

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA ETA DE HIDROLÂNDIA PARA  
ATENDIMENTO DO PADRÃO DE TURBIDEZ DA  
PORTARIA 2914**

**ANGÉLICA FRANCO FERREIRA**

GOIÂNIA

2014

Angélica Franco Ferreira

**AVALIAÇÃO DA ETA DE HIDROLÂNDIA PARA  
ATENDIMENTO DO PADRÃO DE TURBIDEZ DA  
PORTARIA 2914**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Profº. Dr. Paulo Sérgio Scalize

GOIÂNIA

2014

Angélica Franco Ferreira

AVALIAÇÃO DA ETA DE HIDROLÂNDIA PARA ATENDIMENTO DO PADRÃO DE  
TURBIDEZ DA PORTARIA 2914

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola  
de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás,  
como requisito para obtenção do título de Engenheira  
Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Paulo Sérgio Scalize

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize (Orientador)  
Universidade Federal de Goiás

---

Prof. Dr. Humberto Carlos Ruggeri Júnior

---

Prof. Dr. Joel Roberto Guimarães Vasco

F U N.—August 18, 1866.



DEATH'S DISPENSARY.

OPEN TO THE POOR, GRATIS, BY PERMISSION OF THE PARISH.

## RESUMO

Em dezembro de 2011, o Ministério da Saúde publicou a Portaria 2914 atualizando os padrões de potabilidade da água para abastecimento humano constantes na Portaria 518. A nova portaria revisou diversos parâmetros, sendo a principal mudança a atualização do padrão de turbidez, com valores máximos permitidos passando de 1,0 uT para 0,5 uT na saída dos filtros rápidos e de 2,0 uT para 1,0 uT na saída dos filtros lentos. O maior rigor visa reduzir a quantidade de microrganismos patogênicos presentes na água tratada, entretanto pode representar um grande desafio para as empresas responsáveis pelo tratamento da água. O estudo das estruturas da ETA, bem como da qualidade da água captada e da água filtrada, torna-se fundamental na identificação de falhas e consequente proposição de melhorias para atender à Portaria 2914. O presente trabalho avaliou as condições de operação e estrutural da ETA de Hidrolândia, estado de Goiás, obtendo informações sobre as características da água captada, o funcionamento das unidades da ETA, as condições de coagulação e os impactos das operações na qualidade da água tratada. Com base nos valores de turbidez da água na saída dos filtros, pôde-se perceber que o padrão de turbidez era atendido, porém apresentava altos valores em momentos específicos da operação da ETA.

**Palavras-chave:** Filtros, turbidez, portaria 2914, padrões de potabilidade, Estação de Tratamento de Água.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Filtros rápidos descendentes em funcionamento na ETA Jaime Câmara.....	18
Figura 2.2 - Mecanismos de transporte de partículas.....	20
Figura 2.3 - Etapa inicial da filtração rápida descendente.....	22
Figura 3.1 - Configuração das unidades de tratamento.....	26
Figura 3.2 - Unidade de decantação da ETA de Hidrolândia.....	27
Figura 3.3 - Monitoramento do nível de água no filtro.....	29
Figura 4.1 - Variação da turbidez da água bruta ao longo do tempo.....	30
Figura 4.2 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio em função do pH da água bruta.....	32
Figura 4.3 - Afogamento da entrada de água floculada para o decantador.....	33
Figura 4.4 - Valores de turbidez da água na saída dos decantadores.....	34
Figura 4.5 - Espessuras do meio filtrante dos filtros.....	34
Figura 4.6 - Perda de carga nos filtros.....	35
Figura 4.7 - Relação entre perda de carga e turbidez da água filtrada (Filtro 1).....	36
Figura 4.8 - Relação entre perda de carga e turbidez da água filtrada (Filtro 2).....	36
Figura 4.9 - Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1 e 2 em função do tempo de operação (monitoramento 24/06/2014).....	37
Figura 4.10 - Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1 e 2 em função do tempo de operação (monitoramento 03/07/2014).....	37
Figura 4.11 - Gráfico <i>E. coli</i> x Turbidez para o filtro FD2.....	39

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Resumo das recomendações constantes na NBR 12216.....	24
Tabela 4.1 - Valores encontrados para água tratada.....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AGR - Agência Goiana de Regulação

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

ETA - Estação de Tratamento de Água

FUNAPE - Fundação de Apoio à Pesquisa

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

MS - Ministério da Saúde

OMS - Organização Mundial da Saúde

PH - Potencial Hidrogeniônico

SANEAGO - Saneamento de Goiás

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SESP - Serviço Especial da Saúde Pública

UC - Unidade de Cor

UT - Unidade de Turbidez

VMP - Valor Máximo Permitido



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 SANEAMENTO E SAÚDE .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 PADRÃO DE POTABILIDADE .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Qualidade da água bruta.....	15
2.3.2 Estação de Tratamento de Água.....	16
<b>2.4 SISTEMAS DE FILTRAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
2.4.1 Filtros lentos .....	18
2.4.2 Filtros rápidos .....	19
<b>2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM A REDUÇÃO DA TURBIDEZ .....</b>	<b>22</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 UNIDADES PRECEDENTES AOS FILTROS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.6 ANÁLISE DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 ÁGUA BRUTA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 COAGULAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 FLOCULADORES E DECANTADORES .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4 SISTEMA DE FILTRAÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>4.5 ÁGUA FILTRADA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.6 ÁGUA TRATADA .....</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>
<b>7. APÊNDICES.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DO CÓRREGO GRIMPAS .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE B - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA FILTRADA.....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de água é o ramo do saneamento básico mais difundido no Brasil, destacando-se quando comparado aos sistemas de coleta de esgotos, drenagem urbana e gerenciamento de resíduos sólidos.

Entretanto, mesmo com índices tendendo à universalização - mais de 90% da população urbana atendida - parte desse percentual ainda é abastecida com água fora dos padrões de potabilidade, gerando impactos diretos na saúde da população.

Estima-se que no Brasil, cerca de 60% das internações hospitalares estejam relacionadas às deficiências do saneamento básico, sendo que cerca de 90% dessas doenças estejam ligadas à ausência de água em quantidade e qualidade adequadas (DI BERNARDO, 2005). Nesse aspecto, torna-se importante a preocupação de órgãos municipais, estaduais e nacional de saúde com relação às características da água fornecida pelas concessionárias.

Visando melhorar a qualidade da água e, assim, reduzir os problemas na área da saúde, o Ministério da Saúde publicou em dezembro de 2011 a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), que define os padrões de potabilidade da água para o consumo humano, revogando assim a Portaria nº 518 (BRASIL, 2004).

A atualização significou uma maior exigência para os sistemas de tratamento de água, representada, dentre outras maneiras, pela redução dos valores de turbidez. Os valores passaram de 1,0 uT, filtros rápidos, e 2,0 uT, filtros lentos, para 0,5 uT e 1,0 uT, respectivamente.

A turbidez, uma característica física da água relacionada com a presença de partículas em suspensão e em estado coloidal (comumente representadas por argila, silte, areia, algas e microrganismos em geral), é utilizada nas ETA's como indicador da eficiência dos sistemas de filtração na redução e remoção de microrganismos patogênicos na água tratada.

Dentre esses microrganismos, destacam-se os cistos de *Giardia* spp. e os oocistos de *Cryptosporidium* spp., patógenos causadores das doenças Giardíase e Criptosporidiose, respectivamente. Por serem resistentes aos métodos de desinfecção comumente adotados nas Estações de Tratamento de Água, a retirada desses patógenos deve ser realizada através dos sistemas de filtração.

A nova portaria do Ministério da Saúde vem na tentativa de melhorar a qualidade da água tratada e conferir maior segurança à saúde da população que utiliza esse serviço. Contudo, as novas exigências da portaria poderão solicitar novas estruturas físicas e soluções de operação para os sistemas de tratamento de água, sobretudo o sistema de filtração, que poderão onerar os custos envolvidos no tratamento de água e/ou demandar reformas e adequações de alguns sistemas.

Sendo assim, o atendimento às novas exigências de potabilidade representa um grande desafio para as empresas responsáveis pelo tratamento de água em todo território nacional, visto que algumas delas não conseguem atender nem os valores da antiga legislação.

O acompanhamento das operações da ETA e o estudo pormenorizado das estruturas de suas unidades visa a localização de possíveis falhas no tratamento, bem como a resolução das mesmas. O monitoramento das características da água bruta e da água afluyente e efluente aos filtros fornecerá embasamento para o diagnóstico da ETA, sendo o objetivo final o atendimento às exigências quanto a qualidade da água constantes na Portaria 2914.

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo da presente pesquisa é avaliar as condições de operação dos filtros com relação ao atendimento à Portaria 2914.

Os objetivos específicos são:

- Analisar as características da água bruta captada para o tratamento;
- Avaliar se as condições de coagulação, floculação e decantação utilizadas são apropriadas para o processo de filtração em uso;
- Avaliar as condições das camadas filtrantes;
- Analisar a qualidade da água produzida pelos filtros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SANEAMENTO E SAÚDE**

O saneamento tem ganhado, com o passar do tempo, a devida importância nas discussões sobre saúde, por conta de sua relação direta com esta. Ele se apresenta como um fator determinante para a melhoria das condições de vida da população e para a redução de gastos oriundos do tratamento de doenças.

De acordo com Vianna (2009), foi a partir do século XIX que se passou a dispensar maior atenção à proteção da qualidade da água. Tal preocupação estava relacionada às descobertas científicas daquele período, as quais demonstravam a relação entre a água e a transmissão de doenças causadas por agentes físicos, químicos e biológicos.

Antes de conhecida essa relação, na Revolução Industrial, as cidades se encontravam em estado precário quanto à higiene e ao saneamento. As águas residuárias e os resíduos sólidos dispostos de forma inadequada contribuíram para a dispersão de doenças que dizimaram milhares de pessoas. Apenas em 1854, com a grande epidemia de cólera em Londres, John Snow comprovou que a sua contaminação era por via hídrica (TAIRA, 2008).

Atualmente, em contrapartida, o saneamento básico imprime grande importância nos assuntos referentes a saúde. As ações de prevenção e assistência não são suficientes para a manutenção da qualidade de vida da população. "O conceito de saúde, entendido como um estado de completo bem-estar físico, mental e social, não restringe o problema sanitário ao âmbito das doenças" (BRASIL, 2004).

A realidade do saneamento no Brasil, em 2011, era de cerca de 93% da população urbana atendida com os serviços de água e apenas 55,5% do esgoto gerado sendo coletado e 37,5% tratado, de acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2013). A utilização de água sem qualidade e o retorno do esgoto sanitário sem o devido tratamento aos corpos hídricos ou solos representam grandes riscos à saúde das pessoas.

Os esgotos sanitários lançados indevidamente contaminam as águas com agentes patogênicos de várias doenças, tais como diarreias infecciosas, amebíase, giardíase, esquistossomose, teníase, ascaridíase e criptosporidiose. "Entre os

principais tipos de organismos patogênicos que podem encontrar-se na água, estão as bactérias, cianobactérias, vírus, protozoários e helmintos" (BRASIL, 2004), que entram em contato com o ser humano por meio da ingestão da própria água e alimentos contaminados, dos processos de higiene pessoal, atividades de lazer, etc.

Franco *et al.* (2012) citam que, em todo o mundo, 2,5 a 3 bilhões de pessoas não têm acesso a água de qualidade e em quantidade suficiente para viver. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 3,4 milhões de pessoas, principalmente crianças, morrem anualmente por enfermidades vinculadas à água.

No Brasil, estima-se que cerca de 60% das internações hospitalares estejam relacionadas às deficiências do saneamento básico, sendo que aproximadamente 90% dessas doenças estejam ligadas à ausência de água em quantidade e qualidade adequadas (DI BERNARDO, 2005). Dessa forma, a distribuição de água de acordo com as necessidades da população torna-se de fundamental importância no estabelecimento da qualidade de vida de seus usuários.

Estudos realizados pelo extinto Serviço Especial de Saúde Pública (SESP) na cidade de Palmares, em 1958, demonstraram a possibilidade de redução de mais de 50% na mortalidade infantil causada por diarreia apenas com a implantação do sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2004).

Dentre os microrganismos patogênicos encontrados na água, *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.* têm se destacado como os principais contaminantes associados à veiculação hídrica. Esses parasitas foram responsáveis por, no mínimo, 325 surtos epidêmicos reportados em todo o globo desde o ano de 1980 (FRANCO *et al.*, 2012).

A maioria dos produtos químicos utilizados para a desinfecção da água tem sido razoavelmente eficiente na inativação de bactérias, vírus e cistos de *Giardia* (KORICH *et al.*, 1990). Diferentemente disso, o oocisto de *Cryptosporidium* é resistente aos processos de desinfecção comumente adotados nas ETAs, tal como a cloração.

A remoção desses oocistos deverá ser feita então antes do processo de desinfecção, sendo portanto função dos sistemas anteriores, incluindo a filtração. Segundo WHO (2011), por conta de seu tamanho relativamente pequeno, os oocistos representam um desafio para os processos convencionais de filtração.

Falhas no sistema podem colocar em risco a saúde da população abastecida, como o ocorrido em Milwaukee, Estados Unidos, em 1993, no qual 400 mil pessoas contraíram o patógeno *Cryptosporidium* através da água do sistema de abastecimento (WHO, 2011).

## 2.2 PADRÃO DE POTABILIDADE

Visando padronizar a qualidade da água fornecida à população, com relação as suas características físicas, químicas e biológicas, são estabelecidos os padrões de potabilidade. Esses padrões são impostos "com base em valores máximos permitidos (VMP) para diversos contaminantes, ou indicadores da qualidade da água" (PÁDUA, 2009), que dará a água "condições para ser consumida sem causar danos à saúde ou objeções de caráter organoléptico" (BRANCO; ROCHA, 1977 *apud* VIANNA, 2009).

A água potável será, portanto, aquela que apresentar suas características de acordo com padrão de potabilidade vigente e que não ofereça riscos à saúde da população abastecida.

A primeira legislação a regulamentar a qualidade da água, nos Estados Unidos, foi instaurada no ano de 1914. No Brasil, apenas em 1977 surgiu a primeira norma válida em todo território nacional (PÁDUA, 2009). Desse momento em diante, as atualizações mostraram-se cada vez mais rigorosas, devido às novas descobertas científicas, do advento de novas substâncias ainda não regulamentadas (como novos biocidas, fertilizantes e processos industriais) e do aumento de exigência por parte dos consumidores.

Tendo em vista o crescente nível de exigência e as necessidades da população, o Ministério da Saúde publicou, em dezembro de 2011, a Portaria nº 2914 que dispõe sobre o novo padrão de potabilidade da água para consumo humano no país. Nela foram revisados parâmetros de qualidade da água antes estabelecidos pela Portaria nº 518, regulamentando novas substâncias e revisando Valores Máximos Permitidos.

Dentre os parâmetros revisados, destaca-se a atualização dos valores admissíveis de turbidez. Os valores máximos de turbidez na saída dos sistemas de filtração, antes limitados a 1,0 uT para filtros rápidos e 2,0 uT para filtros lentos, foram reduzidos para 0,5 uT e 1,0 uT, respectivamente.

A turbidez é uma característica física da água relacionada com a presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, que se apresentam numa ampla faixa de tamanhos, sendo comumente representadas por areia, argila e microrganismos em geral (DI BERNARDO, 2005).

De acordo com WHO (2011), microrganismos como bactérias e protozoários normalmente estão ligados a essas partículas em suspensão, e a redução da turbidez pelo processo de filtração pode reduzir significativamente a contaminação biológica da água tratada.

O texto da Portaria 2914 cita a importância na redução dos valores máximos permitidos em seu artigo 30, o qual diz:

Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez expresso no Anexo II e devem ser observadas as demais exigências contidas nesta Portaria (BRASIL, 2011).

A qualidade microbiológica da água é comumente baseada na análise de indicadores de contaminação fecal como *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes (WHO, 2011). A Portaria 2914 determina que sejam feitas análises de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e cistos de *Giardia spp.* quando a média geométrica anual da concentração de *E. coli* na água bruta for superior a 1000 *E. coli* /100ml.

A turbidez é, portanto, um parâmetro de vital importância na garantia da qualidade da água para consumo, pois afeta a sua aceitabilidade e é um indicador da qualidade microbiológica e da eficiência operacional das ETA's (LADEIA *et al.*, 2013). Ainda nesse sentido, de acordo com Fernandes *et al.* (2010), "menor valor de turbidez para uma dada qualidade de água bruta indica maior efetividade das barreiras do tratamento e, portanto, maior segurança da água a ser distribuída para consumo".

A atualização dos valores máximos permitidos para turbidez é um grande avanço em direção à melhoria da qualidade da água fornecida à população. Entretanto esse avanço representará grandes desafios para as concessionárias, sendo capaz de promover impactos nas estruturas físicas e no manejo dos sistemas, além de onerar os custos envolvidos no tratamento de água.

## 2.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento é composto por várias unidades, tais como captação de água, elevatórias, adutoras, estação de tratamento e rede de distribuição. Dentre essas unidades, a Estação de Tratamento de Água (ETA) é a responsável pela adequação da água aos padrões de potabilidade. As tecnologias e processos utilizados nas ETA's serão escolhidos, dentre outros fatores, de acordo com a qualidade da água bruta captada.

### 2.3.1 Qualidade da água bruta

"Água bruta é a água da forma como é encontrada na natureza. O termo *bruta* designa apenas que ela ainda não foi trabalhada pelo homem" (VIANNA, 2009), ou seja, ainda não passou por nenhum tipo de tratamento.

De acordo com Vianna (2009), do ponto de vista técnico, qualquer água encontrada na natureza pode ser potabilizada. Entretanto, do ponto de vista econômico, águas demasiadamente poluídas demandam técnicas e processos especiais, o que aumentam os custos com o tratamento.

Em vista das limitações dos modelos convencionais de tratamento de água, os órgãos competentes fixam limites de qualidade para as águas dos mananciais que abastecem o sistema.

A Resolução nº 357 do CONAMA (CONAMA, 2005) classifica as águas doces, de acordo com determinadas características da água, em cinco classes: Especial e 1 a 4. A destinação dessas águas ao abastecimento público requer desde apenas desinfecção para a Classe Especial, até tratamento convencional ou avançado para a Classe 3, não sendo recomendado para o abastecimento águas situadas na Classe 4.

O atual problema da água bruta captada é que, muitas vezes, ela é obtida de mananciais superficiais expostos a diversas fontes poluidoras.

O uso inadequado dos recursos hídricos, em decorrência do desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais, aliado a fatores relativos à urbanização desordenada e ao crescimento populacional, tem provocado de forma abrangente a poluição dos mananciais superficiais (SILVA *et al.*, 2012).



No estado de Goiás, os mananciais utilizados para o abastecimento também se encontram depreciados. Segundo Sodré (2010 *apud* RIOS, 2013), a sub-bacia do Ribeirão João Leite, que abastece parte da cidade de Goiânia e de cidades próximas, apresenta potenciais fontes poluidoras, tais como cemitérios, rodovias, pontos de lançamento de esgoto sanitário, efluentes industriais e áreas de disposição de resíduos sólidos. Esses pontos de poluição interferem na qualidade da água e, como consequência, aumentam os custos com o seu tratamento.

Por esses motivos, na concepção das estações de tratamento de água, o conhecimento das características da água bruta é fundamental para verificar se os processos necessários para a potabilização desta são condizentes com as tecnologias existentes e os recursos disponíveis para a sua implantação.

É importante também a preservação das bacias hidrográficas que abastecem os sistemas de tratamento de água, pois colabora na manutenção da qualidade e quantidade desse recurso e reduz os gastos com seu tratamento.

Ainda com relação à qualidade da água bruta, os mananciais superficiais apresentam uma significativa variação especialmente para o parâmetro turbidez durante as diferentes épocas do ano. A queda na qualidade da água, observada sobretudo nos períodos chuvosos, pode impactar nas características da água de abastecimento.

Scalize *et al.* (2014), em estudo sobre a qualidade da água tratada no estado de Goiás, observaram que na estiagem os valores de turbidez se mostraram inferiores aos encontrados no período chuvoso. Na época de chuvas, a ocorrência de turbidez da água tratada acima de 1,0 uT foi 78,1% superior à registrada no período de seca, o que mostra que tal variação é importante para a concepção de ETAs.

### **2.3.2 Estação de Tratamento de Água**

A Estação de Tratamento de Água é, segundo definição da NBR 12216 (ABNT, 1992), "o conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade". As unidades que constituem as ETA's possuem funções específicas no processo de tratamento e, dentre esses, merecem destaque a coagulação, decantação, floculação e filtração.

Na ETA, agentes químicos são adicionados à água e, em seguida, submetidos a mistura rápida, em unidades hidráulicas tal como a Calha Parshall, com

o objetivo de que as partículas coloidais sejam desestabilizadas e aglutinadas umas às outras nas etapas seguinte. Esse processo influencia a sedimentação das partículas, facilitando sedimentação do lodo e a decantação da água e a remoção de remanescentes nos filtros.

A desestabilização química das partículas é denominada coagulação, e a aglutinação e coalescência das partículas previamente desestabilizadas, efetuadas em unidades de mistura lenta, denomina-se floculação (VIANNA, 2009).

Após essa etapa, as partículas irão sedimentar nos decantadores, que são, segundo definição da NBR 12216, "unidades destinadas à remoção de partículas presentes na água, pela ação da gravidade". Essa unidade quase sempre precede o processo de filtração.

De acordo com Vianna (2009), a filtração remove da água as partículas em suspensão que não foram retidas na decantação, por meio de processos biológicos (filtros lentos), físicos e químicos (filtros rápidos). Também ficam retidos nos filtros microrganismos associados a essas partículas em suspensão, como os oocistos de *Cryptosporidium*.

A água filtrada passa ainda pelo processo de desinfecção, fundamental na inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, tais como bactérias e vírus. A Portaria 2914/11, exige que, para todos os sistemas, utilizando o cloro como agente desinfetante ou não, seja mantido concentrações mínimas de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede). A Portaria 2914 ainda recomenda concentração máxima de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema igual a 2 mg/L.

Após tratada, a água é fornecida de forma contínua e com pressão suficiente aos consumidores através da rede de distribuição, formada por tubulações e peças especiais.

## 2.4 SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

Os filtros constituem na última barreira física para remoção de partículas e microrganismos e, em alguns casos, são as únicas unidades de retenção do material

em suspensão encontradas nas ETA's, como nos casos da utilização da tecnologia de filtração direta.

O sistema de filtração será o principal responsável por remover microrganismos patogênicos e, assim, adequar a água aos padrões de turbidez estabelecidos pela Portaria 2914, sendo portanto a unidade mais afetada pelo aumento de rigor desse parâmetro.

A configuração do sistema de filtração pode ser concebida de diversas formas para que assim atenda aos padrões de potabilidade, entretanto podem ser consideradas associações entre modelos de filtros lentos e rápidos. A Figura 2.1 apresenta o sistema de filtração com filtros rápidos de fluxo descendente em funcionamento na ETA Jaime Câmara, em Goiânia.



Figura 2.1 - Filtros rápidos descendentes em funcionamento na ETA Jaime Câmara

Fonte: Próprio autor

#### 2.4.1 Filtros lentos

A filtração lenta é uma tecnologia de tratamento desenvolvida na Grã-Bretanha inspirada no processo de percolação e conseguinte filtração da água através do solo (MURTHA *et al.*, 1997). O termo *lento* se deve ao fato de possuírem taxas de filtração num intervalo de 2 a 9,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, menores em relação aos filtros rápidos que atingem valores de até 600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

A filtração pelo filtro lento constitui em processos predominantemente biológicos, resultantes da formação de uma comunidade biológica superficial (*shmutzedecke*) ao redor dos grãos do leito filtrante (COELHO e DI BERNARDO, 2012).

Segundo Coelho *et al.* (2012), a filtração lenta é capaz de remover matéria orgânica e inorgânica em suspensão e organismos patogênicos presentes na água, apesar de sua simplicidade operacional. A remoção de microrganismos pode ser superior a de outras formas de tratamento devido a fatores como: o ambiente dos filtros serem hostis para esses microrganismos, a predação e o efeito biocida da radiação solar (SCALIZE *et al.*, 2013), bastante efetiva nesse tipo de filtro.

Em contraponto, a utilização de filtros lentos vem sendo substituída pelo fato de necessitarem de áreas filtrantes muito grandes, o que representa um impasse em regiões altamente adensadas. Além disso, conforme citado por Coelho e Di Bernardo (2012), a utilização dessa tecnologia de filtração é limitada pela qualidade da água bruta afluyente, ficando restrita a águas com valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos baixos.

Atualmente modificações e melhorias, tanto de projeto quanto de operação, viabilizam a utilização de filtros lentos para águas que apresentam qualidade inferior à desejada para esse tipo de filtração. Segundo Logston *et al.* (2002, *apud* TAIRA, 2008), as melhorias incluem pré-filtros de pedregulho antecedendo a filtração lenta para remoção de turbidez, pré-oxidação com ozônio e uso de carvão ativado granulado (GAC) no meio filtrante, juntamente com a areia.

#### **2.4.2 Filtros rápidos**

Outra tecnologia de filtração usualmente encontrada nas ETAs é a de filtros rápidos. A remoção de partículas nesse tipo de filtro é feita por mecanismos físicos e químicos, sendo estes: transporte, aderência e desprendimento.

No mecanismo de transporte as partículas se aproximam dos grãos do meio filtrante através dos mecanismos de impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica (NASCIMENTO, 2009). A Figura 2.2 ilustra os diferentes mecanismos de transporte.

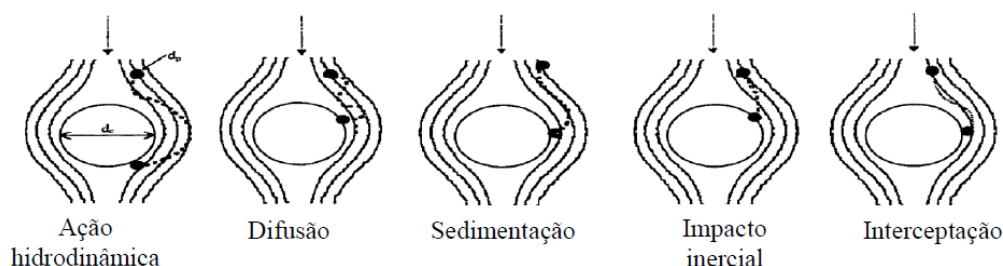


Figura 2.2 - Mecanismos de transporte de partículas

Fonte: NASCIMENTO, 2009

A ação hidrodinâmica ocorre quando as partículas suspensas, de tamanho relativamente grande, possuem em suas extremidades velocidades diferentes, o que provoca a rotação dessas partículas. A rotação gera uma diferença de pressão na direção perpendicular ao escoamento, fazendo com que a partícula se aproxime do grão do meio filtrante.

A difusão ocorre predominantemente em partículas pequenas, sujeitas ao movimento Browniano. Existe uma tendência de difusão das partículas pequenas das áreas de maior concentração para as de menor concentração, fazendo com que as partículas se aproximem da superfície dos grãos.

O mecanismo de sedimentação ocorre quando as partículas de elevada densidade e tamanhos relativamente grandes possuem alta velocidade de sedimentação, facilitando seu contato com a superfície do meio filtrante e sua deposição.

O impacto inercial ocorre quando partículas grandes com velocidade relativamente alta seguem uma trajetória distinta das linhas de fluxo, fazendo com que elas se choquem com os grãos do meio filtrante, aderindo-se a eles.

Quando uma partícula em suspensão movimentando-se junto à linha de corrente próxima à superfície do grão se adere a este, ocorre o mecanismo de intercepção. Esse mecanismo independe da massa e densidade da partícula e não conta com nenhuma força para deslocá-la através das linhas de corrente.

A retenção por intercepção é pouco significativa, pois as partículas movem-se em poros 100 a 1000 vezes maiores que elas. Por entre poros de 35 a 50  $\mu\text{m}$  de um meio filtrante constituído de areia, ficam retidas partículas coloidais com tamanho de 0,01 a 10  $\mu\text{m}$  (DI BERNARDO, 2003).

O mecanismo de aderência das partículas à superfície do meio filtrante ocorre devido a forças moleculares e físico-químicas, relativas às propriedades da superfície desses materiais. Forças superficiais de pequena intensidade começam a influenciar no movimento das partículas quando estas se deslocam próximas às superfícies dos grãos, fazendo com que as partículas em suspensão fiquem retidas no meio filtrante.

Conforme os espaços intersticiais do meio filtrante vão ficando cada vez menores, a força hidrodinâmica das partículas excede as forças de aderência, provocando seu desprendimento e transporte para as outras camadas seguintes do meio.

A lavagem dos filtros será necessária quando a perda de carga no meio for limite ou o transpasse de partículas aumentar a turbidez da água filtrada de forma a superar o valor máximo de 0,5 uT, para filtros rápidos. Teoricamente, a carga hidráulica disponível ideal para determinada taxa de filtração seria aquela na qual o final da carreira de filtração (tempo entre o início da operação e retirada do filtro para lavagem) ocorresse pela perda de carga e turbidez limite simultaneamente (DI BERNARDO, 2003), sendo atualmente de 0,5 uT para atender a Portaria 2914.

De acordo com Di Bernardo (2003), a lavagem dos filtros geralmente é feita utilizando-se água no sentido ascensional a fim de promover a fluidificação e expansão adequada do meio filtrante. A velocidade da água ascensional deve ser tal que o material granular seja expandido e libere as impurezas nele retidas.

Quando a lavagem dos filtros não é feita corretamente, a qualidade da água filtrada (de início de carreira) pode ser prejudicada pelo transpasse de partículas antes retidas no meio granular. "A primeira etapa da filtração, também conhecida como de 'amadurecimento', é caracterizada pela água que inicialmente sai do filtro, ou seja, as frações remanescentes decorrentes da lavagem" (DI BERNARDO, 2003).

Entretanto, após picos de turbidez causados sobretudo em decorrência da lavagem dos filtros, pode ser observada uma melhoria contínua na qualidade da água filtrada, como observado por Di Bernardo e Dantas (2014). A Figura 2.3, a seguir, mostra o parâmetro turbidez em função do tempo decorrido após a lavagem de um filtro. Embora seja apresentado para a filtração descendente, nos filtros ascendentes o comportamento é semelhante.

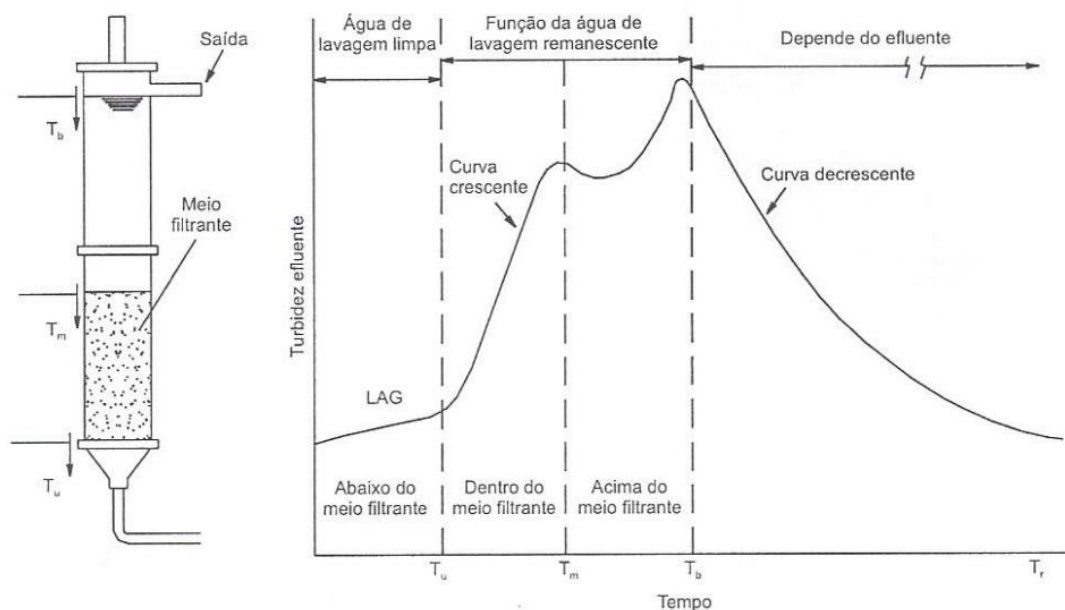


Figura 2.3 - Etapa inicial da filtração rápida descendente

Fonte: DI BERNARDO, 2003

A filtração rápida consiste na passagem da água pré-tratada, anteriormente submetida a processo de coagulação, seguido ou não de decantação, através de um meio granular. Quando a coagulação não é seguida de uma unidade de floculação e de decantação (ou flotação), denomina-se esse processo de filtração direta.

Os filtros diretos são largamente utilizados atualmente devido ao seu baixo custo de implantação, pois não necessitam de tanques de sedimentação, requerem baixas dosagens de coagulantes para águas naturais de boa qualidade, o que reduz a quantidade de lodo gerada (NASCIMENTO, 2009).

Entretanto, a utilização da filtração direta deve ser analisada com cuidado em casos de águas com elevados riscos de contaminação. Segundo Fernandes *et al.* (2010), dentre as várias técnicas de tratamento, esse tipo de filtração é uma das que apresentam menores barreiras de proteção, pelo fato de serem as únicas responsáveis pela retenção do material em suspensão na água.

## 2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM A REDUÇÃO DA TURBIDEZ

Além do modelo escolhido para o sistema de filtração, outros fatores influenciam na produção de água filtrada com baixos valores de turbidez. Entre eles

estão a composição e espessura do meio filtrante, as condições de operação das unidades precedentes e a forma com que os filtros são lavados.

De acordo com Di Bernardo (2003), a eficiência da filtração está relacionada com características da suspensão (tipo, tamanho e massa específica das partículas), do meio filtrante (material utilizado, tamanho efetivo, máximo e mínimo dos grãos) e hidráulicas (taxa de filtração, carga hidráulica disponível, etc.).

Como nas ETAs as unidades responsáveis pelo tratamento da água estão dispostas sequencialmente, o desempenho de uma unidade a montante afeta o funcionamento de todas a jusante. O correto funcionamento de um filtro, bem como a produção de uma água filtrada com baixos valores de turbidez poderão se dar ao fato do correto uso, operação e disposição das unidades precedentes aos filtros.

A inclusão ou a supressão de uma unidade deverá ocorrer após avaliação da água bruta, a qual deverá possuir características de acordo com o padrão de potabilidade ao sair da ETA.

Em se tratando da operação de unidades precedentes aos filtros, Fernandes *et al.* (2010) relataram a importância de se definir as condições de coagulação que promovam melhores resultados com relação à remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium*. A correta dosagem do coagulante sulfato de alumínio e o pH de coagulação possibilitaram a produção de água filtrada com valores abaixo de 0,5 uT na maioria dos experimentos realizados com filtro direto descendente.

Os valores obtidos permaneceram abaixo do preconizado pela Portaria 2914, considerando que a água bruta apresentava valores de turbidez entre 3,8 e 24,8 uT e o filtro possuía meio filtrante de camada dupla, sendo uma de antracito e outra de areia. Além da redução dos valores de turbidez, a correta dosagem de coagulante pode diminuir a quantidade de lodo gerado em uma ETA.

Baixos valores de turbidez podem ser obtidos também com a associação de filtros, devido ao fato de aumentar o número de barreiras de proteção. De acordo com Silva *et al.* (2012), algumas variantes como a filtração direta ascendente e a descendente possuem limitações relativas às características da água bruta, tal como o valor de turbidez.

Entretanto, a filtração rápida descendente precedida da filtração direta ascendente em pedregulho ou areia grossa, processo denominado de dupla filtração,



permite o tratamento de água de qualidade inferior, oferece maior segurança para variações bruscas da qualidade da água bruta e apresenta maior remoção de microrganismos em geral (DI BERNARDO, DANTAS, 2005, *apud* Silva *et al.*, 2012).

Para essa configuração de filtros, foi possível obter água na saída do último filtro com valores de turbidez muito abaixo do estabelecido pela nova portaria.

Os materiais utilizados nos filtros também devem ser estudados de forma a produzirem água de qualidade compatível com o exigido pela Portaria 2914. Características como o tamanho, coeficiente de desuniformidade e a forma dos grãos do meio filtrante influenciam na eficiência dos filtros.

Com relação às camadas filtrantes, a NBR 12216 (ABNT, 1992) recomenda que suas espessuras e características granulométricas sejam definidas com base em ensaios em filtro-piloto. Entretanto, a norma recomenda valores mínimos para o caso da não realização dos ensaios. A Tabela 2.1 resume as recomendações constantes na norma.

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

Tabela 2.1 - Resumo das recomendações constantes na NBR 12216

Os filtros podem apresentar baixa eficiência de redução de turbidez por falhas na operação e manutenção. Ladeia *et al.* (2013) verificaram a baixa eficiência de redução de turbidez de um filtro de fluxo descendente a partir do monitoramento da água filtrada. A quantidade de amostras que apresentavam valores para turbidez acima de 0,5 uT superava os 80%.

O problema foi contornado utilizando-se leito filtrante de camada dupla de areia e antracito. Após a mudança da camada filtrante, o filtro apresentou valores de turbidez menores que 0,5 uT em 95% das amostras. Nota-se, portanto, a importância no monitoramento da qualidade da água filtrada na percepção e resolução de problemas provenientes das unidades de filtração.

Ainda com relação à operação, o parâmetro turbidez pode apresentar valores superiores aos recomendados na Portaria nº 2914 devido à lavagem inadequada do meio filtrante. A lavagem dos filtros é um procedimento adotado

quando a perda de carga no meio é máxima e/ou a qualidade da água filtrada é prejudicada pelo transpasse de partículas que causam um aumento da turbidez.

A NBR 12216 (ABNT, 1992) estabelece valores mínimos para a lavagem dos filtros, sendo que o tempo mínimo deve ser de 10 minutos e a velocidade não deve ser inferior a 60 cm/min, para filtração descendente, e de 80 cm/min com tempo mínimo de 15 minutos de lavagem, para filtros ascendentes.

A limpeza ineficaz dos filtros pode gerar picos de turbidez, representados pela água residual de lavagem, podendo colocar em risco a saúde da população com o fornecimento de água com alta possibilidade de presença de patógenos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos desta pesquisa, a coleta de dados é de fundamental importância, sendo que deverá abranger informações sobre a qualidade da água bruta, estrutura dos filtros, qualidade da água tratada, entre outros. A forma de obtenção das informações é descrita a seguir.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na ETA do município de Hidrolândia, estado de Goiás, situada a cerca de 36 km de Goiânia. A ETA, administrada pela concessionária SANEAGO, possui tratamento de ciclo completo com capacidade para produção de mais de 1550 m<sup>3</sup> de água por dia, aproximadamente 18 L/s. A Figura 3.1 mostra o esquema geral da ETA.

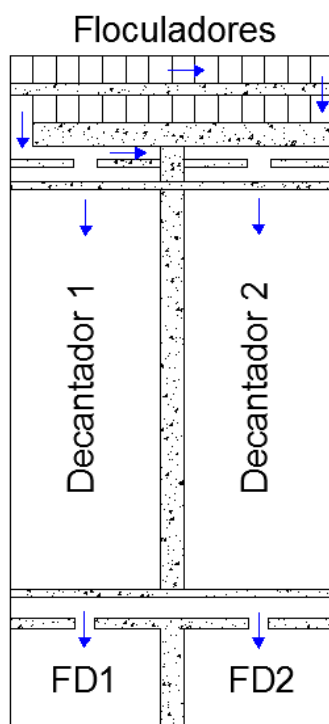


Figura 3.1 - Configuração das unidades de tratamento

A ETA apresenta floculadores hidráulicos verticais, seguidos por duas unidades de decantação e dois filtros rápidos de fluxo descendente, representados na figura por FD1 e FD2. Cada unidade de decantação apresentava 1,96 m de largura e 5,05 m de comprimento. No sistema de filtração, os filtros possuíam dimensões de 1,94 de largura e 1,14 m de comprimento, em planta. A Figura 3.2 apresenta uma das duas unidades de decantação.



Figura 3.2 - Unidade de decantação da ETA Hidrolândia

Fonte: Próprio autor

A escolha da ETA se deu juntamente com a concessionária responsável, considerando que essa unidade apresentava problemas em atender as exigências da Portaria 2914 com relação à turbidez da água filtrada.

Avaliou-se conjuntamente o número de bactérias *Escherichia coli* presente na água bruta. Quando não estão em conformidade com o recomendado pelas legislações, turbidez e quantidade de *E. coli* podem caracterizar uma situação de risco para a saúde da população abastecida por essa água devido à alta possibilidade de presença de microrganismos patogênicos.

### 3.2 QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA

A ETA é abastecida principalmente por manancial superficial, com água bruta proveniente do Córrego Grimpas. Sua caracterização levou em conta parâmetros como cor aparente, turbidez, pH, sólidos suspensos totais e coliformes.

As informações sobre a qualidade da água foram retiradas de relatórios de operação da ETA, fornecidos pela concessionária, e de análises realizadas no Laboratório de Águas da Escola de Engenharia Civil da UFG a partir de amostras coletadas na entrada da ETA.

As informações contidas nos relatórios da SANEAGO foram obtidas ao longo de 5 anos de análises, de 2009 a 2013. A quantidade de dados possibilitou a avaliação da variação de qualidade da água nos períodos de chuva e estiagem.

### **3.3 QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA**

Foram avaliados os parâmetros de turbidez, cor aparente, sólidos suspensos totais, pH e *E. coli* de 12 amostras coletadas em pontos da rede de distribuição durante os anos de 2011 a 2013. As análises laboratoriais da água tratada foram realizadas no Laboratório de Águas da Escola de Engenharia Civil da UFG durante projeto em convênio com AGR (Agência Goiana de Regulação), UFG (Universidade Federal de Goiás) e FUNAPE.

### **3.4 QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA**

Além dos dados da água tratada (coletadas em pontos da rede de abastecimento), foram coletadas amostras nas saídas dos filtros descendentes, procedendo-se às mesmas análises laboratoriais feitas para água tratada e água bruta. Utilizando-se um turbidímetro portátil, marca Hach, foram analisados os valores de turbidez em intervalos médios de 15 minutos e em intervalos menores após a lavagem dos filtros.

Além da turbidez, foram monitorados os parâmetros: pH, cor aparente, sólidos suspensos totais e coliformes totais e *E. coli*. As coletas foram feitas de acordo com CETESB, 2011, e as análises realizadas conforme Standard Methods (APHA, 2005) e EPA.

### **3.5 UNIDADES PRECEDENTES AOS FILTROS**

Por representarem influências à qualidade da água filtrada (eficiência dos filtros), as unidades e mecanismos precedentes aos filtros, tais como coagulação, floculador e decantador, também foram alvo de estudos. Foram realizadas coletas da água floculada e decantada para análise dos parâmetros de turbidez, pH, cor aparente, condutividade e sólidos suspensos totais conforme métodos propostos por APHA (2005).

As estruturas das unidades precedentes também foram avaliadas, tais como os canais de distribuição da água floculada e decantada, elementos que podem comprometer a eficiência do tratamento da água.

### 3.6 ANÁLISE DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO

Por meio de visitas técnicas à ETA, foram levantadas informações relativas aos sistemas de filtração, considerando taxa de filtração, tipos e quantidades de filtros, material constituinte e espessura do meio filtrante.

Com relação a lavagem dos filtros, foram analisadas a forma e a duração desse procedimento, sendo que, após cada lavagem, foi monitorada a perda de carga na unidade, considerando o nível de água no início da carreira como o ponto zero. A Figura 3.3 mostra a forma de obtenção dos dados, utilizando uma fita métrica para medir o nível da água em intervalos de 30 minutos.



Figura 3.3 - Monitoramento do nível de água no filtro

Fonte: Próprio autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta de dados possibilitou a análise das características das águas bruta, tratada e filtrada, das unidades precedentes aos filtros, do material filtrante e da operação como um todo da ETA de Hidrolândia. Os resultados obtidos serão expostos e discutidos nesta seção.

### 4.1 ÁGUA BRUTA

As principais características físico-químicas e bacteriológicas da água bruta do Córrego Grimpas estão expostas no Apêndice A deste trabalho. Os dados, obtidos através de relatórios fornecidos pela concessionária SANEAGO, possibilitaram a classificação da água de acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA.

As características analisadas da água bruta classificaram-na como uma água de classe 3, a qual pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado, como determina a Resolução. Desse modo, pode-se constatar que o tratamento utilizado na ETA está de acordo com o recomendado.

O gráfico da figura 4.1 apresenta a variação da turbidez ao longo dos anos de análises.

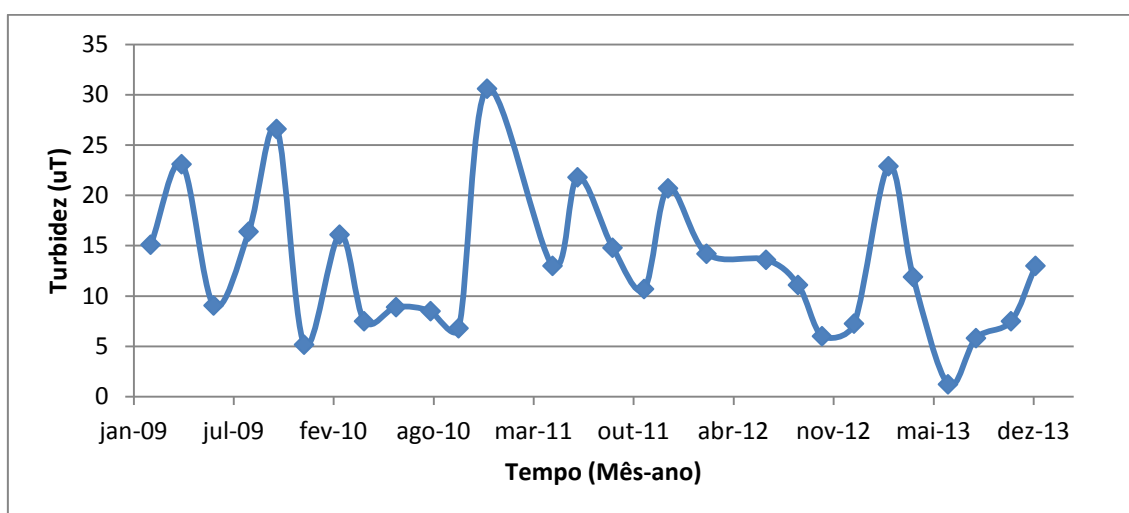


Figura 4.1 - Variação da turbidez água bruta ao longo do tempo

Nota-se com o gráfico da Figura 4.1 que há grande variação da turbidez da água bruta ao longo do ano, apresentando valores entre 2 e 31 uT, com média de 13,2 uT. A operação da ETA deve levar em consideração as características da água

bruta, reduzindo os impactos gerados pela depreciação da água do manancial, buscando sempre fornecer água em conformidade com a Portaria 2914.

## 4.2 COAGULAÇÃO

No tratamento, utilizava-se sulfato de alumínio como agente coagulante, entretanto sua dosagem era feita de modo visual, partindo da experiência do operador na observação da qualidade da água bruta afluenta a ETA, sem que fossem feitos os devidos cálculos.

Havia uma tendência de aumentar a dose de coagulante quando observado uma depreciação da qualidade da água bruta. No entanto, maiores doses do sulfato de alumínio podem, contrariamente ao esperado pelos operadores, reduzir a qualidade do produto final com o aumento da turbidez na água filtrada, conforme visto nos estudos de Fernandes *et al.* (2010).

Conhecendo-se as características da água bruta, para um pH médio de 7,03, obtido pela média dos 5 anos de análises, o diagrama de coagulação da Figura 4.2 apresenta dosagem de sulfato de alumínio entre 25 e 29 mg/L para que ocorra coagulação pelo mecanismo de varredura. Esse mecanismo é bastante utilizado em ETAs onde estão presentes unidades de floculação e sedimentação antecedentes à filtração rápida.



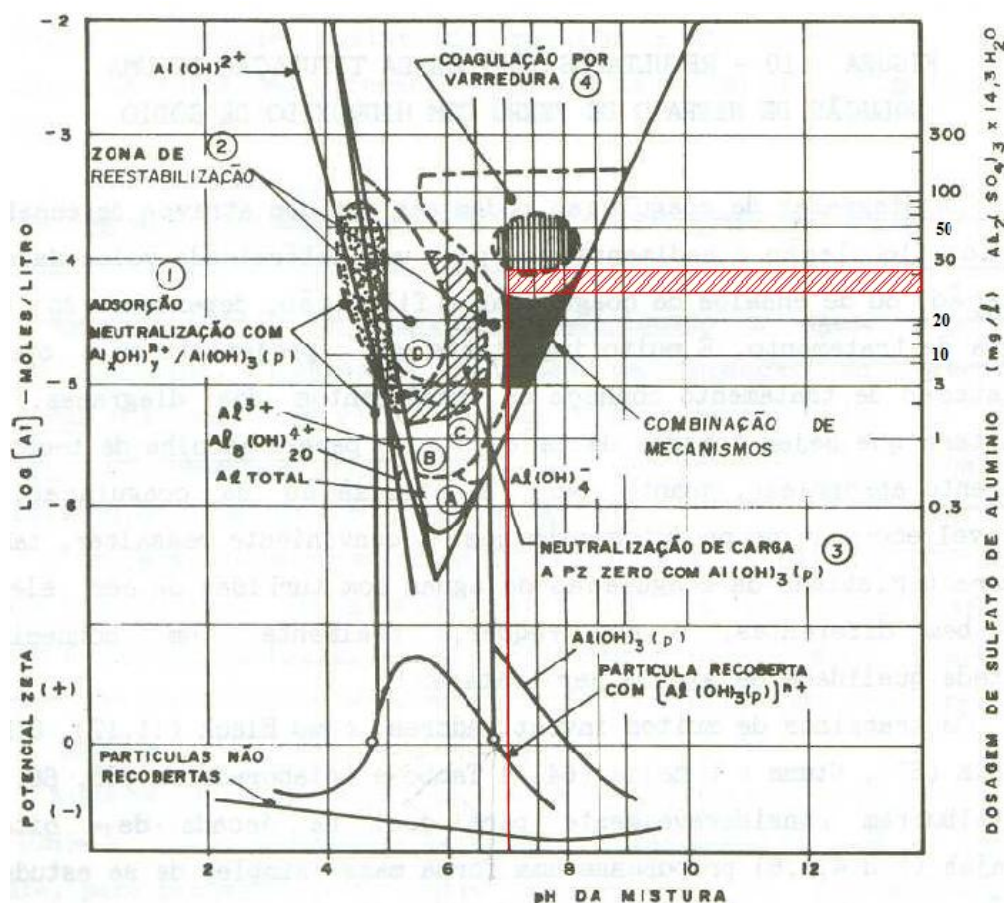


Figura 4.2 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio em função do pH da água bruta

Fonte: DI BERNARDO, 2005

### 4.3 FLOCULADORES E DECANTADORES

Com relação aos floculadores, percebeu-se que a seção transversal do canal de distribuição da água floculada para os decantadores permanecia constante ao longo de seu comprimento. Tal fator poderia estar causando uma má distribuição das vazões para as diferentes unidades de decantação, o que ocasionou o afogamento da entrada do Decantador 1 (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Afogamento da entrada de água floculada para decantador

Fonte: Próprio autor

Segundo Di Bernardo (2005), a distribuição desigual da água floculada aos decantadores é um dos maiores problemas encontrados em ETAs, resultando em diferenças significativas entre as vazões nos decantadores e, assim, diminuindo a eficiência das unidades sobrecarregadas.

A medição da vazão em cada um dos decantadores mostrou que o decantador 1 possuía vazão de 12,29 L/s, enquanto o decantador 2 apresentava vazão de 9,16 L/s. Conhecidas as dimensões, em planta, de cada um dos decantadores, de 1,96 m de largura e 5,05 m de comprimento, as taxas de aplicação superficial encontradas foram de 107,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para o decantador 1, e 79,94 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Ao ser analisada a taxa de aplicação superficial dos decantadores, observou-se que essas unidades apresentavam valores bem acima do utilizado para decantadores convencionais. Essa não conformidade possivelmente se dá pelo fato da ETA estar trabalhando com uma vazão superior ao dobro da vazão de projeto, conforme informado pelos operadores, o que prejudica a etapa de decantação com o possível arraste de flocos e partículas para as etapas seguintes.

A turbidez na saída dessas unidades demonstra a diferença dos desempenhos de cada decantador. A Figura 4.4 expõe os resultados obtidos para esse parâmetro e percebe-se que a unidade 1 apresenta maiores valores quando comparada à unidade 2.

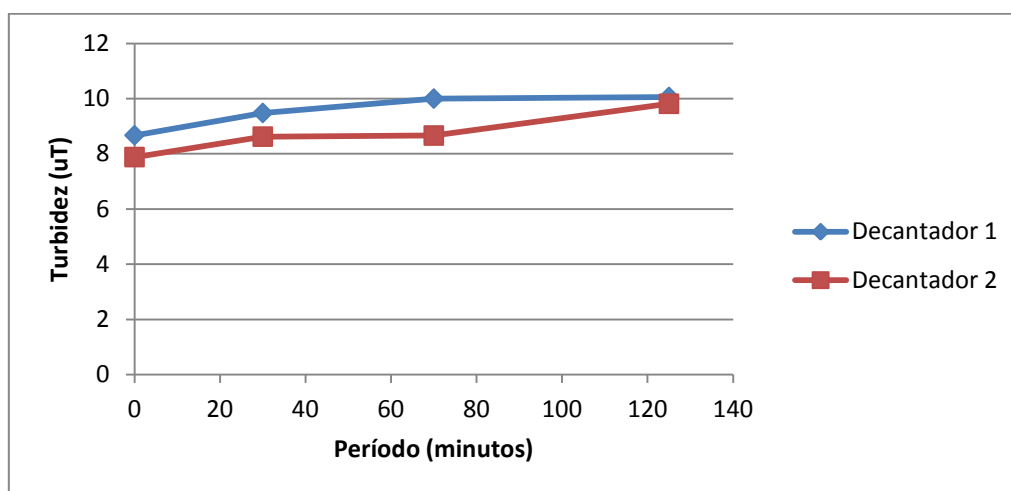


Figura 4.4 - Valores de turbidez da água na saída dos decantadores

#### 4.4 SISTEMA DE FILTRAÇÃO

Na Figura 4.5 podem ser observadas as espessuras do meio filtrante de cada um dos filtros. Observa-se que o filtro 1 apresenta uma espessura menor que o filtro 2, sendo de 0,63 m e 0,67 m, respectivamente, porém estão de acordo com o recomendado pela NBR 12216 para camadas filtrantes simples de areia em filtros de fluxo descendente.

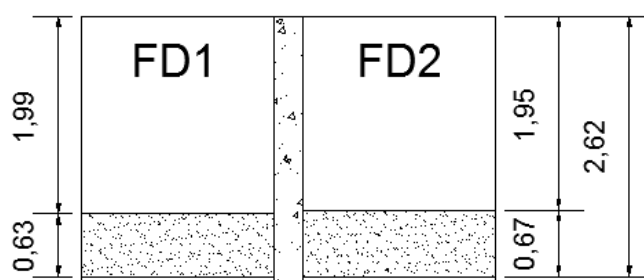


Figura 4.5 - Espessuras do meio filtrante dos filtros

Quando analisada as vazões filtradas, os valores encontrados foram de 9,22 L/s para o filtro 1 e 12,21 L/s para o filtro 2. Percebe-se com esses valores a redistribuição das vazões dos decantadores, apresentando-se, nessa etapa, maior para a unidade 2. Conhecida a área em planta de cada filtro, com largura igual a 1,14

m e comprimento de 1,94 m, as taxas de filtração encontradas foram 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para o filtro 1, e 480 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para o filtro 2.

A partir das visitas realizadas na ETA, pôde ser verificado visualmente no canal de distribuição da água decantada um escoamento no sentido decantador 1 para decantador 2. Acredita-se que possivelmente exista uma declividade no canal que contribua para o aumento da vazão no filtro 2, sendo necessário entretanto a realização de sua medição para a confirmação.

As consequências dessa diferença entre as vazões foram uma maior retenção de impurezas no filtro 2, com diminuição da carreira de filtração dessa unidade, e a necessidade de maiores durações para lavagem do filtro, sendo de 4 minutos para o filtro 1 e 8 minutos para o filtro 2, pois a quantidade de partículas a serem desprendidas das superfícies dos grãos era maior.

O gráfico da Figura 4.6 sintetiza o monitoramento da perda de carga nos filtros realizado no dia 3 de julho de 2014. Foi observado que o nível de água no filtro 1, em comparação com o filtro 2, atinge maiores profundidades após sua lavagem, o que pode ser explicado pela menor vazão afluente àquele filtro.

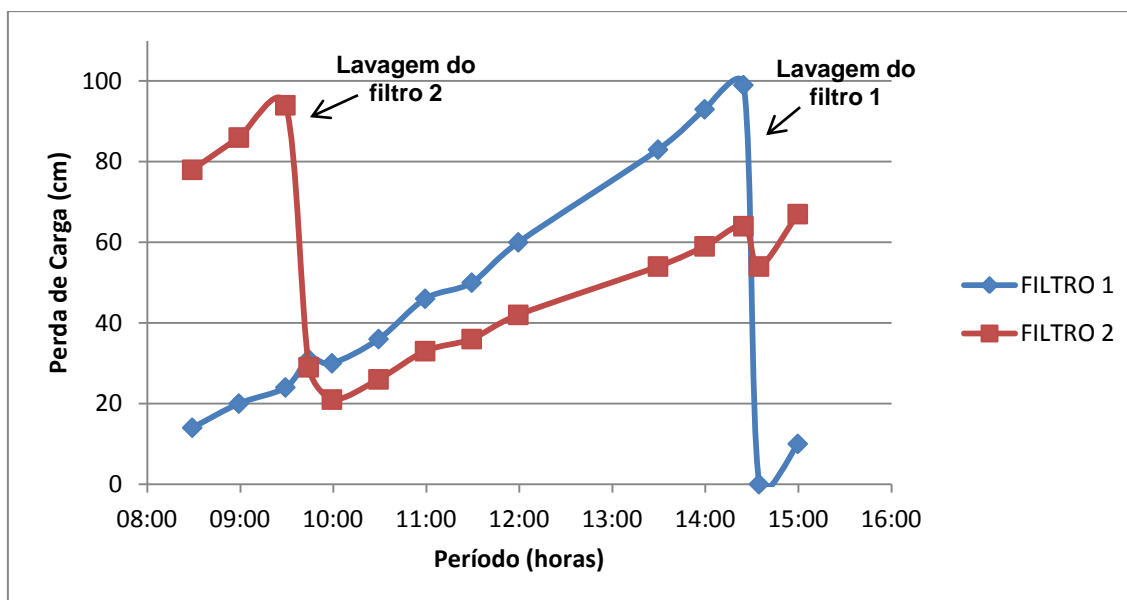


Figura 4.6 - Perda de carga nos filtros

Os gráficos das Figuras 4.7 e 4.8 mostram a relação entre a perda de carga nos filtros a turbidez da água filtrada. Nota-se que o fim da carreira dos filtros se dá pela perda de carga limite e não pelo aumento da turbidez.

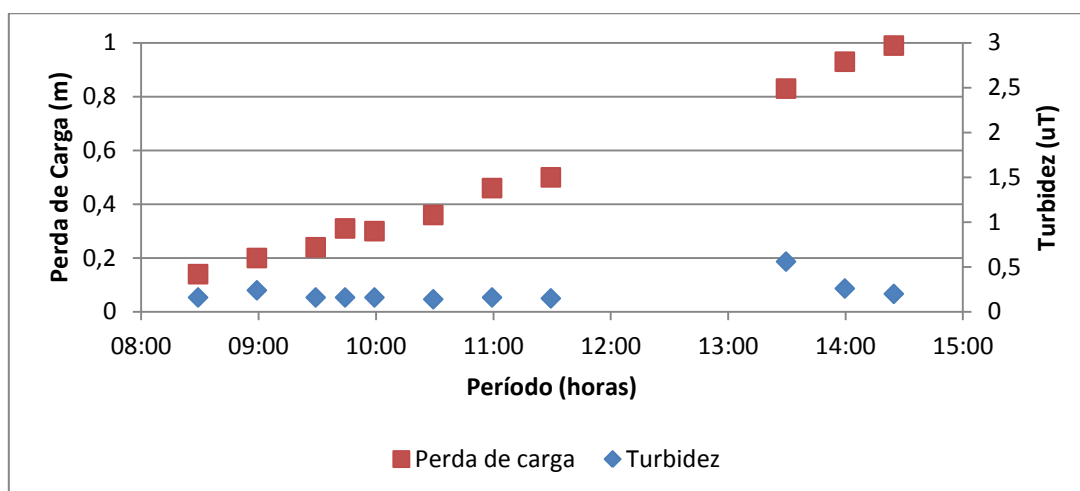


Figura 4.7 - Relação entre perda de carga e turbidez da água filtrada (Filtro 1)

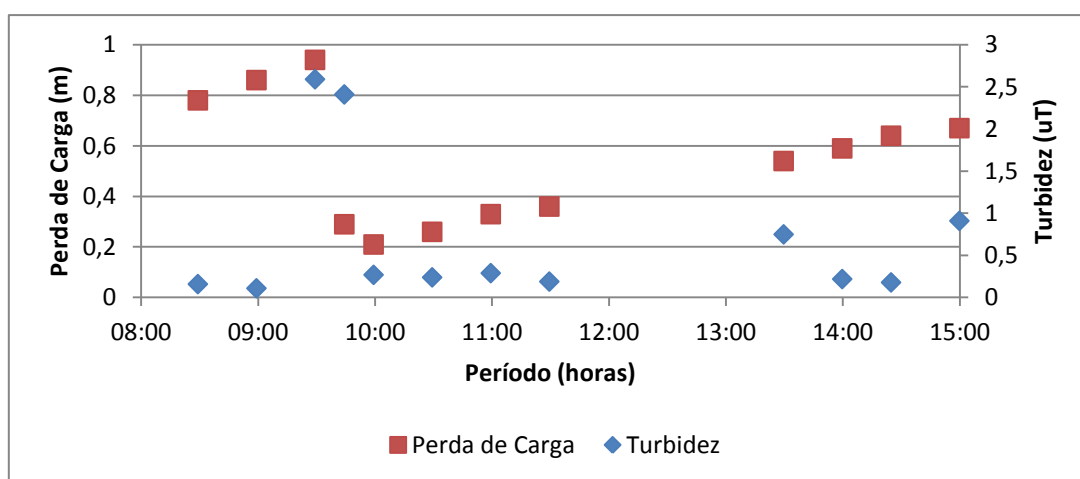


Figura 4.8 - Relação entre perda de carga e turbidez da água filtrada (Filtro 2)

O fim da carreira de um filtro causado somente pela perda de carga limite representa maiores gastos com a lavagem dos filtros. Poderia, para esse caso, ser aumentada a profundidade dos filtros, fazendo com que, no momento da retirada do filtro para lavagem, a turbidez seja também limite. A perda de carga limite juntamente com a turbidez admissível reduziria a quantidade de lavagens dos filtros, aumentando seu tempo de funcionamento.

#### 4.5 ÁGUA FILTRADA

As características analisadas para a água filtrada no monitoramento do dia 24 de julho de 2014 são apresentadas no Apêndice B.

Os valores de turbidez permaneceram, na maior parte do tempo, abaixo de 0,5 uT, atendendo às exigências da Portaria 2914, tanto para o monitoramento realizado no dia 24 de junho quanto no dia 3 de julho. Os gráficos das figuras 4.9 e 4.10 mostram a variação de turbidez ao longo do tempo.

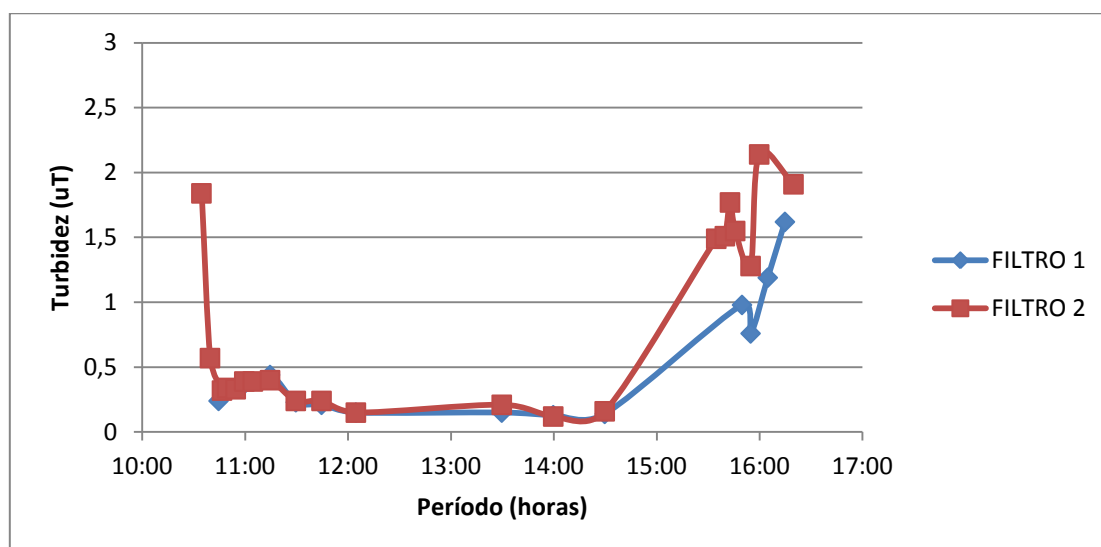


Figura 4.9 - Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1 e 2 em função do tempo de operação (monitoramento 24/06/2014)

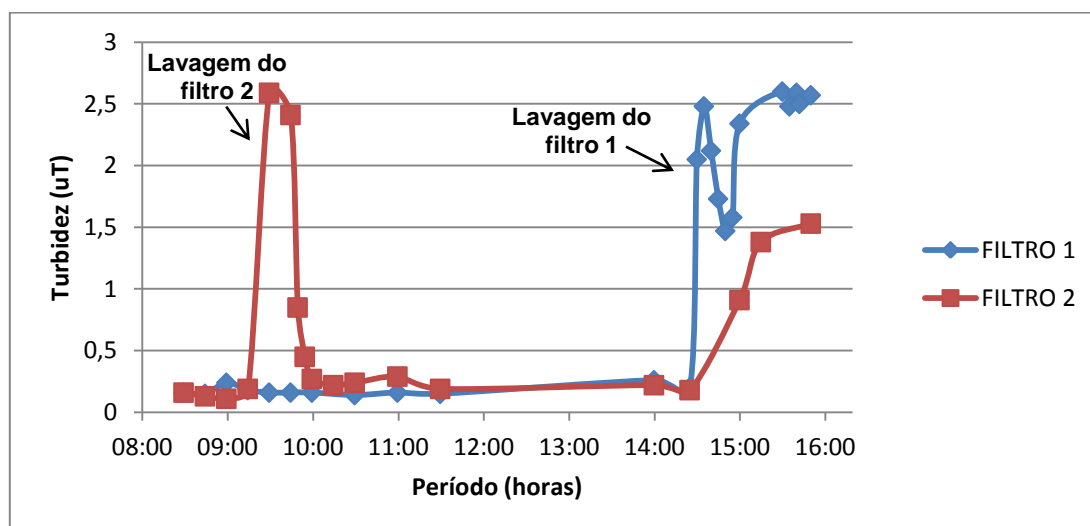


Figura 4.10 - Valores de turbidez na água filtrada pelos filtros 1 e 2 em função do tempo de operação (monitoramento 03/07/2014)

Pode-se perceber que, mesmo atendendo a Portaria 2914 nos períodos estáveis de operação dos filtros, a água filtrada apresentou picos de turbidez semelhantes aos demonstrados por Di Bernardo (2003) e Di Bernardo e Dantas (2014) após a lavagem, alcançando superiores a 2,5 uT.

Na Figura 4.10 é possível observar que a turbidez na saída do filtro 2 apresentou pico após sua lavagem, atingindo 2,59 uT, e seu reestabelecimento abaixo de 0,5 uT se deu após 20 minutos. Por outro lado, no filtro 1 foi observado que após sua lavagem, ocorreu um pico de turbidez de 2,48 uT seguido de uma tendência a redução dos valores, porém a turbidez apresenta novo pico.

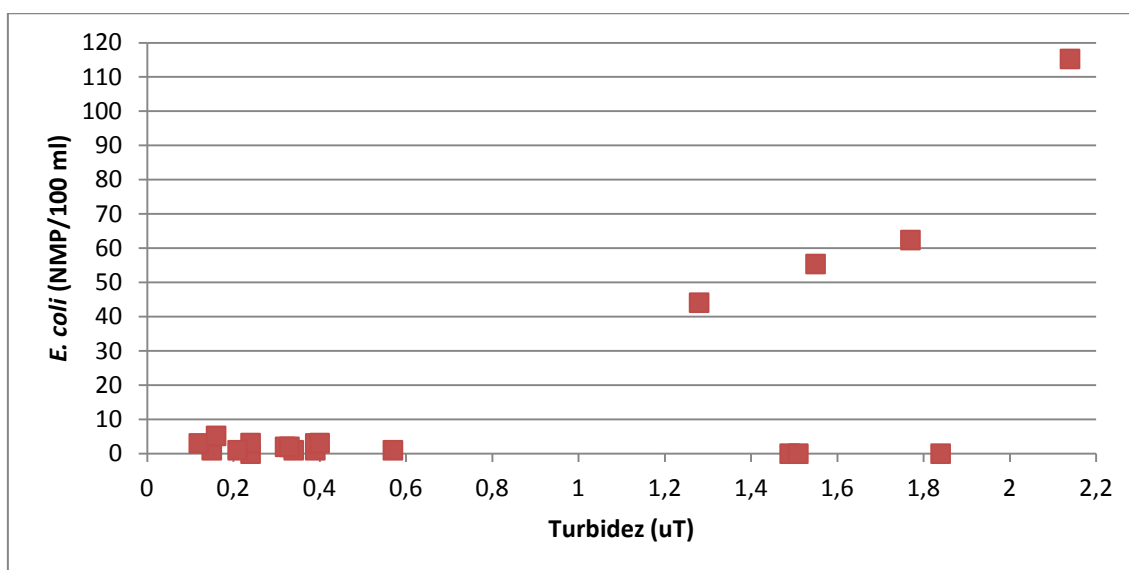
Analizando os dois filtros em conjunto (Figura 4.10), percebe-se um aumento da turbidez na saída dos filtros, coincidindo com o aumento da turbidez na água bruta, passando de 13,2 uT para 28 uT. Pelo fato da dosagem de coagulante ser feita com base na experiência do operador, o aumento da turbidez da água filtrada se deu com a alteração da quantidade de coagulante após o operador observar a queda na qualidade da água bruta. Essa alteração foi suficiente para prejudicar a formação dos flocos e prejudicar a etapa de filtração.

No monitoramento realizado no dia 24 de junho, a ETA teve que ser paralisada por volta das 15:00 horas por alguns minutos. Ao reiniciar suas operações, apenas o filtro 2 foi lavado, apresentando picos de turbidez após esse processo. O aumento da turbidez visto no filtro 1 se deu, portanto, por conta da paralisação da ETA, que possibilitou o transpasse de partículas após revolvimento do leito filtrante pela água afluente ao filtro.

A situação encontrada evidencia que picos de turbidez podem ocorrer após a lavagem dos filtros, alteração na qualidade da água bruta, na dosagem de produtos químicos bem como após uma paralisação da ETA. A paralisação pode representar, portanto, uma depreciação da qualidade da água fornecida à população.

A lavagem dos filtros foi feita com introdução de água no sentido ascensional e sem a utilização de ar. Os picos de turbidez após esse procedimento demonstram a ineficiência desse procedimento, o qual permite o transpasse de partículas anteriormente retidas nas superfícies dos grãos.

A presença dessas partículas na água filtrada pode representar grandes riscos à saúde da população abastecida, pois, dentre essas partículas, podem estar presentes patógenos como os oocistos de *Cryptosporidium*, que são resistentes ao processo de desinfecção com cloro. O gráfico da Figura 4.11 mostra a relação da presença de *E. coli* com a turbidez da água filtrada, no qual as informações foram obtidas no monitoramento do dia 24 de julho de 2014.

Figura 4.11 - Gráfico *E. coli* x Turbidez para o filtro FD2

Pode-se notar pela Figura 4.11 que em águas com baixos valores de turbidez a presença de *E. coli* é baixa, tendendo a aumentar para amostras com maiores turbidez. Entretanto, essa tendência não foi observada para 4 das 8 amostras que apresentaram turbidez superior a 0,5 uT, indicando até mesmo ausência de *E. coli*.

Mesmo com a obtenção de amostras com altos valores de turbidez e ausência de *E. coli*, a manutenção da turbidez abaixo de 0,5 uT constitui uma medida preventiva a favor da qualidade microbiológica da água, visto que valores abaixo desse limite apresentaram uma menor presença de *E. coli*.

#### 4.6 ÁGUA TRATADA

As informações obtidas no projeto AGR para água tratada do município de Hidrolândia são apresentadas na Tabela 4.1 a seguir.



Data Coleta	Hora Análise	Turbidez (uT)	Bactéria Heterotrófica	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
11/03/2013	09:45:00	<0,01	0	0	0
11/03/2013	10:00:00	<0,01	0	0	0
11/03/2013	10:16:00	<0,01	3	0	0
19/09/2012	15:30:00	0,38	5	100	0
19/09/2012	15:45:00	0,89	1	0	0
19/09/2012	16:00:00	0,83	0	0	0
10/04/2012	07:30:00	0,82	0	0	0
10/04/2012	07:45:00	0,8	0	0	0
10/04/2012	08:10:00	0,66	0	0	0
19/12/2011	10:28:00	1,63	1	0	0
19/12/2011	10:45:00	2,31	0	0	0
19/12/2011	11:05:00	2,06	0	0	0

Tabela 4.1 - Valores encontrados para água tratada

Pode-se perceber que, para os 3 anos de análises, 8 amostras das 12 obtidas, cerca de 67%, possuíam turbidez maior que 0,5 uT. Entretanto, a partir do final do ano de 2012, percebe-se que os valores de turbidez foram reduzidos, atendendo às exigências da nova Portaria de 2011.

Esse fato demonstra que houve uma busca por melhorias na ETA, visando a eficiência do sistema de filtração e controle das unidades precedentes para que o produto final atendesse às recomendações da Portaria 2914. De acordo com o operador, a ETA passou por reformas no final do ano de 2012, comprovando que a estrutura sofreu mudanças para que a nova portaria fosse atendida.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pode-se concluir com o presente trabalho que:

O processo de coagulação se encontrava prejudicada pela falta de controle na dosagem do produto químico. Quando as características da água bruta não são analisadas de forma adequada, a dosagem do coagulante, para mais ou para menos do intervalo recomendado, pode prejudicar a formação dos flocos e reduzir a eficiência dos processos posteriores, além de aumentar a produção de lodo pela ETA. Uma maior automação e controle dos processos de dosagem e aplicação do coagulante evitaria possíveis picos de turbidez na água filtrada causados por uma dosagem incorreta e permitiria a redução de gastos desnecessários com o produto.

No período de amadurecimento dos filtros, a turbidez atinge picos até 5 vezes maior que o exigido pela Portaria 2914. Nesse momento, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos é alta, o que pode comprometer a saúde da população abastecida por essa água. Uma lavagem correta poderia evitar tal problema;

A retirada dos filtros para lavagem por conta somente da perda de carga limite aumenta a frequência e os gastos envolvidos nesse processo, o que poderia ser evitado com reparos na estrutura, como por exemplo o aprofundamento dos filtros. Dessa forma, o nível da água poderia alcançar maiores alturas sem prejudicar a qualidade da água filtrada com o transpasse de partículas e o tempo de funcionamento de cada filtro aumentaria;

Outra interferência construtiva que poderia ser feita na ETA é a alteração dos canais de distribuição de água floculada e água decantada. A adequação dessas estruturas corrigiria o problema das diferentes vazões entre as unidades 1 e 2 e evitaria que uma unidade estivesse sobrecarregada em relação à outra. Desse modo, as etapas de decantação e filtração possuiriam melhores desempenhos;

Mesmo com os problemas encontrados, os filtros rápidos descendente são capazes de produzir água com turbidez menor que 0,5 uT no período estável de operação. Com a avaliação da ETA, as melhorias viriam na tentativa de evitar gastos desnecessários, reparar a sobrecarga encontrada no decantador 1 e filtro 2, regulando suas vazões e contribuindo para o melhor desempenho das funções dessas unidades.

Recomenda-se que:

Em trabalhos futuros sejam avaliadas ETAs com maiores problemas para atender às novas exigências da Portaria 2914, onde os sistemas de filtração não consigam produzir água com qualidade adequada ao longo de toda sua carreira. Nos próximos trabalhos, recomenda-se que sejam monitoradas as quantidades de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, avaliando-a em função do parâmetro turbidez.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BRASIL, FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 3ª edição rev. Brasília 2004. 407p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 518/2004**. 1. ed. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2914/2011**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.saude.gov.br>.

COELHO, Edumar Ramos Cabral; BERNARDO, Luis Di. **Remoção de atrazina e metabólitos pela filtração lenta com leito de areia e carvão ativado granular**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 17, n. 3, set. 2012 .

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 357**. Março, 2005.

LADEIA, Mônica Maria; SOUZA, Maria Ilmara; BORGES, Eduardo Rodrigues. **Avaliação da turbidez na saída dos filtros da ETA Morrinhos como ferramenta de controle**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Ed. 27. 2013. Goiânia, GO.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e técnicas de tratamento de água, volume II**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

DI BERNARDO, Luiz. DANTAS, Angela Di Bernardo. **Avaliação do desempenho de filtros rápidos de ETA de ciclo completo**. Hydro. São Paulo, fevereiro 2014.

FERNANDES, N. M. G.; GINORIS, Y. P.; RIOS, R. H. T.; BRANDÃO, C. C. S. **Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro , v. 15, n. 4, outubro 2010.

FRANCO, R. M. B.; HACHICH, E. M.; SATO, M. I. Z.; NAVEIRA, R. M. L., SILVA, E. C.; CAMPOS, M. M. C.; NETO, R. C.; CERQUEIRA, D. A.; BRANCO, N.; LEAL, D. A. G. **Avaliação da performance de metodologias de detecção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em água destinada ao consumo humano, para o atendimento às demandas da Vigilância em Saúde Ambiental no Brasil.** Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, abr. 2012.

KORICH, D. G.; MEAD, J. R.; MADORE, M. S.; SINCLAIR, N. A.; STERLING, C. R. **Effects of Ozone, Chlorine Dioxide, Chlorine, and Monochloramine on *Cryptosporidium parvum* Oocyst Viability.** Applied and Environmental Microbiology, May, 1990.

MURTHA, Ney Albert; HELLER, Léo; LIBÂNIO, Marcelo. **A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para tratamento de águas de abastecimento no Brasil.** In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1997.

NASCIMENTO, Marcely Ferreira. **Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio da filtração direta ascendente em areia: avaliação em escala piloto.** Brasília, 2009. 131p.

PÁDUA, Valter Lúcio de (coordenador). **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. (Projeto PROSAB).

RIOS, Kelly Cristine Rodrigues Constantino. **Avaliação ecotoxicológica do sedimento a montante e a jusante da barragem do Ribeirão João Leite - Goiânia/GO.** Goiânia, 2013. 133p.

SCALIZE, Paulo Sérgio; TEIXEIRA, André L.; TERAN, Francisco J. C.; ALBUQUERQUE, Antonio. **Filtração em cerâmica microporosa aplicada à remoção de cor e turbidez de água para abastecimento público.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v.10, n.1, p. 64-74. Jan/fev, 2013.

SCALIZE, Paulo Sérgio *et al.* **Avaliação da turbidez em amostras de água tratada coletadas nos municípios do Estado de Goiás.** Revista Monografias Ambientais. 2014. No prelo.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2011.** Brasília, 2013.

SILVA, Giulliano Guimarães; NAVAL, Liliana Pena; DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 17, n. 1, mar. 2012 .

TAIRA, Raquel. **Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* na filtração lenta, precedida ou não de filtração ascendente em pedregulho**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

VIANNA, M. R. **Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais: volume 4: sistemas de tratamento de água**. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade FUMEC/FEA, 2009. v. 4. 546p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition**. Genebra, Suíça, 2011.

## 7. APÊNDICES

### APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DO CÓRREGO GRIMPAS

Data Coleta	pH	Alcalinidade Total	Alcalinidade HCO <sub>3</sub>	Alcalinidade CO <sub>3</sub>	Dureza	Oxigênio Consumido	Cloretos	O.D.
10/02/2009	7,06				4,12		0,5	7
27/02/2009								
13/04/2009	6,92						1,5	7,5
28/04/2009								
16/06/2009	7,12						0,5	7,6
25/06/2009								
25/08/2009	7,96				4		0,5	6,8
26/08/2009								
20/10/2009	7,25						0,5	7,7
28/10/2009								
14/12/2009	6,87						0,5	7,7
17/12/2009								
23/02/2010	7,4				4	1,7	0,5	
25/02/2010								
13/04/2010	6,5						0,5	
16/06/2010	7,02						0,5	
24/08/2010	7,6						0,5	8,3
19/10/2010	6,99						3,5	7,5
15/12/2010	6,61						0,5	7,5
15/02/2011								
25/04/2011	6,99				4	1,5	0,5	7,5
14/06/2011	6,42						0,5	7
23/08/2011	6,89				6	0,5	0,5	7,3
25/10/2011	6,76						1	6,7
12/12/2011	6,43						0,5	6,5
27/02/2012	7				4	1,5	0,5	8
16/04/2012								
25/06/2012	6,44						0,5	7,4
28/08/2012	7,45				10	2,2	0,5	8,8
15/10/2012	7,9						0,1	7,5
18/12/2012	10,2		7,2				7,5	7,3
25/02/2013	6,69				12	4	3,5	
15/04/2013	6,62						0,5	7,5
24/06/2013	6,93	6	6	0	2	2,8	0,5	
19/08/2013	7,45	17	17	0	4	0,8	0,5	7,7
28/10/2013	6,78	18	18	0	10	0,8	4	6,5
26/11/2013	6,24							
16/12/2013	6,3	10	10	0	2	1,1	1,5	
18/12/2013	6,1							5,7

Média	7,03	12,75	11,64	0,00	5,51	1,69	1,16	7,35
-------	------	-------	-------	------	------	------	------	------

Data Coleta	D.B.O.	Ferro solúvel	Fosfato total	Nitrato	Nitrito	Manganês	Sulfato	Nitrogênio amônia	Fósforo total
10/02/2009	0,9	0,61		0,01	0,02	0,19	4	0,03	0,067
27/02/2009									
13/04/2009	1,1			0,02				0,12	0,08
28/04/2009									
16/06/2009	0,8		0,068	0,06				0,32	
25/06/2009									
25/08/2009	0,8	0,85	0,14	0,02	0,023	0,3	7	0,31	
26/08/2009									
20/10/2009	0,9			0,01				0,66	0,19
28/10/2009									
14/12/2009	1,2		0,09	0,01				0,19	
17/12/2009									
23/02/2010		0,35		0,02	0,008	0,23	3	0,03	0,1
25/02/2010									
13/04/2010				0,03				0,001	
16/06/2010				0,04				0,01	0,019
24/08/2010	2		0,013	0,019				0,08	
19/10/2010	0,5			0,02				0,23	0,028
15/12/2010	1,5			0,02				0,32	0,47
15/02/2011		0,62		0,01	0,006	0,24	3	0,24	
25/04/2011	1,2	0,31		0,02	0,009	0,17	1	0,04	0,018
14/06/2011	0,6			0,06				0,02	0,018
23/08/2011	0,8	0,28		0,06	0,01	0,01	6	0,02	0,036
25/10/2011	0,7			0,01				0,23	0,038
12/12/2011	0,5			0,05				0,04	0,024
27/02/2012	1,5	0,56		0,01	0,007	0,01	5	0,14	0,019
16/04/2012				0,1				0,04	0,001
25/06/2012	0,3			0,1				0,36	
28/08/2012	1,1	0,09		0,1	0,001	0,01	7	0,21	0,007
15/10/2012	1,2		0,001	0,1				0,16	
18/12/2012	0,5		0,028	0,8	0,035				
25/02/2013		0,6		0,1	0,013	0,06	1	0,03	0,046
15/04/2013	2,8			0,1				0,001	0,001
24/06/2013		0,03		0,1	0,003	0,05		0,245	0,017
19/08/2013	0,34	0,001		0,1	0,007	0,09			0,015
28/10/2013	1,5	0,28		0,1	0,003	0,15		0,169	0,024
26/11/2013									
16/12/2013		0,16		0,1	0,005	0,09		0,039	0,051
18/12/2013	0,86								



<b>Média</b>	<b>1,03</b>	<b>0,36</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,12</b>	<b>4,11</b>	<b>0,15</b>	<b>0,06</b>
--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

<b>Data Coleta</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>Temperatura água (°C)</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor aparente (uC)</b>	<b>STD (mg/L)</b>	<b>Condutividade a 25°C</b>
10/02/2009	29	25	15,1	41	8,14	14,8
13/04/2009	27	24	23,1	35,8	7,32	13,3
16/06/2009	18	21	9,06	12	7,77	14,12
25/08/2009	25	22	16,4	29,2	9,26	16,84
20/10/2009	30	24	26,6	47,8	24,86	-
14/12/2009	28	24	5,17	35,5	6,64	12,08
23/02/2010	32	25	16,1	19,1	19,8	36
13/04/2010	28	23	7,5	15,6	6,17	11,23
16/06/2010	27	22	8,9	12,7	10,29	18,7
24/08/2010	30	22	8,5	14,3	54,23	98,6
19/10/2010	27	25	6,8	23,9	10,22	18,59
15/12/2010	25	24	30,6	32,7	9,25	16,83
15/02/2011	-	-	-	-	7,722	14,04
25/04/2011	31	24	13	14,4	6,55	11,91
14/06/2011	26	22	21,8	17,8	9,52	17,31
23/08/2011	30	22	14,8	46,6	21,12	38,4
25/10/2011	28	24	10,7	19,9	10,9	19,82
12/12/2011	30	24	20,7	33,8	10,97	15,94
27/02/2012	30	24	14,2	69,6	22,16	40,3
16/04/2012	-	-	-	-	81,89	14,89
25/06/2012	30	24	13,6	13,2	8,55	15,56
28/08/2012	28	24	11,1	43,1	8,6	15,65
15/10/2012	28	24	6,01	15,8	7,67	13,94
18/12/2012	27	25	7,26		8,53	15,51
25/02/2013	27	24	22,9	70,9	7,64	13,9
15/04/2013	24	24	11,9	26,5	8,3	15,1
24/06/2013	29	24	1,23	3,2	8,53	15,51
19/08/2013	28	23	5,82	-	0,643	13,17
28/10/2013	29	24	7,5	12,7	9,01	16,39
16/12/2013	27	25	13	5,3	8,96	16,3
<b>Médias</b>	<b>27,8</b>	<b>23,6</b>	<b>13,2</b>	<b>27,4</b>	<b>14,0</b>	<b>20,5</b>

Data Coleta	Indice Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>	Bact Heterotr.	Cianobactéria	Clorofila A	I. E. Coli	Feofitina
10/02/2009	16000					2400	
27/02/2009				130	0		
13/04/2009	22		330				
28/04/2009				0	0		
16/06/2009	2400					490	
25/06/2009				0			0
25/08/2009	16000					9200	
26/08/2009				24	0		
20/10/2009	2100					1300	
28/10/2009				12	1,443		
14/12/2009	7000	1300				1300	
17/12/2009				70	0		
23/02/2010	141360					4640	
25/02/2010				624	0,534		
13/04/2010	11199	408				408	
16/06/2010	552	144				144	
28/06/2010				0	0,336		
24/08/2010	12033	620				620	
25/08/2010				75			0,779
19/10/2010	24196	1046				1046	
26/10/2010				16354			1,844
15/12/2010	68670	1340	1340				
21/12/2010				0	0		
15/02/2011	14550	1750				1750	
23/02/2011				0			
25/04/2011	14136	275		138	0	275	
14/06/2011	6488	602				602	
28/06/2011				0	0,732		
23/08/2011	8164	428				428	
29/08/2011				66	0,381		
25/10/2011	19863	703				703	
26/10/2011				0	0		
12/12/2011	19863	767				767	
27/02/2012	8164	809				809	
16/04/2012	6967	233				233	
18/04/2012				624	0		
19/06/2012				83	0,354		
25/06/2012	7270	450				450	
20/08/2012				0	0		
28/08/2012	7701	1071				1071	
15/10/2012	19863	749		0	0,33		
18/12/2012	15531	1401				0	
07/01/2013				2883	0		

06/02/2013				0,668	1,184		
25/02/2013	24196	1353				1353	
05/03/2013				384	0,668		
01/04/2013				0	0		
15/04/2013	15531	813				813	
02/05/2013				161	0,334		
20/05/2013	12033	676				0	
04/06/2013				566	0,545		
24/06/2013	2,2	2,2				0	
02/07/2013				28	0		
22/07/2013	2419	921				921	
22/07/2013	2419	488				488	
05/08/2013				18	0,545		
19/08/2013	2420	435				0	
10/09/2013	2420	365		56	0	0	
08/10/2013				210	0		
28/10/2013	2420	387				387	
11/11/2013				0	0		
26/11/2013	2420	1413				1413	
10/12/2013				0	0		
16/12/2013	2420	980				980	

**APÊNDICE B - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA FILTRADA**

<b>FILTRO 1</b>						
HORA	COR (uC)	TURBIDEZ (uT)	pH	CONDUTIVIDADE (μ/cm)	Coliformes Totais (NMP/1000 ml)	<i>E. COLI</i> (NMP/1000 ml)
10:45	0	0,24	8,6	28,41	35,5	1
11:00	5	0,37	7,8	16,68	11,9	2
11:15	3	0,44	7,3	16,3	18,5	3
11:30	0	0,23	7	22,07	17,1	5,2
11:45	4	0,21	6,8	14,51	23,3	6,3
12:05	1	0,15	6,94	14,38	14,6	1
13:30	5	0,15	6,31	42,13	22,8	4
14:00	1	0,13	7,28	15,72	-	-
14:30	0	0,14	7,76	13,85	-	-
15:50	-	0,98	-	-	-	-
15:55	-	0,76	-	-	-	-
16:05	-	1,19	-	-	-	-
16:15	-	1,62	-	-	-	-

Médias	0,508	7,310
--------	-------	-------

<b>FILTRO 2</b>						
HORA	COR (uC)	TURBIDEZ (uT)	pH	CONDUTIVIDADE (μ/cm)	Coliformes Totais (NMP/1000 ml)	<i>E. COLI</i> (NMP/1000 ml)
10:35	8	1,84	7,58	36,36	1	<1
10:40	7	0,57	8,24	40,28	2	1
10:47	3	0,32	5	71,3	17,1	2
10:50	2	0,34	7,08	17,21	9,8	1
10:55	0	0,33	7,24	14,19	10,8	2
11:00	-	0,39	-	-	6,3	1
11:05	0	0,39	7,04	15,27	12,1	3
11:15	1	0,4	6,81	26,8	6,3	3,1
11:30	1	0,24	7,25	19,58	4,1	<1
11:45	0	0,24	6,81	15,23	8,5	3,1
12:05	0	0,15	7	17,73	9,8	1
13:30	0	0,21	6,32	34,23	14,4	1
14:00	0	0,12	6,77	14,58	12,1	3
14:30	0	0,16	6,67	14,02	8,6	5,2
15:35	10	1,49	7,24	61,79	<1	<1
15:40	10	1,51	7,34	38,34	1	<1
15:43	11	1,77	7,12	19,74	195,6	62,4
15:46	7	1,55	7,23	21,28	133,4	55,4
15:55	5	1,28	6,96	18,75	116,2	44,1
16:00	14	2,14	6,8	20,63	155,3	115,3
16:20	-	1,91	-	-	-	-
Médias		0,826	6,974			