



DYEGO MARADONA ATAIDE DE FREITAS

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA DA UFLA**

LAVRAS- MG

2019

DYEGO MARADONA ATAIDE DE FREITAS

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE
ÁGUA DA UFLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira
Orientador

**LAVRAS- MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Freitas, Dyego Maradona Ataide de.

Otimização do uso de produtos químicos no tratamento de
água da UFLA / Dyego Maradona Ataide de Freitas. - 2019.
55 p.

Orientador(a): Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Trihalometanos. 2. diagrama de coagulação. 3. teste de
jarros. I. Oliveira, Luiz Fernando Coutinho de. II. Título.

DYEGO MARADONA ATAIDE DE FREITAS

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA
DA UFLA
OPTIMIZATION OF THE USE OF CHEMICALS IN UFLA WATER
TREATMENT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
apresentada à Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de Pós-Graduação
em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de
concentração Gestão de Resíduos e Efluentes, para a
obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 25 de Fevereiro de 2019

Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira- UFLA

Dr. Ronaldo Fia- UFLA

Dr.^a. Rosangela Francisca de Paula Marques– Unincor

Professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira
Orientador

**LAVRAS- MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado condições para fazer uma pós-graduação, e por conceder saúde e forças para superar as dificuldades.

Agradeço a minha mãe Maria Elizabete, heroína e peça fundamental em minha vida, que me deu apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu padrasto Carlos, que sempre me apoiou o que para mim foi muito importante.

Agradeço à UFLA, por me proporcionar um ambiente criativo e amigável para os estudos. Sou grato à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

Ao meu orientador Professor Coutinho, pelo suporte, pelas suas correções e incentivos.

Aos meus amigos que me incentivaram e me ajudaram a finalizar este trabalho em especial meu amigo Isael Rosa e a equipe da DMA/UFLA.

A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O tratamento de água para o consumo humano, tem se tornado cada dia mais complexo e necessário em função do crescimento das cidades e dos lançamentos de poluentes nos corpos hídricos causadas pelo homem. Então, para que a qualidade das águas alcance os requisitos necessários, , faz necessário um bom gerenciamento das unidades que irão realizar o processo de tratamento da água para torná-la potável A Universidade Federal de Lavras possui uma estação de tratamento de água (ETA), onde foi realizado um estudo relativo à aplicação dos insumos químicos empregados nessa unidade. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi o de aperfeiçoar o uso desses insumos, em conformidade com a legislação vigente, de modo a prover água à comunidade da UFLA com boa qualidade. O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira com ensaio de teste de jarros em amostras com variações de pH e turbidez, para avaliar a aplicação do coagulante e alcalinizante em diversas situações de forma a otimizar os processos de coagulação e floculação; e na segunda foi avaliada a eficiência real do uso de oxidante como pré-tratamento na remoção de ferro e matéria orgânica e ainda o estudo do potencial de geração do trihalometanos.

Palavras Chaves: Trihalometanos, diagrama de coagulação, teste de jarros

ABSTRACT

The treatment of water for human consumption has become more and more complex and necessary due to the growth of the cities and of the releases of pollutants in the water bodies caused by the man. So that the quality of the water reaches the necessary requirements, so that they are not harmful to human health, it makes necessary a good management of the units that will carry out the process of treatment of the water to make it potable. The Federal University of Lavras owns a station (ETA), where a study was carried out on the application of the chemical inputs used in this unit. Therefore, the objective of the present work was to improve the use of these inputs, in accordance with the current legislation, in order to provide water to the UFLA community with good quality. The study was carried out in two stages, the first with jar test in samples with variations of pH and turbidity, to evaluate the application of coagulant and alkalizer in several situations in order to optimize the coagulation and flocculation processes, was also evaluated the actual efficiency of the use of oxidant as pre-treatment in the removal of iron and organic matter and the study of the potential of trihalomethanes generation.

Key words: Trihalomethanes, coagulation diagram, jar test

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Demanda global de água- cenário de referencia 2000 e 2050..... | 12 |
| Figura 2: Estresse hídrico médio anual entre 1981-2010..... | 13 |
| Figura 3 - Fluxograma típico da tecnologia de tratamento de ciclo completo..... | 18 |
| Figura 4 - Medidor de vazão do tipo Parshall. | 18 |
| Figura 5 - Floculador hidráulico de bandeja. | 20 |
| Figura 6: Decantador de alta taxa com placas paralelas. | 21 |
| Figura 7: Filtro rápido de fluxo ascendente. | 22 |
| Figura 8: Aparelho teste de jarros. | 23 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 2.1 Importância da água | 12 |
| 2.2 Qualidade da água | 14 |
| 2.3 TRATAMENTO DA ÁGUA | 18 |
| 2.4 ENSAIO DE FLOCULAÇÃO E COAGULAÇÃO | 23 |
| 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS | 25 |
| 4 BIBLIOGRAFIA | 26 |
| Otimização do processo de coagulação e floculação da ETA/UFLA | 29 |
| Aplicabilidade do cloro na Estação de Tratamento de Água da UFLA | 44 |

1 INTRODUÇÃO

A relação do homem com a água influenciou diretamente na evolução e desenvolvimento das cidades, além de contribuir para a criação de tecnologias e processos que busquem atender às necessidades humanas básicas. Após a revolução da agricultura há dez mil anos, o homem abandonou o nomadismo e iniciou o povoamento ao redor de cursos de água, com cultivos e criação de rebanhos.

Com o passar dos anos a qualidade da água, principalmente próximo às cidades, ficou comprometida devido ao lançamento de poluentes e águas residuárias nos cursos de água. Com a baixa qualidade da água superficial, fez-se necessária a criação de um sistema capaz de recuperar a qualidade da água de forma que seja possível ao homem consumi-la sem riscos à saúde, ou seja, potável.

Para deixar a água potável são utilizadas as Estações de tratamento de água, que podem ser configuradas de diversas formas, considerando como base no planejamento as características da água bruta, podem-se lançar mãos dos diversos processos e tecnologias existentes para o projeto destas.

As ETA's exercem um papel fundamental no cotidiano e vida da sociedade, por isso devem ser operadas de modo que garanta a quantidade de água necessária ao público de interesse, bem como, mantenha a qualidade no padrão ótimo para consumo humano de acordo com a legislação, independentemente das adversidades que o sistema estiver enfrentando, inclusive em tempos de contingenciamento de gastos.

Para que isso ocorra, devem ser realizados ensaios em escala piloto, avaliações em laboratório e desenvolvimento de novas tecnologias que irão servir de base para o gerenciamento dos processos de tratamento, podendo assim alcançar um planejamento adequado, e com sistema operacional otimizado com capacidade de disponibilizar um serviço de qualidade a população.

O sistema de tratamento de água do tipo ciclo completo é o mais empregado. Esse sistema é composto pelos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. A coagulação é o processo no qual é adicionado um coagulante que tem capacidade de desestabilizar as partículas coloidais em suspensão, impedindo que as mesmas se repilam. A floculação promove a movimentação das águas e conseqüentemente facilita a ocorrência de choques entre as partículas, formando partículas maiores e mais fáceis de remover, sendo esta feita na seqüência pelo processo de decantação. Esse último tem por finalidade separar os sólidos da água. Já o processo de filtração tem por objetivo retirar

impurezas que os processos anteriores não foram capazes de remover. E por fim a última etapa do sistema é a desinfecção, que realiza a inativação de patógenos.

Uma das formas de alcançar um bom gerenciamento do sistema de uma ETA é a realização do ensaio de coagulação e floculação, que podem ser realizados pelo ensaio de teste de jarros. Este ensaio é capaz de prever a dosagem ótima do coagulante a ser aplicado na água para o processo de clarificação, evitando assim o uso elevado de coagulante que geram custos desnecessários ou pode até mesmo prejudicar a qualidade da água, além disso, evita também o uso insuficiente de coagulante o que pode resultar num tratamento ineficiente.

Um dos parâmetros de qualidade da água importante a ser considerado no planejamento de uma ETA é a avaliação da presença ou não de matéria orgânica, pois esta pode ser capaz de interagir com o cloro, que pode ser aplicado na água como oxidante no início do tratamento, e no final no processo para desinfecção, podendo assim gerar subprodutos como Trihalometanos (THM).

Os THM são prejudiciais à saúde humana, por este motivo faz-se necessário um estudo para avaliar potencial de formação dos THM e assim, adequar o tratamento da água de forma que atinja a qualidade requerida e não haja prejuízo à saúde humana.

A otimização do uso dos produtos químicos utilizados no tratamento de água é importante, pois são insumos com custo elevado e responsáveis pelo sucesso do tratamento de água, assim, a avaliação constante, a atualizações dos ensaios e análises laboratoriais devem ser parte da rotina operacional da ETA, tal assunto também desperta interesse nas instituições de ensino e pesquisa.

Na UFLA o sistema de abastecimento de água está em operação desde 1991, e exerce papel importante para a comunidade universitária, já que é responsável pelo tratamento e distribuição de toda a água de consumo humano no campus. O bom gerenciamento desta unidade do tipo ciclo completo é essencial para prover água com qualidade do ponto de vista da saúde humana e ainda ser economicamente viável.

A ETA da UFLA é uma atividade complementar realizada na instituição. Nela a rotina de atualização dos procedimentos técnicos não são constantes, sendo assim, torna-se importante a realização de uma avaliação atualizada para verificar se os procedimentos operacionais, atualmente, podem ser otimizados e melhorados, com a possível com redução de custos.

Os produtos químicos adicionados no sistema de tratamento de água da UFLA (cloreto férrico utilizado como coagulante, o carbonato de sódio como alcalinizante e por fim o

hipoclorito de cálcio, utilizado como oxidante e desinfetante) precisam ser avaliados e otimizados, pois atuam e reagem em quase todo o processo de tratamento.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência no uso dos produtos químicos adicionados na ETA – UFLA e entender o desempenho dos produtos químicos com a variação de dosagem, para que este sistema execute seus processos de forma otimizada para adequar a qualidade da água de abastecimento aos padrões de potabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

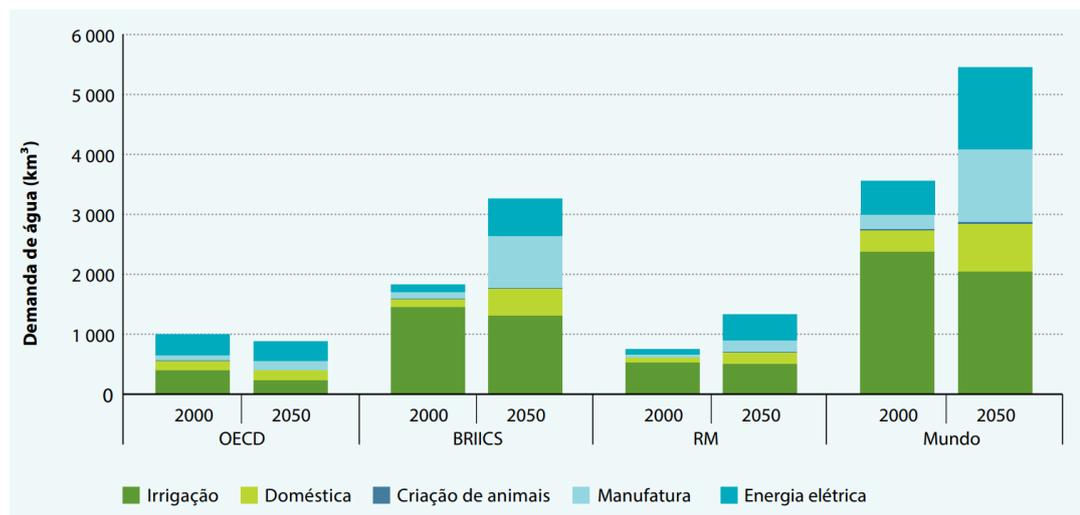
2.1 Importância da água

A água influenciou diretamente no processo evolutivo do ser humano, tanto no comportamento, como nos hábitos, pois a forma e o local em que a água encontrava-se disponível, bem como a sua qualidade, forçaram o homem na tomada de medidas e mudanças necessárias para o atendimento das suas necessidades básicas (DICTORO; HANAI, 2016).

A água sempre foi importante como elemento essencial à vida, entretanto com o desenvolvimento tecnológico e a formação das cidades, foi mudado o conceito de importância, não sendo apenas um recurso natural essencial para equilíbrio dos ecossistemas, no contexto atual tornou-se também um bem de consumo com valor econômico para diversas finalidades de uso (VENANCIO; KURTZ, 2009; DICTORO; HANAI, 2016).

Com o passar do tempo o entendimento do homem sobre a água cresceu, sendo compreendidas e aprendidas as diversas aplicações possíveis de uso, pois esta possui características e atributos que dão capacidade de ser empregada em diversas situações como na produção da indústria, lazer, agricultura, reações bioquímicas, manutenção dos ecossistemas, entre outras aplicações que a cada dia estão sendo descobertas (MARQUES et al., 2015). A Figura 1 apresenta a demanda global de água, levando-se em consideração os seus usos múltiplos.

Figura 1: Demanda global de água- cenário de referencia 2000 e 2050.



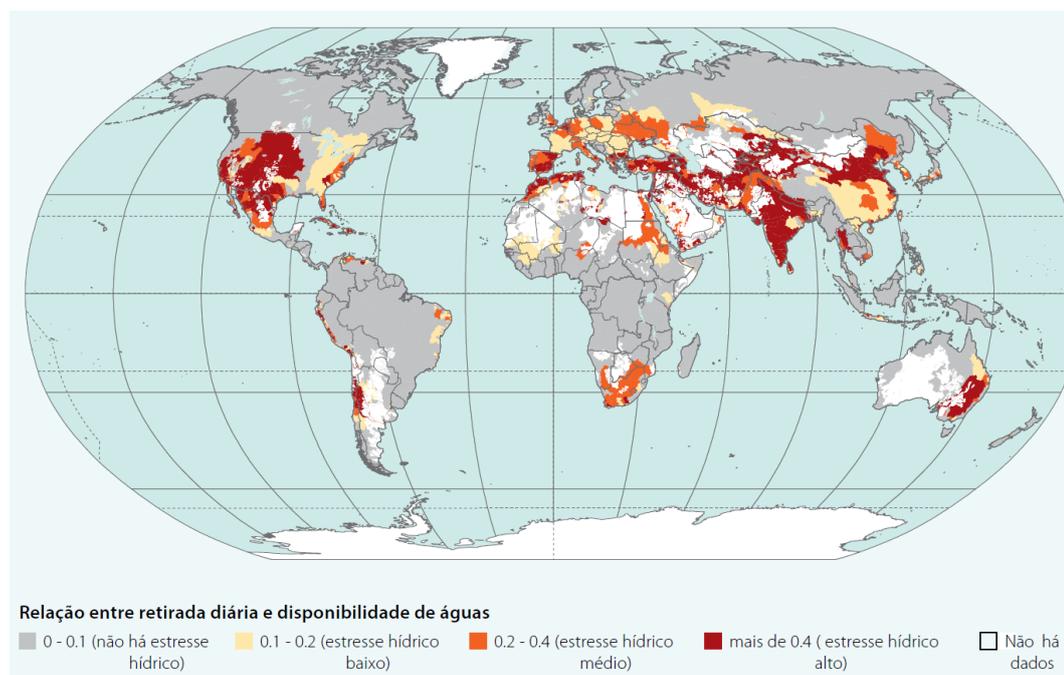
Fonte: UNESCO (2015)

Como consequência das ações do homem na busca pelo crescimento dos centros urbanos, a água tem sido poluída e desperdiçada, por isso esta tem se tornado muitas vezes imprópria para consumo, sendo este o motivo de ser importante conhecer as características

das águas disponíveis para o consumo do ser humano, pois na possibilidade dela não atender o critério de potabilidade, a mesma não pode ser consumida (MARQUES et al., 2015).

Alem da importância da qualidade da água, há preocupações voltadas na sua quantidade disponível e distribuição na terra. O globo terrestre é coberto de água, sendo 97% salgada, 2,493% glacial ou subterrânea, 0,007% doce disponível em rios, lagos e atmosfera e 0,5% na atmosfera em outras formas, portanto, uma fração pequena disponível e de fácil acesso para ser consumida pela população. Outra questão importante de se observar é a distribuição da água no planeta que não é regular, por exemplo, o Brasil detém 13,7 % da água doce mundial, entretanto 70% dela estão localizadas na região Norte do país, a região com menor densidade demográfica, portanto região com menor consumo no país (PICCOLI et al., 2016; GUTIERREZ; FERNANDES; RAUEN, 2017). A Figura 2 apresenta o estresse hídrico médio anual, o que demonstra a relação de consumo com a oferta da água.

Figura 2: Estresse hídrico médio anual entre 1981-2010



Fonte: UNESCO (2015)

A forma com que ocorre a distribuição e a qualidade que a água, tem se tornado um problema global, por isso a tarefa de gerenciar este bem tem sido a cada dia mais rigorosa e importante, de forma a buscar o uso racional e eficiente e ainda promover meios de reduzir o consumo pela sociedade para usos que não são de necessidades básicas (BARROS et al., 2015).

2.2 Qualidade da água

A água em sua forma totalmente pura não existe na natureza. Entretanto, para o consumo humano é preciso que a mesma atenda certos requisitos. Ela deve ser potável, livre de riscos à saúde humana, e que ainda se apresente com bom aspecto, odor e sabor, desta forma é possível o livre consumo da água. A potabilidade é definida por normas de instituição e órgãos de saúde, o atendimento desta é importante, pois o não atendimento deste padrão causa consequências, já há dados que a cada 20 segundos morre uma criança por falta de saneamento e ingestão de água não tratada (RITCHTER, 2012; SILVEIRA; FALADORI, 2016).

Para possibilitar o cumprimento das normas de saúde e atender a qualidade requerida para água distribuída para consumo humano, é preciso primeiro conhecer a qualidade da água bruta, e então realizar o tratamento adequado desta (FERNADES; SCALIZE, 2015).

A Portaria de consolidação do Ministério da Saúde nº 5 de 2017 dispõe sobre as normas, ações e serviços da saúde, e está incluída a regulamentação do padrão de potabilidade que a água deve ter para que seja segura para o homem consumir. Nesta normativa são definidos os parâmetros a serem atendidos para que seja garantido que a água seja própria, podendo então ser distribuída à população (RODRIGUES et al., 2019).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água, as diretrizes para o seu enquadramento e ainda as finalidades que podem ser utilizadas. Desta forma, a equipe técnica pode realizar um planejamento e verificar qual fonte de água é a mais adequada para consumo humano para cada localidade (BRASIL, 2005).

As classificações e condições de tratamento mínimo da água previstas na Resolução nº 357 do CONAMA foram estabelecidas para que seja garantido que esta esteja em condições de consumo. As águas do tipo doce, com salinidade igual ou inferior a 0,5%, com base em diversos parâmetros foram divididas em 5 classes: classe especial e classes 1, 2, 3 e 4. Para cada classe foi previsto o tipo de tratamento se for ser utilizada para consumo humano, a desinfecção para classe especial, o tratamento simplificado para classe 1, o tratamento ciclo completo para a classe 2 e o tratamento ciclo completo ou avançado para a classe 3. As águas de classe 4 não são indicadas para abastecimento e distribuição para população, portanto não há previsto um tratamento da mesma.

Os tratamentos citados tem por finalidades específicas que devem ser respeitados para sua configuração (Brasil, 2005):

- Desinfecção: remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;

- Tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração, desinfecção e correção de pH, quando necessário;
- Tratamento ciclo completo: clarificação com utilização de coagulação e floculação, decantação, filtração, seguida de desinfecção e correção de pH;
- Tratamento avançado: uso de técnicas de remoção e ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica.

Os parâmetros das avaliações e monitoramento da qualidade da água a cada dia tem-se tornado mais rigorosas, em função da crescente poluição das águas e a preocupação da segurança da qualidade da água. Com a avaliação de parâmetros determinantes, é possível identificar o estado e ainda com o monitoramento contínuo a tendência que a qualidade da água segue, possibilitando assim a tomada de decisão sobre esta (ANDRIETTI et al., 2016).

VARIÁVEIS DE QUALIDADE PARA TRATABILIDADE DA ÁGUA

A turbidez é um atributo físico da água e pode ser definida como: a atenuação que o feixe de luz sofre em função da presença de partículas em suspensão no momento que atravessa uma porção de água, ou seja, a transparência que uma água possui (GOMES et al., 2012). As partículas que podem conferir turbidez são areias, argilas e matéria orgânica (ROLA et al., 2016).

A remoção da turbidez é importante, pois em diversas situações a matéria em suspensão pode proteger organismos patogênicos, dificultando assim sua remoção (VIANNA, 2009). Do ponto vista do processo operacional de uma ETA, a avaliação da turbidez é importante para o controle dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração já que reflete no gasto de insumos e energia no processo do tratamento de água (MARQUES; COTRIM; PIRES, 2007).

A cor é uma característica física da água que esta relacionada à presença de substâncias dissolvidas, que podem ser de origem natural a partir da decomposição da matéria orgânica, presença de metais de ferro e manganês ou ainda de origem antropogênica que são o lançamento de efluentes. Além disso, a cor pode ser classificada em verdadeira quando está em solução, ou em cor aparente, quando em suspensão. (PIRATOBA et al., 2017; BEZERRA et al., 2018).

O potencial de hidrogênio (pH) está relacionado a concentração de íons de hidrogênio presente na água sendo medido dentro de uma faixa entre 1 (um) e 14 (quatorze), podendo

determinar se a amostra está ácida ou alcalina (VITO et al., 2016). Os principais responsáveis por conferir à água valores diferenciados de pH são os sólidos e os gases dissolvidos (VON SPERLING, 2014).

O pH é uma das variáveis de maior importância para o tratamento de água, devido à influência que exerce nos processos de tratamento que devem ser acompanhados e monitorados. A alteração de pH pode interferir diretamente no processo de floculação, pois tem capacidade de alterar as cargas das espécies hidrolisadas formadas na coagulação, dificultando então a formação dos flocos, como consequência a eficiência do tratamento da água é reduzida (KIM; MOON; LEE, 2001; LIBÂNIO, 2010).

Presença de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3) ou hidróxidos (OH^-), confere alcalinidade à água e esses são capazes de neutralizar ácidos, podendo ser explicado de forma mais simples como a capacidade de minimizar as variações de pH (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2017; BEZERRA et al., 2018).

A alcalinidade não tem nenhuma influência direta na saúde humana, entretanto caso a mesma encontra-se com valores elevados, pode conferir gosto à água; portanto, sua importância de avaliação está focada para o operacional em função da sua relação de controle do pH (BEZERRA et al., 2017).

O ferro é um metal de origem da dissolução de compostos de rochas e solos, assim como de origem antrópica, é normalmente encontrado nas águas naturais nas formas de Fe^{+3} e na forma dissolvido como Fe^{+2} , este pode estar complexado à matéria orgânica, minimizando assim a possibilidade de oxidação e sedimentação do mesmo (LIBÂNIO, 2010).

O ferro pode conferir à água sabor amargo e coloração amarelada. Se por algum motivo ocorrer a oxidação, o mesmo confere cor avermelhada podendo sujar roupas e louças, além de possibilitar a formação de certas bactérias, neste caso as ferrobactérias; portanto, mostra-se importante o controle deste parâmetro (VIANNA, 2009; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2017).

A matéria orgânica presente nas águas pode ser composta por carboidratos, lipídios, proteínas, aminoácidos, hormônio, detergentes, ácidos graxos, polímeros e substâncias húmicas, sendo a maior parte encontrada na forma da última. A matéria orgânica é uma das principais responsáveis pela cor escura das águas; portanto, quando não é removida de forma eficiente no tratamento.

Pode contribuir para o crescimento de microrganismos, reduzir a eficiência do processo de desinfecção e ainda conferir odor e sabor à água (SLOBODA et al., 2009).

O carbono orgânico total é um indicador da concentração da matéria orgânica, sendo importante para avaliação de potenciais contaminantes da água. O monitoramento do carbono orgânico total é indicado para minimizar a formação dos Trihalometanos (THMs) e outros subprodutos da desinfecção, possibilitando assim tomar medidas preventivas quando necessário (LIBÂNIO, 2010).

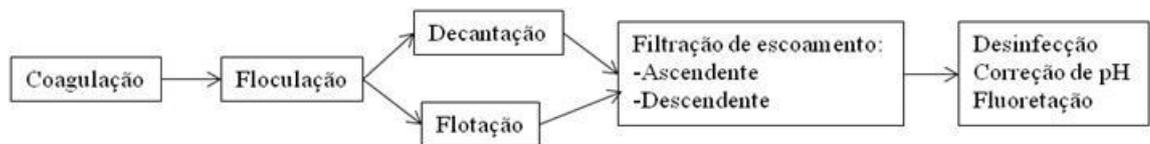
Os THMs são gerados a partir de reações entre a matéria orgânica e os produtos desinfetantes utilizados para tratar a água, sendo o cloro o produto mais utilizado nas ETAs. Há diversos fatores que podem influenciar na formação dos Trihalometanos, sendo eles o pH, a temperatura, o tipo de desinfetante e ainda o tempo de contato que ocorre antes do consumo.

Os Trihalometanos são prejudiciais à saúde humana. Sua formação deve ser evitada durante o processo de tratamento ou até mesmo na rede de distribuição e reservatórios (BENSON; AKINTOKUN; ADEDAPO, 2017).

2.3 TRATAMENTO DA ÁGUA

Para atender os requisitos da qualidade de água desejável é necessário na maior parte dos casos o tratamento dessa água. A Figura 3 representa um fluxograma do tratamento de água de ciclo completo como dispõe a resolução CONAMA n° 357, sendo este o tipo mais usual no cenário brasileiro recomendado para águas de classe 2 e 3.

Figura 3 - Fluxograma típico da tecnologia de tratamento de ciclo completo.



Fonte: LIBÂNIO (2010).

Antes do início do processo de tratamento de água, é importante a medição de vazão que irá então nortear a quantificação do uso de produtos químicos e na fase de planejamento é um dos fatores importantes para definir as dimensões na construção de cada elemento de uma ETA. Para a realização da quantificação da vazão logo na entrada de uma ETA, usualmente, utiliza-se medidores de regime crítico, sendo o mais usual o medidor Parshall (Figura 4). A determinação da vazão por este método se baseia na equação característica do medidor em função da lâmina d'água no ponto de medição, esta possui dimensões padronizadas que possibilitam a medir vazão com precisão (LIBÂNIO, 2010).

Figura 4 - Medidor de vazão do tipo Parshall.



Fonte: Inccer (2017).

A mistura rápida realizada no início do sistema tem por finalidade dispersar os insumos químicos adicionados no tratamento de água de forma que toda a porção de água possa ter a mesma concentração de cada um. O processo pode ser realizado por mistura mecânica com os

tanques e agitadores ou na forma mais tradicional com métodos hidráulicos estáticos em linha como o medidor Parshall, que tem como objetivo principal a medição de vazão, o que aperfeiçoa e muito a construção de uma ETA (LIBÂNIO, 2010; MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

A matéria orgânica presente na água pode ser removida pelo processo da oxidação que tem capacidade de remover o carbono presente na água. Este processo usualmente executado no início do tratamento de água pode ainda oxidar e remover ferro e manganês. A oxidação pode ser realizada com permanganato de potássio, cloro e seus compostos. Em caso de ineficiência na remoção de ferro e manganês pode ocasionar incrustações nas tubulações e geração de ferrobactérias, e no caso da matéria orgânica podem mascarar a presença de eventuais patógenos (LIBÂNIO, 2010; BENJAMIM; LAWLER, 2013).

Há uma preocupação com a pré-cloração, pois a mesma possui contra indicações para águas brutas em função da presença das substâncias húmicas, que por consequência leva à formação dos Trihalometanos, em contra partida há casos da necessidade de se aplicar o processo de oxidação, portanto é preciso na fase de planejamento avaliar alternativas ao uso da oxidação ou meios de evitar a formação de trihalometanos (MACEDO; 2007).

A remoção do ferro pelo processo de pré-cloração ocorre pela oxidação do composto solúvel em sua forma insolúvel, possibilitando assim que a mesma possa ser removida na sequência pela sedimentação e/ou filtração (BENJAMIM; LAWLER; 2013; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2017).

A coagulação é o processo no qual o coagulante é adicionado, reduzindo assim as forças que mantém as partículas coloidais em suspensão, separadas. A finalidade deste processo é facilitar a remoção de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e partículas coloidais a partir da formação de flocos maiores (ROLA et al., 2016; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2017).

As principais substâncias químicas consideradas como agentes coagulantes são: hidróxido cloreto de alumínio, sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico, aluminato de sódio e tanino. O cloreto férrico como coagulante apresenta melhor eficiência quando o pH encontra-se entre 6 a 9, sendo este adotado no tratamento da Universidade Federal de Lavras (MACEDO, 2007).

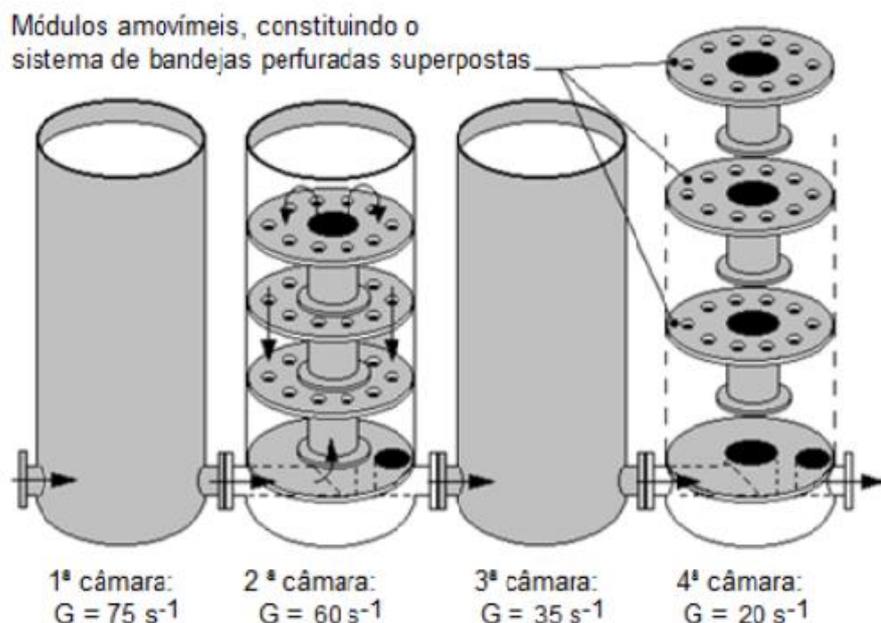
Para entender como será a atuação do coagulante no tratamento de água é necessário conhecer as características da água como: pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pois estas podem influenciar diretamente no processo de coagulação (ROLA et al., 2016).

A dispersão do coagulante na água gera o consumo da alcalinidade e ainda propicia a liberação de CO_2 , que tem como consequência a redução do pH. Para minimizar a queda significativa do pH, deve-se adicionar um alcalinizante como o carbonato de sódio, que irá proporcionar uma taxa elevada da eficiência do processo de coagulação, pois evita a oscilação do pH durante o processo (LIBÂNIO, 2010).

A floculação ocorre em tanques conhecidos como floculadores. Nesta unidade operacional da ETA, as partículas previamente desestabilizadas na etapa de coagulação, recebem agitação lenta e controlada para que se aumente a probabilidade da ocorrência dos choques entre as mesmas. O desempenho da etapa da floculação depende diretamente da eficiência do processo de coagulação, além da correta configuração do sistema: o gradiente de velocidade médio, o tempo de floculação e o tipo e geometria do equipamento utilizado (BENJAMIM; LAWLER, 2013; BARTIKO; JULIO, 2014; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2017).

Existem duas formas de efetuar a agitação da água, uma fazendo com que a mesma percorra um caminho cheio de mudanças na direção possibilitado meio dos floculadores hidráulicos (Figura 5) ou introduzindo em equipamentos mecânicos que com uso de hélice e pás planas fazem a mistura (VIANNA, 2009).

Figura 5 - Floculador hidráulico de bandeja.



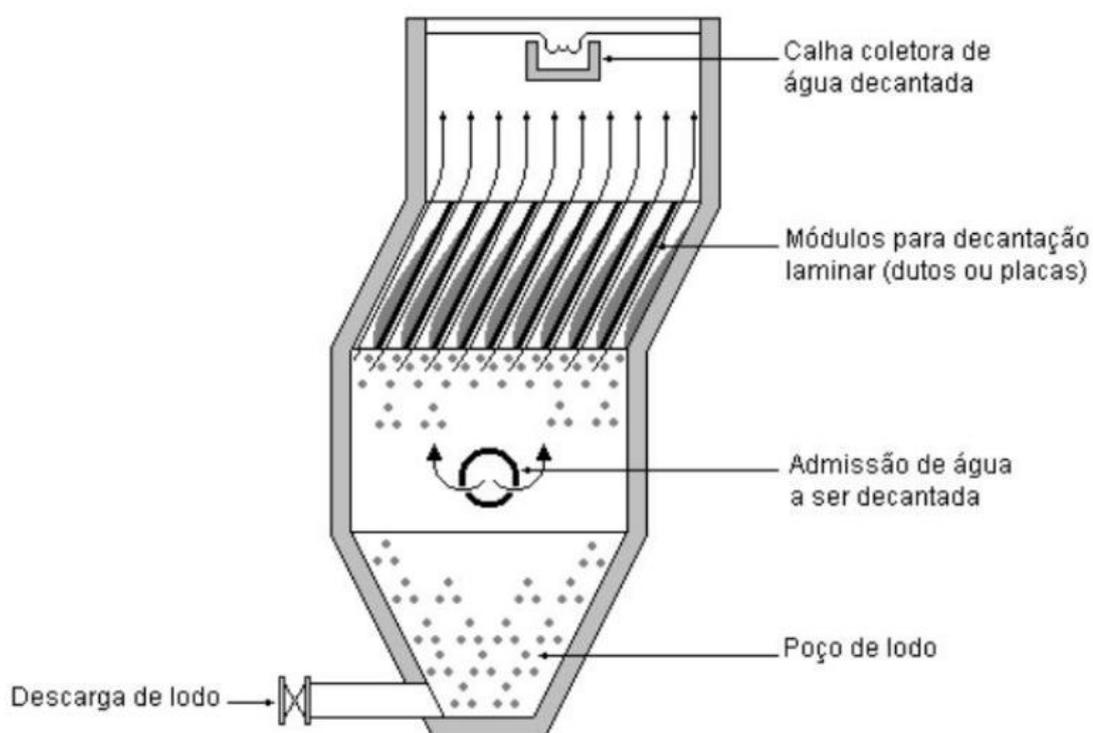
Fonte: VIANNA E CASTRO (2014).

A sedimentação é um processo físico que remove as partículas sólidas por meio das forças gravitacionais, este processo é realizado usualmente após a floculação, conhecido como decantação (RITCHER, 2012; MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

A decantação é o processo de separação por gravidade das impurezas sólidas, como resultado obtém a água decantada clarificada, enquanto os sólidos sedimentam na parte inferior do sistema de decantação (VIANNA, 2009).

A sedimentação ocorre nos decantadores que podem ser convencionais ou de alta taxa. Os convencionais são os horizontais ou verticais e os de alta taxa, como exemplo pode ser visto na Figura 6, possuem placas planas paralelas (RÔLA et al., 2016).

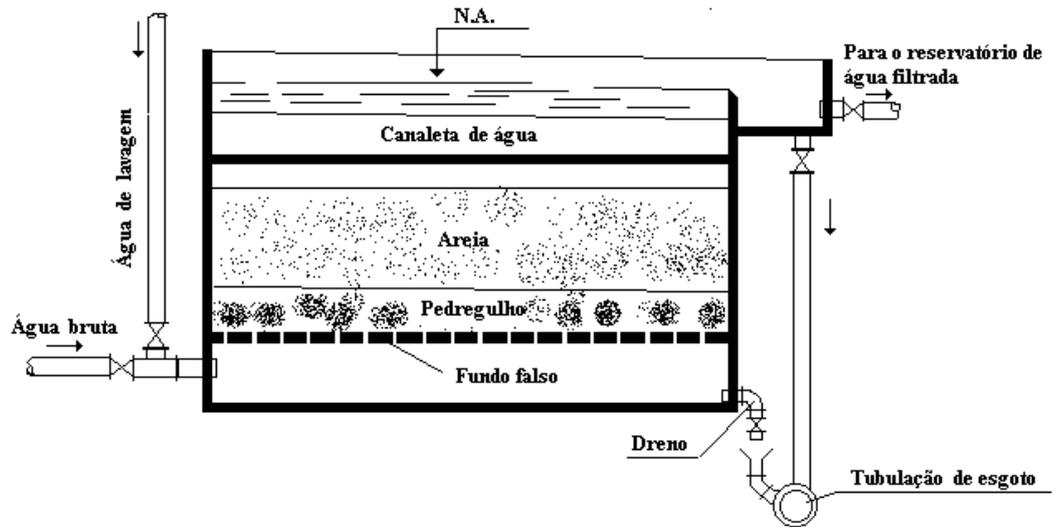
Figura 6: Decantador de alta taxa com placas paralelas.



Fonte: LIBÂNIO (2010).

A água após o processo de sedimentação segue para os filtros, que são preenchidos com materiais granulares como a areia e antracito conforme representado na Figura 7 (RÔLA et al., 2016). A filtração é empregada para remover pequenos flocos e partículas precipitadas que não foram removidos nos processos anteriores, reduzindo assim a turbidez (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Figura 7: Filtro rápido de fluxo ascendente.



Fonte: LIBÂNIO (2010).

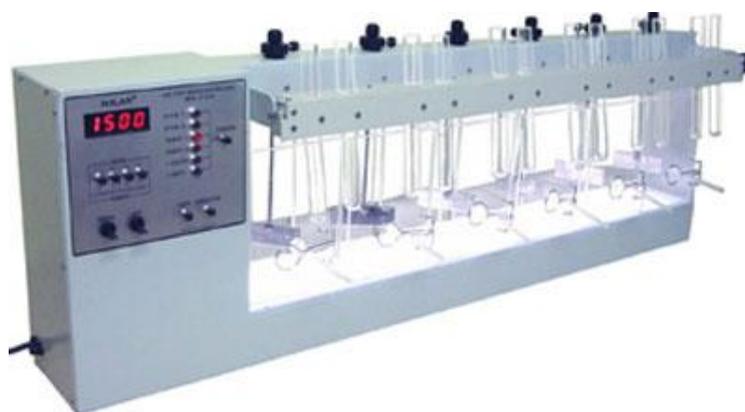
A desinfecção é a redução do número de microrganismos patogênicos no sistema, fazendo o controle de diversas doenças que são transmitidas pela água (BENJAMIM; LAWLER; 2013). A inativação destes agentes é obtida pela ação de agentes desinfetantes como o cloro e a radiação ultravioleta (GARCEZ, 1976).

2.4 ENSAIO DE FLOCULAÇÃO E COAGULAÇÃO

Para operar uma estação de tratamento de água é necessária a realização dos ensaios de tratabilidade que podem determinar os parâmetros do sistema de tratamento. Empregando o equipamento denominado de teste de jarros é possível obter informações importantes para o projeto ou ainda para uma otimização de uma ETA já construída. Nestes ensaios podem ser obtidas as informações da dosagem ótima de coagulante e outros reagentes nas variações operacionais que pode ser aplicado a ETA, permitindo assim identificar a melhor configuração do sistema. A construção dos diagramas de coagulação podem determinar a ótima dosagem do coagulante em função do pH e turbidez da água bruta (KIM; MOON; LEE, 2001; RITCHER, 2012; ROLA et al., 2016).

Os estudos experimentais de hidrolização por coagulantes em água para consumo humano, geralmente são realizados no teste de jarros, o equipamento consiste em seis reatores de base quadrada, cada um equipado com um misturador de pá que gira em diferentes velocidades (Figura 8) (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Figura 8: Aparelho teste de jarros.



Fonte: SPLabor (2017).

A definição da dosagem de coagulante para cada característica de água é identificada após a elaboração dos diagramas de coagulação, que é o resultado do teste de jarros, apresentado na forma de um diagrama, no qual pode ser identificada a concentração ideal de dosagem do coagulante na água que apresentaram melhor remoção da turbidez ou ainda até para outro parâmetro de interesse (KIM; MOON; LEE, 2001; LIBÂNIO; 2010; BARTIKO; JULIO; 2014).

O teste de jarros consegue simular os processos de um sistema de escala real em menor escala. Para o ensaio é adicionado coagulante, aplicado um período de agitação intensa para dar uma distribuição uniforme do coagulante, seguido por uma fase de agitação mais lenta

durante a qual podem formar-se flocos bastante grandes, devendo todas as características seguir os padrões a serem utilizadas na ETA em planejamento, ou no caso de uma ETA existente, e levantar as informações operacionais da mesma para replicar durante o ensaio (YUKSELEN; GREGORY, 2004; LIBÂNIO, 2010). A otimização das etapas de coagulação e floculação, com auxílio de ensaios em equipamento teste de jarros, além de resultar em maior eficiência global da ETA, pode levar à redução da dosagem de coagulante aplicada à água bruta, e conseqüentemente, seus custos (KIM et al., 2001).

Amirtharajah e Mills (1982) foram os primeiros a propor o uso de diagramas de coagulação na avaliação da eficiência de remoção de turbidez em amostras de água submetidas à coagulação, floculação e decantação. Edwards e Amirtharajah (1985) também desenvolveram o diagrama para remoção de cor, sendo que o diagrama para a remoção de turbidez foi desenvolvido com água sintética usando a caulinita como fonte de turbidez.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo prévio e avaliação da qualidade da água bruta irão subsidiar o planejamento e o gerenciamento de uma ETA.

A avaliação dos produtos químicos utilizados durante o tratamento e purificação da água é importante para garantir que os processos químicos possam ocorrer de forma satisfatória, que realmente remova as impurezas e que ainda não gere subprodutos que possam prejudicar a saúde do homem.

É essencial a realização de teste de jarros para otimizar o uso do coagulante e alcalinizante, para garantir que o processo ocorra com eficiência e ainda garanta que não sejam utilizados de forma onerosa os insumos químicos sendo que a alta dosagem de alguns produtos químicos podem agir de forma ineficiente prejudicando o tratamento de uma ETA.

O oxidante utilizado no início do tratamento deve ser aplicado com cautela, para que seja usado realmente em águas com necessidade da ação e que não haja consequências no caso de uso de produtos como cloro a geração de subprodutos que afetam de forma negativa a saúde do homem.

Deve ser realizado um correto gerenciamento das unidades de tratamento de água, para que estas possam cumprir seu objetivo sem gastos desnecessários ou com qualidade duvidosa, por consequência de redução de custos.

4 BIBLIOGRAFIA

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **Journal (American Water Works Association)**, p. 210-216, 1982.

ANDRIETTI, G. et al. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016.

BARROS, H. M. M. et al. Reuso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.5: p. 11-16, 2015.

BARTIKO, D.; JULIO, M. de. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 10, n.1, 2015.

BENSON, N. U.; AKINTOKUN, O. A.; ADEDAPO, A. E. Disinfection Byproducts in Drinking Water and Evaluation of Potential Health Risks of Long-Term Exposure in Nigeria. **Journal of environmental and public health**, v 2017, 2017.

BENJAMIN, M. M.; LAWLER, D.F. **Water quality engineering: Physical/chemical treatment processes**. J. Wiley, 2013. Hoboken, New Jersey.

BEZERRA, A. D. A. et al. Análise situacional da qualidade de água subterrânea oriunda de poços da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v.9, n.1, p. 94-104, 2018.

BEZERRA, A. D. A. et al. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v.8, n.1, p.24-34, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do meio ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 18 mar. 2005. DOU nº 053. p. 58-63.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 de outubro de 2017. DOU nº 190. p.1 a 360.

DICTORO, V. P.; HANAI, F. Y. Análise da relação homem-água: a percepção ambiental dos moradores locais de Cachoeira de Emas-SP, bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, p. 92-120, 2016.

EDWARDS, G. A.; AMIRTHARAJAH, A. Removing color caused by humic acids. **Journal-American Water Works Association**, v. 77, n. 3, p. 50-57, 1985.

FERNANDES, N. C.; SCALIZE, P. S. Comparação entre dois métodos para determinação da qualidade da água tratada. **Ciência & Engenharia**, v. 24, n.2: p. 85-93, 2015.

GARCEZ, L. N. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 1976.

GOMES, A. S. P. et al. Estudo qualitativo da água no município de Picuí-PB, enfocando os parâmetros cor, turbidez e pH. **Revista Principia** n. 1, n.20, p. 38-46, 2015.

GUTIERREZ, R. L.; FERNANDES, V.; RAUEN, W. B. Princípios protetor-recebedor e poluidor-pagador como instrumentos de incentivo à redução do consumo de água residencial no município de Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 899-909, 2017.

INCCER INDÚSTRIA METALÚRGICA. Calha parshall. Ilustração. Disponível em: <http://www.inccer.com.br/index.php?destino=produtos&cat=42&id_prod=60>. Acesso em: 28 jul. 2017.

KIM, S. H.; MOON, B. H.; LEE, H. I. Effects of pH and dosage on pollutant removal and floc structure during coagulation. **Micro Chemical Journal**, v. 68, n. 2, p. 197-203, 2001.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & Águas**. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2007.

MARQUES, A. E. F. et al. Avaliação da qualidade microbiológica da água do açude Engenheiro Ávidos, Cajazeiras-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n.5, p. 05-08, 2015.

MARQUES, M. N. et al. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Química Nova**, v. 30, n.5, p. 1171-1178, 2007.

MIHELIC, J. R.; ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia ambiental: fundamento, sustentabilidade e projeto**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.

PICCOLI, A. de S. et al. Environmental Education as a social mobilization strategy to face water scarcity. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 797-808, 2016.

PIRATOBA, A. R. A. RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P. GONÇALVES, W. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.12, n. 3, p 435-456, 2017.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Edgard Blucher. São Paulo, 2012.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. In: Tratamento de água: tecnologia atualizada. Edgard Blucher. São Paulo, 2003.

RODRIGUES, A. L. et al. Levantamento e análises das fontes alternativas de captação de água utilizadas no abastecimento de uma população rural de Visconde do Rio Branco–MG. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, 2019.

RÔLA, A. K. K. et al. Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 3, p. 14-33, 2016.

SILVEIRA, S.M. B.; GUILLERMO, F. Nanotechnology and water in Brazil/ Nanotecnologia e água no Brasil. **Acta Scientiarum. Humanand Social Sciences**, v. 38, n. 2, p. 153, 2016.

SLOBODA, E. et al. Influência das características das substâncias húmicas aquáticas na eficiência da coagulação com o cloreto férrico. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 976-982, 2009.

SPLABOR EQUIPAMENTOS PARA LABORATÓRIOS. Jar test. Ilustração. Disponível em: <<http://www.splabor.com.br/blog/jar-test-2/aparelho-jar-test-e-o-ensaio-de-floculacao-saiba-mais/>>. Acesso em: 28 de jul. 2017.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: UFMG; 2005.

VENANCIO, D. L.; KURTZ, F. C. The evolution of environment laws and the process of economic valuation of water in Brazil. **Ambiência**, v. 5, n.1, p. 155-171, 2009.

VIANNA, M. R. **Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais**: volume 4 : sistemas de tratamento de água. 1. ed. Belo Horizonte: FUMEC, 2009. 545 p.

World Water Assessmet Programme (Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas). Encarando os desafios: Estudos de caso e indicadores, Paris, UNESCO 2015.

YUKSELEN, M. A.; GREGORY, J. The reversibility of floc breakage. **International Journal of Mineral Processing**, v. 73, n. 2, p. 251-259, 2004.

Otimização do processo de coagulação e floculação da ETA/UFLA
Optimization of the coagulation and flocculation process of an WTP/UFLA

RESUMO

Os processos de coagulação e floculação no tratamento de água tem função de remover diversas impurezas. Para maximizar a eficiência do processo é preciso realizar avaliação pelo ensaio de teste de jarros, no qual é possível conhecer as dosagens de melhor desempenho para água que apresenta diferentes características, e assim usar os insumos químicos de forma tecnicamente correta e economicamente viável. O presente trabalho teve como objetivo otimizar o uso do coagulante e alcalinizante na estação de tratamento de água da UFLA. Para o coagulante cloreto férrico foi construído o diagrama de coagulação a partir dos dados do ensaio de teste de jarros dois tipos, um em função da turbidez e outro da cor. Para o estudo de caso, foi levantada a eficiência de remoção de impurezas e com base nos requisitos exigidos pelo ministério de saúde. O alcalizante carbonato de sódio foi avaliado como segunda etapa, porém, apenas considerando a eficiência de remoção da turbidez. O estudo identificou certos padrões de comportamento nas amostras que a partir destes foi possível identificar entre as dosagens de coagulante utilizadas que a de melhor desempenho, o estudo também indicou que para baixa turbidez e pH neutro, a necessidade do uso de alcalinizante para auxílio no processo de coagulação para estabilizar o pH é dispensável ou mínimo se tornando a aplicação deste insumo necessário apenas em alta turbidez e pH fora da neutralidade.

Palavras chaves: ensaio de jarros, diagrama de coagulação, otimização do tratamento de água.

ABSTRACT

The processes of coagulation and flocculation in the treatment of water have the function of removing various impurities. In order to maximize the efficiency of the process, it is necessary to carry out an evaluation by the jars test, in which it is possible to know the best performance dosages for water with different characteristics, and thus to use the chemical inputs in a technically correct and economically viable way. The present work aimed to optimize the use of the coagulant and alkalizing agent in the UFLA water treatment plant. For the coagulant ferric chloride the coagulation diagram was constructed from the data of the test of jars test two types, one as a function of the turbidity and another one of the color. For the case study, the efficiency of removal of impurities and based on the requirements demanded

by the ministry of health was raised. The alkalizing sodium carbonate was evaluated as a second step, however, only considering the turbidity removal efficiency. The study identified some patterns of behavior in the samples that from these could be identified between the dosages of coagulant used that the one of better performance, the study also indicated that for low turbidity and neutral pH, the need of the use of alkalizing to aid in the process of coagulation to stabilize the pH is dispensable or minimum becoming the application of this necessary input only in high turbidity and pH out of the neutrality.

Key words: jar test, coagulation diagram, optimization of water treatment.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento da qualidade da água para consumo humano é uma preocupação mundial, para isso deve ser considerado fatores importantes como: a preservação ambiental, a poluição das águas e suas características e a saúde humana, para o planejamento dos sistemas de tratamento de água que tem o objetivo de garantir a qualidade da água para consumo humano. As estações de tratamento de água são projetadas de forma específica para cada cenário e finalidade considerando as limitações técnicas para sua construção e manutenção (NASCIMENTO et al.; 2016; MONTEIRO et al., 2014).

A remoção de partículas suspensas é de extrema importância no tratamento de água. A coagulação é um processo químico capaz de remover os materiais suspensos e os coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e o cloreto férrico ($FeCl_3$). Para a aplicação da dosagem adequada e definição do coagulante a ser utilizado, é preciso estudos prévios para garantir que o tratamento em escala plena ocorra de forma adequada evitando assim a ineficiência do sistema por falta de produto químico ou até mesmo gasto desnecessário com o excesso de coagulante (YUKSELSEN; GREGORY, 2003; PAULA; FERNANDES, 2018).

As partículas naturais que conferem turbidez à água são carregadas com cargas negativas, portanto, repelem umas as outras, o que impede a agregação entre elas, à adição do coagulante vai desestabilizar as partículas de forma que serão capazes de agregar e promover a floculação (LI et al., 2018; BARTIKO; JULIO, 2014).

A floculação é o processo que possibilita que as partículas possam se agregar e formar os flocos, sendo uma etapa essencial para otimizar a sedimentação e filtração no sistema de tratamento de água (LI et al., 2018; BARTIKO; JULIO, 2014).

Para que os processos coagulação e floculação ocorram de forma eficaz, é necessária a definição da efetiva dosagem do coagulante por meio de ensaios que levam em consideração as características construtivas da unidade de tratamento de água avaliada, de forma a otimizar o uso dos produtos químicos necessários para execução do tratamento (TASSINARI et al., 2015).

O objetivo deste trabalho foi otimizar o uso de coagulante e alcalinizante utilizado na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras (ETA UFLA), situada no Campus Universitário, em Lavras, MG. A unidade de tratamento é construída em fibra de vidro, módulo único do tipo ciclo completo. Os processos de tratamento são: oxidação, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. A água bruta é proveniente de uma barragem abastecida por duas nascentes localizadas na UFLA, e trabalha com vazão de cerca de 8 L s^{-1} .

O estudo ocorreu entre novembro de 2017 e abril de 2018, para preparo de amostras foi utilizada a água bruta onde foi coletada toda a água necessária por meio de mangueira e bombonas para armazenamento na entrada do sistema de tratamento, foram avaliados a turbidez pelo método nefelométrico e o pH pelo peagâmetro.

Para preparo das amostras foi necessário a alteração da turbidez, para isso foi utilizado a suspensão de caulinita, para isso foi adaptado à metodologia utilizada por Bartiko e Julio (2014), em que foram utilizados 200 g de caulinita, adicionadas em 500 mL de água ultrapura obtida no equipamento Water Specifications Synergy® ultrapurewater (Type 1). A solução resultante foi agitada por 10 min com o auxílio de agitador magnético. Para obter-se a dispersão total da solução foi necessário elevar o pH acima de 7,5 por meio da adição de 0,1 Mol de NaOH. Na sequência a suspensão de caulinita foi diluída em 1,0 L de água ultrapura, homogeneizada e transferida num cilindro graduado no qual permaneceu em repouso durante 12 h. Com o auxílio de uma bomba de baixa vazão e um tubo plástico de pequeno diâmetro foi descartado parte do volume da solução contida no recipiente até se obter aproximadamente 800 mL do sobrenadante (BARTIKO; JULIO, 2014).

Para preparação das amostras foram ajustadas a turbidez e o pH, sendo em forma de matriz pH x turbidez. As turbidez e pH definidas para o estudo foi identificada pelo histórico registrado pela equipe que atua junto a ETA/UFLA. Com a solução de caulinita, a turbidez das amostras coletadas na lagoa que abastece a ETA/UFLA foram ajustada em 10, 20, 30, 40,

50, 65, 80 e 95 uT, a água bruta estava com a turbidez abaixo do desejado, portanto ao acrescentar gradativamente a solução de caulinita a turbidez também subiu, foi feita a adição desta solução até que se obteve as turbidez desejadas. O pH também foi ajustado por meio do hidróxido de sódio ou ácido clorídrico, sendo que os pH foram 6,5; 7,0; 7,5; 8,0 e 8,5 totalizando 40 amostras.

O ensaio de teste de jarros foi realizado em duas etapas, a primeira com o cloreto férrico como coagulante, em que foi determinada a melhor concentração para cada amostra preparada, sendo as concentrações avaliadas 0,0075; 0,01; 0,0125; 0,015; 0,0175; e 0,02 mg L⁻¹ quando as concentrações trabalhadas não completaram a curva de coagulação, foi necessário avaliar também as concentrações 0,0225; 0,025 e 0,0275 mg L⁻¹. As concentrações do estudo foram definidas com base no uso pela ETA/UFLA. Na segunda etapa o ensaio foi realizado com a adição da dosagem ótima de coagulante encontrada na primeira etapa em todos os seis jarros e foi realizado o ensaio de teste de jarros com a variação da dosagem do carbonato de sódio nas concentrações de 0,0005; 0,0015; 0,0025; 0,0035; 0,0045 e 0,0055 mg L⁻¹. Foram realizadas as análises de turbidez pelo método nefelométrico e cor pelo método colorimétrico antes e após o ensaio.

Para o ensaio, adotou-se a mistura rápida em 120 rpm, rotação máxima que o equipamento suportava com tempo de 10 segundos. Para mistura lenta foi adotado 35 rpm com tempo de 20 minutos e para a sedimentação foi adotado o tempo de 27 minutos. Para a mistura lenta e sedimentação foram baseados na detenção hidráulica de ocorrência e velocidade da ETA UFLA.

Os resultados do teste de jarros foram inseridos no software Surfer versão 15 e foram criados a partir deles os diagramas de coagulação que consideram a eficiência de remoção do coagulante, foi criado um diagrama para cada turbidez de referência, portanto no total foram criados 8 diagramas de coagulação, nos quais é possível visualizar a variação do pH, as zonas de melhor taxa de eficiência de coagulação ocorrer e a referida dosagem ótima do coagulante cloreto férrico

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão as dosagens que apresentaram maior eficiência de remoção de turbidez para cada situação de pH entre 6,5 e 8,5 e para turbidez de 10 a 95 uT. A menor eficiência de remoção encontrada foi de 69,5% para a amostra de turbidez 20 e pH 6,5. Entretanto, entre as 40 amostras apenas 9 ficaram abaixo de 90% de eficiência, o que indica que a faixa de dosagem do coagulante atende de forma eficiente o processo de coagulação. A

amostra com turbidez de 10 uT e pH 8,0 alcançou a maior eficiência de remoção da turbidez sendo de 97,5%.

Ao aplicar os dados encontrados pelo estudo na estação de tratamento de água da UFLA, a melhora na qualidade da água deve ser alta alcançando eficiência acima de 90%, tendo em vista as taxas de remoção do ensaio.

Tabela 1: Eficiência da remoção de turbidez para pH entre 6,5 e 8,5 e turbidez entre 10 e 95 uT.

| Turbidez (uT) | pH | Cloreto Férrico (mg L ⁻¹) | Eficiência (%) | Turbidez (uT) | pH | Cloreto Férrico (mg L ⁻¹) | Eficiência (%) |
|---------------|-----|---------------------------------------|----------------|---------------|-----|---------------------------------------|----------------|
| 10 | 6,5 | 0,0100 | 96,10 | 50 | 6,5 | 0,0100 | 87,28 |
| | 7,0 | 0,0150 | 90,60 | | 7,0 | 0,0175 | 94,16 |
| | 7,5 | 0,0125 | 88,40 | | 7,5 | 0,0125 | 93,10 |
| | 8,0 | 0,0175 | 97,50 | | 8,0 | 0,0175 | 93,96 |
| | 8,5 | 0,0125 | 91,40 | | 8,5 | 0,0200 | 94,74 |
| 20 | 6,5 | 0,0100 | 69,50 | 65 | 6,5 | 0,0075 | 92,78 |
| | 7,0 | 0,0175 | 72,25 | | 7,0 | 0,020 | 92,88 |
| | 7,5 | 0,0175 | 88,00 | | 7,5 | 0,0125 | 94,69 |
| | 8,0 | 0,0100 | 71,25 | | 8,0 | 0,0150 | 91,94 |
| | 8,5 | 0,0200 | 83,75 | | 8,5 | 0,0175 | 88,05 |
| 30 | 6,5 | 0,0100 | 85,50 | 80 | 6,5 | 0,0125 | 93,56 |
| | 7,0 | 0,0100 | 97,43 | | 7,0 | 0,0150 | 95,38 |
| | 7,5 | 0,0125 | 94,20 | | 7,5 | 0,0175 | 97,43 |
| | 8,0 | 0,0150 | 94,37 | | 8,0 | 0,0175 | 95,81 |
| | 8,5 | 0,0175 | 96,23 | | 8,5 | 0,0200 | 94,78 |
| 40 | 6,5 | 0,0125 | 92,23 | 95 | 6,5 | 0,0075 | 96,15 |
| | 7,0 | 0,0175 | 93,33 | | 7,0 | 0,0175 | 96,94 |
| | 7,5 | 0,0175 | 94,60 | | 7,5 | 0,0175 | 94,55 |
| | 8,0 | 0,0200 | 94,40 | | 8,0 | 0,0200 | 95,77 |
| | 8,5 | 0,0175 | 94,63 | | 8,5 | 0,0175 | 95,72 |

As Figuras 1 e 2 apresentam os diagramas de coagulação para remoção em função da turbidez.

Figura 1: Diagramas de coagulação para amostras de turbidez 10 (a), 20 (b), 30 (c) e 40 (d) uT com eficiência de remoção em função da turbidez

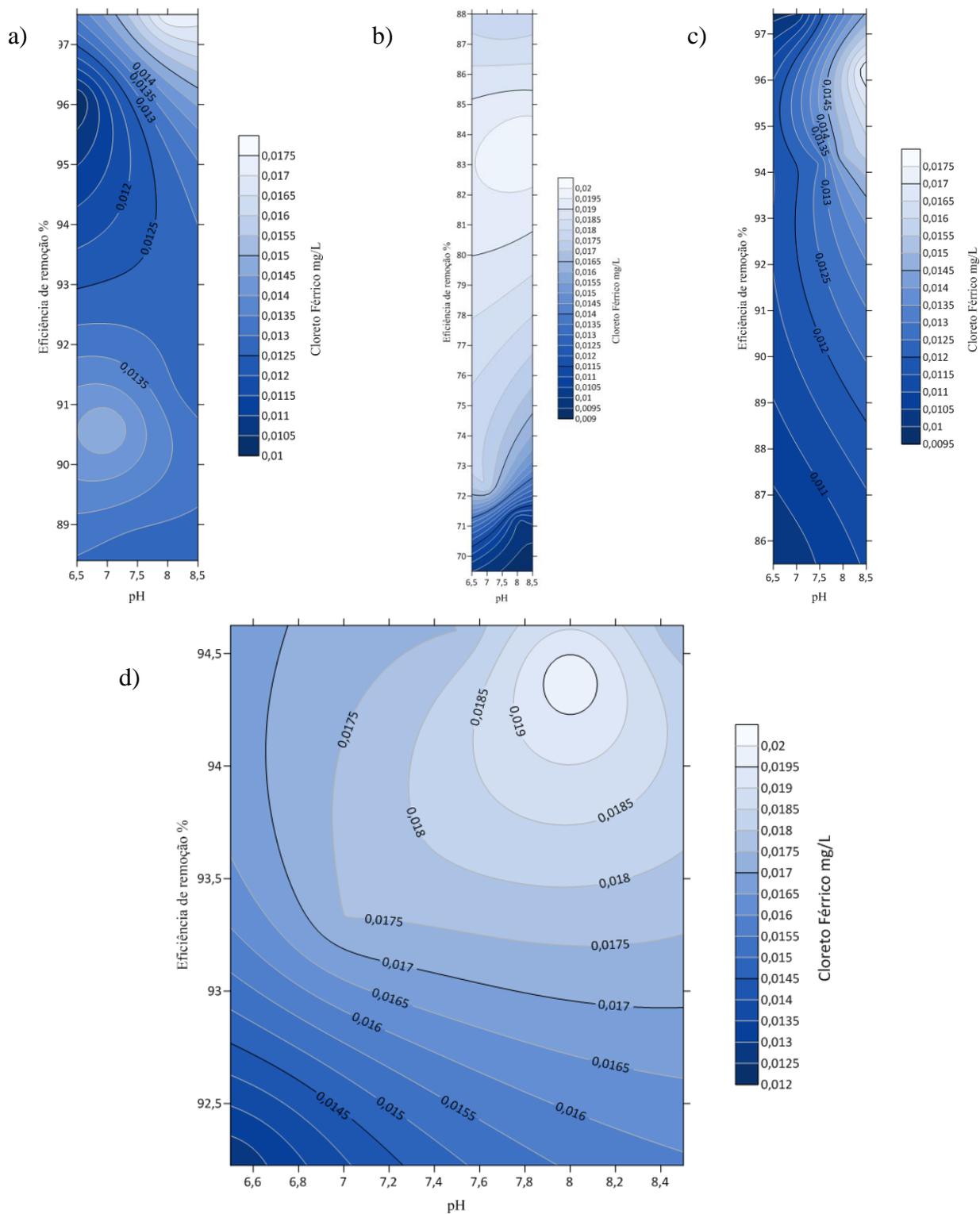
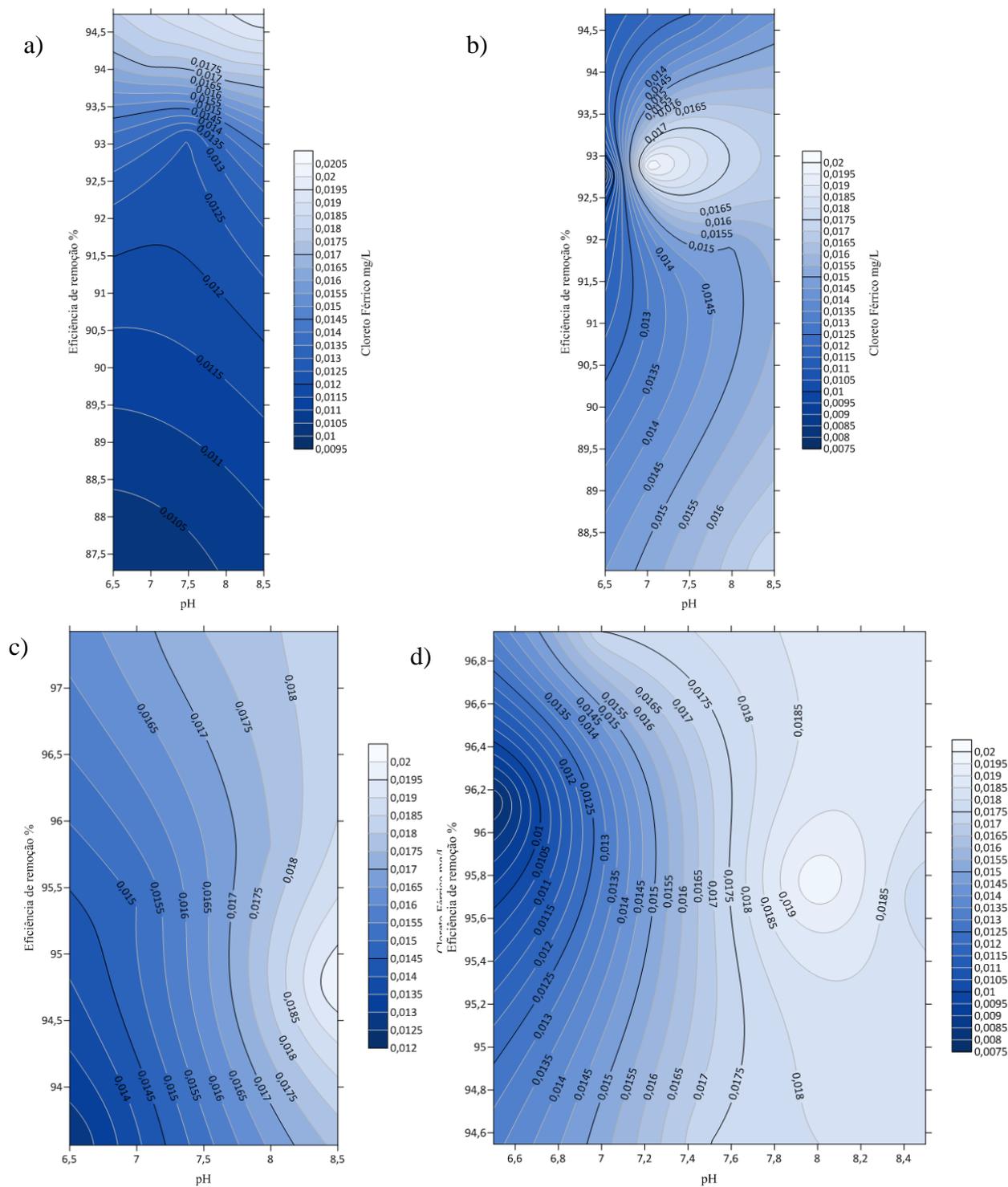


Figura 2: Diagramas de coagulação para amostras de turbidez 50 (a), 65 (b), 80 (c) e 95 (d) uT com eficiência de remoção em função da turbidez.



A Tabela 2 apresenta a dosagem com maior eficiência de remoção de cor para cada amostra de pH entre 6,5 e 8,5 e para turbidez de 10 a 95 UT. A menor eficiência de remoção de cor encontrada foi de 63,5% para a amostra de turbidez 20 e pH 8,0. Entre as 40 amostras

realizadas 23 apresentaram eficiência acima de 90,0% e apenas duas amostras apresentaram eficiência de remoção inferior a 75,0%. A maior eficiência de remoção foi da amostra de turbidez 95,0 uT e pH 8 com eficiência de remoção de cor de 96,8%.

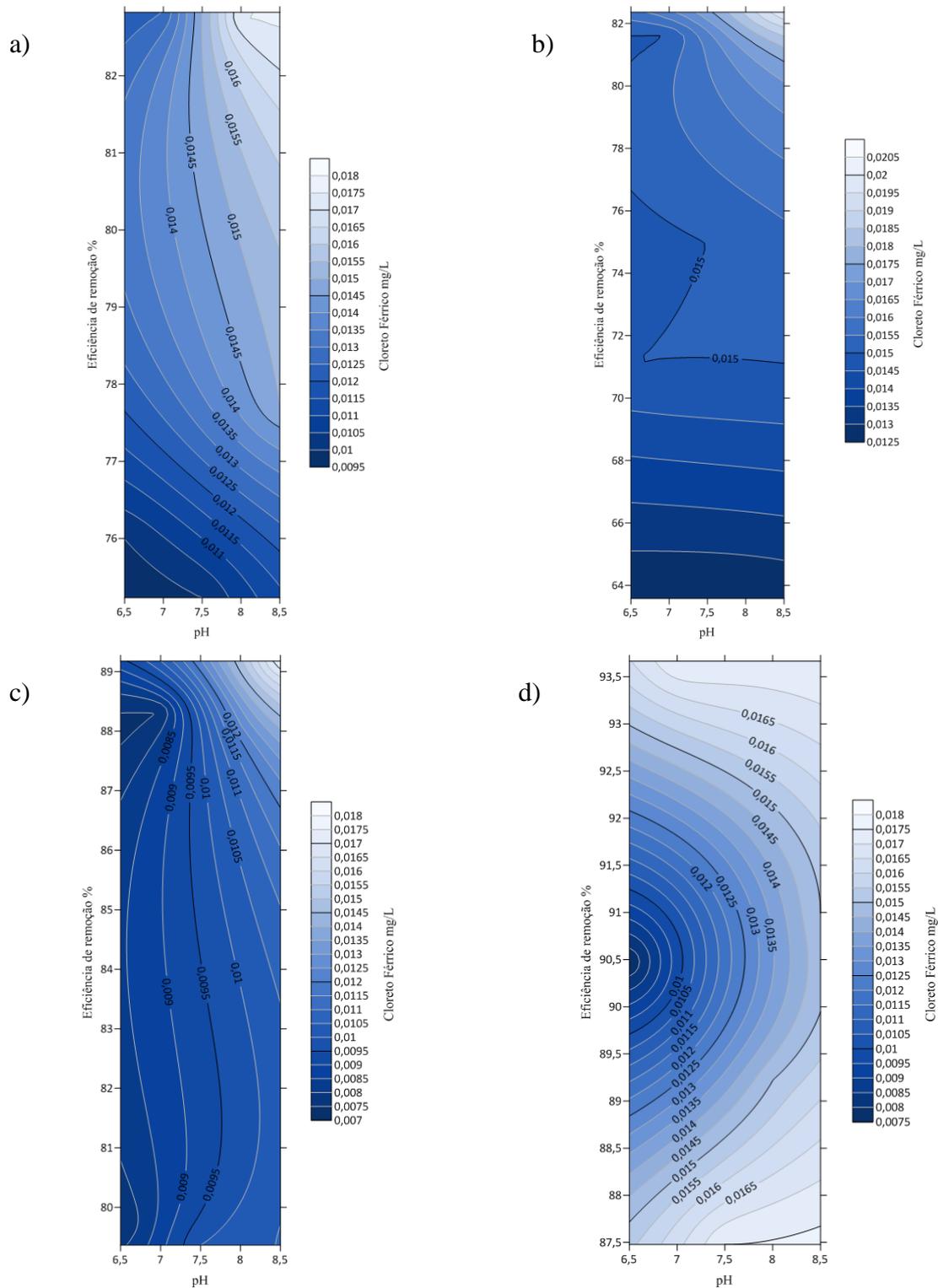
Tabela 2: Eficiência da remoção de cor para pH entre 6,5 e 8,5 e turbidez entre 10 e 95 uT.

| Turbidez (uT) | pH | Cloreto Férrico (mg L ⁻¹) | Eficiência (%) | Turbidez (uT) | pH | Cloreto Férrico (mg L ⁻¹) | Eficiência (%) |
|---------------|-----|---------------------------------------|----------------|---------------|-----|---------------------------------------|----------------|
| 10 2. | 6,5 | 0,0100 | 75,99 | 50 | 6,5 | 0,0100 | 94,17 |
| | 7,0 | 0,0125 | 82,82 | | 7,0 | 0,0175 | 95,37 |
| | 7,5 | 0,0100 | 75,23 | | 7,5 | 0,0100 | 90,98 |
| | 8,0 | 0,0175 | 82,78 | | 8,0 | 0,0175 | 92,57 |
| | 8,5 | 0,0150 | 77,72 | | 8,5 | 0,0200 | 94,16 |
| 20 | 6,5 | 0,0150 | 71,06 | 65 3. | 6,5 | 0,0750 | 92,33 |
| | 7,0 | 0,0150 | 81,64 | | 7,0 | 0,0125 | 93,64 |
| | 7,5 | 0,0150 | 74,97 | | 7,5 | 0,0075 | 92,47 |
| | 8,0 | 0,0125 | 63,58 | | 8,0 | 0,0075 | 94,21 |
| | 8,5 | 0,0200 | 82,36 | | 8,5 | 0,0175 | 90,05 |
| 30 | 6,5 | 0,0075 | 79,71 | 80 4. | 6,5 | 0,0075 | 94,11 |
| | 7,0 | 0,0075 | 88,35 | | 7,0 | 0,0125 | 94,28 |
| | 7,5 | 0,0100 | 79,37 | | 7,5 | 0,0075 | 92,06 |
| | 8,0 | 0,0125 | 88,11 | | 8,0 | 0,0150 | 96,67 |
| | 8,5 | 0,0175 | 89,18 | | 8,5 | 0,0200 | 94,17 |
| 40 | 6,5 | 0,0125 | 90,47 | 95 5. | 6,5 | 0,0075 | 95,14 |
| | 7,0 | 0,0175 | 93,66 | | 7,0 | 0,0150 | 96,53 |
| | 7,5 | 0,0175 | 87,48 | | 7,5 | 0,0150 | 96,85 |
| | 8,0 | 0,0150 | 89,22 | | 8,0 | 0,0200 | 96,86 |
| | 8,5 | 0,0150 | 90,95 | | 8,5 | 0,0175 | 94,96 |

Para os dados levantados na avaliação do tratamento em função da cor, também foram realizados o diagrama de coagulação no software Surfer. Na Figuras 3 e 4 estão os diagramas de coagulação base na eficiência de remoção de cor.

Para o tratamento também pode ser aplicado os dados de otimização do coagulante para uso no tratamento em escala real, no qual a qualidade da água tratada poderá apresentar um melhor resultado obtendo uma ótima eficiência no tratamento.

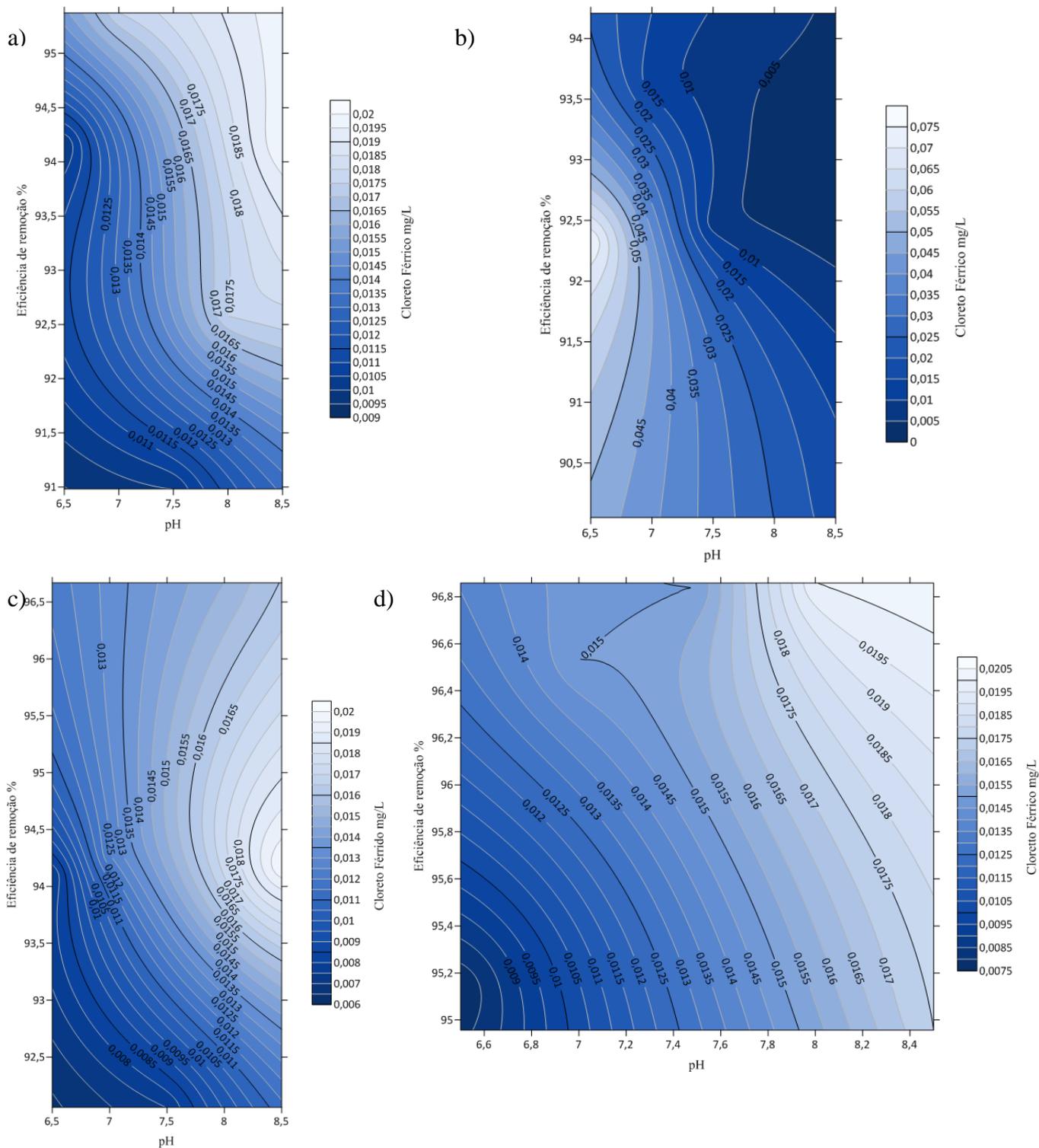
Figura 3: Diagramas de coagulação para amostras de turbidez 10 (a), 20 (b), 30 (c) e 40 (d) uT com eficiência de remoção em função da cor



Como é possível observar ao comparar os diagramas de coagulação realizados, os mesmos possuem comportamento diferente no processo de coagulação e floculação quando as eficiências são avaliadas em função da turbidez e cor. Entender e avaliar os diagramas de

coagulação e ainda comparar os valores com base na legislação de potabilidade de água é importante para definição de qual dosagem deve ser utilizado, tendo em vista que a dosagem de melhor desempenho varia, e depende das características da água avaliada.

Figura 4: Diagramas de coagulação para amostras de turbidez 50 (a), 65 (b), 80 (c) e 95 (d) uT com eficiência de remoção em função da cor



A importância do uso dos diagramas de coagulação de cor e turbidez associadas como ferramenta de avaliação do uso de produtos químicos já vem sendo estudado como a avaliações realizadas por Valverde et al. (2013) e Bongiovani et al. (2010).

Valverde et al. (2013), de forma semelhante encontraram comportamento diferentes entre as remoções de cor e turbidez, e de forma similar, também observaram que há uma melhor remoção em termos de porcentagem a turbidez quando comparado a cor, devendo observar então os critérios estabelecidos pela legislação para poder determinar se a qualidade da água está atendendo do padrão de consumo humano, e assim planejar de forma adequado o uso dos produtos químicos.

Ao avaliar as amostras do estudo individualmente é possível entender o seu comportamento ao ser submetido aos processos de tratamento e assim poder definir o que será melhor de forma técnica. Quando a dosagem ótima é idêntica em ambos os casos de remoção, tanto cor quanto turbidez, fica claro de que esta deve ser a dosagem adotada no processo de coagulação. Entretanto quando difere quando comparado a remoção de cor e turbidez é preciso entender as situações de forma individual para que se entenda qual a situação se enquadra melhor para o sistema.

A Tabela 3 apresenta o resultado final após tratamento de todas as amostras nas dosagens ótimas na avaliação em função da turbidez e dosagem ótima quando avaliado em função da cor. Desta forma é possível avaliar não apenas em porcentagem de remoção, mas também no resultado do tratamento.

Quando comparado em questão de porcentagem de tratamento fica claro que a remoção de turbidez é maior e mais fácil de realizar com uma alta taxa de remoção, entretanto é preciso lembrar que a cor tem características que podem tornar o tratamento um pouco mais difícil e por consequência com uma taxa de eficiência mesmo boa ainda inferior quando comparado à turbidez.

Para avaliação é importante comparar com o valor de referência estabelecida na legislação, no caso da água tratada, os valores de referência são definidos na consolidação 5 do ministério da saúde, está definido que para ser própria para consumo humano a turbidez deve estar abaixo de 5 uT e para cor 15uH.

Para um bom gerenciamento é preciso separar em grupos os dados levantados no estudo realizado para a unidade de tratamento, de forma a facilitar a decisão e entender tecnicamente o motivo da escolha de cada dosagem ótima entre as duas possibilidades quando avaliado em função de remoção de turbidez ou de cor.

O primeiro grupo é mais fácil de identificar, é quando as dosagens ótimas nas duas situações são idênticas, desta forma não há dúvidas de qual dosagem deve ser utilizada, como exemplo podemos citar a amostra de turbidez 10 uT e pH 6,5 em que ambas tiveram a mesma dosagem ótima nas duas situações de forma que a remoção teve bom desempenho em que a turbidez está dentro da normativa sem precisão de mais nenhum tipo do tratamento, quando a cor, a mesma teve uma ótima remoção mas ainda precisa de mais uma etapa do tratamento, que será capaz de remover a cor que ainda está acima do permitido pela legislação.

Outro grupo que se pode ser identificado no estudo realizado, é quando a cor apresenta-se a mesma, tendo variação entre as possibilidades apenas na turbidez, podendo então adotar a dosagem ótima para remoção de turbidez, caso da amostra de turbidez 10 uT e pH 7,0.

Pode-se identificar um grupo interessante e representativo no presente estudo, em que a turbidez atende a legislação em ambos os casos, portanto sendo interessante utilizar a dosagem ótima da cor, pois assim a água atenderá a legislação quanto a turbidez e o valor de cor ficará o mais baixo possível, este caso pode ser visto na amostra de turbidez 30 uT e pH 6,5.

Tem o grupo em que ambos as variáveis não atendem a legislação neste ponto, neste caso é importante avaliar o que está mais próxima do padrão, pois como haverá ainda mais uma etapa do processo, deve ser considerado o que deixará o processo com maior potencial de remoção, no caso da amostra de turbidez 80 e pH 6,5 pode-se entender que a melhor dosagem a ser adotada deve ser com referência na remoção de cor, pois a turbidez já está próxima de ser atendida do ponto de vista da qualidade de água para consumo humano.

Podem ocorrer casos em que as dosagens ótimas de cada situação se contradizem, como na amostra de turbidez 65 uT e pH 8,0, quando avaliado a dosagem ótima do ponto de vista da remoção da turbidez, este parâmetro tem o melhor desempenho, em contrapartida a cor está longe de ter um bom desempenho; Em situações assim, deve ser feita uma avaliação e identificar qual a eficiência de remoção de cor e turbidez nos processos posteriores ao de coagulação e floculação na unidade de tratamento de água, podendo então prever e definir qual situação é melhor para garantir uma boa qualidade de água para consumo humano, sem prejuízo à saúde.

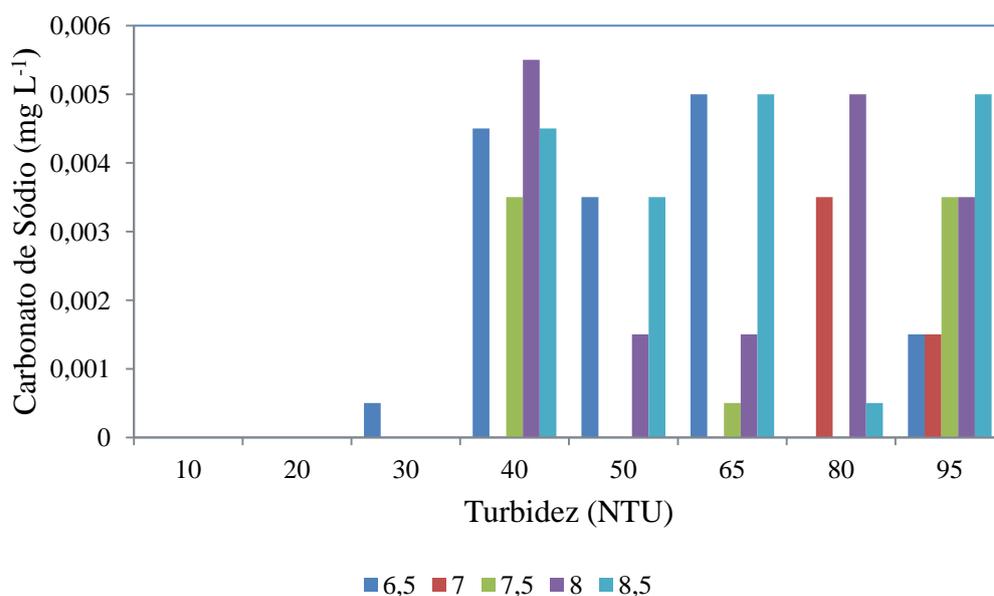
Entre as 40 amostras realizadas, 19 não necessitaram do auxílio do uso do carbonato de sódio para ter um desempenho melhor no processo de coagulação.

Tabela 3: Comparativo de tratamento em relação à cor e turbidez.

| Turbidez inicial | pH | Dosagem ótima em função da turbidez | | Dosagem ótima em função da cor | |
|------------------|-----|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | | Turbidez Final (uT) | Cor final (uH) | Turbidez Final (uT) | Cor final (uH) |
| 10 | 6,5 | 0,39 | 29,56 | 0,39 | 29,56 |
| | 7,0 | 0,94 | 30,84 | 1,06 | 30,84 |
| | 7,5 | 1,16 | 37,25 | 1,32 | 28,28 |
| | 8,0 | 0,25 | 21,87 | 0,25 | 21,87 |
| | 8,5 | 0,86 | 24,43 | 1,00 | 23,15 |
| 20 | 6,5 | 1,22 | 35,97 | 1,33 | 33,41 |
| | 7,0 | 1,11 | 42,38 | 1,48 | 30,84 |
| | 7,5 | 0,48 | 43,66 | 1,15 | 42,38 |
| | 8,0 | 1,15 | 34,69 | 1,48 | 30,84 |
| | 8,5 | 0,65 | 28,28 | 0,65 | 28,28 |
| 30 | 6,5 | 4,35 | 75,71 | 4,95 | 57,76 |
| | 7,0 | 0,77 | 38,53 | 1,21 | 32,12 |
| | 7,5 | 1,74 | 44,94 | 1,82 | 43,66 |
| | 8,0 | 1,64 | 32,12 | 2,00 | 27,00 |
| | 8,5 | 1,13 | 29,56 | 1,13 | 29,56 |
| 40 | 6,5 | 3,11 | 27,00 | 3,11 | 27,00 |
| | 7,0 | 2,67 | 23,15 | 2,67 | 23,15 |
| | 7,5 | 2,16 | 38,53 | 2,16 | 38,53 |
| | 8,0 | 2,24 | 37,25 | 3,22 | 34,69 |
| | 8,5 | 2,15 | 35,97 | 2,77 | 34,69 |
| 50 | 6,5 | 6,36 | 27,00 | 6,36 | 27,00 |
| | 7,0 | 2,92 | 20,58 | 2,92 | 20,58 |
| | 7,5 | 3,45 | 42,38 | 8,05 | 34,69 |
| | 8,0 | 3,02 | 28,28 | 3,02 | 28,28 |
| | 8,5 | 2,63 | 21,87 | 2,63 | 21,87 |
| 65 | 6,5 | 4,69 | 43,66 | 4,69 | 43,66 |
| | 7,0 | 4,63 | 53,92 | 5,98 | 41,10 |
| | 7,5 | 3,45 | 50,07 | 4,42 | 46,23 |
| | 8,0 | 5,24 | 91,10 | 1,4 | 29,56 |
| | 8,5 | 7,77 | 62,89 | 7,82 | 62,89 |
| 80 | 6,5 | 5,15 | 51,35 | 5,92 | 46,23 |
| | 7,0 | 3,70 | 47,51 | 3,81 | 46,23 |
| | 7,5 | 2,06 | 56,48 | 3,02 | 46,23 |
| | 8,0 | 3,35 | 27,00 | 4,01 | 27,00 |
| | 8,5 | 4,18 | 47,51 | 4,18 | 47,51 |
| 95 | 6,5 | 3,66 | 39,82 | 3,66 | 39,82 |
| | 7,0 | 2,91 | 35,97 | 3,51 | 30,84 |
| | 7,5 | 5,18 | 34,69 | 5,74 | 29,56 |
| | 8,0 | 4,02 | 28,28 | 4,02 | 28,28 |
| | 8,5 | 4,07 | 46,23 | 4,07 | 46,23 |

Na Figura 5 está apresentada a dosagem ótima a ser aplicada em cada amostra de pH x turbidez. O estudo indica que para turbidez de valores baixos, não são necessários o uso de nenhum produto auxiliar no processo de coagulação, sendo o coagulante suficiente para a execução do processo, ao contrário das amostras com alta turbidez que necessitam do alcalinizante para que o processo de tratamento de água ocorra com maior eficiência.

Figura 5: Dosagem de melhor desempenho do carbonato de sódio para alteração do pH em função dos diferentes valores de turbidez avaliados.



Deve destacar também o fato de que as amostras de pH 7,0, ou seja, pH neutro apresentaram menor necessidade do uso do alcalizante, fato importante, pois o alcalinizante é utilizado para equilíbrio do pH, portanto quanto mais próximo da neutralidade a água estiver, menor a necessidade do uso do alcalinizante.

Tanto o uso do alcalinizante quanto do coagulante devem ser avaliados em cada situação de forma que a associação do uso destes produtos químicos favoreça de forma positiva o tratamento de água e possam alcançar um bom tratamento e garantir que a qualidade de água servida as pessoas após o tratamento não sejam prejudicial à saúde.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que para a otimização de utilização dos produtos químicos é necessário avaliar diariamente a qualidade da água de entrada de forma a determinar a melhor dosagem para a realização do tratamento de água.

Ao conhecer o tratamento e como devem ser aplicados os produtos químicos para o processo de remoção de impurezas é possível realizar o gerenciamento de uma unidade de tratamento, no caso da UFLA deve ser aplicado em escala real para nova avaliação e possíveis ajustes.

REFERÊNCIAS

TASSINARI, B. et al. Application of turbidity meters for the quantitative analysis of flocculation in a jar test apparatus. **Journal of Environmental Engineering**, v. 141, n. 9, 2015.

NASCIMENTO, R. S. do. et al. Changes simulation in a conventional ETA midsize to safe water production. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 439-450, 2016.

LI, X. et al. Characterization of the flocculation process from the evolution of particle size distributions. **Journal of Environmental Engineering**, v. 134, n. 5, p. 369-375, 2008.

BARTIKO, D; JULIO, M. de. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Ambiente & Água Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 1, 2015.

DE PAULA, H. M.; FERNANDES, C.E. Otimização do tratamento de águas cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, 2018.

SHENG, W. et al. Coagulation of particles through rapid mixing. **Drying technology**, v. 24, n. 10, p. 1271-1276, 2006.

SU, Z.; LI, X.; YANG, Y. Regrowth ability and coagulation behavior by second dose: Breakage during the initial flocculation phase. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 527, p. 109-114, 2017.

YUKSELEN, M. A.; GREGORY, J. The reversibility of floc breakage. **International Journal of Mineral Processing**, v. 73, n. 24, p. 251-259, 2004.

CARDOSO VALVERDE, K., et al. Coagulation diagram using the Moringa oleifera Lam and the aluminium sulphate, aiming the removal of color and turbidity of water. **Acta Scientiarum. Technology**, v 35.n 3, 2013.

CARVALHO BONGIOVANI, M., et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, v, 32.n 2, 2010.

Aplicabilidade do cloro na Estação de Tratamento de Água da UFLA
Chlorine applicability at the UFLA Water Treatment Plant

RESUMO

No tratamento de água da UFLA é realizado o processo de pré-oxidação com o cloro para promover a remoção de ferro e matéria orgânica. Há preocupações quanto ao uso deste produto químico, portanto, foi objetivo do estudo avaliar a eficácia do processo de tratamento assim como se há consequências quanto ao uso deste, no caso a geração de trihalometanos. Os pontos de amostras foram da entrada e saída da ETA sendo a última com e sem cloro. Para a variável ferro foi identificado que não há necessidade de remoção por ser encontrado em baixa concentração na água bruta, ao contrário da matéria orgânica que foi encontrada acima do desejado, apesar de não haver padrão em legislação, há autores que indicam a presença de até $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de carbono total, Justifica-se então o uso da pré cloração na ETA. Avaliou se ainda a geração de Trihalometanos pela técnica de cromatografia. Os quais não foram observados na água tratada. Porém em teoria, e com base na quantidade de cloro aplicada no sistema, é possível haver a formação, entretanto, os fatores necessários para que esta ocorra não há no sistema atualmente, portanto é necessário que para manter a pré cloração é preciso monitorar possíveis mudanças na qualidade de água ou no sistema para que seja reavaliada a geração de Trihalometanos, de forma a manter a água potável para distribuição.

Palavras chaves: Trihalometanos; processo de oxidação; pré-cloração.

ABSTRACT

In the treatment of water of the UFLA is carried out the process of pre-oxidation with the chlorine to promote the removal of iron and organic matter. There are concerns regarding the use of this chemical, therefore, it was the objective of the study to evaluate the effectiveness of the treatment process as well as if there are consequences regarding the use of this, in the case the generation of trihalometanes. The sample points were ETA inlet and outlet being the last with and without chlorine. For the iron variable it was identified that there is no need for removal because it is found in low concentration in the raw water, unlike the organic matter that was found above the desired one, although there is no standard in legislation, there are authors that indicate the presence of up to 0.3 mg L^{-1} of total carbon. The use of prechlorination in ETA is therefore justified. It was also evaluated the generation of

Trihalomethanes by the chromatography technique. These were not observed in the treated water. However in theory, and based on the amount of chlorine applied in the system, it is possible to have formation, however, the factors necessary for it to occur there is in the system currently, so it is necessary that to maintain pre-chlorination it is necessary to monitor possible changes in the quality of water or in the system so that the generation of Trihalomethanes is reevaluated, in order to keep the water potable for distribution.

Key words: Trihalomethanes; oxidation process; pre-chlorination.

INTRODUÇÃO

No tratamento de água são executados diversos processos físicos e químicos capazes de tornar a água própria para consumo humano, podendo-se utilizar diferentes agentes oxidantes como: cloro, dióxido de cloro, permanganato de potássio, entre outros (FERREIRA FILHO; SAKAGUTI; 2008). As finalidades de uso podem ser oxidação de ferro e manganês, remoção de cor, desinfecção e remoção de matéria orgânica (MEYER, 1994; FERREIRA FILHO; SAKAGUTI; 2008).

O oxidante com maior aplicação de uso no tratamento de água é o cloro e seus compostos, e seu uso de forma ampla não se resume apenas ao seu baixo custo, mas também pela diversidade de aplicação difundida e eficiente (AGUIRRE-GONZALES et al; 2011).

Apesar das vantagens e do intenso uso do cloro há desvantagem que deve ser levada em consideração para a sua aplicação no tratamento de água, a capacidade de reagir com a matéria orgânica presente na água como ácidos húmicos e fúlvicos gerando os Trihalometanos (MEYER, 1994; PASCOALATO; TRIMAILOVAS; DI BERNARDO, 2008; BACHELLI; AMARAL; BENEDETTI, 2012).

São considerados como Trihalometanos o clorofórmio (CHCl_3); o bromodiclorometano (CHBrCl_2); o dibromoclorometano (CHBr_2Cl) e o bromofórmio (CHBr_3), sendo o clorofórmio o mais comum, tendo em vista que o mesmo é formado pela ação do cloro, produto mais utilizado no tratamento de água, as demais formas precisam de outros oxidantes para formação (PASCOALATO; TRIMAILOVAS; DI BERNARDO; 2008), que não são comumente encontrados nas águas superficiais.

O problema da geração dos Trihalometanos na água é o agravo à saúde humana quando esta é ingerida com a presença destes elementos, com aspectos toxicológicos e efeitos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos (BENSON; AKINTOKUN; ADEDAPO, 2017).

Os trihalometanos agem de forma crônica, pois a exposição ocorre em longo prazo e baixas concentrações passando despercebida a ação destes elementos (TOMINAGA; MIDIO, 1999; SILVA; MELO, 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso do cloro como oxidante no início do tratamento de água para avaliar a necessidade do uso deste na oxidação do ferro e da matéria orgânica no sistema de tratamento de água da UFLA para consumo humano, e ainda avaliar a formação de Trihalometanos.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras (ETA/UFLA), situada no campus universitário, em Lavras - MG. A unidade de tratamento é do tipo ciclo completo, ou seja, consta dos processos de tratamentos de oxidação, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, sendo a mesma construída em fibra de vidro. A água bruta é proveniente de uma barragem abastecida por nascentes na UFLA.

O estudo ocorreu no período de agosto a outubro de 2018. Foi realizada a coleta de amostras da água em três pontos: água bruta na entrada do sistema de tratamento, da água após o filtro com o tratamento de cloro em funcionamento e no mesmo ponto sem o tratamento de cloro. Foi avaliado o carbono total e a presença de ferro. A avaliação de ferro foi realizada em triplicata pelo método colorimétrico de acordo com a metodologia baseada no Standard Methods (EATON et. al., 2005).

Para se estimar a porcentagem de carbono total nas amostras foi realizado no equipamento analisador de carbono, marca Shimadzu, modelo TOC-V CPH, cada medida foi realizada em triplicata para se obter uma estimativa da reprodutibilidade das determinações. Para o procedimento de leitura de amostras foi inserido o capilar onde cada amostra foi succionada e levada até uma câmara onde é calcinada a uma temperatura de 650°C, sendo a quantidade de dióxido de carbono liberado pela amostra relacionada com o teor de carbono orgânico e/ou inorgânico por meio de uma curva de calibração pré-determinada (Shimadzu, 1999).

Na avaliação do Trihalometano clorofórmio em amostras de água da estação de tratamento de água da UFLA destinada consumo humano, foram submetidas a uma extração líquido-líquido utilizando o solvente metil terc-butílico éter (MTBE) com grau de pureza cromatográfica, de acordo com o método USEPA 551.1 (USEPA, 1995), empregando para

tal, o equipamento de cromatografia gasosa Agilent 7890A, acoplado a um analisador de massas do tipo quadrupolo Agilent 5975C, coluna Agilent HP-5MS, gás de arraste hélio, vazão de hélio na coluna $1,2 \text{ mL min}^{-1}$ com fluxo constante, o tempo total de análise por amostra foi de 15 minutos e 15 segundos.

Para avaliação do uso do cloro na estação de tratamento de água da UFLA, foram considerados dois fatores que são relevantes para determinar a necessidade ou não do uso deste no sistema, primeiro a eficácia do processo de oxidação e o segundo fator levado em consideração foi o potencial de geração de Trihalometanos durante o processo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de concentração de ferro na água da ETA apresentaram, durante o período de estudo, resultados abaixo do limite de leitura ou com concentrações reduzidas nos pontos de avaliação.

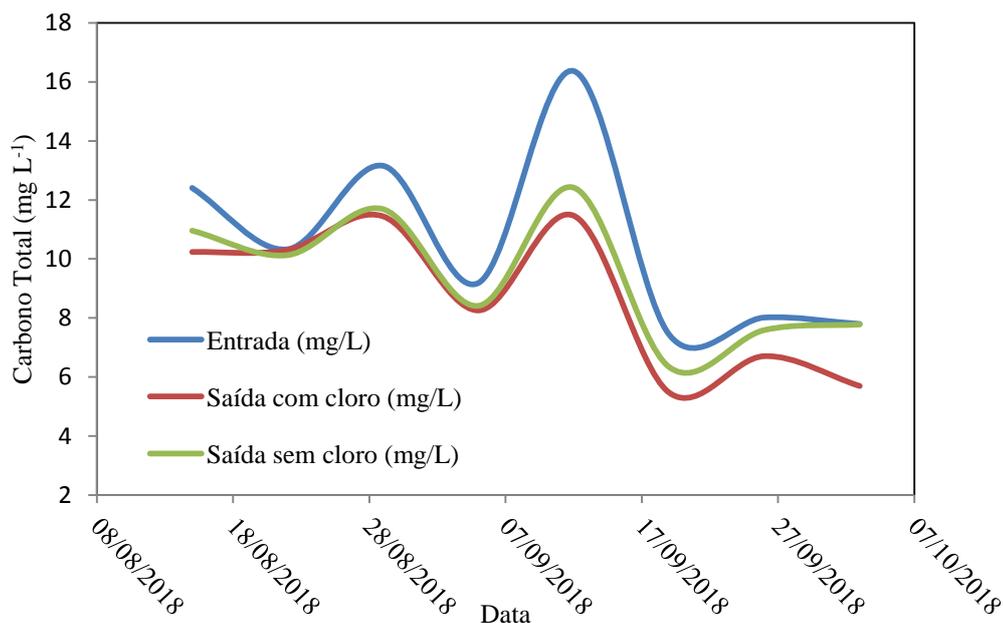
Para confirmação do resultado foi realizado um comparativo com os dados de monitoramento realizado pelo setor, os dados levantados pela equipe de monitoramento da qualidade de água na UFLA durante todo o ano de 2018 foi coerente com o estudo. Durante o ano de 2018 o maior resultado encontrado para concentração de ferro foi de $0,19 \text{ mg L}^{-1}$, resultado que está abaixo do determinado pela legislação, segundo a consolidação nº 5 de 2017 do Ministério de Saúde (autor, data), o valor máximo permitido para ferro é de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ para água de consumo humano, sendo assim os dados indicam que para este parâmetro não há necessidade do processo oxidativo, pois atende o parâmetro estabelecido.

A Figura 1 representa os dados de carbono total encontrados na entrada e na saída do sistema. Os dados apresentados na Figura 1 indica que o tratamento estudado é capaz de realizar a remoção da matéria orgânica da água, entretanto, a eficiência desta remoção é baixa, ficando aquém do desejado.

Quando o tratamento de água está associado com o uso de cloro no processo pré-oxidativo, o cenário de tratamento da matéria orgânica se torna melhor, a eficiência de remoção aumenta como pode ser observado na Figura 1.

Segundo ZERWES et al. (2015), não há na legislação vigente parâmetros que normatize um padrão permissível para o carbono total, entretanto é indicado, em função da possível presença de diversos tipos de poluentes, que o limite de carbono total aceitável para o consumo humano seja de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, para que não haja dano à saúde do consumidor ou ao sistema de tratamento.

Figura 1: Avaliação de carbono total na ETA UFLA.



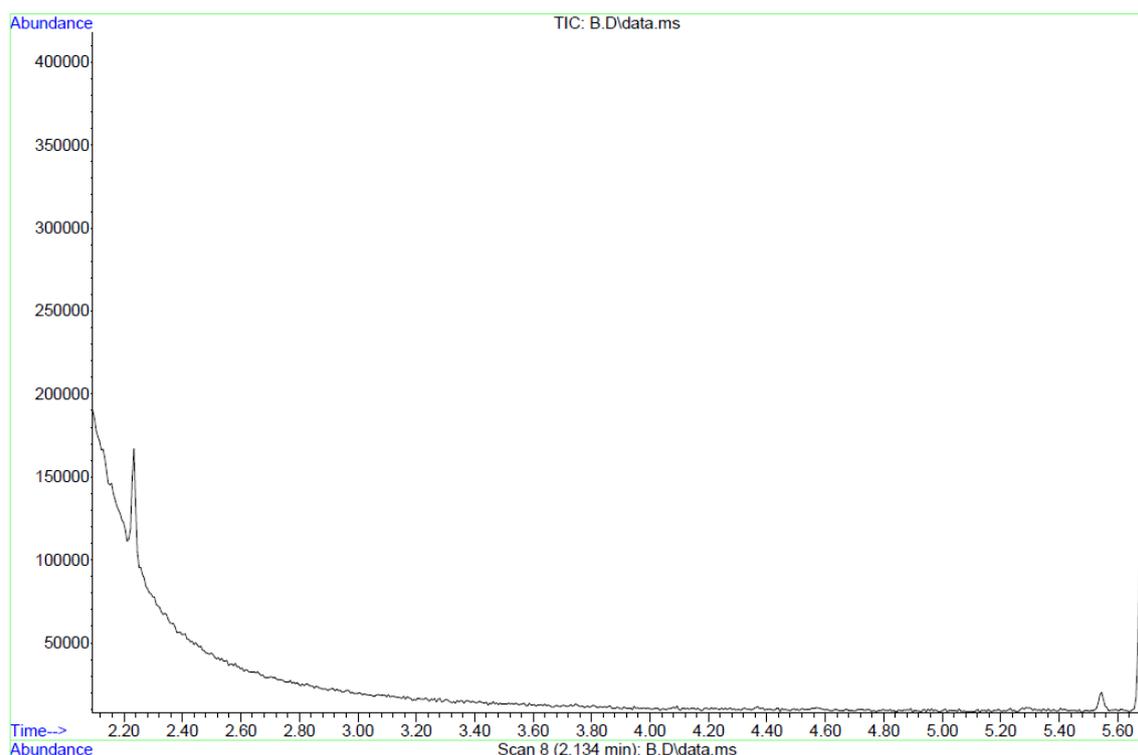
Como pode também ser observado na Figura 1, ao menos durante o período avaliado o carbono total em todos os cenários ficou acima do recomendado por ZERWES et al. (2015), portanto, primeiramente fica claro a indicação do uso de cloro para promover a remoção da matéria orgânica presente na água com a melhor taxa de eficiência possível, deve ainda ser monitorado se persiste a situação para que seja promovido o ajuste da dosagem de cloro ou outro meio de forma a alcançar a remoção ideal para o sistema de tratamento de água.

Havendo o indicativo da real necessidade do uso do cloro no sistema, é evidente a importância de avaliar se o processo oxidativo não tem gerado consequências, ou seja, a geração de Trihalometanos.

Para a avaliação do experimento foi considerado para análise apenas o Trihalometano clorofórmio, tendo em vista que é utilizado o cloro no tratamento, portanto quimicamente a formação de Trihalometanos está restrita ao clorofórmio.

Na Figura 2 está apresentado o cromatograma obtido o branco (amostras de água ultrapura que não contêm o analito de interesse). Foi observado apenas um sinal em 2,25, que pode estar relacionado com ganho na detecção, devido a fatores como a obtenção de maior relação sinal/ruído.

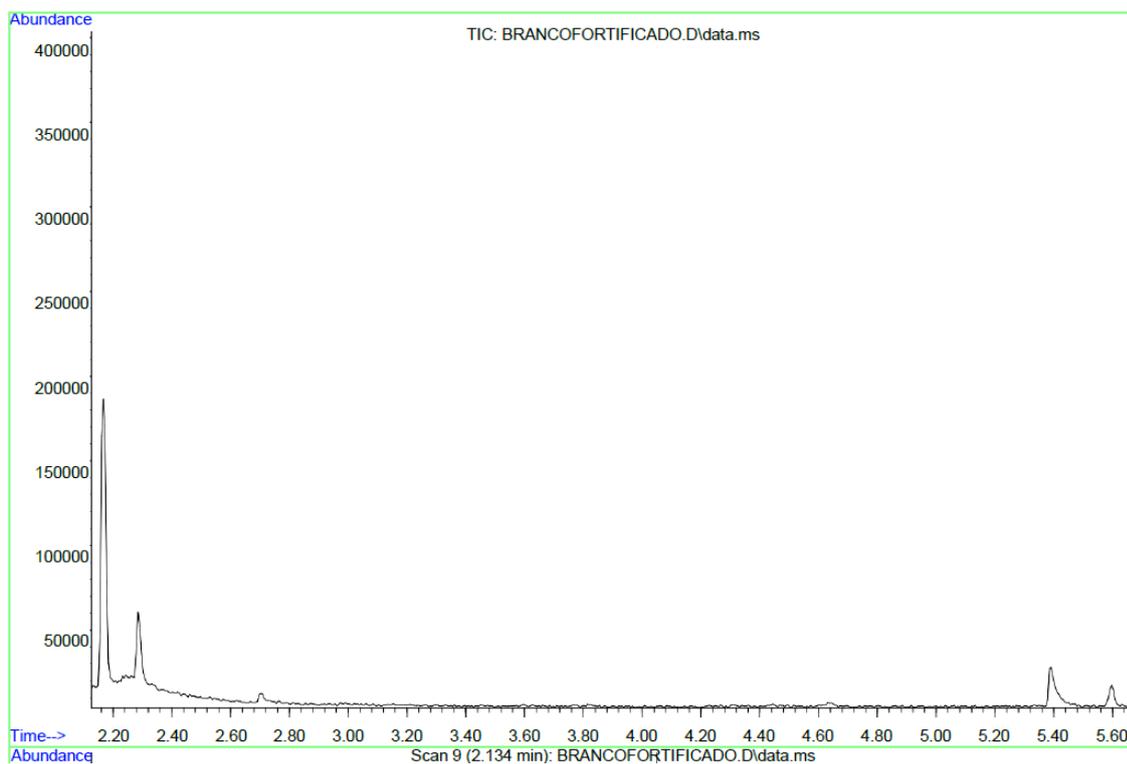
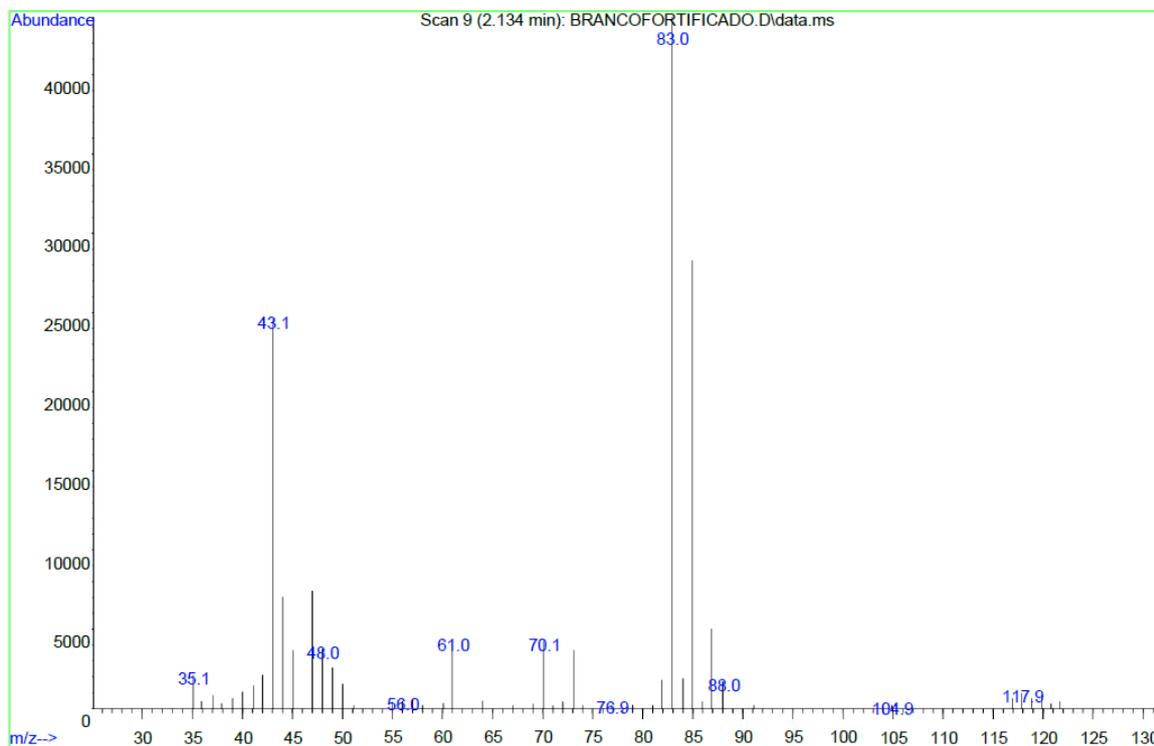
Figura 2: Cromatograma da amostra branco.



A fim de verificar se o processo de extração e identificação era capaz de identificar a presença de clorofórmio, foi realizada uma segunda análise em água ultrapura analisando-as comparativamente ao sinal obtido por amostras em branco (amostras que não contêm o analito de interesse), de forma a verificar se o e de determinar o tempo de retenção estabelecendo posteriormente adição da menor concentração aceitável do Clorofórmio baseado nas concentrações do método 551.1 (USEPA, 1995).

A Figura 3 apresenta o cromatograma obtido após análise de uma amostra de água ultrapura fortificada com clorofórmio, em que se observa um pico no tempo de retenção em 2,13 minutos. Na Figura 4 é apresentado o espectro de massas da amostra branco, fortificada com clorofórmio, composto por linhas que representam os fragmentos com suas relações massa/carga (m/z), e suas respectivas abundâncias. Utilizando o espectro de massas de um analito é possível se obter informações estruturais da molécula, além da massa molar representada pelo fragmento de maior relação m/z . POR MEIO do espectro de massas pode concluir que o pico do íon molecular é referente ao clorofórmio baseado no fragmento. O fragmento cineticamente mais favorável (abundância = 100 %) é o de razão $m/z = 83$, que representa a quebra (clivagem) da ligação C–Cl e C–H e a perda do Cl^- mais o íon H^+ .

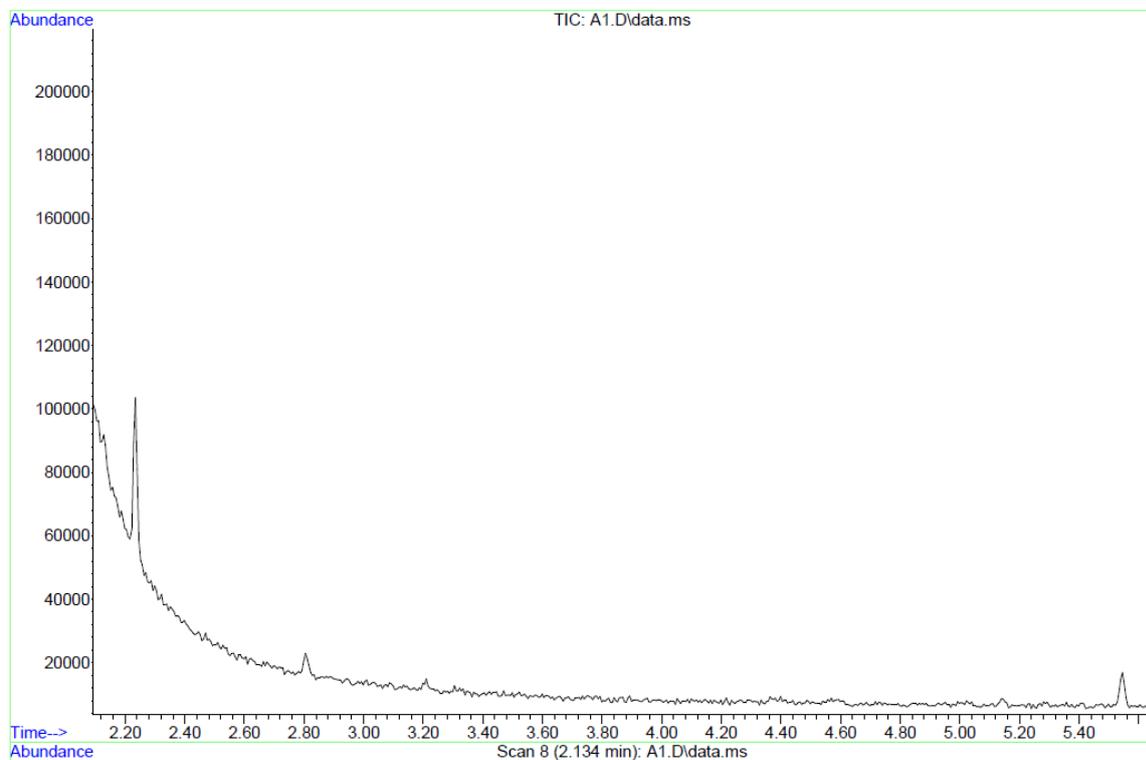
Figura 3: Cromatograma da amostra do branco fortificada com clorofórmio.

Figura 4: Espectro de massas do clorofórmio para íons m/z característicos.

Durante um período de dois meses foram coletadas amostras de água bruta proveniente da entrada da estação de tratamento de água foram obtidos cromatogramas com um comportamento igual. Com a finalidade de apresentar a ausência do pico no tempo de

retenção 2,13 minutos nas amostras, foi escolhido apenas um cromatograma para exemplificar os resultados obtidos, representado na Figura 5, cujo resultado indica a ausência de clorofórmio na amostra, conseqüentemente pode ser entendido que durante o período avaliado não houve formação de Trihalometanos para as características encontradas nas amostras.

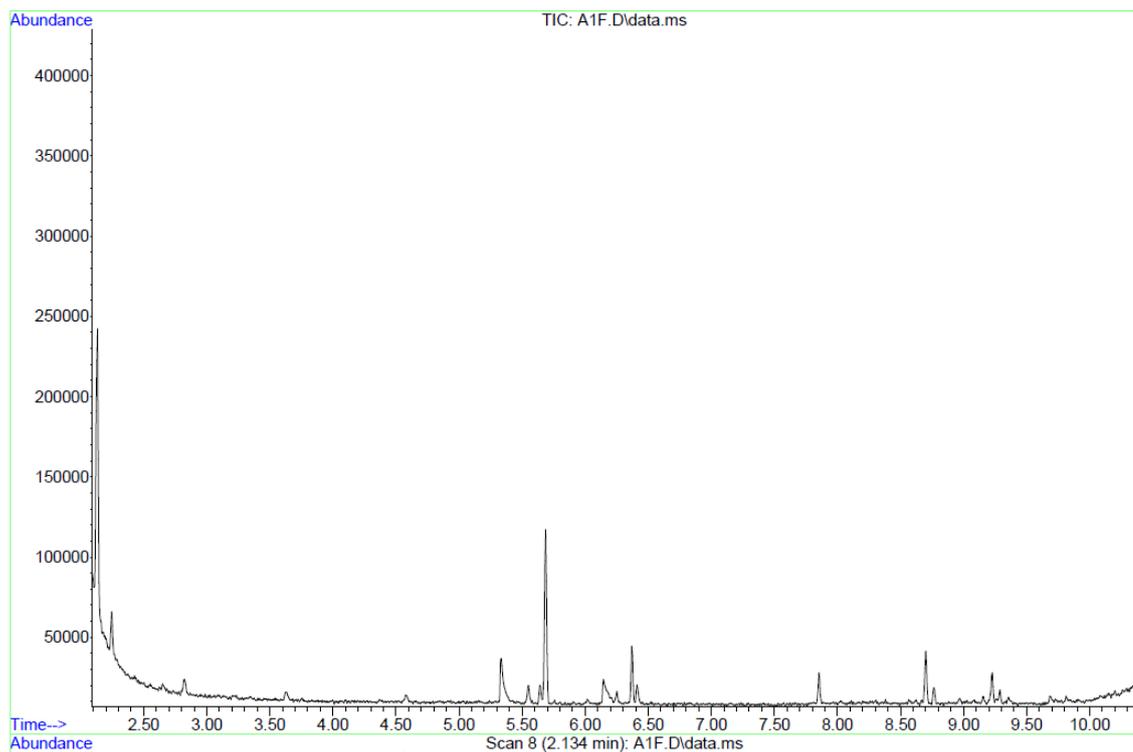
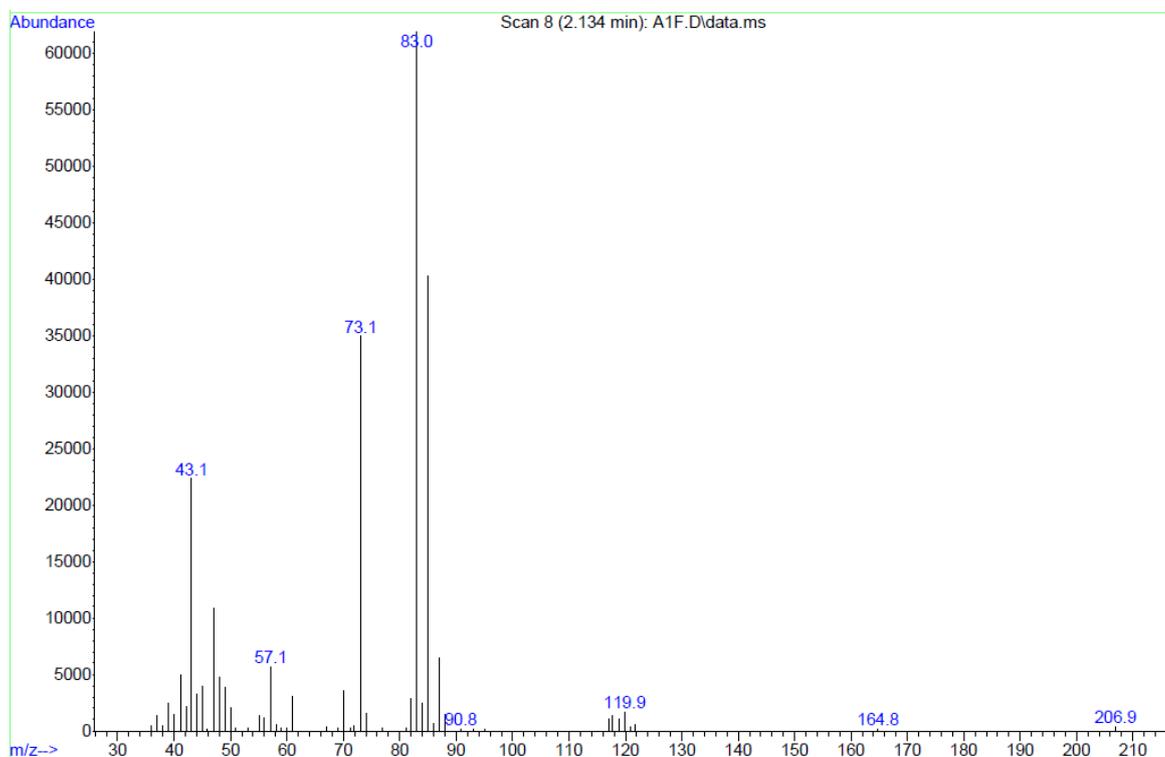
Figura 5: Cromatograma da amostra da ETA da UFLA.



Para avaliação da eficiência de extração do clorofórmio, o procedimento analítico foi baseado nas recomendações do método USEPA (1995). As amostras de água bruta proveniente da entrada da estação de tratamento de água foram fortificadas com o analito de interesse em concentrações próximas ao limite de identificação para composto. Os resultados obtidos para o composto estudado foram bem semelhantes ao de fortificação, conforme apresentado na Figura 6, apresentou um pico com tempo de retenção em 2,13 minutos, o mesmo pico foi observado neste mesmo tempo de retenção na amostra do branco fortificada com clorofórmio (Figura 3). Na Figura 7 é apresentado o espectro de massas, pode-se concluir que o pico do íon molecular é referente ao clorofórmio baseado no fragmento, o mesmo pico do íon molecular foi observado amostra do branco fortificada com clorofórmio (Figura 4).

Portanto, o procedimento analítico utilizado baseado nas recomendações do método USEPA (1995) foi adequado para a identificação de clorofórmio em amostras de água potável e em amostras de água da estação de tratamento de água da UFLA.

Figura 6: Cromatograma da amostra da ETA fortificada com clorofórmio.

Figura 7: Espectro de massas da amostra ETA fortificada com clorofórmio para íons m/z característicos.

Portanto, é possível afirmar que durante o período avaliativo, considerando que a coleta e análise foram unicamente na saída do tratamento após a filtração e antes da desinfecção para garantir que fosse realizada uma avaliação exclusivamente do processo pré-oxidativo, não houve a geração de Trihalometanos como por consequência da pré-cloração, não sendo esta prejudicial ao sistema, e podendo sim continuar o processo químico oxidativo no tratamento de água na UFLA. Mas ainda para uma avaliação completa e profunda foi verificado de forma teórica se havia potencial de formação de Trihalometanos, assim podendo avaliar se há necessidade de um monitoramento.

Segundo Ferreira Filho e Sakaguti (2008), foi observado a existência de uma relação praticamente linear entre a formação de THMs e valores de demanda de cloro, sendo esta da ordem de $28,0 \mu\text{g L}^{-1}$ para cada $1,0 \text{mg Cl}_2 \text{L}^{-1}$ de demanda de cloro.

No caso da ETA UFLA, a aplicação de cloro tem sido de $8,0 \text{mg L}^{-1}$, portanto ao usar a relação de demanda de cloro e geração de THMs foi observado que seria possível a geração.

Ao aplicar $8,0 \text{mg L}^{-1}$ de cloro pode ser gerado segundo o fator até $224,0 \mu\text{g L}^{-1}$ de Trihalometanos, o que caso aconteça estaria acima da legislação que permite a presença de até $100,0 \mu\text{g L}^{-1}$ de Trihalometanos.

O motivo do qual a relação não foi concretizada para esta amostra, aconteceu provavelmente em função do tempo de contato que o cloro teve com a água. Segundo Meyer (1994) é necessário algumas horas para que a maioria das reações de cloro com compostos orgânicos se complete.

Segundo Benson, Akintokun e Adedapo (2017) há diversos fatores que podem influenciar na formação dos Trihalometanos, sendo os principais o pH, a temperatura, as características da água. Portanto, apesar do potencial teórico de geração do Trihalometanos o mesmo não ocorre se os fatores não estiverem favoráveis à formação. Sendo assim sugere-se que as condições atuais sejam monitoradas e mantidas dentro do possível, e qualquer alteração deve ser refeita a análise para avaliar se a alteração ocorrida causou algum impacto no que tange a geração de Trihalometanos.

CONCLUSÕES

O uso de cloro é necessário apenas para oxidação da matéria orgânica, tendo em vista a baixa quantidade de ferro que entra no afluente da ETA/UFLA sistema. A oxidação de matéria orgânica durante o período avaliado não foi suficiente, pois a remoção não atende ao parâmetro indicado pela literatura, apesar de não estar dentro das normas do ministério de saúde, é importante melhorar a eficiência da remoção da matéria orgânica de forma a

umentar a qualidade da água servida. Não foi identificada a formação de Trihalometanos, o que indica não haver restrição do uso de cloro para o tratamento de água da forma que é realizado atualmente, porém, qualquer alteração que seja feita ou que a qualidade de água mude, é necessário monitorar e avaliar se há geração de Trihalometanos, pois há um potencial de geração deste caso haja mudança na ETA ou água.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington, 1998.

BACHELLI, M. L. B.; AMARAL, R. D. Á.; BENEDETTI, B. C.. Alternative sanitization methods for minimally processed lettuce in comparison to sodium hypochlorite. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 44, n. 3, p. 673-678, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 de outubro de 2017. DOU nº 190. p.1 a 360.

BENSON, N. U.; AKINTOKUN, O. A.; ADEDAPO, A. E. Disinfection byproducts in drinking water and evaluation of potential health risks of long-term exposure in Nigeria. **Journal of environmental and public health**, v. 2017, p. 1-10, 2017.

Carlos, E. A., Neves, A. A., Reis, C. de Queiroz, M. E. L. Determinação simultânea de trihalometanos e agrotóxicos em água por cromatografia gasosa. **Química Nova**, v.34, n.2, p. 272-278, 2011.

FERREIRA FILHO, S. S. et al. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 198-206, 2008.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 10, p. 99-110, 1994.

PASCHOALATO, C. F. P. R. et al. Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peroxônio e pós-cloração em água contendo substância húmica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 313-322, 2008.

PASCHOALATO, C. F. P. R. et al. Application of gas chromatographic technique for investigation of the formation of by products in drinking water disinfection. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 289-294, 2013.

SHIMADZU. PC – Controlled Total Organic Carbon Analyser - TOC – VCPH/CPN & TOC – Control V Software. Manual do usuário. Shimadzu Corporation – Analytical & Measuring Instruments Division, Kyoto, Japan, 2003.

Silvério, F. O., Silva, J. G. S., Aguiar, M. C. S., Cacique, A. P., & Pinho, G. P. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta eficiência. **Química Nova**, v.35, n.10, p. 2052-2056, 2012.

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, p. 413-421, 1999.

USEPA. Method 551 Determination of chlorination disinfection by-products and chlorinated solvents in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio; 1995.

ZERWES, C. M. et al. Análise da qualidade da água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Ciência e Natura**, v. 37, n.3, p: 651-663, 2015.