação das partículas se realizarem no interior do leito filtrante principalmente quando a camada possui espessura pequena tornando-a propícia a ocorrência, mas facilmente corrigidas quando as partículas se agregam antes de chegar ao filtro, tornando mais eficiente a remoção no meio filtrante.

Bof (2007) cita o diagrama de coagulação para águas sintéticas e naturais, como um instrumento utilizado por vários autores que avalia a remoção de turbidez da água baseada em condições de pH e dosagens de sulfato de alumínio. Em um teste realizado por Mendes (1989) em laboratório com característica de turbidez igual a 200 uT, observou-se que quando a coagulação é usada posterior a floculação o mecanismo de varredura é mais eficiente com maior remoção de turbidez, esse mecanismo se caracteriza pela geração de flocos mais compactos resultando em uma sedimentação rápida, demonstrado no diagrama como regiões que tiveram remoção de 80% obtida com mecanismo de adsorção e neutralização de carga e 95% para zona de varredura.

Ainda conforme o autor independente do mecanismo de coagulação por varredura ou adsorção e neutralização de cargas, o principal fator de influência na remoção são as circunstâncias de como se encontra o pH de coagulação, tipo e dosagem do coagulante. Contudo, Voltan (2007) descreve que é importante saber que não existe valores de dosagem ótima de coagulante, muito menos de pH de coagulação ótima, o que temos é que para cada situação, existe um par de valores (dosagem de coagulante x pH de coagulação) que leva em consideração alguns fatores da água em estudo.

Nesse sentido, vários trabalhos são desenvolvidos com o objetivo de apresentar alternativas eficientes que reduzam a turbidez, conforme Padilha *et al.* (2011) que realizou uma análise de remoção de turbidez de água para consumo

testando três tipos de coagulantes. O ensaio foi realizado com equipamento de bancada, onde levou-se em consideração turbidez remanescente inicial de 41,4 uT e pH de 6,6, depois de concluída as etapas de coagulação, floculação e sedimentação, as amostras foram avaliadas quanto a turbidez, no qual com o uso de cloreto férrico com dosagem de 15 mg/L demonstrou uma remoção próximo a 5,0 uT, o sulfato de alumínio com mesma dosagem também se mostrou eficiente com resultados melhores comparados com o cloreto férrico, e por fim o PAC que conseguiu com uma dosagem de 10 mg/L atingir valores próximos a zero. Com isso o autor destaca a importância da escolha do coagulante na etapa inicial do tratamento como forma de influência de todo tratamento de água.

Tomando como base a importância da adição de produtos químicos para uma melhor eficiência na remoção de turbidez, na literatura alguns autores desenvolveram pesquisas com sistemas de filtração sendo esses constituídos por camada única composta de areia, duas camadas combinada de areia e antracito ou múltiplas camadas, visando diminuir os custos com produtos químicos em ETAs. Em algumas dissertações e teses desenvolvidas, se associam a tecnologia de filtração rápida e lenta conforme trabalhos apresentados a seguir.

Di Bernardo (2004), apresenta com base em um experimento a análise em dois sistemas distintos de filtro de camadas diferentes para reduzir o uso do sulfato de alumínio com resultados significativos menores que 0,5 uT. Avaliação do tipo de material filtrante de filtros rápidos por gravidade de camada profunda, realizado por Brinck (2009) mostram através de ensaios que o antracito é essencial, os resultados desta pesquisa evidenciam os benefícios em termos de qualidade e economia. O comportamento do filtro composto por antracito como material filtrante se mostrou mais eficiente de acordo com os parâmetros analisados, sendo um deles a turbidez, semelhante à pesquisa de Silveira e Coutinho (2016) buscaram estudar uma tecnologia econômica para o tratamento de água utilizando filtro de múltiplas camadas para a remoção de turbidez que mostraram eficiência 88,2% para carreira de alta turbidez, já Alcantara (2010) avaliou a remoção de turbidez em condições limites em sistema de dupla filtração, comparando a eficiência de dois leitos filtrantes com porosidades diferentes de filtro rápido.

É bastante comum algumas ETAs do tipo convencional utilizem algum tipo de desinfetante na etapa de pré-cloração para promover a eliminação de bactérias e

microrganismos, o seu uso pode promover a oxidação da matéria orgânica facilitando a remoção de turbidez nas unidades de filtração. Conforme já mencionado a coagulação é um composto eficiente, que auxilia no desempenho dos filtros em remover as partículas que causam a turbidez, sua aplicação deve ser realizada principalmente nos períodos chuvosos devido à elevação de turbidez na água a ser tratada. Dessa forma é mostrado o tipo de desinfecção e coagulação química mais utilizada por ETAs.

2.1.2 Pré-cloração (desinfecção com cloro e seus derivados)

Assim que a água chega à ETA ela é misturada com cloro, esse procedimento é chamado de pré-cloração. A desinfecção da água por meio de cloração é uma das etapas do tratamento de água realizada em muitas ETAs Brasileiras que fazem a captação da água bruta em mananciais superficiais com presença de matéria orgânica natural, como microalgas e cianobactérias. O objetivo principal do uso de desinfetantes é inativar organismos patogênicos que causam riscos à saúde da população.

De acordo com Campos (2014) o uso do cloro na desinfecção é eficiente de baixo custo econômico e operacional, possuindo não só a característica primária dos desinfetantes como também, a reação de oxidação que atua sobre a matéria orgânica capaz de proporcionar a melhoria da coagulação e da eficiência da filtração, remover cor, ferro, manganês, gosto e odor, e dentre várias outras melhorias em função do seu uso.

O autor menciona que quando aplicado cloro na água as reações podem ser imediatas ou não dependendo da sua concentração, que varia de acordo com as características da água a ser tratada. Entre os compostos originados estão o cloro residual, cloro residual livre e o cloro residual combinado.

O cloro pode ser facilmente encontrado na forma líquida (hipoclorito de sódio na forma em pó ou pastilhas), gasosa (Cl_2) e na forma sólida (hipoclorito de cálcio).

A cloração tem apresentado resultados satisfatórios na redução do risco de doenças proveniente da contaminação da água, entretanto segundo Marques (2016) alguns protozoários como o *Cryptosporidium* conseguem se proteger da ação da

desinfecção dentro dos flocos, e por isso a combinação entre um controle de turbidez dentro de um sistema de tratamento de água pode tornar a desinfecção eficiente.

Quando o tratamento não emprega a coagulação química, a filtração e a cloração são os principais responsáveis pela produção de uma água com qualidade adequada para o consumo humano.

2.2.2 Sulfato de Alumínio

As estações de tratamento convencionais utilizam o sulfato de alumínio comercial ($Al_2(SO_4)_3$) na solução líquida como coagulante. Esse produto é responsável pela desestabilização das partículas em suspensão que aderem umas às outras formando grandes flocos.

Segundo Franco (2009) o sulfato de alumínio comercial $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$ é um produto químico amplamente utilizado em estações de tratamento de água no Brasil e do mundo, é adicionado ao tratamento para a formação de flocos através da desestabilização das partículas presentes na água bruta. É um agente coagulante que pertence ao grupo dos sais metálicos a base de alumínio classificado como coagulante superior.

Dessa forma o coagulante vem se destacando por fatores de ordem econômica e pela eficiência na remoção de matéria orgânica e turbidez. De acordo com Medeiros (2015) o que mantém as partículas que caracterizam a turbidez em suspensão, são as forças eletrostáticas de repulsão que nos coloides, por exemplo, apresentam carga superficial negativa impedindo o contato entre as partículas, para que aconteça a desestabilização dessas partículas é preciso a formação de hidróxidos através da reação dos sais de Alumínio com a alcalinidade.

2.3 Fatores que Influenciam na Remoção de Turbidez

Ferreira (2014), explica que o desempenho das etapas iniciais do processo de tratamento de uma ETA interfere na etapa final, em razão das unidades estarem em sequência. Em se tratando de filtros, a produção de uma água potável com baixo valor de turbidez pode estar sujeita a alguns fatores que influenciam na remoção de turbidez de um sistema de tratamento de água, são eles:

- O modelo escolhido para o sistema de filtração;
- Espessura do meio filtrante;
- Composição do meio filtrante;
- Condições de operação das unidades anteriores a filtração;
- Maneira (modo, forma, método) como os filtros são lavados;

Para Di Bernardo (2003), a eficiência da filtração depende do comportamento das camadas relacionadas de acordo com as propriedades do meio filtrante (material utilizado, espessura da camada filtrante, tamanho efetivo, máximo e mínimo dos grãos), características principais da suspensão (tipo, tamanho e massa específica das partículas, etc.) e hidráulicas (método de controle da taxa e nível de água nos filtros, taxa de filtração e carga hidráulica disponível). O autor ressalta que no decorrer da filtração pode ocorrer à interrupção da carreira de filtração devido ao transpasse da turbidez, semelhança da perda de carga total e carga hidráulica disponível.

O conhecimento das características granulométricas que compõe o leito filtrante como o tamanho, forma, coeficiente de uniformidade dos grãos são parâmetros chave, que influenciam na eficiência dos filtros, sendo assim é fundamental realizar análises referentes a essas características para que os filtros tenham bom desempenho na remoção de turbidez (ABREU,2009).

Nesse contexto o dimensionamento das unidades de filtração precisa ter uma boa estrutura composta por um meio filtrante com um tamanho que garanta a retenção relevante de sólidos, bem como facilitar a limpeza no processo de lavagem. Com isso, seguindo uma recomendação da NBR 12216 (ABNT, 1992), devem ser realizados ensaios em filtro-piloto para determinar a espessura das camadas filtrantes, bem como o tamanho dos grãos e coeficiente de uniformidade. A norma formaliza valores mínimos para quando não houver ensaio, mostrados a seguir na tabela 3.

Tabela 3: Resumo das recomendações que constam na NBR 12216

| MEIO FILTRANTE | | EMÍN (cm) | DEF (mm) | COEF. UNIFORMIDADE |
|---|-----------|-----------|-------------|--------------------|
| Camada filtrante simples de areia (FRD) | | 45 | 0,45 – 0,65 | 1,4 – 1,6 |
| Camada filtrante simples de areia (FRA) | | 200 | 0,70 – 0,80 | ≤ 2,0 |
| Camada dupla (areia e antracito) | Areia | 25 | 0,40 – 0,45 | 1,4 – 1,6 |
| | Antracito | 45 | 0,80 – 1,00 | ≤ 1,4 |

Fonte: Adaptada de Ferreira (2014).

Estudo realizado por Alcantara (2010) verificou através de ensaios comparativos entre leitos filtrantes, que a associação de filtros promove um número maior de barreiras de proteção e uma maior remoção de microrganismos impedindo que ocorra o transpasse dos flocos no filtro.

Para Oliveira *et al.* (2006) a filtração é o processo mais afetado por erros operacionais, e por isso é preciso um cuidado maior. Assim é de grande importância a realização de uma avaliação frequente nos filtros para garantir menor turbidez na água filtrada, dessa forma com base na pesquisa dos autores quando existe um controle de rotina é possível resolver problemas nessas unidades. Em síntese, um dos parâmetros analisados no trabalho foi a lavagem dos filtros de duas ETAs, sendo que em uma delas a lavagens nos filtros eram realizadas de maneira diferenciada e por operadores diferentes, evidenciando através de três grupos os efeitos sobre a qualidade da água filtrada da carreira de filtração seguinte.

Das três situações apenas um procedimento de lavagem alcançou a meta de turbidez garantindo a adequada remoção de Oocistos protozoários com turbidez menor que 0,5uT, isso porque esse grupo apresentou pico de turbidez bem acentuado acima de 100 uT na água de lavagem dos filtros no início da operação (1 min), seguido por uma redução lenta na turbidez da água de lavagem, já na turbidez da água filtrada após a lavagem é apresentado um pico de turbidez de aproximadamente 1,70 uT em menos de 5 min, decrescendo rapidamente até se estabilizar abaixo 0,5 uT em 20 min.

Dessa maneira, quando se discute sobre o processo de filtração, inclui-se a lavagem de meios filtrantes como um critério importante, no qual ações operacionais mal executadas podem acarretar um aumento de turbidez na água filtrada. Brinck

(2009) menciona que a carreira de filtração deve ser suspensa de acordo com critérios de lavagem dos filtros mostrados abaixo:

- 1 Sempre que ocorrer o transpasse da turbidez na água filtrada, podendo comprometer sua qualidade sanitária;
- 2 Quando a perda de carga no filtro alcançar um valor limite determinado em projeto.

Assim, os filtros devem ser lavados logo após o final da carreira de filtração promovendo a eliminação do material orgânico, bactérias e partículas contidas na camada filtrante durante a filtração.

De acordo com Campos (2014) a lavagem dos filtros é indispensável, pois influencia na qualidade final da água filtrada, os problemas de uma lavagem inadequada podem acarretar o transpasse de partículas que foram retidas anteriormente no meio filtrante podendo ser observado na carreira de filtração seguinte, visto que a lavagem afeta diretamente no efluente final. Por essa razão existem três tipos de processos de lavagem de meios filtrantes, são eles: a) lavagem feita através da inserção de ar seguido de água; b) lavagem exclusivamente com água; e c) lavagem de ar e água simultaneamente.

Segundo a NBR 12216 (1992), é necessário que o tempo mínimo de lavagem ocorra entre 10 minutos e velocidade de lavagem menor que 60 cm/min para uma filtração descendente e 15 minutos com velocidade mínima de 80 cm/min em caso de filtro de fluxo ascendente. Lavagens por mais tempo pode contribuir para uma possível deterioração do leito filtrante.

Logo, para estabelecer um bom desempenho dos filtros de uma ETA é necessário efetuar o pré-tratamento de forma adequada, principalmente quando temos tratamento de ciclo completo no qual, a produção da água filtrada depende da coagulação e posteriormente da floculação que pode comprometer o comportamento da sedimentação e filtração. Dessa forma, Di Bernardo (2004) avalia os fatores intervenientes na etapa da coagulação, destacando as características da água como: pH, alcalinidade, turbidez, temperatura, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão, comportamento do coagulante quando adicionado à água de acordo com a dispersão do produto.

Isto é, se a dosagem do coagulante for inadequada, acarretará uma má formação nos flocos e com isso uma decantação que não produzirá resultados satisfatórios e como consequência causará problemas no meio filtrante como a diminuição da carreira de filtração, significando que o tempo entre o início da operação e o momento da lavagem do filtro será diminuído.

Por essa razão é importante estabelecer condições iniciais e avaliar as influências da coagulação, como apresenta Fernandes *et al.* (2010) através de um estudo que analisa a dosagem adequada do sulfato de alumínio e pH de coagulação para a remoção de turbidez e oocistos de *Cryptosporidium*, no qual uma dosagem adequada do coagulante promoveram melhor efeito na remoção obtendo valores abaixo sugerido pela Portaria 2914/11.

Voltan (2007), explica através de análises feitas por outros autores, que a eficiência de remoção de turbidez também está ligada ao tempo de floculação. As considerações feitas através de estudos mostraram que durante a floculação os flocos chegam ao seu tamanho máximo, de tal modo que o mecanismo de ruptura se relaciona com o tempo de agitação, evidenciando uma queda na eficiência da floculação de acordo com o período de agitação, isto é quanto maior o tempo de floculação menor serão as dimensões dos flocos.

É preciso mencionar que a unidade de sedimentação no tratamento de água é de fundamental importância, podendo ser comprometida pelas unidades anteriores e assim afetar os filtros. Nessa circunstância, Bof (2007) aponta que a sedimentação pode ter um desempenho ruim quando não há um conhecimento sobre o principal parâmetro de projeto relacionado à taxa de aplicação superficial, como também quando o potencial de quantidade de material em suspensão na água aumenta devido o emprego do coagulante, ocorrendo aumento na formação de flocos gerando uma necessidade de realizar constantes descargas de fundo, que podem não ser realizados pelo operador e assim causar problema.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o propósito desta pesquisa serão apresentados nesta seção os materiais, equipamentos e metodologia utilizada.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho envolveu pesquisas experimentais com o auxílio de uma rotina de levantamento de dados na ETA em escala real, revisão de literatura em artigos, dissertações, livros e teses, assim como determinação de algumas limitações das tecnologias da estação para auxiliar a discussão. Os procedimentos foram realizados em filtros rápidos de gravidade por um determinado período, no qual a entrada e a saída dos filtros foram os pontos de coleta.

Nesses pontos foram coletadas amostras de água bruta e água filtrada para obtenção dos dados por meio de um turbidímetro portátil usado para analisar a turbidez na água durante todo monitoramento.

Dessa forma o parâmetro de qualidade da água utilizado para avaliar a eficiência da tecnologia foi à turbidez.

3.1 Área de estudo

A Estação de Tratamento de Água chamada de ETA Alto Sertão está localizada próxima a rodovia AL-145, situada a cerca de 9 km de Delmiro Gouveia, está instalada na zona rural do município de Pariconha estado de Alagoas ao lado do Canal do Sertão, no qual é feita a captação de água conforme mostra a Figura 1. A ETA é operada pela CASAL, que é responsável pelo fornecimento de água para 8 municípios da região. Inicialmente projetada para tratar $700 \frac{L}{S}$, de acordo com a empresa a ETA atualmente trata $400 \frac{L}{S}$ de água.

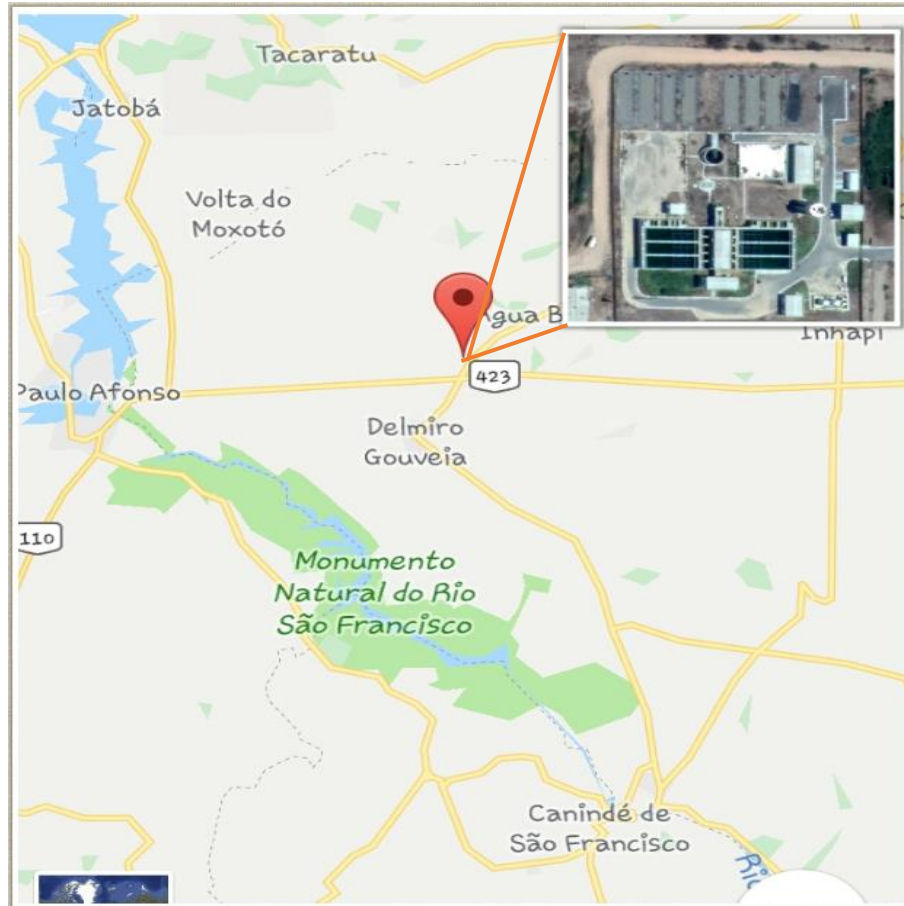


Figura 2: Localização da ETA.
Fonte: Google Earth.

A tecnologia de tratamento empregada na ETA é a de ciclo completo envolvendo as seguintes etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação, desinfecção e correção de pH.

O projeto técnico foi executado por uma empresa especializada, no qual dados referentes ao manancial foram fornecidos pela concessionária. O sistema de abastecimento é constituído por várias unidades, um fluxograma explicativo de cada unidade demonstra a sequência do processo de tratamento de água da estação apresentada.

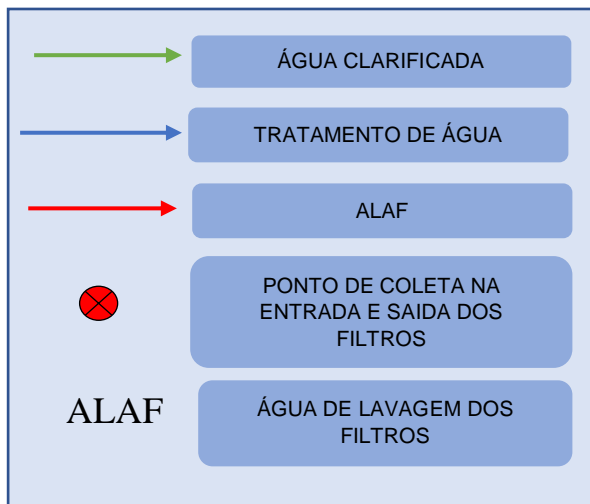
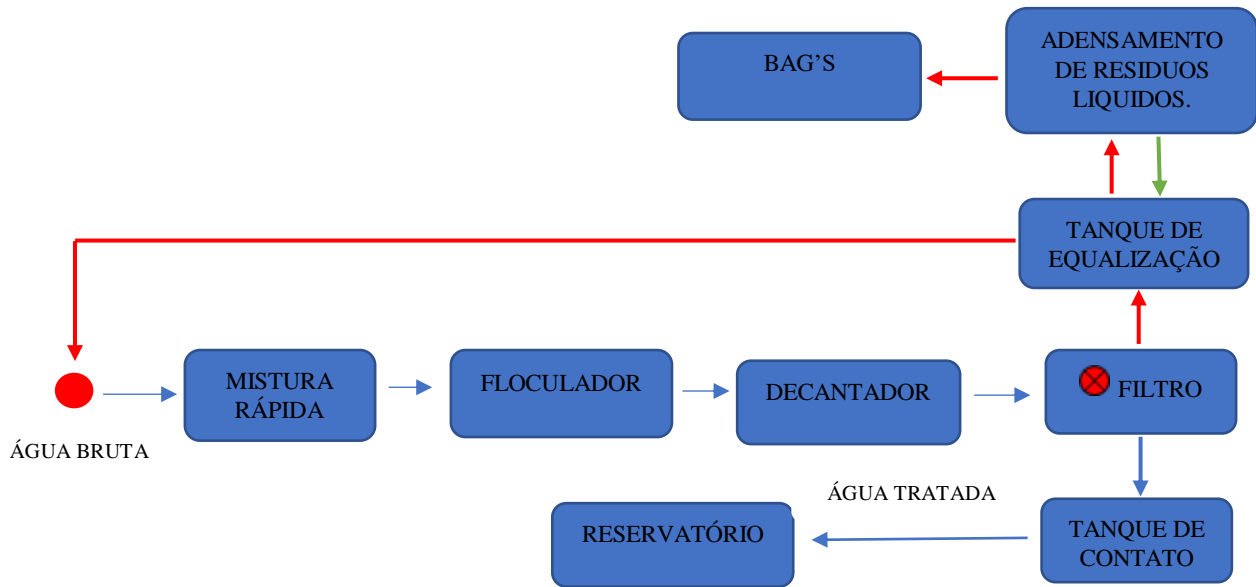


Figura 3: Representação esquemática do processo de tratamento de água na ETA e pontos de coleta das amostras.

Fonte: Adaptado de (CAMPOS 2014).

Apesar da ETA ter sido projetada para funcionar com a recirculação de água de lavagem dos filtros, o funcionamento efetivo deixa a desejar por questões operacionais.

A figura 4 mostra o canal por onde um conjunto de duas bombas faz a captação da água bruta até a estação de tratamento.



Figura 4: Captação da água bruta que alimenta a ETA
Fonte: Autor

3.1.1 Descrição dos processos e etapas da ETA

A seguir estão transcritas as principais informações contidas no referido projeto da empresa, incluindo as considerações do serviço de construção e condição de atividade de cada unidade.

- *Coagulação e Mistura Rápida*: Esta etapa compreende o processo onde ocorre a desestabilização de partículas coloidais por meio de fenômenos físicos e químicos. Assim, a mistura rápida hidráulica utilizada na ETA é do tipo vertedor Parshall projetado para fornecer a água uma agitação que dispersa o coagulante, tendo como o produto empregado na estação o sulfato férrico segundo informação da empresa responsável. O sistema de coagulação conta com dois tanques para preparo da solução com dois misturadores mecanizados que devem proporcionar uma mistura perfeita de solução de sulfato férrico para não haver depósito no fundo dos tanques cujas dimensões serão descritas em seguida:

- Largura: 2,30 m;

- Comprimento: 2,30 m;
- Altura: 1,50 m;
- Volume útil: $6,0 m^3$;
- Largura: 1,10 m;

Desde sua inauguração o sistema só foi testado apenas uma vez.

➤ *Floculação e Mistura Lenta*: A floculação é a etapa subsequente á coagulação, onde os flocos são gerados depois das partículas serem desestabilizadas permitindo a remoção nas próximas etapas. Desta forma, após a coagulação a água é dividida para dois módulos idênticos da estação através de vertedores, passando para a etapa de floculação. A ETA possui dois flocladores compostos por quatro compartimentos de floculação mecanizada cada, se localizando em cada lado, contudo no presente momento se encontram desativados. As dimensões uteis das câmeras são:

- Dimensões de cada compartimento: 4,70 x 4,70 m;
- Volume útil referente a cada compartimento: $113 m^3$;
- Altura útil: 5,10 m;
- Borda livre: 0,40 m;

➤ *Decantação*: Os decantadores são unidades do tipo convencional dimensionadas para remover os flocos formados na etapa precedente pela ação da gravidade. A decantação é feita através de seis decantadores de escoamento de fluxo horizontal convencional, a água é coletada através de tubos que descarregam em calha coletora de concreto armado seguindo para os filtros.

- Área: $202,50 m^2$;
- Dimensões em planta: 8,15 m x 24,85 m;

➤ *Filtração*: Como última barreira contra impurezas a filtração é essencial, sendo responsável por reter partículas que não foram removidas na decantação. A água já decantada segue para calhas de coleta por onde é distribuída para filtros do tipo rápido de gravidade. Em cada lado da estação existem cinco

filtros, somando dez no total no qual constituem meio filtrante de dupla camada (antracito e areia), sobre a camada suporte de pedregulho. O sistema de lavagem é executado através de água e ar ao mesmo tempo no sentido contrário ao de tratamento, a retrolavagem significando a aplicação de uma vazão de baixo para cima. As características de cada filtro estão descritas logo abaixo:

- Área filtrante: $18m^2$
- Taxa média de filtração: $270 m^3/m^2 \cdot dia$

Dimensões da área filtrante:

- Comprimento: 4,80 m
- Largura: 3,80 m

Alturas do leito filtrante:

- Camada suporte: 0,35 m
- Areia: 0,30 m
- Antracito: 0,45 m

Taxas de lavagem máximas:

- Água em contracorrente: $0,8 m^3/m^2 \cdot min.$

A lavagem dos filtros é realizada de forma manual nos módulos convencional, isto é, pela abertura e fechamento de válvulas. Vale ressaltar que os tempos de carreira, bem como os tempos de lavagem dos filtros podem variar em função de cada operador.

As figuras 2 e 3 apresentam o sistema de filtração localizado em um dos lados da estação.



Figura 5: Unidades de filtração mostrada em um lado da ETA, vista 01.
Fonte: Autor.



Figura 6: Uma das unidades de Filtração da ETA, vista 02.
Fonte: Autor.

- *Desinfecção*: O agente químico usado para a desinfecção da água é o cloro.
- *Fluoretação*: Para esse processo a unidade fornece dois tanques de estocagem de ácido fluorossilícico com capacidade de 3,0 m³ cada. Dessa forma o procedimento é feito pela adição de ácido fluossilícico. Atualmente a estação não adiciona o produto.

A estação possui um tanque de adensamento com um sistema que realiza a separação dos sólidos em suspensão contidos nos resíduos líquidos gerados na ETA e módulos constituídos de geotêxtil chamados de bag's condicionados para secagem de lodos. Essas etapas não tiveram nenhuma influência negativa ou positiva nessa pesquisa uma vez que os mesmo se encontram desativados.

A ETA foi projetada para funcionar em regime contínuo de 24 horas por dia, com equipe de operação formada por 05 operadores e 02 Engenheiros químicos. A operação era realizada de forma manual, toda automação que foi prevista em projeto não funcionava, até mesmo nas unidades de filtração onde os equipamentos de medição contínua para turbidez encontravam-se danificados e mesmo sendo calibrados se mostravam com defeito.

3.1.2 Limitações da ETA

A escolha da ETA se deu através de um estágio supervisionado realizado pela autora durante a graduação no período de um ano.

Para o estudo, foi necessário realizar uma investigação nas estruturas precedentes aos filtros, tais como coagulação, floculadores e decantadores. Dessa forma foi possível analisar o funcionamento e operação das respectivas unidades em razão de serem elementos importantes capazes de comprometer a eficiência dos filtros no tratamento de água.

De modo geral foram avaliados os procedimentos operacionais adotados na ETA como a lavagem dos filtros e sua frequência.

Não foi possível fazer as leituras de turbidez dos filtros através dos turbidímetros utilizado na automação da estação, pois não estavam fornecendo valores corretos.

3.2 Turbidez

Diversos estudos, em diferentes escalas, destacam a importância do controle da turbidez em estações de tratamento de água para a identificação e remoção de patogênicos, uma vez que tal parâmetro integra um dos requisitos básicos no controle de qualidade. De acordo com a pesquisa de Cerqueira (2008) sobre a remoção de oocistos *Cryptosporidium parvum* e indicadores no tratamento de água, o principal parâmetro de associação à eficiência de controle desse tipo de protozoário tem sido a turbidez, que deixa de ser apenas um critério estético passando a ter potencial perigoso.

Normalmente é através de um turbidímetro que as medidas de turbidez são obtidas, é a expressão da propriedade ótica indicada em termos de unidades de turbidez (uT). Assim na ETA em estudo, a metodologia utilizada para medição da turbidez pelo método Nefelométrico já citado anteriormente na bibliografia é considerada padrão entre os estudos relacionados à turbidez da água em ETAs.

3.3 Descrição do equipamento utilizado

Para realizar as análises de turbidez foi utilizado como equipamento o turbidímetro da marca PoliControl de modelo AP2000, fornecido pela empresa. A princípio, para iniciar as leituras nas amostras o aparelho foi calibrado de acordo com o seu manual, que acompanha pequenos frascos de padrões de calibração com líquidos de turbidez conhecidas. Desse modo as amostras de água retirada da entrada e saída do filtro foram inseridas em um recipiente que compõe o turbidímetro e em seguida no equipamento, mostrando o resultado unitário para cada amostra que era feita.

O procedimento citado foi realizado de acordo com a Norma Técnica Interna da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que consiste em um manual com procedimentos utilizando turbidímetros de bancada ou portáteis que tenha no seu interior um nefelômetro. O recipiente usado para coleta dentro dos filtros e o equipamento usado para o estudo está apresentado na Figura 7.



Figura 7: Turbidímetro de modelo AP2000 e recipiente usado para coleta
Fonte: Autor

A tabela 4 mostra algumas especificações do equipamento usado, bem como dados referentes às amostras.

Tabela 4: Discriminação de algumas características do equipamento

| | |
|------------------------------|----------------------|
| Tipo de equipamento | Turbidímetro |
| Método do equipamento | Método Nefelométrico |
| Número de amostras | 240 |

Fonte: Autor

3.4 Qualidade da água bruta e tratada

A ETA Alto Sertão é abastecida por um manancial artificial de característica superficial, com água bruta proveniente do Rio São Francisco. Não há informações da classificação da água seguindo a Resolução nº 357 do CONAMA, por esse motivo não é possível constatar se a condição do tratamento utilizado na ETA é o indicado.

As informações sobre o parâmetro de turbidez fazem parte do monitoramento realizado pela empresa, fornecidos através de planilhas de controle da qualidade da

água decorrentes do ano de 2017 e 2018. Para a coleta da água “in natura¹” o ponto de coleta está localizado próximo ao sistema de captação da água bruta que alimenta a estação.

As amostras de água tratada são coletadas em torneiras que fornecem água tratada dentro da estação.

Os dados da água bruta e da água tratada foram verificados para visualizar comportamento da turbidez do efluente antes de chegar a ETA e do afluente final.

3.5 Análises realizadas

Para início do trabalho o turbidímetro portátil foi calibrado, esse procedimento se repetiu algumas vezes pelo fato de que foram realizadas análises em períodos distantes. Para a execução do presente estudo, as amostras recolhidas nas entradas dos filtros foram coletadas diretamente da calha de alimentação de cada filtro pelo autor conforme a figura 8.



Figura 8: Coleta da água na entrada dos filtros
Fonte: Autor

¹Que está no estado natural, sem processamento industrial.

A pesquisa foi conduzida através dos ensaios de filtração, as análises registradas para o monitoramento do comportamento dos filtros foram: turbidez da água na entrada e saída dos filtros, assim como na saída de um dos filtros após a lavagem do filtro. Os ensaios citados estão representados de maneira detalhada na tabela abaixo.

Tabela 5: Ensaios correspondentes ao monitoramento do comportamento dos filtros

| PARÂMETRO | FREQUÊNCIA | PONTOS DE COLETA |
|--|-------------------|---|
| Turbidez da água bruta. | 1 em 1 hora | Entrada dos filtros (Calha de Alimentação do filtro) |
| Turbidez da água filtrada. | 1 em 1 hora | Saída dos filtros |
| Turbidez da água filtrada após lavagem do filtro. | 20 em 20 minutos | Saída do Filtro |

Fonte: Autor

Durante os dias 09 e 05 de julho de 2018 foram realizadas as análises, em oito horários: às 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00. As coletas de água foram realizadas através de um frasco plástico disponibilizado pela empresa, adaptado para a altura dos filtros.

De acordo com o método utilizado já informado, foram seguidos os seguintes passos para o processamento das amostras: A amostra foi agitada para dispersar bem os sólidos; evitar a formação de bolhas de ar no momento que encher o tubo de vidro do turbidímetro; Antes de colocar a amostra no aparelho, o tubo de vidro foi limpo com papel higiênico macio, sempre tomando o cuidado para não suja-lo com as digitais para não interferir nos resultados; Entre uma leitura e outra o tubo era lavado com água da amostra seguinte a ser analisada; O procedimento se repetiu em todas as análises;

Destaca-se ainda que para a coleta da água filtrada, o registro era aberto durante alguns segundos para que a amostra não fosse prejudicada.

Para a realização da coleta da turbidez da água filtrada após a lavagem, a escolha do filtro foi determinada pelo operador de acordo com a necessidade de

limpeza do filtro no momento das análises. A coleta foi feita no filtro 07 no dia 09 de julho de 2018 durante o período de 9:20 da manhã até as 15:00 da tarde, de acordo com a frequência já definida.

Na primeira etapa da pesquisa a eficiência dos filtros é analisada observando as condições da estação que até então usava apenas cerca de 20% do agente de desinfecção (cloro) na pré-cloração, ou seja, dosava 20 a 25 kg/d na pré-cloração mais 70 kg/d na desinfecção. Após informações fornecidas por operadores sobre as melhorias realizadas na operação dos filtros como a frequência de lavagem e o emprego efetivo de 40 a 50 kg/d de cloro na cloração e 80 kg/d na etapa de desinfecção na ETA, realizou-se a segunda etapa do trabalho para verificar se realmente houve mudanças e se trouxe melhorias para as unidades de filtração. A eficiência (E) de remoção de cada filtro foi obtida a partir do seguinte cálculo:

$$E(\%) = \frac{Turbidez(E) - Turbidez(S)}{Turbidez(E)} * 100 \quad (1)$$

Onde:

E: Entrada dos filtros;

S: Saída dos filtros;

Portanto, para as amostras de turbidez da entrada dos filtros é interessante avaliar a variação horária, sendo necessário utilizar a metodologia de agrupar os dados de entrada e fazer uma média de todo período do tempo para cada filtro comparando com cada valor de saída.

O quadro 1 resume a primeira etapa experimental executada sem a adição do coagulante com seus respectivos períodos de realização, e unidade avaliada. A atividade foi fundamental para conhecer o desempenho dos filtros, por meio da comparação entre os resultados da água afluyente e efluente das unidades de filtração.

| Tipo de unidade Avaliada | Etapa Experimental | Período |
|----------------------------------|---------------------------|----------------|
| Filtro Rápido Descendente | 1 | 05/07/2018 |
| | | 09/07/2018 |

Quadro 1: Período de amostragem, etapa1.

Fonte: Autor

O quadro 2 mostra o período de monitoramento da segunda etapa da pesquisa, realizada na ETA.

| Tipo de unidade Avaliada | Etapa Experimental | Período |
|----------------------------------|---------------------------|----------------|
| Filtro Rápido Descendente | 2 | 12/03/2019 |

Quadro 2: Período de amostragem, etapa 2.
Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados e avaliados os principais resultados experimentais relativos a turbidez da entrada e saída dos filtros de uma estação de tratamento de água em escala real, com a influência da variação das concentrações da pré-cloração.

4.1 Caracterização mensal da água bruta e da água tratada

Na primeira parte do estudo buscou-se verificar o comportamento da turbidez ao longo dos meses de janeiro a dezembro do ano de 2018, através de uma média mensal da turbidez e o resultado encontrado apresenta-se no gráfico 1.

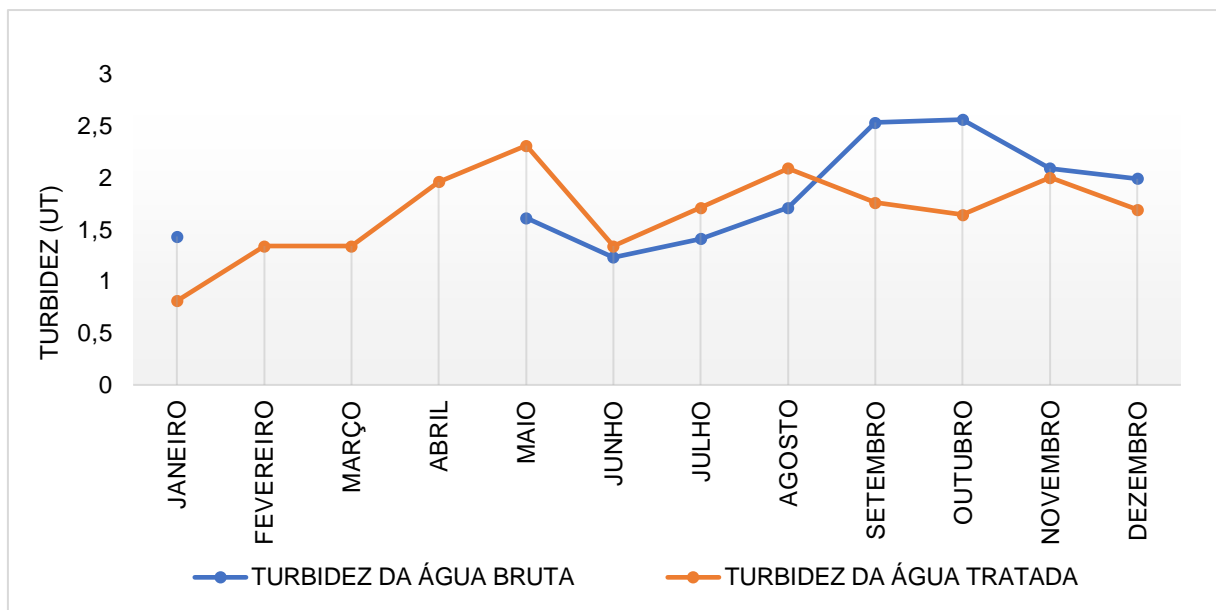


Gráfico 1: Comportamento da turbidez média da água bruta durante o ano de 2018.
Fonte: (ETA, qualidade da água), elaborado pelo Autor, 2019.

É possível observar com o gráfico 1 que a água bruta não apresentou grande variação de mês para mês, dentro de um ano, apresentando valores entre 1,43 uT e 2,56 uT. Analisando o menor valor de turbidez encontrado na série de dados mostrados no Apêndice E, é verificado que o mês de janeiro apresentou 0,11 uT, que pode ser justificado pelo período de estiagem, que de acordo com os dados da precipitação mensal de 2018 da Secretaria do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos, o mês de janeiro registrou pouca chuva na região do Sertão.

Segundo Ferreira (2014) a qualidade da água dos mananciais superficiais sofre influência com a variação da precipitação pluvial no decorrer das diversas épocas do ano. Foi observada uma variação do parâmetro de turbidez nas diferentes épocas, onde as características da água registram valores de turbidez altos no período chuvoso e baixo no período de estiagem.

Com os dados plotados em planilhas do Excel, foi possível realizar a estatística descritiva do ensaio. É relevante salientar que a existência de erros pode influenciar na medição de uma grandeza, por isso não é possível determinar o nível de confiabilidade dos dados fornecidos pela empresa.

| ÁGUA DO CANAL | | | | ÁGUA TRATADA | | |
|---------------|-------|---------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
| MÊS | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | Nº DE DADOS | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | Nº DE DADOS |
| JANEIRO | 1,43 | 0,84541 | 5 | 0,81 | 0,43 | 5 |
| FEVEREIRO | X | X | X | 1,34 | 0,68 | 4 |
| MARÇO | X | X | X | 1,34 | 0,68 | 4 |
| ABRIL | X | X | X | 1,96 | 0,72 | 3 |
| MAIO | 1,61 | 0,31 | 4 | 2,31 | 0,25 | 4 |
| JUNHO | 1,23 | 0,08 | 4 | 1,34 | 0,07 | 4 |
| JULHO | 1,41 | 0,31 | 4 | 1,71 | 0,64 | 4 |
| AGOSTO | 1,71 | 1,05 | 3 | 2,09 | 0,99 | 4 |
| SETEMBRO | 2,53 | 1,01 | 4 | 1,76 | 0,81 | 4 |
| OUTUBRO | 2,56 | 0,57 | 3 | 1,64 | 0,3 | 3 |
| NOVEMBRO | 2,09 | 0,7 | 4 | 2 | 0,55 | 4 |
| DEZEMBRO | 1,99 | 0,69 | 4 | 1,69 | 0,3 | 4 |

Quadro 3: Estatística de ensaio.
Fonte: Autor

Destacar-se que nem todos os meses possuíam dados completos de água bruta do ano de 2018, como nos meses de fevereiro, março e abril, em razão da falta de coleta.

Os meses que tiveram maiores valores de turbidez do ano de 2018 foram os meses de setembro, outubro e novembro onde a média de cada mês apresentou valores semelhantes próximos de 2,6 uT. Nesse mesmo período no ano anterior foram registrados valores menores de turbidez tiveram média próxima a 1,9 uT mostrados no quadro 4.

| ÁGUA DO CANAL | | |
|---------------|-------|-------------|
| MÊS | MÉDIA | Nº DE DADOS |
| SETEMBRO | 1,4 | 4 |
| OUTUBRO | 1,66 | 4 |
| NOVEMBRO | 1,88 | 3 |

Quadro 4: Estatística de ensaio do ano de 2017.
Fonte: Autor

De forma geral nota-se uma pequena amplitude entre o maior e o menor valor de turbidez encontrado para esta água bruta, que pode ser explicada pelo simples fato do manancial ser um canal, fator esse que favorece a sedimentação das partículas suspensas, que quando o canal está com nível alto a turbidez na água é baixa.

No estudo realizado por Rodrigues *et al* (2005) mostra a caracterização da água bruta de uma ETA no Belém-PA evidência uma pequena variação de turbidez com valores baixos, resultado de a água ser proveniente de um lago, cuja característica favorece a sedimentação das partículas e formação de lodo na sua base se assemelhando ao estudo realizado. Visto que, a hidrodinâmica dos corpos d'águas naturais ou artificiais são semelhantes, consiste basicamente na representação de escoamentos, ou seja, dos campos de velocidade e de nível. Esta metodologia pode ser aplicada à lagos e canais.

Outra justificativa para a variação da turbidez coletada no canal seria provocada pelo nível do canal que varia bastante, quando a altura da água está muito baixa as duas bombas que trabalham na captação absorvem o lodo contido no canal aumentando a concentração de impurezas na água bruta.

De acordo com um dos operadores, mais ou menos uma vez por semana passa em frente ao canal uma camada de algas, que quando o mesmo se encontra cheio essa matéria orgânica consegue seguir em frente, entretanto, quando a água está com nível baixo, a característica do canal nesse ponto (dimensões maiores) favorece a concentração desse material que acaba sedimentando e sendo sugado pelas bombas. O mesmo destacou que durante o período chuvoso, as chuvas torrenciais acabam arrastando solo, matéria orgânica como folhas e galhos para dentro do canal, uma vez que, o canal não oferece nenhum tipo de proteção.

Dessa forma, a turbidez do canal pode alcançar valores superiores ao que foi encontrado, isso porque no momento em que foi realizada a coleta o canal pode não ter apresentado as situações descritas.

A água tratada variou bastante, em alguns meses alcançando valores de turbidez acima do que foi encontrada na água bruta como é mostrado no gráfico 1. Pode-se perceber que, para 1 ano de análises, das 47 amostras obtidas para água tratada, cerca de 98% possuíam turbidez maior que 0,5 uT, desse total 30% estavam acima de 2,0 uT. Com isso, conclui que não houve uma busca por melhorias na ETA para que a água fornecida a população atendesse às recomendações da Portaria 2911 até o momento da pesquisa considerando dados de 2018.

Para fornecer água em conformidade com a Portaria 2914 é necessário que a operação da ETA leve em consideração as características da água bruta relativa à turbidez para conseguir lidar com as variações da qualidade da água durante o ano, já que o manancial sofre depreciação e variação de nível.

4.1 Processo de coleta de dados nos filtros através do ensaio de turbidez

Os ensaios foram realizados segundo a metodologia descrita no item 3.6. Através das tabelas de monitoramento da turbidez nos filtros do tipo rápidos descendentes, foi elaborado o tratamento estatístico dos dados apresentados mediante gráficos, permitindo avaliar descritivamente o comportamento dessa tecnologia em termos da remoção de turbidez observado ao longo das análises.

4.2.1 1º Etapa

Nessa primeira etapa, foram realizados dois ensaios em dias diferentes, totalizando 160 amostras detalhadas no Apêndice A. Nesse apêndice são apresentados em uma tabela os valores da turbidez monitorados durante os dois dias. Para avaliar o processo de filtração, a água que alimenta a unidade é considerada uma água pós-decantada, visto que a água fornecida a esta unidade é proveniente do decantador e já passou pelos processos anteriores, por esse motivo a água não possui as mesmas condições do afluente que está entrando na estação.

Nesta etapa analisou-se o nível de eficiência da remoção da turbidez da água quando a mesma passa pelos filtros e os resultados encontrados serão apresentados abaixo.

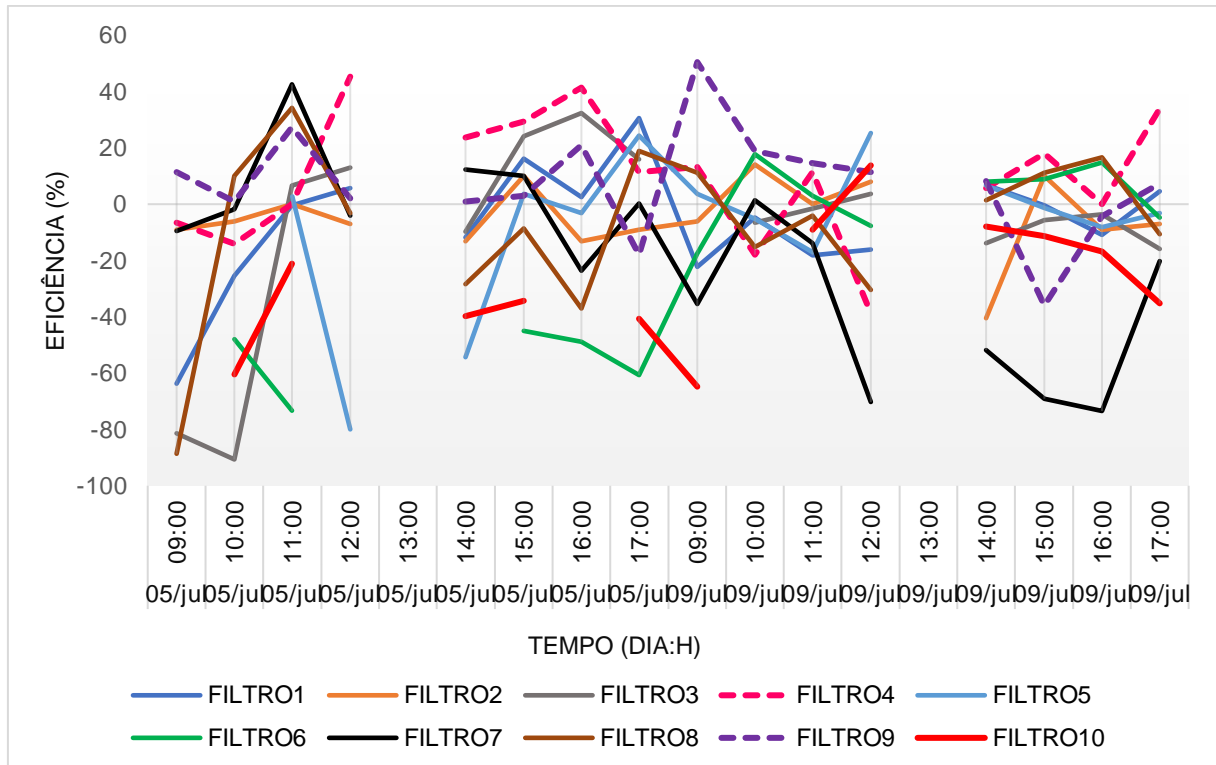


Gráfico 2: Representação gráfica da eficiência dos filtros no período em análise
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

Como pode ser visto no Gráfico 2 as linhas tracejadas destacam os filtros com maior eficiência em média na maior parte do tempo e de linha vermelha a pior situação representada pelo filtro 10 comparado aos demais. Os intervalos as 13:00 horas indica o horário que não foram coletadas amostras.

Para uma melhor compreensão o quadro abaixo apresenta os valores máximos e mínimos obtidos, de maneira mais compacta, a partir dos resultados da eficiência de cada filtro apresentados no gráfico acima.

| FILTRO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MINÍMO | -63,730 | -40,492 | -90,647 | -38,679 | -84,880 | -73,317 | -73,441 | -88,622 | -35,968 | -64,802 |
| MÁXIMO | 30,569 | 14,087 | 32,351 | 45,283 | 25,261 | 17,747 | 42,547 | 34,201 | 50,461 | 13,778 |

Quadro 5: Valores máximos e mínimos destacado do gráfico 2.
Fonte: Autor

Nesse gráfico tem-se a representação com os resultados gerais da eficiência de remoção de turbidez de cada filtro no período analisado. Observa-se que o Filtro 4 e 9 foram os mais eficientes na remoção de turbidez, com base nos dados de entrada

e saída obteve-se os seguintes valores de remoção de turbidez, a remoção máxima obtida para o filtro 4 foi de 45,283% e de 50,461% para o filtro 9.

Em termos práticos a eficiência do filtro é representada pela diminuição drástica da turbidez na água filtrada, no entanto, foi observado um aumento da mesma na saída dos filtros quando comparadas a média diária da turbidez na entrada, por esse motivo os resultados negativos revelam um desempenho ruim dessas unidades. As possíveis causas serão descritas no decorrer da discussão, entre os piores resultados estão o filtro 6, 7 e 10.

Verifica-se que semelhante ao filtro 6, o filtro 7 apresenta uma boa remoção no início dos resultados, entretanto, passa a maior parte do tempo com eficiência negativa, já o filtro 10 tem uma eficiência negativa durante todo trajeto da curva mostrada no gráfico 2. A média de entrada no filtro 10 foi de 0,92 uT, na saída do filtro o valor mínimo durante as análises foi de 0,79 uT e o máximo de 3,62 uT demonstrada na tabela no apêndice A.

Para facilitar a visualização do gráfico 2, realizou-se a média para eficiência de cada filtro demonstrado nas figuras do gráfico 3 e 4.

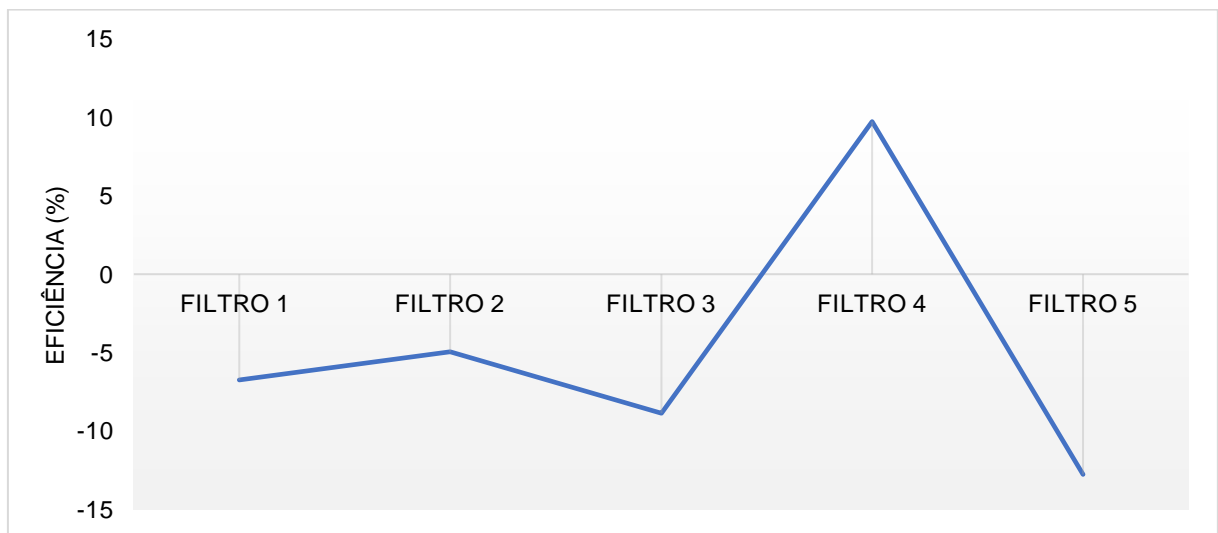


Gráfico 3: Média da eficiência dos filtros 1,2,3,4 e 5 de acordo com a distribuição na estação.
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

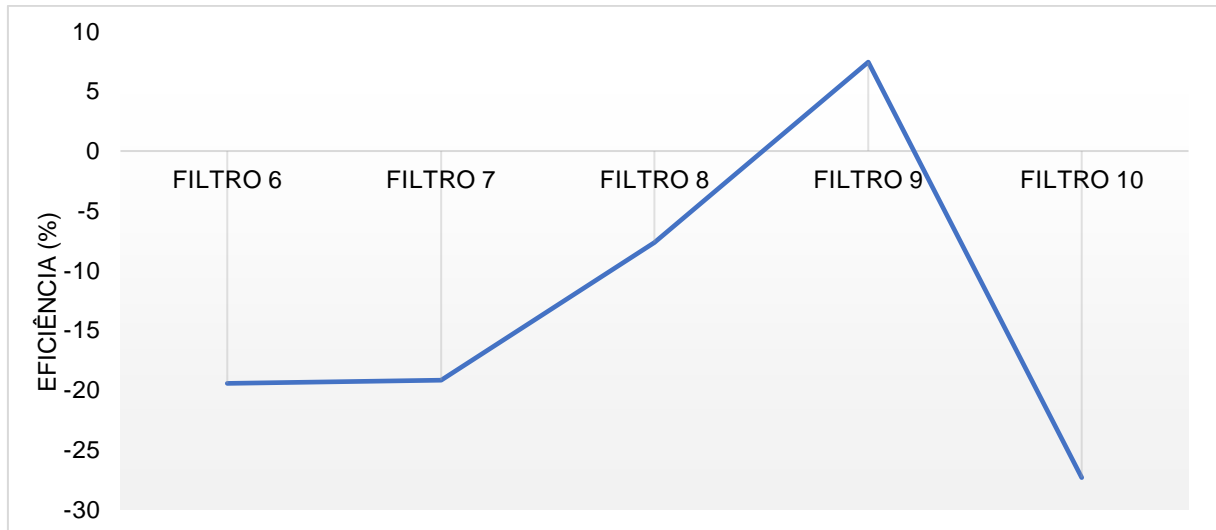


Gráfico 4: Média da eficiência dos filtros 6,7,8, e 9 de acordo com a distribuição na estação.
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

Conforme a distribuição das unidades na estação já mencionada na metodologia do item 3.1.1, é possível identificar com o gráfico 3 e 4 que apenas 1 filtro de cada lado se mostrou eficiente, tendo em vista como a pior situação o lado composto pelos filtros 6,7,8,9 e 10 com a maioria de resultados negativos. Essas unidades de forma geral estão gerando resultados insatisfatórios na qualidade da água em termos de remoção de turbidez.

Matos *et al* (2013) realizou uma pesquisa similar, que avaliava a remoção da turbidez nos filtros de diferentes ETAs, através dos dados verificou-se que dos quatro filtros estudados apenas um obteve uma remoção baixa em razão da ETA ter uma vida útil maior que as outras, enquanto os outros filtros obtiveram um valor de 90 % de remoção. A ETA em análise apresentou uma remoção muito baixa se comparado à pesquisa descrita.

Quando se trata de atendimento ao padrão de potabilidade, uma primeira análise pode ser feita com os valores de turbidez na saída dos filtros é que 53% das amostras encontram-se acima de 1,0 uT. Valores referidos a remoção de turbidez por alguns autores como Viana *et al* (2013) sugere que quanto menor o valor de turbidez na saída do filtro maior a remoção de protozoários estando entre os valores tomados como indicadores de remoção 0,30 uT e 0,50 uT.

Logo 95% das amostras da água filtrada não atenderam ao critério de potabilidade. Segundo Braga (2014) a portaria cita que amostras com turbidez superiores a 1,0 uT, são consideradas impróprias para o consumo.

No monitoramento realizado no dia 05 de julho, a ETA teve que ser paralisada por volta das 12:00 horas durante uma hora e meia por questões operacionais. Essa paralisação pode ter prejudicado o desempenho dos filtros no dia em análise, isso porque quando acontece uma interrupção na estação à unidade de filtração é a mais prejudicada devido ao transpasse das partículas após o revolvimento do leito filtrante pela água afluyente com o retorno da operação.

A situação encontrada mostra que a paralisação da ETA pode contribuir para uma queda na eficiência do filtro conforme pode ser visto no trabalho de Ferreira (2014), que verifica um aumento de turbidez no efluente do filtro após uma paralisação na estação.

O procedimento realizado na lavagem dos filtros no dia 05 de julho, também pode ter prejudicado a qualidade da água filtrada durante o período em que os filtros foram analisados, entre eles estão os filtros 1, 5, 6 e 10. Para visualizar a relação do comportamento desses filtros com a influência da limpeza, destaca-se no gráfico 6 a eficiência dos mesmos junto ao gráfico 7 que apresenta os valores da turbidez na saída dos filtros apenas durante o dia que foram lavados.

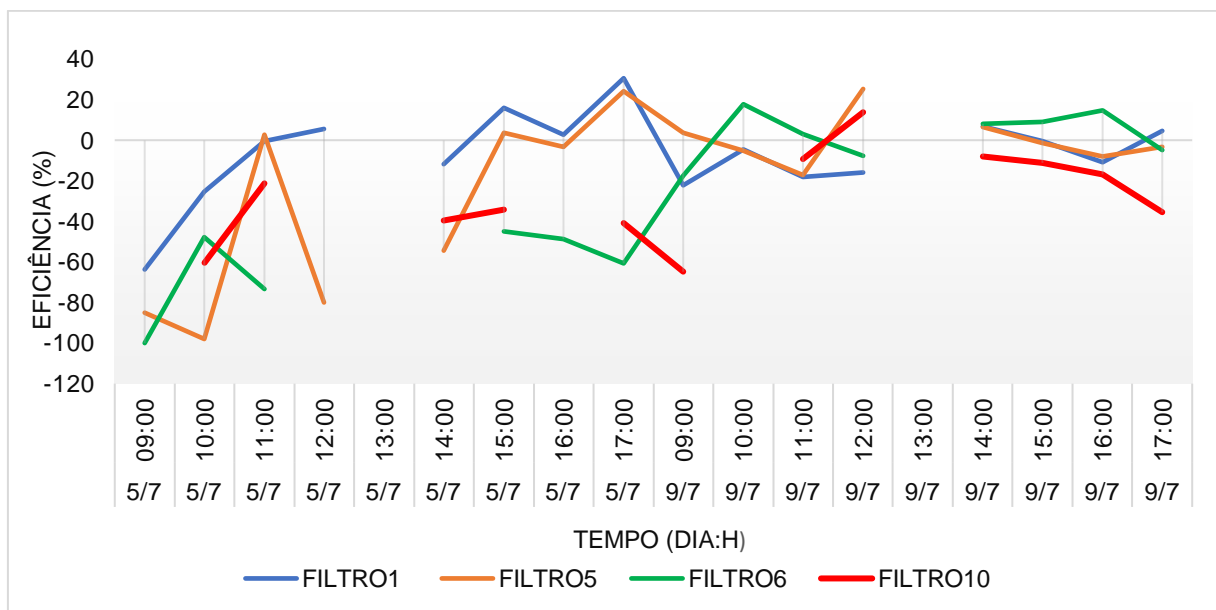


Gráfico 5: Eficiência dos filtros 1,5,6 e10 que foram lavados no dia 05 de julho
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

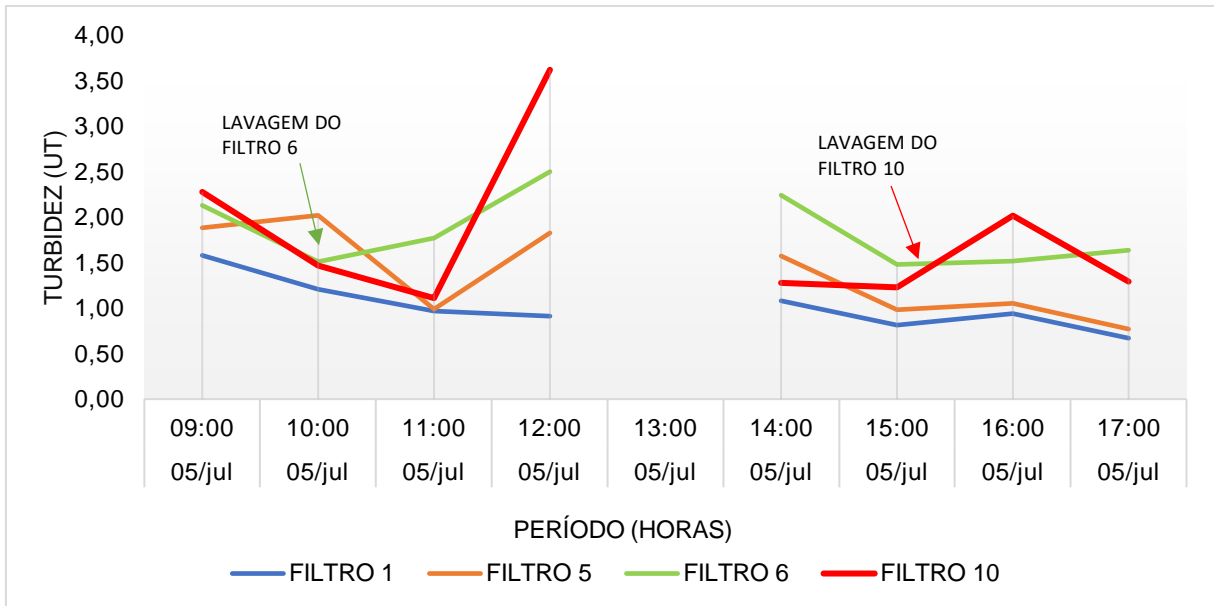


Gráfico 6: Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1,5,6 e10 (monitoramento 05/07/2018)
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

É observado no gráfico 5, que no início das análises do dia 05 de julho o filtro 1 não apresenta uma remoção de turbidez satisfatória, passando a apresentar uma eficiência de 30,569% apenas depois das 14:00 horas, essa análise vale para o filtro 5 que apresentou uma eficiência de 24,27% apenas depois das 16:00 horas e seguiram com eficiência negativa. Ambos foram lavados antes da realização do ensaio e por esse motivo não está indicado no gráfico, o tempo de lavagem do filtro 1 foi de 30 minutos, e 25 minutos para o filtro 6.

O filtro 6 não apresenta uma remoção satisfatória, de acordo com o gráfico 5 é observado um desempenho limitado com o valor de eficiência igual 14,75% apenas no dia 09 de julho. De acordo com a planilha de controle da operação dos filtros da ETA apresentada no Apêndice B, o filtro foi lavado quando já estava na oitava carreira de filtração, a seta mostrada sobre a curva do filtro 6 no gráfico 6 destaca o momento em que o filtro foi lavado, a duração da lavagem foi igual a 25 minutos. Após a lavagem a turbidez atinge o valor de 2,5 uT e começa a diminuir depois de três horas e meia, contudo com valores acima de 1,0 uT como pode ser visto no gráfico acima.

Como já mencionado o filtro 10 se destaca como o filtro de pior desempenho de acordo com os valores obtidos pela média da eficiência. Antes de ser lavado o mesmo já apresentava picos de turbidez equivalentes a 3,62 uT como destacado em linha vermelha no gráfico 6, o filtro estava na sua quarta carreira de filtração quando

foi interrompida. A lavagem teve uma duração de 25 minutos realizada pelo mesmo operador que realizou o procedimento no filtro 6, após a lavagem a turbidez atingiu 2,02 uT começando a se reestabelecer quando atinge valores 1,29 uT depois de duas horas.

Segundo a planilha no Apêndice B, durante o período de 24/06/2018 a 09/07/2018 o filtro 10 foi o mais lavado, constata-se 4 lavagem com tempos diferentes. Nota-se uma semelhança entre o tempo de carreira dos filtros 4 e 9 em torno de oito dias entre uma lavagem e outra. Cada procedimento foi realizado entre operadores diferentes com duração de lavagem igual para o filtro 4 e diferentes para o filtro 9.

No dia 09 de julho apenas o filtro 7 foi lavado. O restante dos filtros não chegou a ser lavado, por tanto neste dia não houve a interferência da realização da lavagem nos dados coletados.

Em resumo, ao analisar os filtros que foram lavados durante o período de amostragem, o aumento da turbidez da água filtrada pode ser justificado após os procedimentos de lavagem, a situação encontrada evidência que picos de turbidez após a lavagem dos filtros podem ter alterado a qualidade da água filtrada no período em que foram realizadas as coletas.

Os valores altos na saída dos filtros demonstram a ineficiência do procedimento realizado pela operação, o qual permite que as partículas que foram retidas na superfície dos grãos passem para a água filtrada durante um longo tempo. Durante o acompanhamento da lavagem de um dos filtros realizado com ar e água simultaneamente, foi observado que o filtro foi lavado devido à altura de lâmina de água está elevada, o procedimento durou aproximadamente 40 minutos.

É identificado que a lavagem dos filtros ocorre a partir de decisões operacionais. Os operadores da ETA costumam verificar visualmente a necessidade de lavagem, sendo identificado que além desse método alguns operadores se baseiam nos turbidímetros localizados na saída dos filtros que não fornecem valores corretos.

Através da planilha mostrada no apêndice B, é possível constatar que os procedimentos de lavagem variam de operador para operador, e que algumas das carreiras de filtração são longas e outras curtas o que pode comprometer o desempenho dos filtros, além disso, pode causar danos ao material filtrante e aumentar os gastos envolvidos nesse processo.

A qualidade da água filtrada pode ser influenciada pelos efeitos da distribuição não uniforme da vazão em cada filtro, que pôde ser verificada visualmente na ETA através do canal que recebe a água decantada. Existe um desnivelamento que ocasiona um escoamento no sentido do filtro 10 em um dos lados e do filtro 1 do outro lado. Segundo as informações fornecida pelos operadores, essa declividade existente no canal contribui para o aumento de vazão nos filtros 1,2, 9 e 10, sendo que, se esses filtros trabalharem com a comporta (localizada na entrada da calha de alimentação dos filtros) 100% aberta a água não chega nos demais filtros. Por esse motivo, os operadores deixam apenas 50 % da comporta aberta nas unidades citadas, essa alteração foi realizada sem a medição de vazão e por esse motivo não se sabe o quanto cada filtro recebe de água.

Os efeitos de uma diferença de vazão podem justificar o fato de alguns filtros sujam mais que os outros, ou seja, há uma retenção maior da quantidade de impurezas nos filtros que recebem mais água, como consequência ocorre à diminuição da carreira de filtração das unidades afetadas.

Segundo conversa com um dos operadores da ETA, existe essa diferença de vazão que alimenta os filtros. Nos filtros que recebem mais água é visto que apresentam maior frequência de lavagem com a diminuição de carreira da unidade, causando a necessidade de maiores durações para lavagem do filtro, pois a quantidade de partículas a serem desprendidas das superfícies dos grãos é maior.

Foi observado que os filtros localizados nos cantos recebem uma vazão maior comparado aos outros, e por isso apresentaram piores resultados de eficiência. O aumento de impurezas na água que alimenta a estação ocorre durante os períodos em que o canal se encontra com baixo do nível, é notado pela operação que os filtros dos cantos sujam com frequência evidenciando a diferença de vazão em cada filtro.

4.2.2 2º Etapa

A segunda etapa foi realizada depois da ETA passar a usar uma concentração maior na pré-cloração. Nessa etapa apenas um ensaio foi realizado somando 80 amostras detalhadas na planilha de monitoramento no Apêndice C.

Análogo ao que foi exposto na primeira etapa, o gráfico 7 apresenta a eficiência dos filtros a partir do seu comportamento durante o monitoramento. A análise

realizada no ano de 2019, mostra que houve uma melhoria significativa no desempenho dos filtros comparado ao que foi visto no gráfico 2.

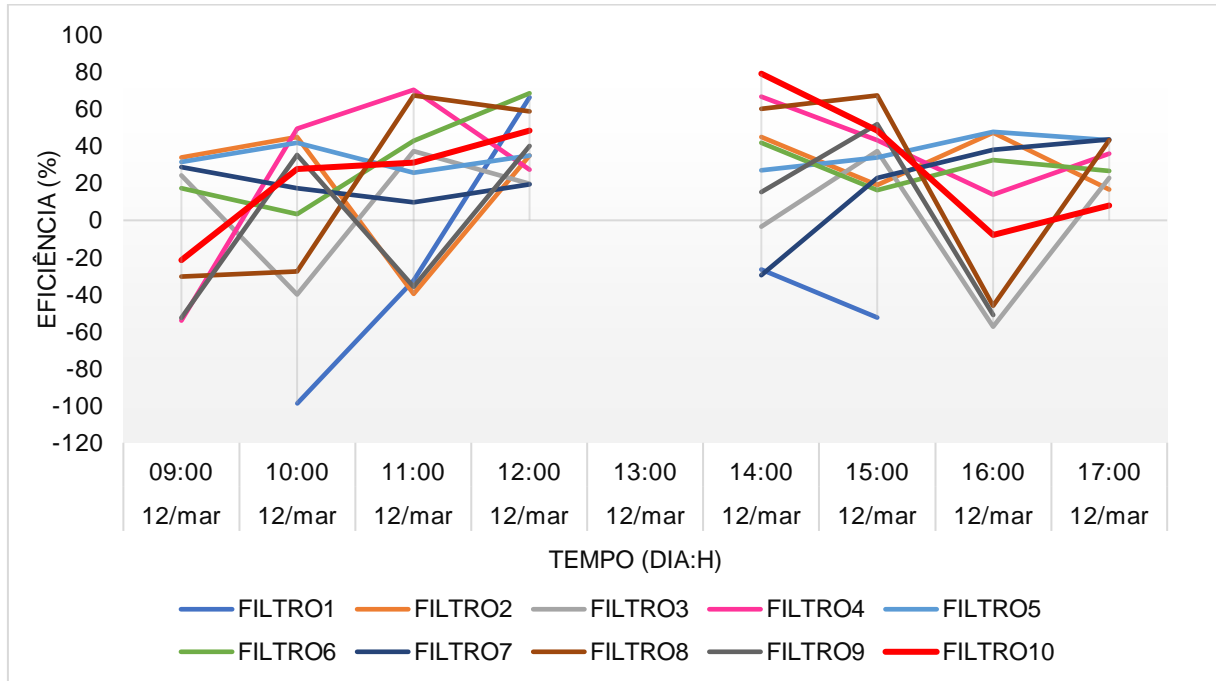


Gráfico 7: Representação gráfica da eficiência dos filtros no período de 05/03/2019
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

A partir do gráfico acima foi possível destacar os valores máximos e mínimos desconsiderando aqueles não representativos, conforme mostrado no quadro abaixo.

| FILTRO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| MINÍMO | -98,76 | -39,66 | -57,37 | -54,08 | 25,68 | 3,34 | -29,57 | -46,09 | -52,60 | -21,47 |
| MAXÍMO | 66,37 | 47,32 | 37,34 | 70,41 | 47,75 | 68,55 | 43,66 | 67,37 | 51,89 | 79,14 |

Quadro 6: Valores máximos e mínimos destacado do gráfico 7.
Fonte: Autor

De acordo com os valores da turbidez encontrados na saída dos filtros é observada uma melhoria comparada à primeira etapa, visto que 14% dos dados se encontram acima de 1,0 uT e 56% abaixo de 0,5 uT. Lembrando que na primeira etapa 53% dos dados estavam acima de 1,0 uT.

Analisando o gráfico acima pode-se notar que, em termos de eficiência o filtro 1 foi o único que não apresentou uma remoção satisfatória, o mesmo obteve o pior desempenho durante o dia mesmo alcançando 66,37% em algum momento, enquanto

que o filtro 10 antes destacado com os piores resultados na primeira etapa agora se destaca como o mais eficiente atingindo 79,14% de remoção em alguns horários.

Para facilitar a comparação com a etapa anterior, os gráficos a seguir identificam através da média da eficiência mostrada no gráfico 7 quais os filtros foram mais eficientes na segunda etapa. Os gráficos foram separados para tornar a apresentação dos resultados mais organizada, conforme a distribuição das unidades de filtração na ETA.

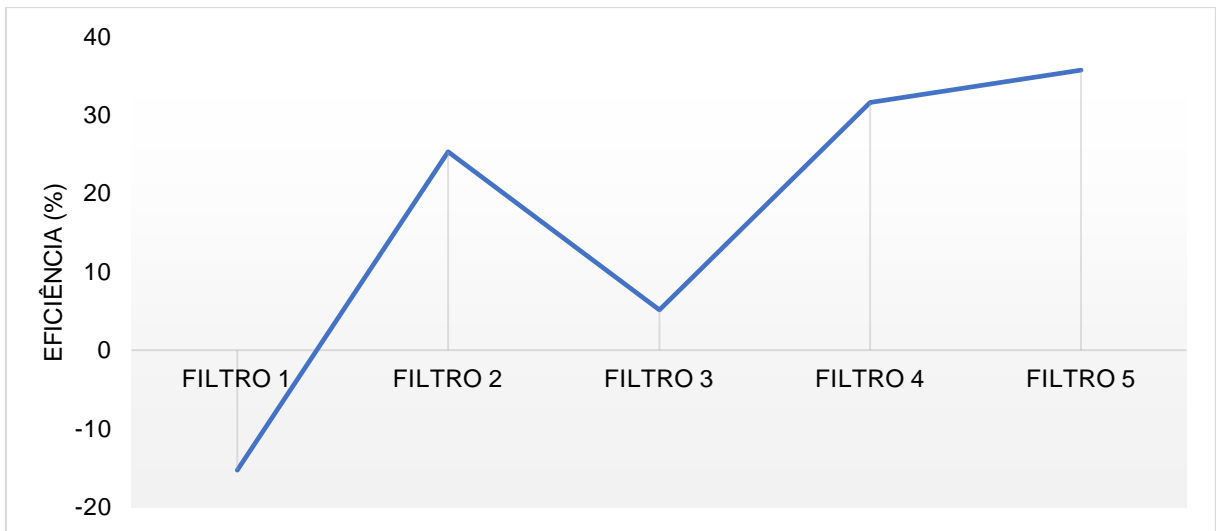


Gráfico 8: Média da eficiência dos filtros do 1 a 5
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

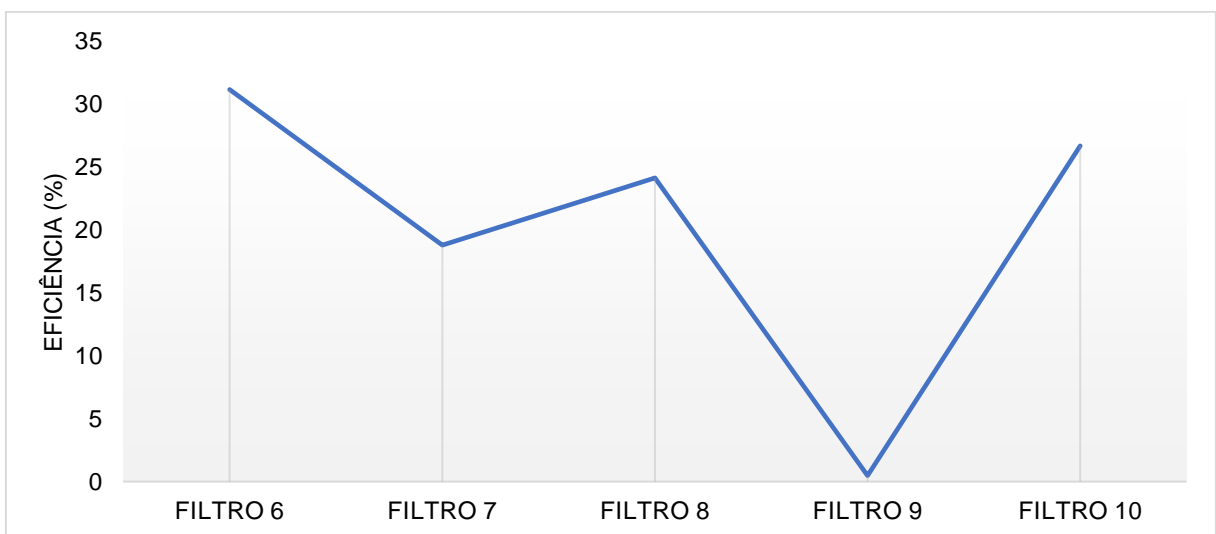


Gráfico 9: Média da eficiência dos filtros do 6 a 10
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

A diferença de desempenho dos filtros na segunda etapa fica evidente quando comparados aos gráficos da etapa anterior. Apesar das relativas boas remoções de turbidez observadas no gráfico acima, nota-se que o filtro 1 apresenta uma tendência de piora no seu desempenho com eficiência quase três vezes inferior que a etapa anterior. O mesmo já estava no seu decimo segundo dia operando sem ter sido lavado. Em média o filtro 5 obteve o maior percentual de remoção de 35,70 %.

A qualidade do efluente produzido pelos filtros 4 e 9 continuam apresentando valores satisfatórios ainda que baixos. Um avanço é percebido no filtro 4 que conseguiu 31,58% no qual, anteriormente alcançou 9,72%, diferentemente do filtro 9 que teve uma queda significativa na sua eficiência de 7,44% para 0,47%.

É verificado que ambos estavam na sua oitava carreira de filtração. O tempo de lavagem realizado na última limpeza foi o mesmo para os dois como pode ser verificado no Apêndice D. Percebe que há uma diferença entre o procedimento realizado na primeira etapa.

No dia do monitoramento foi realizado a lavagem do filtro 3, antes mesmo das coletas começarem o que pode ter prejudicado a qualidade da água filtrada durante o período em que o mesmo foi analisado, ainda sim o filtro obteve uma remoção positiva que comparada a anterior subiu de -12,76% para 35,7%.

Os demais filtros conseguiram remoções positivas acima das médias expressas nos gráficos 3 e 4. Se fizermos uma comparação do tempo entre uma lavagem e outra de cada filtro durante os meses em que foi escolhido os dias para as análises, percebe-se que as carreiras de filtração são diferentes. Na segunda etapa os filtros de 7 a 10 estavam com oito dias que haviam sido lavados, enquanto que na etapa anterior todos esses tiveram carreiras menores.

Acredita-se que uma das razões para a melhora dos resultados tenha sido uma concentração maior na pré- cloração. Esse fato demonstra que houve uma busca para a melhoria da eficiência dos filtros, ainda que pouca percebe-se que os valores de turbidez na saída dos filtros foram reduzidos. Precedendo ao início da discussão dos resultados da segunda etapa, temos que apesar do aumento no desempenho dos filtros a água filtrada não atendeu às recomendações da Portaria 2914.

De acordo com o operador os problemas referentes as diferentes vazões entre as unidades de filtração continuam, essa diferença faz com que uma unidade

sobrecarregue mais que a outra, esse é um dos problemas que contribuiu para as diferenças de eficiência encontradas entre os filtros.

4.2 Qualidade da água após a limpeza do filtro

Através do monitoramento do funcionamento dos filtros, foram levantadas informações relativas à turbidez da água filtrada após a lavagem do filtro 7 para determinar o tempo de recuperação da qualidade da água. Geralmente após a lavagem do filtro rápido, a qualidade da água é prejudicada nas primeiras horas de filtração.

De acordo com os arquivos de controle e operação de filtro do mês de junho do ano em análise, o filtro 7 estava na 8^o carreira de filtração (Tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra) quando foi submetido a lavagem. O Gráfico 10 apresenta a recuperação da qualidade da água após a limpeza do filtro.

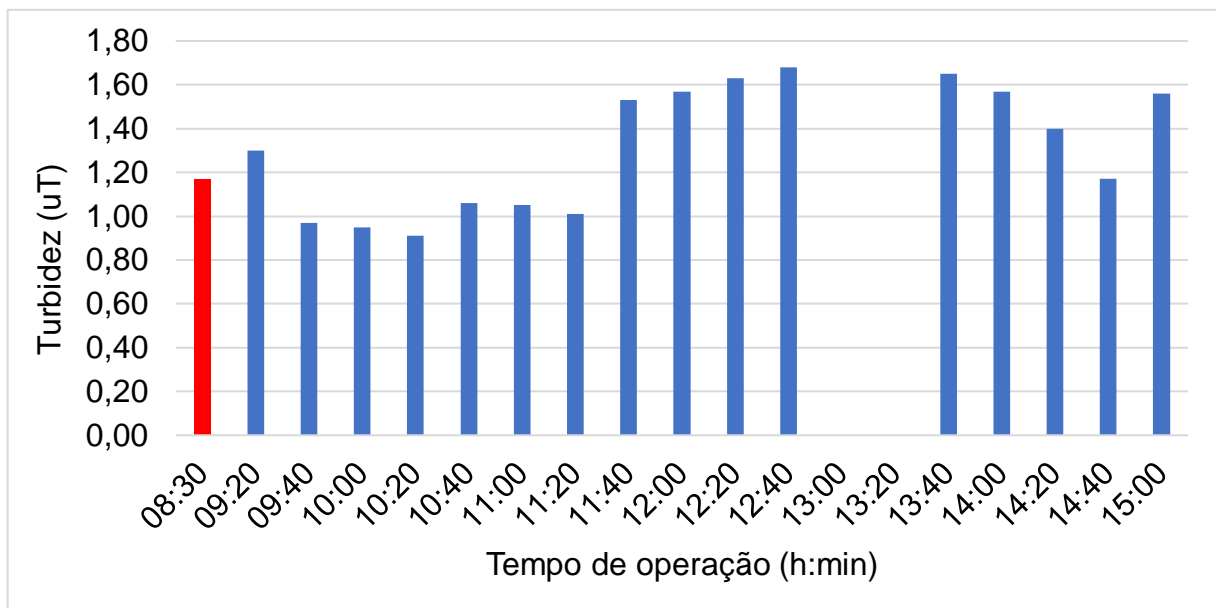


Gráfico 10: Valores de turbidez da água filtrada pelo filtro 7 monitorada a cada 20 min.
Fonte: elaborado pelo Autor, 2019.

A barra em vermelho representa a turbidez na saída do filtro antes da lavagem, com o valor de 1,17 uT. Observa-se que a turbidez na saída do filtro após sua lavagem, atinge um pico de 1,30 uT após quase 20 minutos de operação, isso acontece porque após a lavagem do filtro ainda existe um percentual de sólidos suspensos na água por um algum tempo. Por outro lado, seu reestabelecimento

abaixo de 1,0 uT se deu após 40 minutos seguindo uma tendência a redução dos valores, contudo depois de 1 hora e 40 minutos a turbidez apresenta novo pico com valor de 1,53 uT tornando a aumentar.

A lavagem do filtro foi feita com a introdução de água e ar simultaneamente no sentido ascensional, o tempo da limpeza pode ser vista com base na experiência do operador que iniciou as 08:45 e terminou as 09:00, com tempo equivalente a 15 minutos de lavagem. Com esse procedimento o efluente filtrado não atendeu a exigência da Portaria vigente, uma vez que em nenhuma das amostras coletadas durante o período de seis horas foram obtidos valores menores ou iguais a 0,5 uT.

Para mostrar o que acontece com a água filtrada após a lavagem dos filtros rápidos descendentes, Di Bernardo (2003) descreve os estudos realizado por pesquisadores (Amirtharajah e Wetstein (1980), Amirtharajah (1985)) que estudaram o comportamento dos estágios da água filtrada. O esquema abaixo demonstra os estágios da qualidade da água filtrada.

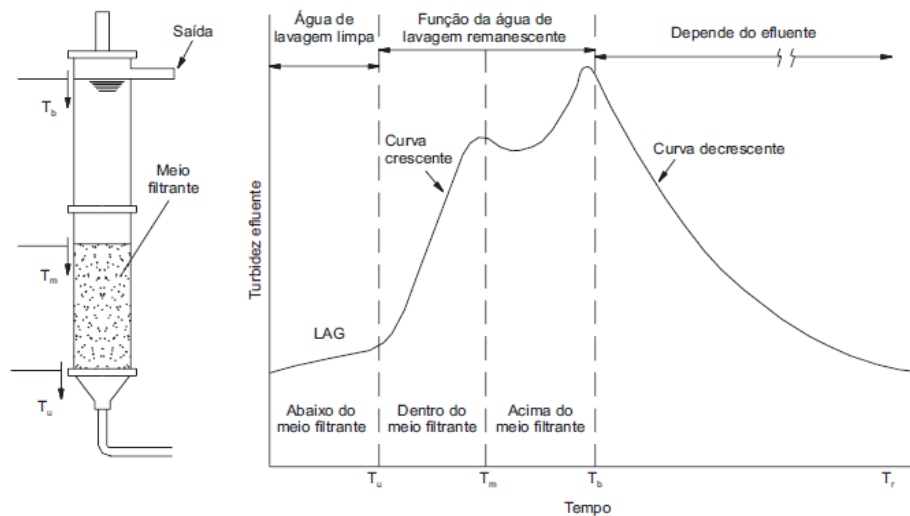


Figura 9: Etapa inicial dos filtros do tipo rápido descendente.
Fonte:(DI BERNARDO 2003).

No início da carreira de filtração a produção da água é prejudicada em decorrência da lavagem, caracterizadas pelo transpasse de partículas retidas nos grãos. O primeiro estágio é caracterizado pela primeira parcela de água com qualidade, que sai do filtro até um determinado tempo T_u , logo após ocorre o primeiro pico de turbidez no tempo T_m que pode não acontecer se a lavagem for eficiente. A terceira parcela restante tem a pior qualidade mostrada através do pico de turbidez

elevado no tempo entre T_m e T_b . Em seguida a uma melhoria constante da qualidade da água filtrada até a etapa que antecede próxima lavagem.

De acordo com o que foi exposto, o procedimento realizado para a lavagem do filtro 7 apresentou picos de turbidez após o processo de lavagem, isso porque durante a lavagem acaba sendo armazenado água de lavagem no meio filtrante e acima dele ocasionando o transpasse de partículas. A presença dessas partículas pode representar grandes riscos à saúde da população e representar a ineficiência do método.

É interessante observar que semelhante ao que foi mostrado por Di Bernardo (2003), após o primeiro pico de turbidez a água filtrada tem a primeira fração com turbidez baixa mais não satisfatória, porém quando atinge o pior pico de turbidez constata-se que não há uma melhoria significativa do efluente.

4.4 Análise descritiva dos dados

Os dados utilizados para demonstração dos resultados discutidos foram estudados e tratados para a obtenção de valores mais centrais indicado para uma melhor representação, essa averiguação serviu para obter a dispersão dos valores máximos e mínimos. Assim, fez-se por necessário para facilitar a compreensão, a detecção e remoção de valores atípicos que não são representativos para este determinado estudo.

4.5 Proposição de Melhorias

- O processo de filtração se encontra prejudicada pela falta de controle da vazão que entra nos filtros. A adequação da estrutura que regulariza a diferença de vazão entre as unidades corrigiria o problema de um filtro sujar mais que o outro, evitando que a estação sobrecarregue em períodos em que a turbidez eleva. Dessa forma, a filtração melhorara seu desempenho.
- É indicado um programa de monitoramento da turbidez na saída dos filtros através dos turbidímetros fixos que fazem a leitura da turbidez da água filtrada, essas análises devem ocorrer a cada duas horas como indica a portaria 2914 (2011), essa rotina poderá contribuir para a retirada dos filtros para lavagem,

que até então é realizada somente através da perda de carga observada visualmente, por isso é importante que a empresa tome medidas para o conserto desses aparelhos.

- Definir a frequência de lavagem de cada filtro admitindo horários, de modo que pelo menos um filtro de cada lado seja lavado em um dia, assim como o tempo de lavagem definidas em função da qualidade da água filtrada fixando um valor máximo de 1 uT.
- De acordo com a pesquisa é recomendado o emprego do sulfato de alumínio como auxiliar de filtração para a melhoria na remoção de impurezas presentes na água bruta. Portanto, seria importante a reativação dos agitadores da floculação para que seja possível a otimização do processo de filtração.
- A avaliação de desempenho dos filtros tornou nítida a necessidade de treinamento dos operadores para lidar com as variações de turbidez durante o ano, e para saber usar os produtos químicos na estação.
- Implantar um gerenciamento contínuo e eficaz estabelecendo metas, que através de reuniões periódicas haja o contato do operador com os competentes que administram a ETA. A existência de um gerenciamento irá proporcionar um controle dos procedimentos operacionais colocando em pauta as necessidades da estação para que sejam aplicadas ações preventivas e melhorias.
- Nos próximos trabalhos recomenda-se uma avaliação do emprego de sulfato de Alumínio na ETA em estudo, para que os sistemas de filtração consigam atender as exigências da Portaria 2914, onde os mesmos consigam produzir uma água com qualidade ao longo de toda sua carreira em função do parâmetro de turbidez.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo deste estudo confirmam o grande potencial da tecnologia composta de filtros rápidos descendentes no tratamento de águas com baixa turbidez. Entretanto, as conclusões gerais e específicas apresentadas a seguir são válidas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

A princípio conclui-se que, de maneira geral, a turbidez da água bruta que abastece a unidade de tratamento não possuiu grandes variações de mês para mês durante no ano analisado. A turbidez do canal é baixa e com poucas oscilações durante o ano, nota-se que além sofrer a influência da precipitação da região a turbidez tende a aumentar conforme o nível do canal em razão da concentração de matéria orgânica presente que acaba sendo aspirada pelas bombas da captação.

Já com a água tratada observa-se que grande parte dos resultados apresentaram valores de turbidez acima do que foi encontrado na água bruta, ou seja, a turbidez na saída do tratamento não está sendo reduzida, essa constatação indica que a estação de tratamento não está atendendo as exigências da Portaria 2914.

Os resultados da eficiência dos filtros apresentados na primeira etapa quando a pré-cloração indicava concentrações entre 20kg/d e 25kg/d mostra que as unidades apresentaram resultados insatisfatórios na remoção de turbidez. Apenas os filtros 4 e 9 apresentaram eficiências considerável remoção de turbidez próximas a 51%.

Esse desempenho insatisfatório das unidades, no que refere a turbidez, permite concluir que dificuldades operacionais deveriam estar ocorrendo na ETA no período em análise. Dentre os problemas operacionais foi constatado que o comportamento do processo de filtração é fruto de decisão dos operadores, a retirada dos filtros para lavagem acontece por conta da perda de carga, a turbidez na saída dos filtros poderia ser controlada se houvesse o controle de turbidez na saída dos mesmos através do tempo de carreira de filtração quando a turbidez na água bruta estivesse elevada.

Outra interferência considerada para o péssimo desempenho dos filtros é a distribuição de vazão entre as unidades, de modo que a sobrecarga de uma unidade em relação à outra prejudica o desempenho das mesmas.

Com uma concentração maior na pré-cloração houve uma melhoria significativa do processo de filtração na remoção de turbidez apesar dos problemas operacionais

serem mantidos. Apenas o filtro 1 permaneceu com resultados insatisfatórios que pode ser justificado pelo tempo de funcionamento sem interrupção para lavagem. Os demais alcançaram eficiências positivas chegando a 79,14 para o filtro 10.

Com a segunda etapa conclui que água filtrada por simples pré-cloração ainda que seja em uma concentração alta não atende ao padrão de potabilidade (Portaria 2.914/11), isto é, o produto apresentou ser uma alternativa capaz de auxiliar na remoção de turbidez que entretanto é insuficiente para atender a referida portaria, visto que apenas 56% dos valores se encontram abaixo de 0,5 uT.

A turbidez da água filtrada após a lavagem do filtro atinge picos de turbidez elevados, nesse momento, a qualidade da água é prejudicada com a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos através do transpasse das partículas o que podem comprometer a saúde da população abastecida por essa água. Portanto, além de uma lavagem correta, a frequência entre uma lavagem e outra poderia evitar esse problema.

Vários trabalhos apresentados durante esta pesquisa, reúnem indícios que para proporcionar a melhor qualidade da água filtrada é necessário o emprego do coagulante (Sulfato de Alumínio), tendo em vista que esta é uma estratégia que pode vir a ser testada para os filtros atingirem eficiência máxima com a redução satisfatória de turbidez, que não implicaria na necessidade de modificar a estrutura da ETA uma vez que a estação possui um sistema para receber coagulante químico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. B. **Comportamento de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento mediante o emprego de polímeros como auxiliares de filtração.** São Paulo, 2009.
- ALCANTARA, F.J.V. **Estudo comparativo de dois leitos filtrantes com porosidade distintas em sistemas de dupla filtração para tratamento de água.** Maceió, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 1992. Disponível em : < <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAiY8AC/nbr-12216>>. Acesso: 20/10/2018.
- BOF, F. M. G. **Dupla filtração em filtros ascendentes de pedregulho e filtros descendentes de areia aplicada à remoção de algas: influência da taxa de filtração e granulometria do filtro de areia.** 2007.
- BRAGA, J. G. **Remoção de turbidez e de fitoplâncton por meio da sedimentação e da flotação, com base no diagrama de coagulação do sulfato de alumínio: avaliação em escala de bancada.** Vitória, 2005.
- BRAGA, F. P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de fora – MG.** Juiz de Fora, 2014.
- BRINCK, N. C. P. **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento.** São Paulo, 2009.
- CERQUEIRA, D. A. **Remoção de oocistos de cryptosporidium parvum e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto.** Belo Horizonte, 2008.
- CAMPOS, M. C. **Influência da recirculação de água de lavagem de filtros na qualidade da água para consumo humano.** Campinas, 2014.
- CORREIA, A. et al. **Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento.** Natal-RN, 2008.
- DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.** São Carlos, 2004.
- DI BERNARDO, Luiz. Dantas, A. Di B. **Avaliação do desempenho de filtros rápidos de ETA de ciclo completo.** São Carlos, 2014.
- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS-EQUIPAMENTOS. **Projeto integração do canal de Sertão com o sistema coletivo de sistema de abastecimento de água do Alto Sertão.** Novembro, 2012. Fornecido pela Companhia de Saneamento de Alagoas.
- FARIAS, N. J. V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de água contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa*.** Brasília/ DF, 2011.
- FARIAS, A. P. **Análise de conformidade de indicadores da qualidade da água que abastece um hospital público regional em Campina Grande-PB.** Campina Grande-PB, 2014.

FERRAZ, C. F.; PATERNIANI, J. E. S. **Redução na espessura da camada suporte através da substituição por mantas não-tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento.** Campinas-SP, 2002.

FERNADES, N. M. G. *et al.* **Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente.** Rio de Janeiro, 2010.

FERREIRA, A. F. **Avaliação da ETA de Hidrolândia para atendimento do padrão de turbidez da portaria 2914.** Goiânia, 2014.

FARIAS, N. J. V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de água contendo células tóxicas de microcystis.** Brasília, 2011.

FERNANDES, E. P. **Análise comparativa de um novo conceito para unidades de desaguamento de lodo de estação de tratamento de água: Estudo de caso de Olímpia-SP.** Florianópolis-SC, 2014.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor na água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** Ouro Preto-MG, 2009.

GHISI, D. B. **Proposta de um modelo de projeto de filtro rápido bifluxo para tratamento de água de abastecimento de água de abastecimento.** Florianópolis, 2016.

HELLER L.; Pádua V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

ISHI, M. M. **Filtração lenta com retrolavagem para tratamento de água de abastecimento.** Florianópolis-SC, 2013.

KERRY, J. H. *et al.* **Princípios de tratamento de água.** 3ª ed. São Paulo, SP: Editora Cengage, 2016.

LÉDO, P. G S. **Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez utilizando sulfato de alumínio e sementes de moringa oleífera como coagulantes.** Natal, 2008.

LOPES, G. J. R. **Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de *cryptosporidium* spp. Nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo.** Viçosa, 2008.

LÚCIO, F. **Avaliação do emprego da filtração direta no tratamento de água com turbidez elevada por meio da pressedimentação: ensaios em escala de bancada.** Belo Horizonte, 2013.

MARQUES, G. S. **Avaliação da confiabilidade analítica de medições de turbidez em água potável.** Curitiba, 2016.

MATOS, D. F. L. *et al.* **Avaliação da eficiência da remoção da turbidez nos filtros das Etas no município de Varzea Grande-MT.** 53º Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro, 2013.

MENDES, C.G.N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis.** 244p. 2v. Tese Doutorado- Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MEDEIROS, P. **Avaliação do agente coagulante na remoção de cor e turbidez da água bruta na ETA Morro dos Quadros, Palhoça, SC.** Palhoça, 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2011. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso: 14/08/2018

NORMA TÉCNICA INTERNA SABESP NTS 008. **Turbidez, Método de Ensaio**. São Paulo, 1999. Disponível em: < <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts008.pdf> >. Acesso em: 10/01/2019.

OLIVEIRA, D. C. *et al.* **Avaliação de desempenho de filtros rápidos de fluxo descendente: a importância da adequada operação**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2006, Punta del Leste. **Anais...**Montevidéu, AIDIS, 2006.

OLIVEIRA, T. F. **Tratamento de água para abastecimento público por sistema de separação por membrana de ultrafiltração: Estudo de caso na Eta alto da Boa Vista (São Paulo, SP)**. São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* **Estudo do Reaproveitamento da Água de Lavagem de Filtro na ETA Anápolis/GO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, III., 2012, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Bauru: IBEAS, 2012.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem**. Florianópolis, 2010.

PADILHA, D. J *et al.* **Análise de utilização de três diferentes coagulantes na remoção da turbidez de água de manancial de abastecimento**. Paraná, 2011.

REIS, C. G. **Clarificação e filtração da água para consumo humano estações de tratamento de água do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2016.

RODRIGUES, R. C. *et al.* **Caracterização da água bruta e avaliação da carga hidráulica na estação de tratamento de água do bolonha (ETA-Bolonha) - Região metropolitana de Belém**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005. **Anais...**Rio de Janeiro, ABES, 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Precipitação Mensal -2018**. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/dados-de-precipitacao-mensal>>. Acesso em: 07/04/2019.

SILVEIRA, L. R.; COUTINHO, M. M. **Utilização de Filtro de Múltiplas Camadas para remoção de Turbidez**. Revista Tecnia, 2016. Disponível em: < <http://revistas.ifg.edu.br/tecnica/article/view/68> >. Acesso:14/08/2018.

SOUZA, F. H. **Tratamento de água para abastecimento por meio de filtros lentos de fluxo ascendente com limpeza por retrolavagem e descarga de fundo**. Florianópolis-SC, 2015.

VIANA, D. B. *et al.* **Levantamento e caracterização de dados de turbidez de água bruta e tratada de 44 ETAS no Brasil com tratamento em ciclo completo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Goiânia, 2013. **Anais...**Rio de Janeiro, ABES, 2013.

VIEIRA, C. V. **Aproveitamento de águas pluviais: influência do volume de descarte e da filtração na qualidade da água**. Curitiba, 2013.

VOLTAN, P. E. N. **Avaliação da ruptura e do recrescimento de focos na eficiência de sedimentação em água com turbidez elevada**. São Carlos, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Valores encontrados para água bruta e filtrada nos dias 05 e 09 de julho de 2018

| ETA ALTO SERTÃO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| PLANILHA DE MONITORAMENTO DE TURBIDEZ DOS FILTROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATA | HORA | FILTRO 01 | | FILTRO 02 | | FILTRO 03 | | FILTRO 04 | | FILTRO 05 | | FILTRO 06 | | FILTRO 07 | | FILTRO 08 | | FILTRO 09 | | FILTRO 10 | |
| | | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR. | SAÍDA | ENTR. | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR. | SAÍDA | ENTR | SAÍDA |
| 05/jul | 09:00 | 1,05 | 1,58 | 1,14 | 1,08 | 0,98 | 1,77 | 1,0 | 1,13 | 1,51 | 1,88 | 1,00 | 2,13 | 1,26 | 1,01 | 1,03 | 1,72 | 1,00 | 0,84 | 1,02 | 2,28 |
| 05/jul | 10:00 | 1,14 | 1,21 | 0,97 | 1,05 | 1,21 | 1,86 | 0,9 | 1,21 | 1,11 | 2,02 | 1,46 | 1,51 | 0,82 | 0,94 | 0,92 | 0,82 | 1,13 | 0,94 | 1,05 | 1,47 |
| 05/jul | 11:00 | 1,11 | 0,97 | 1,09 | 0,99 | 1,17 | 0,91 | 1,14 | 1,06 | 1,25 | 0,99 | 1,06 | 1,77 | 1,15 | 0,53 | 1,20 | 0,60 | 1,17 | 0,69 | 1,01 | 1,11 |
| 05/jul | 12:00 | 1,16 | 0,91 | 0,97 | 1,06 | 0,85 | 0,85 | 1,15 | 0,58 | 1,23 | 1,83 | 1,15 | 2,50 | 0,81 | 0,96 | 0,73 | 0,94 | 0,90 | 0,93 | 0,83 | 3,62 |
| 05/jul | 13:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05/jul | 14:00 | 0,88 | 1,08 | 0,98 | 1,12 | 1,01 | 1,07 | 0,9 | 0,81 | 0,72 | 1,57 | 0,76 | 2,24 | 0,66 | 0,81 | 0,77 | 1,17 | 0,81 | 0,94 | 0,78 | 1,28 |
| 05/jul | 15:00 | 0,83 | 0,81 | 1,28 | 0,89 | 1,04 | 0,74 | 0,99 | 0,75 | 0,95 | 0,98 | 0,89 | 1,48 | 0,94 | 0,83 | 0,74 | 0,99 | 0,83 | 0,92 | 0,96 | 1,23 |
| 05/jul | 16:00 | 0,86 | 0,94 | 0,91 | 1,12 | 0,78 | 0,66 | 1,02 | 0,62 | 0,98 | 1,05 | 1,17 | 1,52 | 0,77 | 1,14 | 0,78 | 1,25 | 0,93 | 0,75 | 0,79 | 2,02 |
| 05/jul | 17:00 | 0,86 | 0,67 | 1,17 | 1,08 | 0,9 | 0,82 | 1,13 | 0,94 | 0,69 | 0,77 | 0,90 | 1,64 | 1,04 | 0,92 | 0,76 | 0,74 | 0,97 | 1,12 | 1,00 | 1,29 |

ETA ALTO SERTÃO

PLANILHA DE MONITORAMENTO DE TURBIDEZ DOS FILTROS

| DATA | HORA | FILTRO 01 | | FILTRO 02 | | FILTRO 03 | | FILTRO 04 | | FILTRO 05 | | FILTRO 06 | | FILTRO 07 | | FILTRO 08 | | FILTRO 09 | | FILTRO 10 | |
|--------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA |
| 09/jul | 09:00 | 0,91 | 1,18 | 0,98 | 1,05 | 1,08 | 1,98 | 1,25 | 0,92 | 0,81 | 0,98 | 0,92 | 1,20 | 0,94 | 1,25 | 1,02 | 0,81 | 1,07 | 0,47 | 1,25 | 1,51 |
| 09/jul | 10:00 | 0,73 | 1,01 | 0,81 | 0,85 | 1,19 | 1,04 | 1,35 | 1,25 | 0,95 | 1,07 | 1,28 | 0,84 | 1,16 | 0,91 | 0,96 | 1,05 | 0,80 | 0,77 | 0,84 | 1,81 |
| 09/jul | 11:00 | 1,10 | 1,14 | 0,78 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 1,17 | 0,94 | 0,97 | 1,19 | 1,00 | 0,99 | 0,71 | 1,05 | 0,83 | 0,95 | 0,73 | 0,81 | 0,76 | 1,00 |
| 09/jul | 12:00 | 0,63 | 1,12 | 0,87 | 0,91 | 0,85 | 0,94 | 1,03 | 1,47 | 1,04 | 0,76 | 1,06 | 1,10 | 0,67 | 1,57 | 0,99 | 1,19 | 0,88 | 0,84 | 0,83 | 0,79 |
| 09/jul | 13:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09/jul | 14:00 | 1,09 | 0,90 | 0,99 | 1,39 | 1,27 | 1,11 | 1,02 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 1,00 | 1,40 | 0,89 | 0,90 | 0,99 | 0,87 | 0,75 | 0,99 |
| 09/jul | 15:00 | 0,93 | 0,97 | 0,89 | 0,89 | 0,54 | 1,03 | 1,05 | 0,87 | 1,09 | 1,03 | 0,86 | 0,93 | 0,97 | 1,56 | 1,17 | 0,81 | 0,96 | 1,29 | 1,07 | 1,02 |
| 09/jul | 16:00 | 0,96 | 1,07 | 0,97 | 1,08 | 0,96 | 1,01 | 0,89 | 1,06 | 0,98 | 1,10 | 0,93 | 0,87 | 0,77 | 1,60 | 0,88 | 0,76 | 1,05 | 0,99 | 0,73 | 1,07 |
| 09/jul | 17:00 | 1,20 | 0,92 | 1,03 | 1,06 | 0,8 | 1,13 | 0,97 | 0,70 | 0,99 | 1,05 | 0,95 | 1,07 | 1,09 | 1,11 | 0,92 | 1,01 | 0,96 | 0,88 | 0,99 | 1,24 |

APÊNDICE B – Planilha de controle de operação dos filtros (24/06/2018 - 09/07/2018)

| PLANILHA DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DOS FILTROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| DIA | FILTRO 1 | | FILTRO 2 | | FILTRO 3 | | FILTRO 4 | | FILTRO 5 | | FILTRO 6 | | FILTRO 7 | | FILTRO 8 | | FILTRO 9 | | FILTRO 10 | |
| | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉR | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM |
| 24/06/2018 | | | | | | | | | | | | | 12:40 | 13:00 | | | | | | |
| 25/06/2018 | | | 06:30 | 07:00 | 08:15 | 08:40 | | | | | | | | | | | | | | |
| 26/06/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27/06/2018 | | | | | | | 19:00 | 19:15 | | | 22:57 | 23:15 | | | 20:56 | 21:13 | | | | |
| 28/06/2018 | 14:17 | 14:41 | | | | | | | | | | | | | | | 19:45 | 20:05 | | |
| 29/06/2018 | | | | | | | | | 14:17 | 14:38 | | | | | | | | | 00:38 | 00:57 |
| 30/06/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/07/2018 | | | 06:40 | 07:05 | 08:30 | 09:00 | | | 04:20 | 04:45 | | | | | | | | | 14:35 | 15:00 |
| 02/07/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/07/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04/07/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05/07/2018 | 06:30 | 07:00 | | | | | | | 08:35 | 09:00 | 10:35 | 11:00 | | | | | | | 15:45 | 16:10 |
| 06/07/2018 | | | | | | | 08:49 | 09:03 | | | | | | | 08:56 | 09:13 | | | | |
| 07/07/2018 | 14:17 | 15:05 | 14:17 | 15:05 | | | | | | | | | | | | | 14:00 | 14:43 | | |
| 08/07/2018 | | | | | 10:40 | 11:05 | | | | | | | | | | | | | 06:50 | 07:20 |
| 09/07/2018 | | | | | | | | | | | | | 08:45 | 09:02 | | | | | | |

| LEGENDA | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| OPERADOR 1 | OPERADOR 2 | OPERADOR 3 | OPERADOR 4 | S/IDENTIFICAÇÃO |

APÊNDICE C – Valores encontrados para água bruta e filtrada no dia 12 de março de 2019

| ETA ALTO SERTÃO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| PLANILHA DE MONITORAMENTO DE TURBIDEZ DOS FILTROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATA | HORA | FILTRO 01 | | FILTRO 02 | | FILTRO 03 | | FILTRO 04 | | FILTRO 05 | | FILTRO 06 | | FILTRO 07 | | FILTRO 08 | | FILTRO 09 | | FILTRO 10 | |
| | | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA | ENTR | SAÍDA |
| 12/mar | 09:00 | 1,31 | 2,40 | 0,78 | 0,54 | 0,70 | 0,52 | 0,83 | 1,25 | 0,68 | 0,59 | 0,53 | 0,71 | 0,65 | 0,38 | 0,61 | 0,92 | 0,66 | 0,92 | 0,47 | 0,99 |
| 12/mar | 10:00 | 0,60 | 2,01 | 0,61 | 0,45 | 0,72 | 0,96 | 0,43 | 0,41 | 0,71 | 0,50 | 0,93 | 0,83 | 0,39 | 0,44 | 0,73 | 0,90 | 0,44 | 0,39 | 1,10 | 0,59 |
| 12/mar | 11:00 | 1,29 | 1,34 | 0,45 | 1,14 | 0,46 | 0,43 | 0,97 | 0,24 | 0,80 | 0,64 | 0,79 | 0,49 | 0,47 | 0,48 | 0,61 | 0,23 | 0,54 | 0,82 | 0,84 | 0,56 |
| 12/mar | 12:00 | 0,65 | 0,34 | 0,56 | 0,53 | 0,44 | 0,55 | 0,46 | 0,59 | 0,80 | 0,56 | 1,22 | 0,27 | 0,42 | 0,43 | 1,15 | 0,29 | 0,53 | 0,36 | 0,50 | 0,42 |
| 12/mar | 13:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12/mar | 14:00 | 0,77 | 1,28 | 1,10 | 0,45 | 1,02 | 0,71 | 1,12 | 0,27 | 0,64 | 0,63 | 1,43 | 0,50 | 0,57 | 0,69 | 0,28 | 0,28 | 0,41 | 0,51 | 0,47 | 0,17 |
| 12/mar | 15:00 | 0,93 | 1,54 | 1,56 | 0,66 | 0,85 | 0,43 | 0,68 | 0,46 | 1,02 | 0,57 | 0,81 | 0,72 | 0,70 | 0,41 | 0,96 | 0,23 | 0,73 | 0,29 | 0,95 | 0,42 |
| 12/mar | 16:00 | 1,31 | 2,49 | 0,95 | 0,43 | 0,67 | 1,08 | 0,99 | 0,70 | 1,58 | 0,45 | 0,58 | 0,58 | 0,44 | 0,33 | 0,86 | 1,03 | 0,91 | 0,91 | 1,14 | 0,88 |
| 12/mar | 17:00 | 1,23 | 0,60 | 0,52 | 0,68 | 0,63 | 0,53 | 1,01 | 0,52 | 0,66 | 0,49 | 0,58 | 0,63 | 0,62 | 0,30 | 0,44 | 0,40 | - | 1,84 | 1,05 | 0,75 |

APÊNDICE D – Planilha de controle de operação dos filtros (01/03/2019 - 12/03/2019)

| PLANILHA DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DOS FILTROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| DIA | FILTRO 1 | | FILTRO 2 | | FILTRO 3 | | FILTRO 4 | | FILTRO 5 | | FILTRO 6 | | FILTRO 7 | | FILTRO 8 | | FILTRO 9 | | FILTRO 10 | |
| | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉR | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM | INICIO | TÉRM |
| 01/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02/03/2019 | | | 07:47 | 08:03 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/03/2019 | | | | | 10:45 | 11:20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 04/03/2019 | | | | | | | 17:00 | 17:20 | | | | | 14:50 | 15:10 | 09:20 | 09:40 | 08:10 | 08:30 | 06:50 | 07:15 |
| 05/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06/03/2019 | | | | | | | | | 09:03 | 09:20 | | | | | | | | | | |
| 07/03/2019 | | | 07:00 | 07:20 | | | | | | | 11:30 | 11:48 | | | | | | | | |
| 08/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11/03/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12/03/2019 | | | | | 08:00 | 8:20 | | | | | | | | | | | | | | |

| LEGENDA | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| OPERADOR 1 | OPERADOR 2 | OPERADOR 3 | OPERADOR 4 | S/IDENTIFICAÇÃO |

APÊNDICE E – Planilha de monitoramento da qualidade da água bruta e tratada-2018

| JANEIRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
|-----------|------------------------------|----------|-------------------|----------|
| 4/1 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,98 | ETA - Alto Sertão | 0,58 |
| 9/1 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,72 | ETA - Alto Sertão | 1,33 |
| 15/1 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,89 | ETA - Alto Sertão | 1,20 |
| 23/1 | Canal do Sertão - Água Bruta | 0,11 | ETA - Alto Sertão | 0,62 |
| 30/1 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,23 | ETA - Alto Sertão | 0,32 |
| FEVEREIRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 6/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 1,05 |
| 13/3 | - | -- | ETA - Alto Sertão | 1,27 |
| 20/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 2,30 |
| 27/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 0,72 |
| MARÇO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 6/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 1,05 |
| 13/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 1,27 |
| 20/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 2,30 |
| 27/3 | - | - | ETA - Alto Sertão | 0,72 |
| ABRIL | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 4/4 | - | - | ETA - Alto Sertão | 1,13 |
| 17/4 | - | - | ETA - Alto Sertão | 2,40 |
| 24/4 | - | - | ETA - Alto Sertão | 2,35 |
| MAIO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 3/5 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,98 | ETA - Alto Sertão | 1,96 |
| 8/5 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,72 | ETA - Alto Sertão | 2,44 |
| 14/5 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,28 | ETA - Alto Sertão | 2,53 |
| 29/5 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,46 | ETA - Alto Sertão | 2,31 |
| JUNHO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 5/6 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,19 | ETA - Alto Sertão | 1,38 |
| 13/6 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,19 | ETA - Alto Sertão | 1,38 |
| 19/6 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,19 | ETA - Alto Sertão | 1,36 |
| 26/6 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,35 | ETA - Alto Sertão | 1,24 |
| JULHO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 3/7 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,32 | ETA - Alto Sertão | 1,68 |
| 16/7 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,10 | ETA - Alto Sertão | 2,23 |
| 24/7 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,85 | ETA - Alto Sertão | 0,82 |
| 31/7 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,38 | ETA - Alto Sertão | 2,12 |
| AGOSTO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 7/8 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,11 | ETA - Alto Sertão | 3,36 |
| 15/8 | - | - | ETA - Alto Sertão | 1,35 |
| 21/8 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,92 | ETA - Alto Sertão | 2,38 |
| 28/8 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,10 | ETA - Alto Sertão | 1,25 |
| SETEMBRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 4/9 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,72 | ETA - Alto Sertão | 1,07 |
| 11/9 | Canal do Sertão - Água Bruta | 3,54 | ETA - Alto Sertão | 1,65 |
| 18/9 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,13 | ETA - Alto Sertão | 1,38 |
| 25/9 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,72 | ETA - Alto Sertão | 2,92 |
| OUTUBRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 9/10 | Canal do Sertão - Água Bruta | 3,21 | ETA - Alto Sertão | 1,85 |
| 16/10 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,12 | ETA - Alto Sertão | 1,42 |
| 23/10 | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,35 | ETA - Alto Sertão | 1,64 |
| NOVEMBRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 6/11 | Canal do Sertão - Água Bruta | 3,12 | ETA - Alto Sertão | 2,01 |
| 14/11 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,87 | ETA - Alto Sertão | 2,36 |
| 21/11 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,52 | ETA - Alto Sertão | 1,80 |
| 27/11 | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,86 | ETA - Alto Sertão | 1,84 |
| DEZEMBRO | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ | LOCAL DA COLETA | TURBIDEZ |
| 05/dez | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,48 | ETA - Alto Sertão | 1,84 |
| 11/dez | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,63 | ETA - Alto Sertão | 1,84 |
| 18/dez | Canal do Sertão - Água Bruta | 1,32 | ETA - Alto Sertão | 1,84 |
| 26/dez | Canal do Sertão - Água Bruta | 2,54 | ETA - Alto Sertão | 1,24 |