

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Ciências Agrárias
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

LUCAS ORNELAS MEDEIROS

**ESTUDO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA SOB
INFLUENCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE PRÉ E INTER-OXIDAÇÃO.**

UBERLÂNDIA – MG

2021

LUCAS ORNELAS MEDEIROS

**ESTUDO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA SOB
INFLUENCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE PRÉ E INTEROXIDAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do curso de Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora:

Prof. Dra. Sueli Moura Bertolino

UBERLÂNDIA – MG

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter a oportunidade de chegar até aqui. A minha família por toda a dedicação e esforço em me proporcionar uma educação de excelência em especial a minha mãe Cláudia ao meu pai Pedro ao meu irmão Luan e minha vó Maria do Socorro. Agradeço a minha namorada Aline por sempre me apoiar e estar junto mesmo antes da faculdade.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial a minha professora e orientadora Dr. Sueli Moura Bertolino. Agradeço a coordenadora da ETA Bom Jardim Regilaine por toda ajuda e pela oportunidade de estagiar no DMAE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos processos de tratamento de ETAs convencionais no Brasil.....	15
Figura 2 - Pontos de aplicação de agentes oxidantes em ETAs do tipo convencional.....	24
Figura 3 - Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.....	26
Figura 4 - Fluxograma das etapas onde foram realizadas as coletas das campanhas.....	28
Figura 5 - Dados absolutos dos valores dos metais citados.....	31
Figura 6 - Valores absolutos DQO e DBO.	33
Figura 7 - Valores absolutos do pH da água.....	34
Figura 8 - Valores obtidos para DQO e DBO.	35
Figura 9 - Valores absolutos para os metais Fe, Mn, Al e Pb.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do LETA dos autores citados.....	19
Tabela 2 - Concentrações médias (mg/L) encontrados nos lodos de ETAs de São Paulo.	19
Tabela 3 - Caracterização da água bruta da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros preconizados para águas de classe 2 estabelecidos pelo CONAMA 357/2005.....	29
Tabela 4 - Caracterização dos efluentes de saída dos decantadores sem e com pré e intercloração da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011. ...	30
Tabela 5 - Valores de água produzido, PAC consumido e volume de LETA e ALAF da ETA Bom Jardim, antes e após a implementação da pré e inter cloração.	31
Tabela 6 - Caracterização da água de lavagem de filtros pré e inter cloração da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011.	33

LISTA DE ABREVIACÕES E SIMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas

Al – Alumínio

ALAF – Água De Lavagem De Filtros

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente

Cr – Cromo

DBO – Demanda Bioquímica De Oxigênio

DMAE – Departamento Municipal De Água E Esgoto

DQO – Demanda Química De Oxigênio

EPA – Environmental Protection Agency

ETA – Estação De Tratamento De Água

ETE – Estação De Tratamento De Esgoto

Fe – Ferro

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística

IGAM – Instituto Mineiro De Gestão Das Águas

K – Potássio

LETA – Lodo De Estação De Tratamento De Água

Mn – Manganês

NBR – Norma Brasileira

PAC – Cloreto De Polialumínio

Pb – Chumbo

PNRS – Política Nacional De Resíduos Sólidos

SMEWW – Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater

THM – Trihalometano

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL	12
3. REFERENCIAL TEORICO	12
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
3.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)	14
3.3. LODO DAS ETAs (LETA)	17
3.3.2. DESTINAÇÃO FINAL e LEGISLAÇÃO	20
3.4. PRÉ-OXIDAÇÃO E A SUA RELAÇÃO COM A PRÉ-CLORAÇÃO	23
3.5. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3. 2019	31
4. 2020	31
5. CONCLUSÃO	36
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	38

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre processo de tratamento da água bruta pré e intercloração. Este por sua vez tem como objetivos alcançar melhores resultados na etapa da coagulação, remover cor e turbidez, remover algas, oxidar a matéria orgânica para evitar o acréscimo de biofilme nos filtros e paredes dos floculadores e decantadores, remover metais específicos ou mesmo com a finalidade de desinfecção. Além disso, existem evidências positivas, de que o tratamento com oxidantes pode influenciar sobre os processos convencionais de tratamento de água, reduzindo a dosagem de coagulantes e melhorando a qualidade da água tratada. Nesse contexto, o presente estudo propõe, uma análise dos resíduos gerados na ETA Bom Jardim de Uberlândia/MG, verificando a influência da pré e inter cloração aplicados concomitantemente ao tratamento convencional, na característica do lodo (LETA) e água de lavagem de filtros (ALAF), quanto aos parâmetros físico-químicos. Para isso, a metodologia adotada seguiu a idealização de campanhas, sendo realizadas em dois momentos: a primeira campanha foi coletada amostras sem a adoção da pré e intercloração, e a segunda campanha sendo realizada a coleta de amostras após a ETA Bom Jardim adotar a pré e intercloração. Tendo como resultados a redução significativa de parâmetros com ferro total, alumínio total, manganês total e chumbo, além da mudança significativa da composição do lodo final da ETA. Portanto, com base na pesquisa realizada, conclui-se que a adoção dos processos de pré e intercloração tiveram resultados positivos na redução de alguns parâmetros físico-químicos nas águas da ETA. Para o efluente dos decantadores parâmetros como o ferro total e alumínio total apresentaram uma redução de 152% e 11%, respectivamente. Enquanto que para o efluente da retrolavagem dos filtros, os resultados analíticos mostraram ferro total, manganês total e o alumínio total reduziram 24,45%, 36% e 40,61%, respectivamente.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the pre- and inter-chlorination raw water treatment process. This, in turn, aims to: achieve better results in the coagulation stage, remove color and turbidity, remove algae, oxidize organic matter to prevent the addition of biofilm on the filters and walls of flocculators and decanters, remove specific metals or even with purpose of disinfection. Furthermore, there is positive evidence that treatment with oxidants can influence conventional water treatment processes, reducing the dosage of coagulants and improving the quality of treated water. In this context, this study proposes an analysis of waste generated at the Bom Jardim de Uberlândia/MG, verifying the influence of pre and interchlorination, applied concomitantly with conventional treatment, on the characteristic of sludge (LETA) and filter washing water (ALAF), regarding the physical-chemical parameters and whether there was a reduction in the amount of waste generated. For this, the adopted methodology followed the idealization of campaigns, being carried out in two moments, the first campaign was carried out two collections and different dates for samples without the adoption of pre- and inter-chlorination, and the second campaign was carried out with the collection of samples after ETA Bom Jardim adopt pre and inter-chlorination. The result was a significant reduction in parameters with total iron, total aluminum, total manganese and lead, in addition to a significant change in the composition of the final ETA sludge. Therefore, based on the research carried out, it is concluded that the adoption of pre and inter-chlorination processes had positive results in the reduction of some physicochemical parameters in the waters of the ETA. For the effluent from the decanters, parameters such as total iron and total aluminum presented about 152% and 11%, respectively. While for the filter backwash effluent, the analytical results showed total iron, total manganese and total aluminum reduced by about 24.45%, 36% and 40.61%, respectively, for each parameter. However, despite the positive results of pre- and inter-chlorination, it is recommended to better understand the contact time of the oxidant and the relationship between the use of chlorine and the formation of THM, as some authors cite this behavior in ETAs, as well as to do use of other oxidizers at the pilot level in order to establish comparative efficacy results.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma substância indispensável aos seres vivos, porém, pode conter substâncias, elementos químicos e microrganismos que precisam ser controlados e se possível eliminados, evitando assim complicações à saúde. Portanto, o excesso destes nos corpos hídricos, principia a contaminação hídrica, tornando substancial o tratamento da água para consumo humano.

O padrão de potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Os limites máximos permitidos de dezenas de parâmetros físico-químicos, orgânicos, microbiológicos, dentre outras diretrizes, definidos nesta portaria, precisam ser considerados na água distribuída para população em todo o território nacional.

As estações de tratamento de água (ETAs) têm como intuito proporcionar o tratamento da água bruta, captada em rios e reservatórios, apropriando a mesma aos padrões de potabilidade estabelecidos, eliminando as impurezas e removendo os microrganismos patogênicos. Em um tratamento convencional, a água captada no manancial de abastecimento passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação, desinfecção e por fim ajuste do pH (GARCIA, 2018).

Esse tratamento convencional de ciclo completo realizado nas estações de tratamento de água acaba produzindo resíduos como o lodo (LETA) e a água de lavagem dos filtros (ALAF). Estes resíduos são gerados durante o tratamento de água para consumo humano nas etapas de decantação e filtração (ACHON E CORDEIRO, 2015) e sua composição trata-se basicamente de substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, oriundas da água bruta e de coagulantes e floculantes aplicados no tratamento (GRANDIN *et al.*, 1993; SILVA *et al.*, 2000).

No Brasil, as construções da maioria das ETAs foram planejadas e executadas anteriormente às Leis 9.433/1997 e 9.605/1998 e à Resolução CONAMA Nº 237/1997, as quais exigem o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras. Desta forma, raramente o sistema de destinação e disposição final do lodo gerado nas ETAs eram contemplados nos projetos das estações, sendo atualmente exigência legal para novos projetos e ampliações (ACHON E CORDEIRO, 2015).

Atualmente, um dos desafios para as empresas de saneamento é a adoção de alternativas adequadas para a destinação final do lodo gerado nas ETAs sob os aspectos: econômico, técnico e ambiental (BITTENCOURT *et al.*, 2012).

A norma técnica NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos em diferentes níveis de periculosidade, observando factíveis riscos ambientais e à saúde pública. Esta norma ainda define os lodos

provenientes de sistemas de tratamento de água como resíduos sólidos, sendo assim, devem ser tratados e dispostos conforme metodologia nela definida (GUERRA; ANGELIS, 2005).

Quanto ao lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, a resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005) que foi alterada para a resolução nº 430 de 2011, determina as condições que devem ser cumpridas. Tais condições impedem o lançamento, sem prévio tratamento, do lodo produzido nas ETAs, devido à grande concentração de sólidos sedimentáveis presentes neste resíduo (GUERRA; ANGELIS, 2005).

A comunidade científica por meio das pesquisas e trabalhos demonstram os riscos e comprovam o impacto ambiental que a disposição inadequada de lodo originário das ETAs pode causar no meio ambiente. Mediante os fatos observados, há a necessidade de uma gestão adequada para estes resíduos, que podem representar volume significativo em relação ao volume de água tratado (ACHON et. al., 2013).

Em muitas ETAs é aplicado no processo de tratamento da água bruta a pré oxidação. Esta por sua vez tem como objetivos: alcançar melhores resultados na etapa da coagulação, remover cor e turbidez, remover algas, oxidar a matéria orgânica para evitar o acréscimo de biofilme nos filtros e paredes dos floculadores e decantadores, remover metais específicos ou mesmo com a finalidade de desinfecção. Além disso, existem evidências positivas, de que o tratamento com oxidantes pode influenciar sobre os processos convencionais de tratamento de água, reduzindo a dosagem de coagulantes e melhorando a qualidade da água tratada (CAPELO NETO, J; NEYCOMBE, G, 2017).

Nesta linha de raciocínio, levando em consideração que a composição dos lodos de ETAs, trata-se de substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, oriundas da água bruta e de coagulantes e floculantes aplicados no tratamento (GRANDIN *et al.*, 1993; SILVA *et al.*, 2000), a avaliação da possibilidade de redução de lodo, com a aplicação da etapa de pré oxidação e ainda alterações na caracterização dos resíduos, lodo (LETA) e a água de lavagem dos filtros (ALAF), se configura como uma ferramenta de gestão destes resíduos.

Nesse contexto, o presente estudo propõe, uma análise dos resíduos gerados na ETA Bom Jardim de Uberlândia/MG, verificando a influência da pré e inter cloração aplicados concomitantemente ao tratamento convencional, na característica do lodo (LETA) e água de lavagem de filtros (ALAF), quanto aos parâmetros físico-químicos.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

Caracterizar os resíduos gerados pelos processos de tratamento convencional da água bruta em uma estação de tratamento de água, verificando a influência da pré e inter cloração, a fim de se adequar à resolução do CONAMA nº430 de 2011.

2.2.OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar se a pré e intercloração auxiliam na qualidade físico-química dos efluentes gerado pela ETA, na redução de ferro e manganês e do uso de coagulante (PAC).

3. REFERENCIAL TEORICO

3.1.CONTEXTUALIZAÇÃO

A preocupação com a relação entre saúde e a qualidade da água para consumo humano se inicia bem antes de Cristo, onde encontra-se indícios que os babilônicos, no ano de 3750 a.C., já se preocupavam com o saneamento básico, utilizando coletores de esgoto na cidade de Nipur, já no ano de 2750 a.C. foram encontradas tubulações de cobre no palácio do faraó Chéops no Egito, e aproximadamente em 2000 a.C. passaram a utilizar o sulfato de alumínio para clarear a água (REZENDE; HELLER, 2002).

Barros (2014) afirma que na Índia encontraram escritos em sânscrito a respeito de cuidados a serem tomados com a água que fosse ser consumida, como armazenar em vasos de cobre, ferver a água e adicionar a um método de filtração, como na areia, carvão e cascalho grosso. Eigenheer (2003) explica que se disseminaram pela Europa diversos decretos relacionados ao saneamento básico público até o final do século XIV, onde o crescimento industrial agravou a situação sanitária no século XVIII, concentrando grandes populações sem infraestrutura desencadeando assim problemas de saúde pública e o início de impactos ambientais.

Na história da humanidade existiram inúmeras doenças que foram transmitidas pela água contaminada devido à falta de saneamento, a exemplo se tem a cólera, bactéria (*Vibrio cholerae*) que espalhou pela água e alimentos infectados com fezes levando a morte de um milhão de pessoas; a febre tifoide, causada pela bactéria *Salmonella enterica typhi* também

transmitida pela ingestão de água e alimentos contaminados e a peste negra, responsável pela morte de um terço da população mundial, que devido à sujeira presente ao redor da população, se atraíam roedores que portavam parasitas, como pulgas, que se proliferavam com facilidade tanto nas cidades quanto nos vilarejos e carregava em seu interior os bacilos (*Yersinia Pestis*), bactérias responsáveis pela doença (HAINDL, 2010; HISTORY, 2021).

A maioria dessas doenças estavam relacionados a higiene da população e das cidades a qual estavam. Neste período, cidades da Europa tinham condições precárias, como moradias superlotadas sem condições higiênicas mínimas, lixos e fezes acumuladas em recipientes que eram frequentemente jogados nas ruas e que permaneciam junto à população que por ali passava, e devido a tais circunstâncias, levava ao crescimento desenfreado, não conseguindo o saneamento básico da época acompanhar o ritmo exigido (CAVINATTO, 1992).

No Brasil, os indígenas não se preocupavam com o saneamento, mas utilizavam de costumes que contribuíam para uma limpeza, como usufruir de águas puras e rotinas de higiene eficientes, como banhos diários, locais próprios para as necessidades fisiológicas e a separação do lixo (REZENDE; HELLER, 2002). Cavinatto (1992) relata que no Brasil do século XVI, o ótimo estado de saúde dos indígenas era admirado pelos jesuítas, porém com a chegada dos colonizadores e dos escravos, rapidamente se disseminou várias moléstias como varíola, tuberculose e sarampo, levando a morte de muitos índios, pois nunca tiveram contato com essas doenças anteriormente.

As primeiras preocupações sanitárias vieram através dos colonizadores, com a limpeza das ruas e quintais, construindo chafarizes em praças públicas que distribuíam água para a população, embora, o começo do saneamento básico no Brasil é datado de 1561, quando foi escavado o primeiro poço no Rio de Janeiro para abastecimento da cidade (BARROS, 2014). E no ano de 1750, no então governo de Gomes Freire de Andrade, os arcos de pedra e cal do aqueduto que atualmente chama-se Arcos da Lapa, foram construídos, com objetivo de transportar água do Rio Carioca para o abastecimento público (HERMANN, 2012).

Ainda de acordo com Cavinatto (1992), com a chegada da família real em 1808, houve um avanço em relação aos serviços de saneamento, onde foram criadas leis para a fiscalização dos portos, a fim de evitar a entrada de navios com doentes, sendo o Brasil um dos primeiros países do mundo a ter uma rede de coleta para escoamento de água da chuva, instalado no Rio de Janeiro. E em 1864, foi construída a primeira rede de esgoto na cidade do Rio de Janeiro (AZEVEDO NETTO, 1959).

Porém, entre 1890 e 1940, ainda continham na mesma política nacional o saneamento e saúde pública urbana e rural, no qual foram desfragmentadas no final desse período (REZENDE; RIBEIRO, 2004).

Na virada do século XIX e XX, o auge do crescimento urbano do Brasil, com a chegada de ferrovias, portos e estradas, o engenheiro civil e sanitarista Francisco Saturnino Rodrigues Brito desenvolveu um papel fundamental para a área de saneamento e drenagem dos centros urbanos, criando projetos referencias em Santos e Recife (FARIA, 2015). Ainda segundo Faria (2015), os projetos de Saturnino de Brito seguem sua metodologia baseada no melhor aproveitamento da geomorfologia do terreno, assim eram ressaltados os pontos estruturais do terreno visando o melhor aproveitamento dos condicionantes do sítio para a utilização destes como elementos de projeto.

Ao observarmos nos projetos de Brito o recurso técnico aos canais margeados por avenidas arborizadas e parques como solução para drenagem, que são elementos importantes na definição de seus projetos e, por conseguinte da configuração urbana das cidades, ressaltamos que os elementos da paisagem – relevo, vegetação e água – têm um lugar central e terminam por conformar uma nova paisagem (ANDRADE, 1991).

No caso de Santos, para a drenagem natural era usada a linha de contorno das montanhas da ilha voltadas para o mar. Os canais são desenhados em linhas ortogonais que saem das praias Canal 1,2 e 3 que se conectam com o córrego do Soldado perimetral as montanhas (BRITO, 1943). Enquanto em Recife, como já havia uma estrutura urbana existente, Brito não realizou um plano geral como fez em Santos, o qual além do mais foi executado integralmente, dando mais visibilidade ao projeto e a obra. Porém a cidade é reconhecida pelos seus rios, pontes e canais que se destacam como elementos marcantes e distintivos de sua paisagem (BRITO, 1943).

3.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

As ETAs têm funcionamento semelhante a uma indústria onde uma determinada matéria prima (água bruta) é trabalhada, através de diversas operações e processos, resultando em um produto final (água tratada). Esses sistemas geram resíduos, em algumas etapas, com as mais diferenciadas características (ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2008).

O despejo dos efluentes da água de descarga dos decantadores e de lavagem de filtros, que contém grande quantidade de sólidos e compostos químicos nos cursos d'água é o maior problema de poluição em uma ETA (OLIVEIRA e RONDON, 2016).

Segundo Andreoli (2001), o tratamento de água no Brasil é feito em sua grande maioria pelo tratamento convencional de ciclo completo, possuindo as fases de: captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração. O subproduto gerado desse tratamento é conhecido como lodo, sendo um resíduo sólido, denso e viscoso, capaz de causar importantes impactos ambientais se despejado incorretamente. A geração do lodo em uma ETA corresponde a 5% da produção de água. Saraiva, Soares *et al.* (2009), complementa nomeando o lodo de ETA de Lodo de Estações de Tratamento (LETA), resíduo com alto potencial de degradar a qualidade da água, sendo o lodo gerado através da utilização de produtos químicos aplicados durante o tratamento da água, como os coagulantes, que auxiliam na precipitação dos sólidos presentes na água.

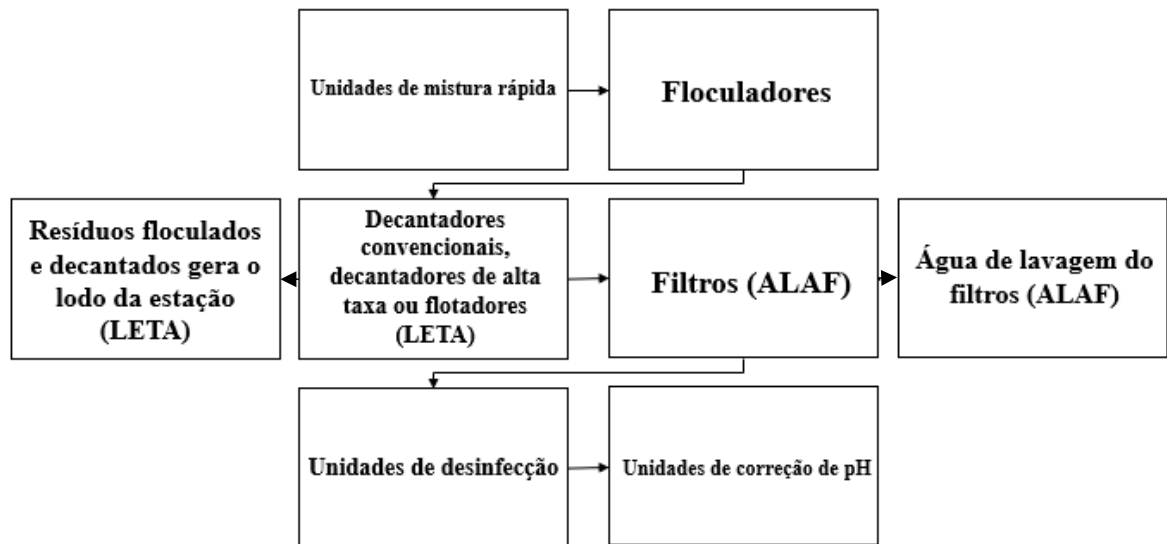
O processo de tratamento convencional da água passa por etapas bem definidas, as quais possuem condições operacionais otimizadas para o eficiente tratamento da água bruta, e caso necessário, possíveis ajustes devem ser realizados. Assim, o controle da qualidade da água para consumo humano deve abranger os seguintes níveis:

- **Antes do tratamento:** gerenciamento dos mananciais que irão abastecer os sistemas, infraestrutura para adução, bombeamento, manutenção da rede e operadores;
- **Durante o tratamento:** procedimentos dentro das estações de tratamento, como dosagem de coagulante, limpeza de filtros e etc.;
- **Após o tratamento:** produto final esperado: água tratada e dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela portaria de potabilidade. Gerenciamento dos resíduos produzidos durante as etapas de tratamento.

De acordo com Achon (2008), o controle de qualidade em cada etapa possibilita à estação de tratamento de água (ETA) atender à critérios de qualidade e legislações pertinentes.

As principais concepções de projetos de ETAs utilizadas no Brasil são: sistema de ciclo completo e filtração direta ascendente ou descendente. As ETAs de ciclo completo são constituídas das seguintes etapas ilustradas na figura 1.

Figura 1 - Fluxograma dos processos de tratamento de ETAs convencionais no Brasil.



Fonte: Autor, 2021.

Na etapa de mistura rápida ocorre o processo de coagulação, onde comumente são usados sais de alumínio ou ferro ou polímeros orgânicos ou sintéticos, posteriormente submetidos a processos mecânicos de mistura (rápida) a fim de homogeneizar o agente coagulante com água (PAVANELLI, 2001). No processo de coagulação, quando o coagulante é adicionado ao efluente ocorre a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos comumente chamados de gel, compostos de íons positivos. Como as partículas coloidais e em suspensão possuem cargas negativas em sua superfície, os íons formados na hidrólise desestabilizarão as cargas destas partículas, reduzindo o potencial zeta até próximo à zero, sendo denominado este ponto de isoelétrico, permitindo a aproximação e aglomeração das partículas e, como consequência à formação dos flocos (MÁXIMO, 2007). Após a coagulação as partículas têm tamanho variando entre 0,5 e 5 μm e são chamadas de partículas primárias.

De acordo com Souza (2004), em seu estudo ele explica que nos floculadores (mistura lenta), promove-se agitação suficiente para a formação de flocos a partir de colisões entre as partículas desestabilizadas. A floculação pode ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas. Os flocos formados podem sedimentar nos decantadores ou ser retidos nos flotadores através da ascensão das partículas promovida pela aderência de micro bolhas de ar às mesmas. Na floculação, são formados flocos maiores capazes de sedimentar, com tamanho de 100 a 5000 μm .

Após a etapa de floculação, os flocos formados estão agregados das impurezas (matéria orgânica, sólidos em suspensão), e seguirão rumo aos decantadores, dessa forma facilitando a

etapa de filtração. Nos decantadores, os flocos depositam, formando uma camada de lodo que, manualmente ou através de raspadores, é arrastada para um poço e bombeada para o canal de águas residuárias da estação. Aqui justifica a realização deste trabalho, pois a maioria das ETAs do Brasil acaba por lançar estes lodos nos corpos d'água mais próximos, o que realmente não é uma medida correta de destinação deste resíduo (MARGEM, 2008).

De acordo com Bratby (2016), os decantadores são ditos convencionais quando são grandes tanques de escoamento ou de alta taxa quando neles são empregados anteparos que aceleram a sedimentação das partículas. Os flocos menores, que não foram removidos nas unidades anteriores, são retidos nos filtros através de mecanismos de transporte, aderência e desprendimento.

Quando não se emprega decantadores ou flutadores no processo de tratamento, a tecnologia pode ser classificada como filtração direta ascendente ou filtração direta descendente. A tecnologia é dita filtração direta ascendente, se a floculação for realizada no sentido ascendente no próprio leito filtrante, não necessitando de unidades anteriores ou posteriores de tratamento. No caso de filtração direta descendente, o processo pode ter as etapas de mistura rápida, floculação e filtração.

No intuito de remover microrganismos patogênicos é realizado o processo de desinfecção usando-se cloro no início do tratamento (pré-cloração), na água decantada (intercloração) e na água filtrada (pós-cloração). O cloro também auxilia na redução da cor, do gosto e do odor da água, além de reduzir e mesmo evitar o crescimento de matérias orgânicas no meio filtrante e nas paredes dos decantadores. O processo de correção do pH é necessário, tendo em vista, o grau de acidez provocado pelo coagulante na etapa inicial do tratamento. Existem três pontos de aplicação de carbonato ou hidróxido de sódio: na água bruta, na água decantada e no canal de água filtrada, correspondendo respectivamente à pré-alcalinização, inter-alcalinização e à pós-alcalinização. Tais etapas visam os ajustes do pH final entre 6 a 9, facilitando a remoção de compostos indesejáveis e a diminuição do ataque, por acidez da água às tubulações e redes de distribuição.

3.3.LODO DAS ETAs (LETA)

3.3.1. CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO

De forma geral, o lodo das ETAs é resultado do processo de coagulação e floculação da água bruta, logo tendo em sua composição a presença dos agentes coagulantes utilizadas. Além disso, Richter (2001) afirma que outra origem importante de lodo é a precipitação de carbonatos

no processo de abrandamento nas estações para remoção de dureza, ou seja, as características do lodo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e produtos químicos aplicados.

A caracterização dos resíduos gerados nas ETAs, de acordo com sua natureza física, química e microbiológica, é de fundamental importância para avaliar seus possíveis impactos ambientais e para definir os métodos e equipamentos para seu tratamento e disposição final (CARVALHO, 2000). Além disso, Carvalho (2000) afirma que a composição do lodo irá depender da qualidade da água bruta, a origem, a tecnologia, o tipo e dosagem de agentes coagulantes e o procedimento utilizado para lavagem dos filtros e outros anexos das ETAs, de maneira que a composição do lodo é típica para cada ETA.

Das Estações de Tratamento de Água (ETA) utilizadas no Brasil, cerca de 7.500 são do tipo convencional, nas quais é gerado lodo nas etapas de decantação e de filtração - constituído de água, sólidos suspensos e parcela de produtos resultantes da adição de reagentes coagulantes (ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2013). Normalmente este lodo é disposto em cursos de água próximos, alterando as características do corpo receptor (TAFAREL et al, 2016). De acordo com Achon e Cordeiro (2015), o lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei 12.305/2010), e também é classificada como resíduo sólido e semissólido na ABNT NBR 10.004/04, sendo obrigatório sua destinação final adequada (aterros sanitários).

Segundo Richter (2001) escolher a destinação final do lodo é uma tarefa difícil, pois envolve alto custo, restrições quanto ao meio ambiente, além da necessidade de respeitar a legislação de acordo com a classificação do resíduo. Citando alguns métodos de destinação final, tem-se: lançamento e cursos de água, lançamento no mar, lançamento em rede de esgoto, lagoas, aplicação no solo e aterro sanitário. De acordo com Richter (2001), os processos de desidratação do lodo são necessários para facilitar o transporte, reduzir o volume e garantir uma maior concentração de sólidos, o que influencia diretamente em processos como filtros e prensas. Diversas alternativas econômicas e tecnicamente viáveis, além de ambientalmente vantajosas para o destino final desse resíduo têm sido propostas, como uso na formação de biosólido, emprego na construção civil e aplicações industriais diversas (BOTERO et al, 2009).

O lodo de ETA normalmente possui 1 a 4% de sólidos totais, que pode causar sérios impactos negativos quando disposto de forma inadequada (ACHON e CORDEIRO, 2013). Além de suas características físicas e biológicas e das condições que o resíduo é despejado, temos que um dos principais problemas do LETA corresponde principalmente ao teor de metais

pesados presentes em tal resíduo gerado. Na tabela 1, são apresentados alguns resultados de análises da composição química de LETA dos autores Oliveira, Machado e Holanda (2004), Margem (2008) e Tartari et al. (2011), a fim de esboçar a composição química varia de acordo com a região e a qualidade da água bruta.

Tabela 1 – Composição química do LETA dos autores citados.

Composição LETA	Oliveira, Machado e Holanda (2004) (%)	Margem (2008) (%)	Tartari et al. (2011) (%)
SiO₂	35,92	24,68	24,10
Al₂O₃	31,71	30,39	31,60
Fe₂O₃	12,79	11,59	18,60
TiO₂	1,10	0,90	2,20
CaO	0,10	0,16	-
K₂O	0,58	0,35	-

Fonte: Oliveira, Machado e Holanda (2004), Margem (2008) e Tartari et al. (2011). Adaptado pelo autor, 2021.

A presença de metais no LETA das estações configura o principal impacto deste resíduo se lançado em corpos receptores. A Tabela 2 apresenta a concentração de metais presentes nos lodos das ETAS de três cidades do estado de São Paulo. É possível observar com os valores dos metais variam, principalmente para o ferro e alumínio.

Tabela 2 - Concentrações médias (mg/L) encontrados nos lodos de ETAs de São Paulo.

Parâmetros	ETA S. Carlos	ETA Araraquara	ETA Rio Claro
Alumínio	11.100,00	2,16	30,00
Zinco	4,25	0,10	48,53
Chumbo	1,60	0,00	1,06
Cadmio	0,02	0,00	0,27
Níquel	1,80	0,00	1,16
Ferro	5.000,00	214,00	4.200,00
Manganês	60,00	3,33	30,00
Cobre	2,06	1,70	0,09
Cromo	1,58	0,19	0,86

Fonte: Adaptado de Hoppen et al. (2005).

Além das reações ocorridas durante o processo de tratamento de água que influenciam em sua toxicidade, bem como o tempo de retenção, as características do corpo d'água, as composições e as impurezas dos coagulantes entre outros produtos utilizados durante o tratamento de uma ETA (BARROSO e CORDEIRO, 2001).

Barroso e Cordeiro (2001) ainda complementam que tais metais como: cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo, magnésio e principalmente o alumínio de uma LETA detêm características tóxicas, que são nocivas tanto para o ser humano quanto para o meio animal e ambiental. Além de dificultar as técnicas de tratamento tanto da água, tanto do resíduo, apresentando assim dificuldades em sua disposição final e em uma possível reutilização destes resíduos.

3.3.2. DESTINAÇÃO FINAL e LEGISLAÇÃO

No âmbito da produção de água potável para o consumo da população, o desafio está tanto em reduzir a produção de LETA facilitando a disposição final dos mesmos (JANUARIO, FERREIRA FILHO, 2007). Surpreendentemente, temos que o Brasil é responsável pela produção de 4 milhões de toneladas de LETA por ano o que nos obriga a pensar em um modo de remediação para este resíduo (SILVA, 2011).

A gestão adequada deste resíduo é importante, pois o lodo da ETA tem concentrações de alumínio, ferro, matéria orgânica, sólidos e metais pesados que podem causar toxicidade a organismos aquáticos, alterações biológicas, assoreamento e conseqüentemente transbordamento de corpos hídricos em épocas de cheias ao serem lançados em corpos hídricos.

Entre as diversas alternativas de disposição final, as com melhores resultados são quando os resíduos das ETAs são incorporados em materiais para a construção civil. Como no estudo de Santos, Melo e Manzato (2018), onde, pelo método de geopolimerização, produziram uma cerâmica alternativa utilizando como matéria-prima lodo de estação de tratamento de água (ETA). Primeiramente, esse resíduo foi seco, moído, peneirado e calcinado, sendo caracterizado antes e após tais procedimentos. Com o lodo de ETA devidamente calcinado, a 750 °C por 4 h, produziu-se um geopolímero. Esse material, em estado endurecido, é semelhante a certos tipos de cerâmicas. Assim como na pesquisa de Vieira, Margem e Monteiro (2008), que tiveram por objetivo avaliar os aspectos microestruturais de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água – ETA queimada a 700°C. O lodo foi coletado na etapa de

filtração da estação de tratamento de água do município de Itaperuna, Estado do Rio de Janeiro. As composições foram preparadas com percentuais de lodo de ETA de 0% e 10% em peso e incorporadas na massa de cerâmica vermelha.

Em outro estudo sobre área degradada, Bittencourt et al. (2012), cita o trabalho de Moreira et al. (2009), onde os autores verificaram que a aplicação do lodo promoveu a imobilização do alumínio (Al) trocável e do chumbo (Pb) anteriormente disponíveis no solo, bem como promoveu a transferência de nutrientes para os horizontes mais profundos do solo, permitindo a fixação da vegetação. Ainda segundo Moreira et al. (2011), porém em outra pesquisa, o autor afirma que o lodo de ETA pode ser considerado um resíduo não inerte e compatível com o uso em recuperação de áreas degradadas em regiões com características geológicas e hidroquímicas similares às da área de cascalheira desativada, onde o estudo foi realizado.

Segundo Achon e Cordeiro (2015), no Brasil, a maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) foram implantadas antes da Lei 9.433/1997, Lei 9.605/1998 e Resolução do CONAMA Nº 237/1997 que exige o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras. Logo, raramente o sistema de destinação e disposição do final do lodo gerado nas ETAs era contemplado nos projetos das estações, sendo atualmente exigência legal para novos projetos e ampliações. Reflexos desse comportamento são vistos até os dias atuais, onde um dos maiores desafios da ETAs são as alternativas para lidar com a geração dos resíduos oriundos do tratamento da água bruta, ou seja, quais medidas devem ser adotadas para gerenciar e dá a destinação adequada para o lodo das estações.

Tendo em vista essas problemáticas de geração de resíduos sem a destinação e gerenciamento adequado, foram implementadas algumas leis e normas técnicas a fim de garantir a redução dos impactos causados. Atualmente, as ETAs precisam cumprir a legislação vigente, tais como:

- **Resolução nº 357/2005:** Resolução que estabelece os critérios para classificação e enquadramento das águas em todo território nacional (BRASIL, 2005);
- **NBR 10.004/2004:** No qual tem por finalidade classificar os resíduos sólidos, e enquadra o lodo de ETA como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte (ABNT, 2004);
- **Lei n. 9.605/1998:** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências (BRASIL, 1998);

- **Portaria n. 2.914/2011 -que foi alterada para 888/2021** -O padrão de potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Os limites máximos permitidos de dezenas de parâmetros físico-químicos, orgânicos, microbiológicos, dentre outras diretrizes, definidos nesta portaria, precisam ser considerados na água distribuída para população em todo o território nacional.
- **NBR ISO 14001:** O objetivo desta Norma é prover às organizações uma estrutura para a proteção do meio ambiente e possibilitar uma resposta às mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as necessidades socioeconômicas. Esta Norma especifica os requisitos que permitem que uma organização alcance os resultados pretendidos e definidos para seu sistema de gestão ambiental (ABNT, 2004).

A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei 12.305/2010), que tem como principal objetivo a proteção da saúde pública e da qualidade do meio ambiente (BRASIL, 2010).

Segundo Costa (2015), a PNRS instituiu ferramentas para o gerenciamento correto dos resíduos sólidos das atividades domiciliares, econômicas industriais, construção civil, transporte, serviços de saúde e saneamento, sendo este um dos grandes desafios da atualidade. Assim como todas as leis ambientais, a PNRS trouxe princípios, objetivos e instrumentos para efetivar, em todo país, uma política nacional de resíduos sólidos. Dentre os princípios citados na lei, podemos resumi-los em um único, sendo este, o desenvolvimento sustentável. Segundo o artigo 3º, inciso XIII, da lei, compreende-se por padrões sustentáveis de produção e consumo:

“[...] produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras (BRASIL, 2010).”

Enquanto, no artigo 7º, que compreende os objetivos acerca da PNRS, cabe destacar duas metas, são elas: **II** - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, e; **V** - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) dispõe de resoluções que estabelecem o enquadramento das águas brutas, tanto para as águas superficiais, quanto para as águas subterrâneas (DOS SANTOS; DOS SANTOS; DA SILVA; 2018).

De acordo com Sobral et al (2008), as principais legislações brasileiras que se aplicam ao processo de enquadramento dos corpos d'água são compostas pelos seguintes dispositivos legais: resolução CONAMA nº 274/2000, que alterou a resolução CONAMA 20/1986 no que se refere à balneabilidade; resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os critérios para classificação e enquadramento das águas em todo território nacional. Essa resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 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. A classificação e enquadramento é feito partindo da categorização da água superficial em doce, salobra e salgada.

Apesar do CONAMA 357/2005 ser uma resolução contundente, foi necessário a atualização do capítulo que contemplava as condições e padrões de lançamento de efluentes pela Resolução Nº 430/2011, onde agregou os padrões de lançamento provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), assim como para efluentes lançados ao mar.

Ambas as resoluções são de extrema importância para o enquadramento dos efluentes gerados em empreendimentos, principalmente em Estações de Tratamento de Água (ETA), mas também se aplicam a instalações prediais e industriais, onde são gerados efluentes. Entretanto, o foco para esse documento será a Resolução CONAMA Nº 357/2005, pois dispõe de parâmetros e diretrizes estabelecidos para o lançamento em corpos hídricos.

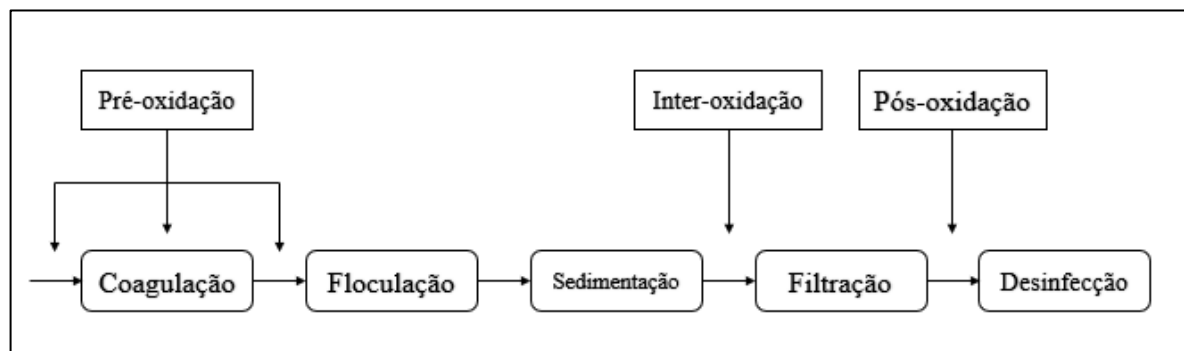
3.4. PRÉ-OXIDAÇÃO E A SUA RELAÇÃO COM A PRÉ-CLORAÇÃO

Segundo Agrizzi (2011), a oxidação química é o processo utilizado para a remoção de matéria orgânica em ETAs e nos tratamentos de águas residuárias industriais. Segundo a United States Environmental Protection Agency – EPA (1999), os desinfetantes mais comumente empregados nas ETAs são os gases cloro, dióxido de cloro, cloraminas, ozônio e o permanganato de potássio, assim como uso de raios UV e processos oxidativos avançados.

Segundo Bueno (2017), em seu estudo, afirma que a oxidação é o nome dado ao processo quando há aumento do estado de oxidação de uma substância, ou seja, numa reação

de oxidação, que ocorre simultaneamente com a reação de redução, as substâncias orgânicas doam elétrons, ganham oxigênio e perdem hidrogênio. Segundo Seckler (2017), a oxidação química tem sido largamente empregada no tratamento de águas de abastecimento como solução para uma grande gama de problemas, por exemplo, a remoção de compostos inorgânicos como ferro (Fe) e manganês (Mn), a minimização de problemas de gosto e odor, a remoção de cor, entre outros. Como o cloro é tradicionalmente empregado no tratamento de águas de abastecimento como agente desinfetante, a maioria das estações de tratamento de água o usa também como agente oxidante. A Figura 2 apresenta o fluxograma dos processos utilizado no tratamento de águas de abastecimento e a utilização da oxidação química, sendo possível sua aplicação tanto na pré, inter e pós-oxidação.

Figura 2 - Pontos de aplicação de agentes oxidantes em ETAs do tipo convencional.



Fonte: Adaptado de Seckler e Sidney (2017).

Segundo Mondardo, Sens e Melo Filho (2006) a pré-cloração é uma prática realizada em muitos sistemas de tratamento de água visando à remoção/inativação de microalgas e cianobactérias. Entretanto, alguns problemas foram observados na utilização desse pré-tratamento em mananciais com elevadas concentrações de fitoplâncton, sobretudo a formação de subprodutos clorados, como por exemplo, os trialometanos (THM), os quais, os autores citam Macedo et al (1995), no qual afirma que os THM são considerados carcinogênicos, e da liberação de metabólicos, que podem ser potencialmente tóxicos.

De acordo com Bolto et al. (1999), a eficiência dos processos de tratamento de água na remoção de matéria orgânica natural varia com a natureza, tamanho molecular e polaridade da matéria orgânica natural, e com as características da água bruta, tais como turbidez e dureza. De acordo com De Vasconcelos e Da Silva (2019), os processos mais comuns para pré oxidação em estações de tratamento é o uso do cloro gasoso, no entanto a utilização de cloro gasoso como

agente desinfetante e oxidante por ser largamente utilizado no Brasil com grande sucesso e resultados eficientes podem apresentar inconvenientes com a formação de subprodutos.

Segundo Agrizzi (2017), o cloro é um poderoso agente oxidante e tem fornecido vários benefícios adicionais na etapa de pré-oxidação no tratamento de água como a remoção de cor, ferro e manganês, assim como tem sido efetivo na redução de sabor e odor da água. Entretanto, essa prática tem o lado negativo também, pois o uso do cloro pode levar a formação de subprodutos que podem afetar a saúde da população, pois, o cloro reage com os ácidos húmicos contidos na matéria orgânica natural, que muitas águas brutas apresentam em grandes concentrações, o que leva a formação de Trihalometanos (THMs). Corroborando com as afirmações de Zamyadi et al. (2012), no qual afirmou que a qualidade da água bruta, especificamente a concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), foi responsável por mais de 50% da formação dos subprodutos da desinfecção (SPD) e que a manutenção dos SPD abaixo de limites seguros, - inferior a 80 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para trihalometano (THM) e 60 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para ácidos haloacéticos (AHA), de acordo com a USEPA (2006) – era possível, dependendo da qualidade da água bruta e do uso de valores adequados de CT, mesmo em uma floração de cianobactérias.

3.5.MATERIAIS E MÉTODOS

3.5.1. ÁREA DE ESTUDO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA BOM JARDIM.

A estação de tratamento de água ETA Bom jardim, conforme mostra a Figura 3, localiza-se na região urbana da cidade de Uberlândia na região do Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais. Atualmente a cidade é abastecida por 3 sistemas distintos de produção de água: o sistema Sucupira o sistema Bom jardim e o novo sistema Capim Branco. Além dos sistemas isolados de distribuição de água nos distritos do município os quais são abastecidos por poços tubulares profundos.

Figura 3 - Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.



Fonte: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2020/01/10/acoes-de-saneamento-do-dmae-sao-destaques-em-nivel-nacional/>. Acesso: 01/07/2021.

Metade da população de Uberlândia é abastecida pelo sistema Bom Jardim, que em 2019 implementou o sistema de pré e intercloração, motivando o atual estudo. A captação do sistema ETA Bom Jardim e ETA Sucupira é feita na bacia do Rio Uberabinha, sendo o Ribeirão Bom Jardim o manancial responsável pela ETA Bom Jardim possuindo barragem e reservatório, com vazão outorgada de 2,0 m³/s emitida pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas).

O ribeirão Bom Jardim fica localizado na bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim que compreende os Municípios de Uberaba (MG), onde nasce, nas proximidades da BR-050, e Uberlândia (MG), desaguando no Rio Uberabinha, totalizando cerca de 40 km de extensão (BORGES, 2019). Segundo Santos (2012), na ETA a água bruta é submetida ao tratamento convencional de ciclo completo, na qual é utilizado o PAC como agente coagulante. Segundo dados da DMAE (2006), o sistema tem passado por constantes atualizações a fim de garantir melhor qualidade de água e maiores volumes de tratamento.

Como foi visto durante as visitas técnicas para realizar as coletas de amostras, o lodo gerado é lançado in natura no rio Uberabinha, pois o sistema não possui leito de secagem, o que poderia ser uma alternativa para a sua disposição final. Esse comportamento pode gerar impactos ambientais como alterar a qualidade das águas local e de corpos hídricos adjacentes onde o rio Uberabinha deságua. Neste contexto, pode-se afirmar a importância, em curto e

médio prazo, do desenvolvimento e instalação de leitos de secagem e sistemas de desaguamento, que irão ter a finalidade de dá a destinação adequada para este resíduo (SANTOS, 2012).

3.5.2. COLETA E ANALISE DAS AMOSTRAS

Este estudo foi desenvolvido durante as atividades de estágio, realizadas no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia. As coletas e análises das amostras de lodo foram realizadas por laboratórios credenciados e terceirizado, contratado pela DMAE.

Foram realizadas 2 (duas) campanhas de coleta de material, totalizando 6 relatórios finais de análise. Como nas etapas de decantação e filtração são os processos que mais retém sólidos e seguindo metodologias de literaturas acadêmicas consolidadas sobre o tema, foram coletadas amostras nas seguintes etapas do tratamento: (1) efluente do decantador; (2) efluente da retrolavagem de filtros;

Tendo como premissa o objetivo principal do estudo, que é caracterizar e comparar os impactos da pré e inter cloração na composição final do lodo, as campanhas de coletas foram divididas em dois momentos: i) coleta das amostras do lodo (LETA e ALAF), sem tratamento de pré cloração (controle); e ii) coleta do lodo após pré cloração e inter cloração.

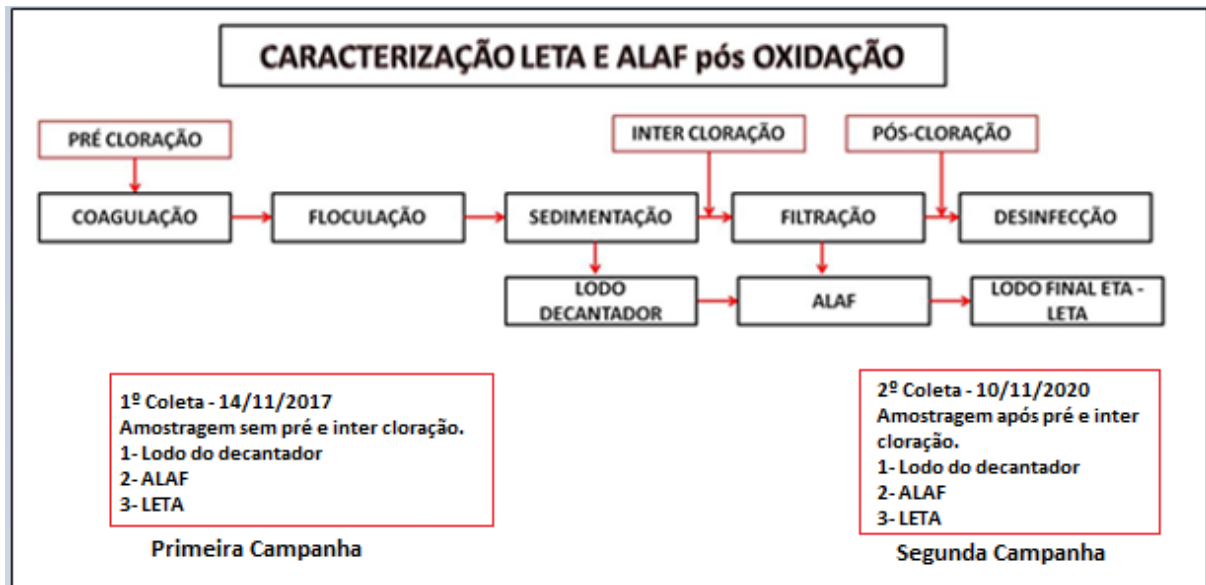
A primeira campanha foi realizada no dia 14/11/2017, e foram coletadas amostras de lodo sem a pré e intercloração. A empresa foi responsável por todas as etapas e procedimentos realizados no dia da coleta. Nesse dia foram recolhidas as amostras do LETA e ALAF. As amostras coletadas pela empresa foram levadas para análise a fim de entender os processos dinâmicos que acontecem na ETA. Esta amostragem corresponde à análise do lodo da ETA (LETA e ALAF) sem o processo de pré oxidação.

E por fim, foi realizada no dia 10/11/2020 a segunda campanha de coleta na ETA Bom Jardim. Nesta campanha, já implementada a pré e intercloração foram coletadas 2 amostras, seguindo a ordem de tratamento, ou seja, a primeira coleta foi o efluente do decantador (LETA) e a segunda, foi coletada a amostra do lodo oriundo da retrolavagem dos filtros (ALAF). Todas as amostras foram armazenadas corretamente, e em seguida encaminhadas para o laboratório responsável.

Além disso, para efeitos interpretativos foi caracterizado a água bruta do manancial e, usado um relatório de ensaio solicitado pela própria concessionária responsável pela operação da estação e realizada por empresa terceirizada. Esse relatório foi realizado no dia 09/11/2020, e foram coletadas no total de quatro amostras, analisadas para os parâmetros preconizados pela

Resolução Nº 357/2005, para águas de classe 2. O Fluxograma da Figura 4 apresenta os modos operantes das campanhas de amostragens realizadas neste estudo.

Figura 4 - Fluxograma das etapas onde foram realizadas as coletas das campanhas.



Fonte: Autor, 2021.

Ambos os laboratórios fizeram as coletas e análises seguindo recomendações, condutas e procedimentos estabelecidos por normas internacionais, como Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW, 2012), que são métodos padrão para a análise de água e esgoto.

As amostras de água bruta e de lodo in natura foram avaliadas quanto as propriedades: pH, temperatura, cor, turbidez, concentração de resíduos sólidos, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, e também quanto a concentração de metais pesados como Fe, Mn, Cd, Cr, Pb e Al.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA-ETA BOM JARDIM

O rio Uberabinha pode ser o manancial utilizado para abastecer esse sistema de forma opcional, posto que a captação originalmente projetada foi deliberada a cerca de 100 m a jusante daquela convergência. Porém, não existe represamento para o rio Uberabinha para abastecer a

ETA Bom Jardim, sendo que a captação ocorre através de canal de derivação localizado na margem direita do rio, construído em concreto armado e interligado ao desarenador e ao poço de sucção da elevatória de água bruta. Essa captação só é utilizada em épocas de estiagem (GARCIA, 2018).

Garcia (2018), disserta que os principais produtos químicos empregados no processo de tratamento são o PAC (Cloreto de Polialumínio) a 10% como coagulante, hidróxido de cálcio em suspensão a 30% como agente pré e pós alcalinizante, hipoclorito de sódio 0,65% aplicado na pós cloração como agente desinfetante e ácido fluossilícico para dosagem do íon fluoreto, corroborando com Santos (2012), na qual afirma que ETA Bom Jardim, a água bruta é submetida ao tratamento convencional de ciclo completo. O Hipoclorito de Sódio 0,65% utilizado na desinfecção é preparado na própria ETA Bom Jardim pelo sistema de geração *in loco* por meio da eletrólise (GARCIA, 2018).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises da água bruta do manancial que abastece a ETA. É possível observar que os resultados analíticos estão dentro dos padrões para a classificação de águas classe 2 preconizado no CONAMA 357/2005.

Tabela 3 - Caracterização da água bruta da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros preconizados para águas de classe 2 estabelecidos pelo CONAMA 357/2005.

Parâmetros	Unidade	Resultado	Resolução CONAMA 357/2005
pH	-	6,31	-
Cor Verdadeira	UC	15,00	75
Turbidez	NTU	4,4	100
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	< 20,00	500
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5,60	≥ 5,00
Fe	mg/L	0,20	0,3
Mn	mg/L	< 0,025	0,1
Al	mg/L	0,06	0,1
Pb	mg/L	< 0,005	0,01
DBO	mg/L O ₂	3,00	5,00

Fonte: Autor, 2021.

A qualidade dos resíduos gerados pelas unidades de sedimentação (lodo dos decantadores) e filtração (água de lavagem dos filtros) foi analisada e comparada antes e após aplicação da pré e inter cloração no sistema, sendo apresentada a seguir.

4.2.EFLUENTES DE SAÍDA DOS DECANTADORES (LETA)

Os resultados encontrados para o efluente de saída dos decantadores sem pré e intercloração, assim como os resultados com a adoção da pré e intercloração na ETA Bom Jardim, estão apresentados na Tabela 4, na qual também possui limites de tolerâncias referenciados no CONAMA 430/2011, que trata 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. Utilizou-se a esta resolução como controle da qualidade dos efluentes, uma vez que, estes ainda são lançados em corpos receptores.

Esses valores demonstram que houveram grandes alterações nas concentrações dos parâmetros, e principalmente para as propriedades de DQO e DBO, chamando atenção para o DQO, no qual se encontra cerca de 6 vezes menor quando comparado com os valores de DQO para o efluente sem a pré cloração.

Tabela 4 - Caracterização dos efluentes de saída dos decantadores sem e com pré e intercloração da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011.

Parâmetros	Unidade	LETA sem pré e intercloração	LETA com Pré e Inter cloração	Resolução CONAMA 430/2011
pH	-	7,39	7,11	5,0 – 9,0
Sólidos totais	mg/L	515,00	420,00	-
Fe (Total)	mg/L	4,68	11,79	15
Mn (Total)	mg/L	0,46	1,248	1,0
Al (Total)	mg/L	82,62	74,0	-
Pb (Total)	mg/L	< 0,006	0,039	0,5
DQO	mg/L O ₂	150,43	27,0	-
DBO	mg/L O ₂	27,35	10,0	remoção mínima de 60%

Fonte: Autor, 2021.

Analisando a Tabela 4, observa-se que os valores para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Alumínio Total (Al) apresentaram reduções nos valores de suas concentrações, entretanto ainda estão fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 430/2011, ressaltando novamente que os valores de referências são para efluentes finais da ETA, ou seja, o lodo. Portanto, estes resíduos não devem ser lançados em corpos receptores sem o devido tratamento. E, é relevante destacar que conforme descrito na pesquisa de CAPELO NETO (2017), a adição de oxidantes pode reduzir a quantidade de coagulantes (no caso o Policloreto de Alumínio - PAC) nos processos de tratamento da água nos sistemas convencionais, conforme observado também na ETA Bom Jardim e descrito na tabela 5.

Tabela 5 - Valores de água produzido, PAC consumido e volume de LETA e ALAF da ETA Bom Jardim, antes e após a implementação da pré e inter cloração.

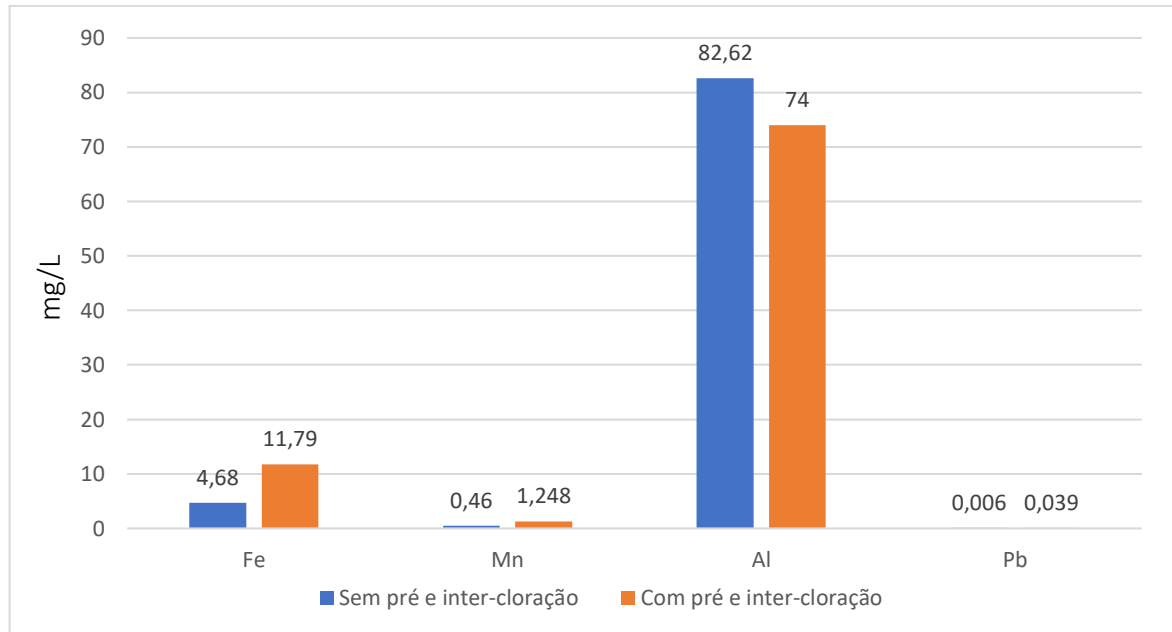
	3. 2019	4. 2020
Volume Tratado	44.267.176,40 m ³	44.798.412,08 m ³
PAC Consumido	1.125.850,00 kg	1.070.300,00 kg
LETA	47,85 m ³ /h	42,45 m ³ /h
ALAF	59,40 m ³ /h	66,92 m ³ /h

Fonte: Autor, 2021.

Além disso, é possível observar que as demais propriedades, com exceção do chumbo (Pb), apresentaram aumento nas suas concentrações. Por exemplo, o ferro total (Fe) manifestou o aumento de aproximadamente 151,92%, passando de 4,69 mg/L para 11,79 mg/L, comportamento também observado para o manganês total (Mn) onde a concentração na amostra para pré cloração era de 0,46 mg/L passando para 1,248 mg/L, totalizando um aumento de 171,30% da sua presença na amostra do efluente. Este fato demonstrou que a cloração favoreceu a remoção dos metais Fe e Mn pela oxidação com o cloro precipitando em formas insolúveis. Uma vez que, o ferro e o manganês foram precipitados pela pré oxidação, observou-se a redução do PAC consumido, como demonstrado na Tabela 5.

A figura 5 mostra os valores absolutos para os metais citados nas análises.

Figura 5 - Dados absolutos dos valores dos metais citados.



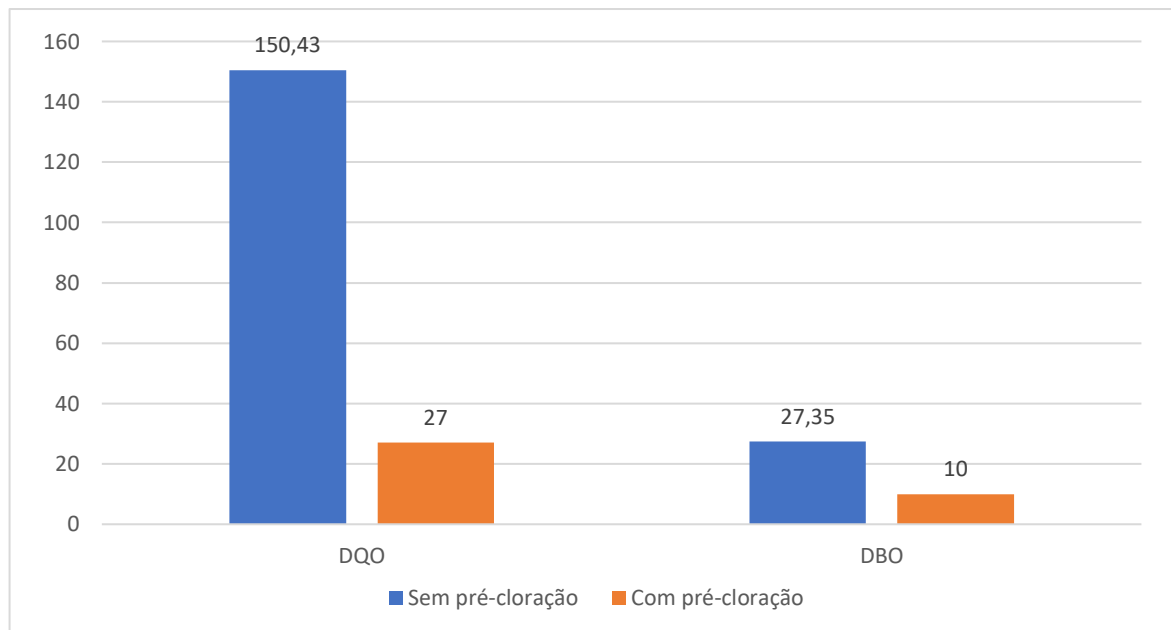
Fonte: Autor, 2021.

Em contrapartida, os valores para os demais parâmetros escolhidos para realizar esse estudo, apresentaram expressivas reduções nas suas concentrações. Comportamento visto para os parâmetros de DQO e DBO, nos quais seus valores reduziram 82% e 63,43%, respectivamente. Enquanto a redução dos valores para o alumínio total, no qual passou de 82,62 mg/L para 74,0 mg/L com o percentual de queda de 10,43%. Apesar de não estarem representados nas tabelas, cabe destacar também que quase todos os parâmetros analisados apresentaram tendências de redução na concentração, cabendo destaque para o fósforo total, no qual apresentou redução expressiva de 87,0%, assim como o potássio Total (K) que apresentou redução de 79,2%.

Analisando a Tabela 4, observa-se que os valores para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Manganês Total (Mn) também estão fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 430/2011 ressaltando novamente que os valores de referências são para efluentes finais da ETA, ou seja, o lodo. Outra observação são os valores apresentados para os metais alumínio total (Al) e o ferro Total (Fe), com uma concentração de 82,62 mg/L e 4,68 mg/L, respectivamente, na amostra coletada. Vale destacar que o valor elevado de alumínio nessa etapa do tratamento era esperado, visto que o PAC é usado como agente coagulante, o qual contém o metal Al em sua composição. Além do Al, valores para sólidos totais também apresentaram valores altos com 515,0 mg/L, o que era o esperado para esta etapa do processo de tratamento de água bruta. A Figura 6 mostra os valores da DQO e DBO para os efluentes dos decantadores seguidos de sem pré e com pré-cloração. A relação DQO/DBO ($150/27=5,6$)

expressa a quantidade de matéria orgânica biodegradável versus matéria orgânica inerte. Valores acima de 4,5 sugerem presença de elevadas concentrações de material inerte (referencia Von Sperling). Portanto, a elevada remoção de DQO observada após a pré-cloração pode ser justificada pela oxidação da matéria orgânica com característica inerte que se acumulou no lodo.

Figura 6 - Valores absolutos DQO e DBO.



Fonte: Autor, 2021.

4.3.EFLUENTES DE LAVAGEM DOS FILTROS (ALAF)

Os resultados obtidos análises químicas do efluente de lavagem dos filtros, realizado na ETA Bom Jardim, estão apresentados em tabelas (parâmetros escolhidos para pesquisa).

A caracterização do efluente de lavagem dos filtros com o tratamento pré (cloração) e inter cloração (montante filtração) na Tabela 6, na qual também possui limites de tolerâncias referenciados no CONAMA 430/2011, que trata das condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Tabela 6 - Caracterização da água de lavagem de filtros pré e inter cloração da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011.

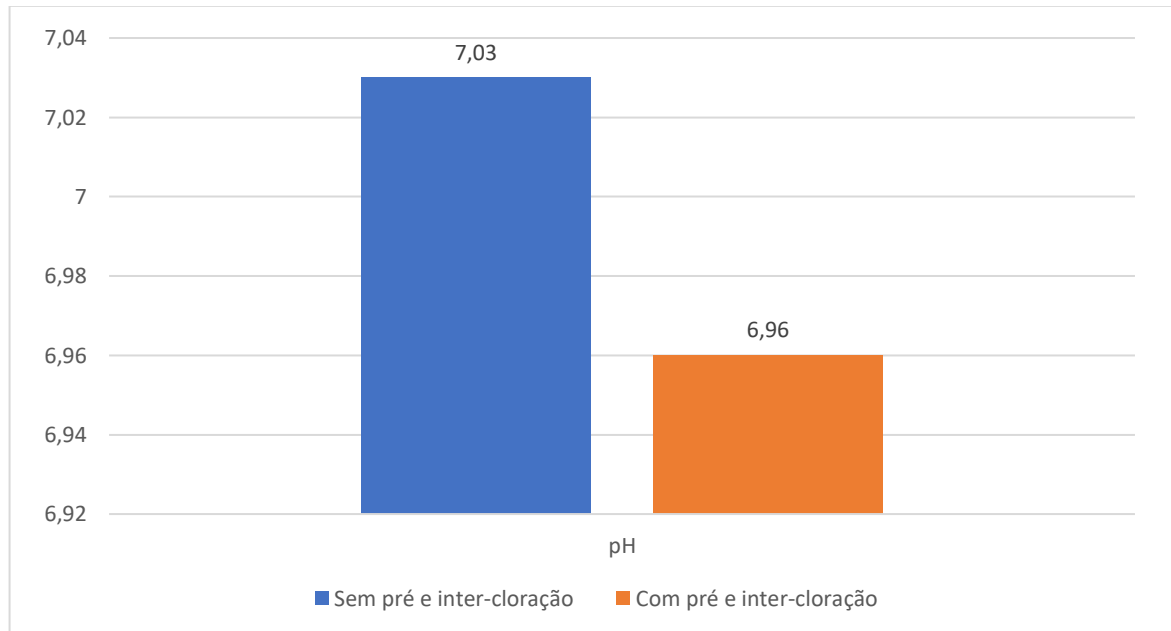
Parâmetros	Unidade	ALAF – sem pré e intercloração	ALAF – Pré e intercloração	CONAMA 430/2011

pH	-	7,03	6,96	5,0 – 9,0
Sólidos totais	mg/L	194,00	-	-
Fe (Total)	mg/L	3,56	2,685	15
Mn (Total)	mg/L	0,14	0,09	1,0
Al (Total)	mg/L	26,47	15,72	-
Pb (Total)	mg/L	< 0,006	0,005	0,5
DQO	mg/L O ₂	41,50	212,0	-
DBO	mg/L O ₂	3,67	77,0	remoção mínima de 60%

Fonte: Autor.

A Figura 7 apresenta os valores absolutos para o pH entre as amostras sem e com pré-cloração e intercloração. Dessa forma, é possível concluir que os processos onde a água sofre pré e intercloração, o pH pode variar pequenos valores.

Figura 7 - Valores absolutos do pH da água.



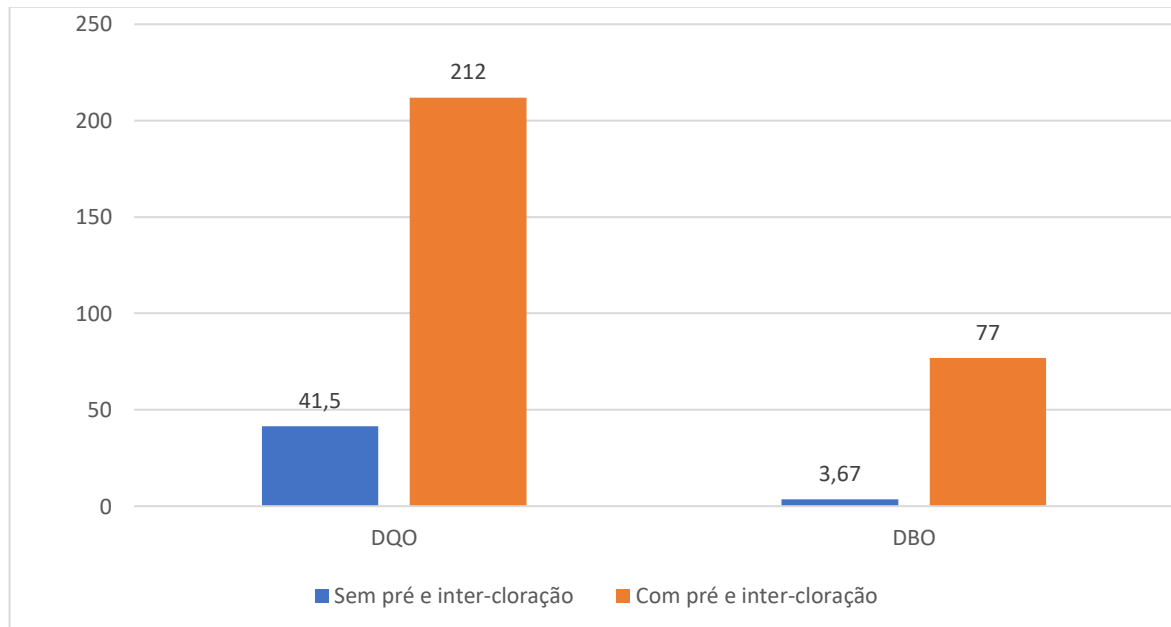
Fonte: Autor, 2021.

Analisando os resultados da Tabela 5, observa-se que todos os parâmetros estão dentro dos valores estabelecidos pelo CONAMA 430/2011, que estabelece a qualidade de efluentes a serem lançados em corpos de água. Outro ponto que vale a observação, são os valores para os

metais, destacando o alumínio total (Al). Esse valor elevado de alumínio deve-se ao fato do uso do PAC, o agente coagulante usado pelos operadores da ETA.

Na Figura 8, os resultados analíticos mostraram uma diferença abrupta nos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio Total (DBO) e na Demanda Química de Oxigênio Total (DQO) apenas com a aplicação da pré e intercloração no tratamento final da água bruta, entretanto esse comportamento se inverte para os resultados do efluente oriundo da lavagem de filtros. Logo, como a análise foi feita para o efluente da lavagem dos filtros, todo o material acumulado com o tempo nas grades dos filtros, o que eleva sua concentração, fazendo com que as concentrações de DBO e DQO aumentem devido à alta concentração de atividade microbológica dessa matéria orgânica. Contudo, outro fator é devido à concentração do cloro ser, provavelmente, maior na amostra da água de lavagem de filtros (valores não medidos) quando comparado ao lodo dos decantadores. O cloro é um interferente no teste de determinação da demanda química de oxigênio (inserir REF).

Figura 8 - Valores obtidos para DQO e DBO.

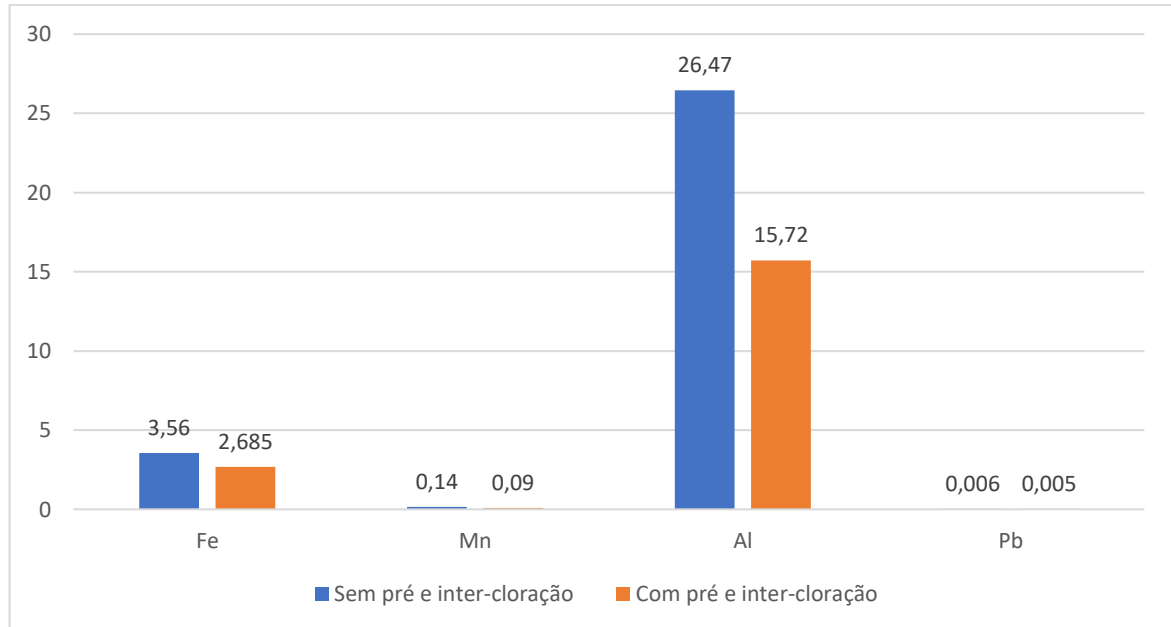


Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 9, é possível perceber que os valores de todos, com exceção para o Pb, tiveram redução expressiva, principalmente o Al. Por exemplo, para o ferro total, os valores reduziram cerca de 24,45%, enquanto o manganês total teve uma queda de quase 36%, valor esse, idêntico a redução dos valores para o alumínio total, no qual passou de 26,48 mg/L para 15,72 mg/L com o percentual de queda de 40,61%. Apesar de não estarem apresentados no trabalho, cabe

destacar que quase todos os parâmetros analisados apresentaram tendências de redução na concentração, cabendo destaque para o fósforo total, no qual apresentou redução expressiva de 98,5%.

Figura 9 - Valores absolutos para os metais Fe, Mn, Al e Pb.



Fonte: Autor, 2021.

Os resultados obtidos para análises de ALAF (água da lavagem de filtros) com a adoção da pré e inter cloração são mostrados na Tabela 5. Esses valores demonstram que há altos índices de concentração de metais na sua composição, e também valores elevados de DQO e DBO, chamando atenção para o DBO, no qual se encontra cerca de 26 vezes maior do limite estabelecido pelo CONAMA 430/2011.

Os valores de ferro, alumínio, manganês e chumbo na Tabela 4 referem-se aos seus valores totais, e não para valores dissolvidos. Valores para parâmetros como cor e turbidez da água bruta são muito importantes para definições do tratamento, pois indicam presença de matéria orgânica em suspensão. Assim como parâmetro pH, que precisa ser monitorado do começo ao fim, para que seja feita sua correção, caso haja necessidade.

5. CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada, conclui-se que a adoção dos processos de pré e intercloração tiveram resultados positivos na alteração de alguns parâmetros físico-químicos

nos efluentes da ETA. Para o efluente dos decantadores (LETA), parâmetros como o ferro total e manganês total, tiveram aumento significativo, uma vez que a pré cloração oxida esses metais da água, no processo de tratamento, agregando os mesmos no efluente depositado nos decantadores, sendo este o intuito da pré cloração, evitando o depósito destes metais nas adutoras da rede de distribuição, tendo ainda possível redução de cor da água tratada, proveniente da ação destes metais. Houve redução significativa também no LETA, dos parâmetros de DBO e DQO, devido à oxidação da matéria orgânica e microrganismos.

Verificou-se também a redução do coagulante aplicado no processo de tratamento da água bruta, após a pré e intercloração, tanto no LETA, quanto no ALAF, isto devido uma vez já que existem evidências positivas, de que o tratamento com oxidantes pode influenciar sobre os processos convencionais de tratamento de água, reduzindo a dosagem de coagulantes e melhorando a qualidade da água tratada.

Portanto, ainda que haja reduções significativas nas concentrações desses parâmetros, é preciso atentar para o lodo final das estações, visto que a adoção da pré e intercloração altera consideravelmente a composição final do lodo, ou seja, no caso da ETA Bom Jardim o lodo continua fora dos padrões de lançamento in natura em corpos hídricos como é estabelecido para Resolução CONAMA 430/2011.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABDALA NETO, Eliezer Fares. Pré e pós-tratamento por eletro-oxidação associada à fotocatalise heterogênea em uma ETA por filtração direta visando a redução dos precursores dos compostos organoclorados. 2012.

ACHON, C. L. **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceito da ISO 14.001**. Tese de Doutorado. Tese de doutorado USP–2008.

ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. (2013). Riscos da destinação de lodos de ETAs - Leis 9.605/1998 e 12.305/2010. In: XVII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 43º Assembleia Nacional do ASSEMAE, de 19 a 24 de maio de 2013, Vitória, ES, Brasil, VII-28, 2013. 13p.

ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008.

ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 115-122, 2013.

ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. **XIX Exposição De Experiências Municipais Em Saneamento**, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), A evolução da gestão dos recurso hídricos no Brasil. Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaodosRecursosHidricosnoBrasil.pdf>. Acesso em: 14 de maio 2021.

AGRIZZI, Alexandre Demo. Avaliação da formação de trialometanos considerando o uso de cloro e permanganato de potássio como pré-oxidantes em águas de abastecimento. 2011.

ANDRADE, Carlos Roberto Monteiro de. “O Plano de Saturnino de Brito para Santos e a Construção da Cidade Moderna no Brasil”. In: IV Encontro Nacional da ANPUR, Salvador. Anais. Salvador, 1991, p. 565-563.

ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoioe-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR-ISO 14001: Sistema de gestão ambiental: especificações e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 14 p.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano. Cronologia dos serviços de esgotos, com especial menção ao Brasil. **Revista do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo**, São Paulo, ano 20, n. 33, p. 15-19, 1959. Acesso em: 14 maio 2021.

BARROS, R. T. V. et al. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).

BARROS, Rodrigo. A história do saneamento básico na Idade Antiga. Disponível em: <<https://www.rodoinside.com.br/historia-saneamento-basico-na-idade-antiga/>> Acesso em: 14 de maio de 2021.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BITTENCOURT, Simone et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 315-324, 2012.

BOLTO, B.; ABBT-BRAUN; G.; DIXON, D.; ELDRIDGE, R.; FRIMMEL, F.; HESSE, S.; KING, S.; TOIFL, M. (1999). Experimental Evaluation of Cationic Polyelectrolytes for Removing Natural Organic Mater from Water. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*, vol 40, n. 9. International Association on Water Quality, p. 71-79.

BORGES, Fernanda Oliveira et al. Caracterização morfométrica e delimitação de áreas com tendência à inundação da bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim, Uberlândia-MG: subsídios para o planejamento ambiental e urbano. 2019.

BOTERO, Wander Gustavo et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química nova**, v. 32, n. 8, p. 2018-2022, 2009

BRASIL, Escola “Água: Importância, Ciclo, Distribuição, Falta de Água”. 2021. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/agua.htm#:~:text=Aproximadamente%2071%25%20da%20superf%C3%ADcie%20terrestre,da%20%C3%A1gua%20dispon%C3%ADvel%20%C3%A9%20doce.> Acesso em 18. maio. 2021.

BRASIL, Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.

BRASIL, Lei n. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União (DOU), Seção 1, do dia 13.02.1998, p. 1.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n. 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no Diário Oficial da União - DOU, Seção 1, do dia 26 seguinte, p. 266.

BRASIL, NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 48 p.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BRASIL. Guia para elaboração de planos municipais de saneamento. Ministério das Cidades – Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 152 p.

BRATBY, John. **Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment**. IWA publishing, 2016.

BRITO, Francisco Saturnino Rodrigues de: “Projetos e Relatórios. O Saneamento de Recife”. In: Obras Completas de Saturnino de Brito, Vol. VIII, Tomo 1. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1943b.

BRITO, Luis Teixeira de Lima.; SILVA, Aderaldo. de Souza.; PORTO, Everaldo Rocha. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2007.

BUENO, Fernando Brisola de Almeida. **Tratamento de água para abastecimento contendo cianobactérias e microcistina em sistemas constituído por etapas de pré-cloração, coagulação/floculação, flotação e adsorção em carvão ativado**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAPELO NETO, José; NEYCOMBE, Gayle. Oxidation of cyanobacteria and their metabolites in water treatment facilities: the state of art. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 829-840, 2017.

CARVALHO, Eraldo Henriques de. **Disposição de resíduos gerados nas estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAVINATTO, V. M. Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar. São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CAVINATTO, Vilma Maria. **Saneamento básico**: fonte de saúde e bem-estar. 13. ed. São Paulo: Moderna, 1996

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA.

COSTA, Anluizi Cejara Carvalho da. **Lodo de estação de tratamento de água e sua utilização em cerâmica vermelha: um estudo de composição de custo**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DA SILVA, Bruna et al. Efeito Da Cloração Na Desinfecção De Águas Com Diferentes Concentrações De Matéria Orgânica. 2019.

DE OLIVEIRA, Aline Regina Godinho. ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO, TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DO LODO GERADO NO DECANTADOR DA ETA CUBATÃO, 2018.

DE PAIVA, Gabriela Santos; MOREIRA, Viviane Teles Goulart; SOARES, Alexandra Fátima Saraiva. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo? **Revista Petra**, v. 3, n. 1, 2017.

DE VASCONCELOS JUNIOR, Edmilson M.; DA SILVA, Simone Francisco. I-036- APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORO GASOSO NA ETAPA DE PRÉ OXIDAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO COMO ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DE CUSTO.

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

DIAZ, Raphael Rodrigo Licheski; NUNES, Larissa dos Reis. A evolução do saneamento básico na história e o debate de sua privatização no Brasil. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, Guanambi, v. 7, n. 02, e292, jul./dez. 2020. doi: <https://doi.org/10.29293/rdfg.v7i02.292>. Disponível em: <http://revistas.faculdadeguanambi.edu.br/index.php/Revistadedireito/article/view/292>.

Acesso em: 14 de maio de 2021.

DOS SANTOS, Nathália Bandeira Carvalho; DOS SANTOS, Rayza Helen Graciano; DA SILVA, Ronaldo Faustino. Aplicação da Análise Multivariada e da Resolução CONAMA 357/2005 para Análise da Qualidade de Água em Rios de Pernambuco (Application of

Multivariate Analysis and Resolution CONAMA 357/2005 for Analysis of Water Quality in Rivers of Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1859-1875, 2018.

EIGENHEER, E. M. São Francisco/Niterói. In: Emílio Maciel Eigenheer. (Org.). Coleta seletiva de lixo: experiências brasileiras nº4. Niterói, v.4, p.13-18, 2003.

EMMENDOERFER, Marcelo Luiz et al. Avaliação da filtração em margem de lago como pré-tratamento para uma ETA convencional em operação: procedimentos para escolha do local, implantação e operação do sistema. 2020.

envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, 2007.

EPA, **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. [S.I.]: United States Environmental Protection Agency, 1999.

EPA. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. [S.I.]: United States Environmental Protection Agency, abr. 1999.

FARIA, Teresa de Jesus Peixoto. Os projetos e obras do engenheiro Saturnino de Brito e mudança na paisagem urbana. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 19, p. 115-122, 2015.

GARCIA, Regilaine da Cunha Duarte et al. Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio in loco em estação de tratamento de água de grande porte. 2018.

GONÇALVES, Flávia et al. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista Dae**, v. 65, n. 205, p. 5-14, 2017.

HAINDL, Ana Luisa. La peste negra. Arqueología, história y viajes sobre el mundo medieval, v. 35, p. 56-69, 2010.

HELLER, Léo et al. **Saneamento como política: um olhar a partir dos desafios do SUS**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2018. Disponível em: https://cee.fiocruz.br/sites/default/files/2_Leo%20Heller%20et%20al_saneamento.pdf. Acesso em: 14 de maio 2021.

HISTORY. “Pandemics That Changed History”. 2020. Disponível em: www.history.com/topics/middle-ages/pandemics-timeline Acesso em: 17. maio. 2021.

HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, v. 51, p. 85-95, 2005.

JANUÁRIO, G.F.; FERREIRA FILHO, S.S. Planejamento e aspectos ambientais

MACEDO, J. A. B., ANDRADE, N.J. Formação de Trihalometanos em águas cloradas para abastecimento público e indústria de alimentos. In: 13º CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, Juiz de Fora, Anais... Juiz de Fora – MG: Centro de Pesquisa e Ensino Instituto Cândido Tostes, 1995. 324p. p.45-48, 1995.

MARGEM, JEAN IGOR. Caracterização E Incorporação De Lodo De Decantação De Estação De Tratamento De Água (ETA) Em Cerâmica Vermelha. **Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro–UENF Laboratório de Materiais Avançados–CCT. Campos dos Goytacazes/RJ**, 2008.

MARMO, Carlos Renato et al. Formação e remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre. 2005.

MATOS, R. Grandes territorialidades, planejamento e questões ambientais no Brasil. Cadernos do leste/Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Geografia. Laboratório de Estudos Territoriais. Vol. 1, n.1. Belo Horizonte: O Laboratório, 2000.

MATTOS, I. L.; SHIRAIISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: importância e Determinação. Química Nova, vol. 26 nº3 São Paulo. maio/junho. 2003.

MÁXIMO, Vivian Alves et al. Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis. 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE: Fundação Nacional de Saúde (2003). *Cianobactérias Tóxicas na Água Para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água Para Consumo Humano*. Brasília. 56 p.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, p. 324-330, 2004.

OLIVEIRA, Isadora Yule Queiroz de; RONDON, Odilar Costa. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 17, p. 687-698, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – Água para um mundo sustentável. 2015. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2015.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

REZENDE, S. C.; RIBEIRO, A. J. F. A utilização dos dados demográficos em saneamento – uma aplicação ao estado de Minas Gerais. In: João Antônio de Paula & et alli (ed.) *Anais do XI Seminário sobre a Economia Mineira*. Cedeplar - UFMG, 2004.

REZENDE, Sonaly Cristina; HELLER, Léo. **O saneamento no Brasil: Políticas e interfaces**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

RIBEIRO, Luiz Gustavo Gonçalves; ROLIM, Neide Duarte. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce enquanto direito fundamental e sua valoração mercadológica. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, v. 7, n. 1, 2017.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Editora Blucher, 2001.

SANTOS, G. Z. B.; MELO, J. A.; MANZATO, L. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. *Cerâmica*, v. 64, p. 276-283, 2018.

SILVA, M. V. *Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água*. 2011. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – IPEN/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 18 (6):1713-1724, nov-dez, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v18n6/13268.pdf>. Acesso: 14 de maio 2021.

SOBRAL, Maria do Carmo Martins et al. CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D' ÁGUA SEGUNDO A DIRETIVA-QUADRO DA ÁGUA DA UNIÃO EUROPÉIA–2000/60/CE. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, n. 11, p. 30-39, 2008.

SOUZA, Francisco Gláucio Cavalcante de. **Ocorrência de sólidos e metais na água tratada e nos resíduos gerados em ETA convencional de ciclo completo com descargas diárias**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, Francisco Gláucio Cavalcante de. **Ocorrência de sólidos e metais na água tratada e nos resíduos gerados em ETA convencional de ciclo completo com descargas diárias**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, Francisco Salviano de. **O saneamento básico na história da humanidade**. 2009.

Disponível

em: http://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20091130_FranciscodeAssisSalvianodeSou sa.pdf. Acesso em: 14 de maio de 2021.

TARTARI, R. et al. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. **Cerâmica**, v. 57, p. 288-293, 2011.

TEIXEIRA, S. R. et al. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, v. 52, n. 323, p. 215-220, 2006.

VIEGAS, Andreia de Sousa. **Estudo das capacidades de redução microbiológica na etapa de pré-oxidação e global da Estação de Tratamento de Água de Tavira**. 2010. Tese de Doutorado.

VIEIRA, C. M. F.; MARGEM, J. I.; MONTEIRO, S.Ni. Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com lodo de ETA. **Materia (Rio de Janeiro)**, v. 13, p. 275-281, 2008.

ZAMYADI, A.; HO, L.; NEWCOMBE, G.; BUSTAMANTE, H.; PRÉVOST, M. (2012) Fate of toxic cyanobacterial cells and disinfection by-products formation after chlorination. *Water Research*, v. 46, p. 1524-1535.