

TRATABILIDADE DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO PARA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ ¹

TRACTABILITY OF HUMAN SUPPLY WATER FOR COLOR AND TURBIDITY REMOVAL

Levi Lacerda de Moura Freitas²

RESUMO: O córrego Rodrigues é a principal fonte de abastecimento de água da área urbana do município de Ibatiba-ES, no entanto, com o aumento da demanda de água e o agravamento em sua qualidade, o córrego pode apresentar, no futuro, dificuldades para atendimento da cidade. Este trabalho teve como objetivo verificar os coagulantes de melhor desempenho na remoção de cor e turbidez no tratamento da água bruta do córrego Rodrigues em Ibatiba-ES no período chuvoso. Realizaram-se ensaios em *jar test*, com o emprego de três agentes coagulantes inorgânicos (sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC) e um orgânico (tanfloc SG). A partir dos resultados obtidos verificou-se que o coagulante inorgânico PAC apresentou as piores remoções tanto de cor quanto turbidez. Os coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG apresentaram certa similaridade nos seus resultados atingindo ótimas remoções de cor e turbidez. O destaque foi o coagulante orgânico tanfloc SG que, na dosagem de 4 mg.L⁻¹, apresentou excelente desempenho na remoção de cor e turbidez, podendo servir como uma opção para a ETA de Ibatiba-ES no tratamento da água no período chuvoso, atingindo remoções de 93,26% e 97,54% para cor e turbidez, respectivamente.

Palavras-chave: Tratamento de água; Ensaios de tratabilidade; Abastecimento humano.

ABSTRACT: Rodrigues stream is the main source of water supply in the urban area of the municipality of Ibatiba-ES, however, with the increase in water demand and the deterioration of its quality, the stream may present, in the future, difficulties in attending the city's water demand. This study aimed to verify the coagulants with the best performance in removing color and turbidity in the treatment of raw water from the Rodrigues stream in Ibatiba-ES in the rainy season. Assays were carried out in *jar test*, with the use of three inorganic coagulating agents (aluminum sulfate, ferric chloride and PAC) and an organic one (tanfloc SG). From the results obtained, it was verified that the inorganic coagulant PAC presented the worst removals of both color and turbidity. The aluminum sulfate, ferric chloride and tanfloc SG coagulants showed some similarity in their results, achieving excellent color and turbidity removals. The highlight was the organic coagulant tanfloc SG, which, at a dosage of 4 mg.L⁻¹, showed excellent performance in removing color and turbidity, and could serve as an option for the ETA of Ibatiba-ES in the treatment of water in the rainy season, reaching removals of 93.26% and 97.54% for color and turbidity, respectively.

Keywords: Water treatment; Treatability assays; Human supply.

¹ Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba.

² Técnico em Meio Ambiente, Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba. E-mail: lacerdalevi2@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos essenciais para diversas atividades de produção, para o desenvolvimento de cidades e para o atendimento das necessidades básicas da população (IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018). Geralmente, em função dos critérios de economicidade, o sistema de abastecimento público utiliza dos mananciais de água superficiais como forma de suprimento para atender as populações humanas. O desejável é que a fonte de abastecimento seja acessível, com baixo custo de energia, que possua quantidade compatível com a demanda e qualidade que seja possível de ser ajustada com técnicas econômicas de tratamento (TSUTIYA, 2005).

A qualidade da água pode ser entendida como o resultado da interação de fenômenos naturais e ação humana. Dessa maneira, pode-se dizer que a qualidade de certa água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (AMÂNCIO *et al.*, 2018). Assim sendo, a interferência humana, seja de forma concentrada ou difusa, contribui na introdução de compostos na água e conseqüentemente afetando a sua qualidade (ROCHA, 2018).

Nesse sentido, o crescimento dos centros urbanos, a poluição dos recursos hídricos e o padrão de consumo da população têm desafiado o setor de saneamento básico, tendo em vista que o cenário atual é de demandas de água potável crescentes e mananciais com cada vez menos disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficiente ao sistema público de abastecimento, dificultando o tratamento dessa água (NEUMANN, 2015).

O tratamento da água consiste na remoção de partículas suspensas e dissolvidas, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias, possivelmente, nocivas à saúde humana que possam estar presentes nas águas naturais (PAIVA; MATOS, 2011). O resultado final do processo de tratamento deve garantir uma água segura à população e dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (MORAIS *et al.*, 2016).

O córrego Rodrigues é um afluente do rio Pardo e é a principal fonte de abastecimento de água da área urbana da cidade de Ibatiba-ES, no entanto, com o aumento da demanda de água e a piora em sua qualidade, o córrego pode apresentar, no futuro,

dificuldades para atendimento da cidade (INGLEZ, 2018). Portanto, este trabalho teve como objetivo verificar os coagulantes de melhor desempenho na remoção de cor e turbidez no tratamento da água bruta do córrego Rodrigues em Ibatiba-ES no período chuvoso, podendo auxiliar a companhia de abastecimento de água local a se preparar para esse possível cenário desafiador.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA

É comum ouvir dizer a respeito da progressiva degradação das águas superficiais e subterrâneas, o que torna o tratamento dessas águas para o abastecimento público cada vez mais oneroso (SILVA, 1998). Nesse sentido, os mananciais superficiais podem apresentar características físico-químicas e biológicas inconstantes, podendo variar de acordo com as condições climáticas, hidrológicas e de atuação antrópica na bacia hidrográfica (SERRA *et al.*, 2015).

Para o consumo humano é necessário que a água esteja potável, ou seja, que a água esteja livre de cor, sabor, odor, de qualquer organismo patógeno e de qualquer substância que possa produzir efeitos prejudiciais à saúde humana (RICHTER, 2009). Para a remoção dessas substâncias indesejáveis, normalmente as águas superficiais utilizadas para o abastecimento público são submetidas a um tratamento convencional seguindo as seguintes etapas sucessivas: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Nesse sentido, o monitoramento constante de parâmetros de qualidade da água bruta e tratada é essencial para o controle de qualidade da água destinada ao abastecimento público (LAGE FILHO e ANDRADE JÚNIOR, 2007). Os padrões de potabilidade estabelecem os valores permitidos para os parâmetros de qualidade para que a água seja considerada apropriada ao consumo humano (RICHTER, 2009). Dentre esses parâmetros, a cor e a turbidez se destacam como importantes características físicas da água.

As impurezas presentes na água, especialmente aquelas que causam cor e turbidez, encontram-se tanto em estados suspensos quanto dissolvidos. Dessa maneira, remover cor e turbidez da água significa remover partículas que apresentam

estabilidade em solução (VANACÔR, 2005). Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2022) a turbidez representa a resistência da água à passagem de luz, provocada pela presença de partículas em suspensão na água, enquanto a cor é um dado que indica a presença substâncias dissolvidas na água.

Sendo assim, o consumo de uma água que atenda aos padrões de potabilidade adequados é uma questão importante para a saúde pública, visto que diversos problemas de saúde estão associados a ingestão de água contaminada com agentes biológicos ou físico-químicos (SANTANA, 2012). A ingestão de águas de má qualidade, além de comprometer a saúde pode causar mortalidade em indivíduos com baixa imunidade, atingindo especialmente idosos e crianças menores de cinco anos (GOMES *et al.*, 2012).

Nesse sentido, visando a remoção dessas substâncias indesejáveis, a coagulação é uma etapa essencial no processo de tratamento convencional de água. Caso esta etapa não tenha sucesso, todas as etapas posteriores estarão prejudicadas (BORBA, 2001). Dada a importância da etapa de coagulação, se tornam indispensáveis estudos mais aprofundados sobre os diferentes tipos de coagulantes e sua influência na etapa de coagulação (VALVERDE, 2014).

2.2 COAGULAÇÃO E AGENTES COAGULANTES

A coagulação consiste em adicionar um composto químico (coagulante) na água que será tratada, e, no mesmo instante, promover a homogeneização por meio da mistura rápida hidráulica ou mecânica (PAVANELLI, 2001). Essa etapa visa a desestabilização de suspensões coloidais, produzindo partículas com condições de interação para que ganhem massa e possam ser removidas em seguida por um processo físico de separação, geralmente a sedimentação (RICHTER, 2009).

O coagulante utilizado nesse processo, além de afetar o tratamento nos aspectos econômico e ambiental, pode influenciar na qualidade da água tratada (VANACÔR, 2005). Dentre os coagulantes empregados nos sistemas de tratamento de água, destacam-se os coagulantes inorgânicos constituídos por sais de alumínio e de ferro, como o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), policloreto de alumínio ($Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$),

sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) e o cloreto férrico (FeCl_3), sendo o primeiro o mais utilizado, principalmente pelo seu baixo custo e manejo simples (RICHTER, 2009).

Algumas estações de tratamento de água do Brasil e do mundo utilizam coagulantes orgânicos como alternativa para o tratamento de água. O lodo gerado no processo de tratamento utilizando este tipo de coagulante possui ausência de sais de alumínio e ferro em sua composição, facilitando o seu manejo e tratamento (MANGRICH *et al.*, 2014).

Um método bastante empregado nas estações de tratamento de água (ETA's) para a determinação das dosagens dos coagulantes é o teste de jarros (*jar-test*). Os ensaios realizados no equipamento *jar-test* tem como objetivo simular o processo de tratamento físico-químico que ocorre nas ETA's (OLIVEIRA; PEREIRA, 2011). Essa simulação é composta por três fases: 1) mistura rápida que favorece a dispersão dos produtos químicos adicionados, 2) mistura lenta que promove a formação e aglutinação dos flocos e 3) período de repouso onde acontece a sedimentação dos flocos e a clarificação da água tratada (ROSA, 2015).

O teste de jarros é realizado pela Companhia de Abastecimento de água de Ibatiba-ES (CESAN) que utiliza o sulfato de alumínio como agente coagulante no processo de tratamento da água. O sulfato de alumínio vem sendo utilizado há muitos anos em todo o mundo visando à remoção de materiais particulados, coloidais e substâncias orgânicas via coagulação química (VANACÔR, 2005). Porém, a vasta utilização do sulfato de alumínio no processo de tratamento de água tem gerado discussões devido à presença de alumínio remanescente na água tratada e no lodo gerado ao final do processo, muitas vezes em concentrações bastante elevadas, dificultando a sua disposição no solo devido a contaminação e o acúmulo deste metal (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

Diante desse cenário, estudos que busquem por novas alternativas de coagulantes para a produção de água potável tornam-se cada vez mais importantes, pois permitem que as companhias de abastecimento tenham subsídio para definir o coagulante mais viável a ser utilizado no processo de tratamento de água, viabilidade esta que engloba fatores como as características da água a ser tratada, da disponibilidade do coagulante, da facilidade de utilização e preparação, e do seu custo (SANTOS, 2011).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DE ESTUDO E COLETA DA AMOSTRA

O estudo foi realizado no município de Ibatiba, localizado na região do Caparaó no sul do estado do Espírito Santo. A amostra de água bruta foi coletada no período chuvoso, caracterizado pelo período em que ocorre a maior parte da precipitação média anual de uma região, geralmente nos meses de novembro e dezembro para a região do estudo. A coleta aconteceu no dia 22/11/2021, visto que, segundo dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2021), a precipitação acumulada dos três dias anteriores ao dia da coleta foi de aproximadamente 120 mm, caracterizando como um período chuvoso.

A amostra de água bruta foi coletada no ponto de captação de água da Estação de Tratamento de água de Ibatiba, da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) localizada sobre as coordenadas geográficas 20°14'7" S e 41°30'50" W WGS84. Foi coletado um único volume de 600 litros de água a fim de garantir a uniformidade da amostra (FERREIRO *et al.*, 2017). A coleta foi feita através de bombonas com capacidade de armazenamento de 50 litros cada uma, que, por sua vez, foram direcionadas para o laboratório do IFES Campus Ibatiba para a realização dos ensaios de tratabilidade.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

A caracterização da qualidade da água bruta do córrego Rodrigues foi realizada utilizando os parâmetros: pH, turbidez, temperatura, cor aparente, cor real, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. A escolha dessas variáveis deu-se pela grande importância que elas possuem como indicativo da qualidade da água (MARMONTEL; RODRIGUES, 2015). As análises foram realizadas conforme as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012). As análises foram realizadas em triplicatas utilizando o valor médio em cada parâmetro.

Após a caracterização da água bruta, foi feita uma comparação da qualidade da água bruta com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente

(CONAMA), para rios classe 2 conforme enquadramento realizado pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH, 2019).

3.3 DESEMPENHO DOS AGENTES COAGULANTES

Para a otimização das dosagens dos coagulantes, os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados em um equipamento *jar test* MILAN®, modelo JT603M/6, contendo seis jarros com capacidade de 2 litros cada um. Os testes consistiram na aplicação de quatro coagulantes, sendo três inorgânicos (sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC) e um orgânico à base de tanino (tanfloc SG). As soluções foram preparadas a partir dos produtos comerciais e diluídas até a concentração desejada. Para os coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC foram preparadas soluções a uma concentração de 2 ppm, enquanto para o coagulante tanfloc SG foi preparada uma solução a uma concentração de 4 ppm.

Nos ensaios foram determinadas as concentrações consideradas ótimas para coagulação no processo de tratamento de água com os gradientes de velocidade pré-estabelecidos no projeto da ETA do município de Ibatiba-ES. As rotações, os gradientes de velocidade e a duração em cada etapa do ensaio estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Programação quanto à agitação no teste de jarros.

Rotação/Gradiente de velocidade	Duração (min)	Etapa
500 RPM / 1148 s ⁻¹	0,5	Mistura rápida
120 RPM / 225 s ⁻¹	5	Floculação
60 RPM / 95 s ⁻¹	5	Floculação
20 RPM / 15 s ⁻¹	5	Floculação
0 RPM / 0 s ⁻¹	20	Decantação

Fonte: Adaptado Cagliari, 2018.

Após o término das etapas de mistura rápida, floculação e decantação realizou-se a coleta de uma amostra de aproximadamente 100 mL de água decantada de cada jarro do *jar test* para cada coagulante estudado, que, em seguida, foram analisadas em

função da remoção de cor e turbidez, a fim de verificar a eficiência do procedimento, conforme também realizado por Silva (2012) e Medeiros (2015).

Para as análises de cor e turbidez utilizou-se um medidor de cor Alfakit (Figura 1) e um turbidímetro Digimed modelo DM-TU-EBC (Figura 2), respectivamente. Para as análises de pH e temperatura utilizou-se o medidor de pH de bancada – mPA-210 (Figura 3).

Figura 1. Turbidímetro



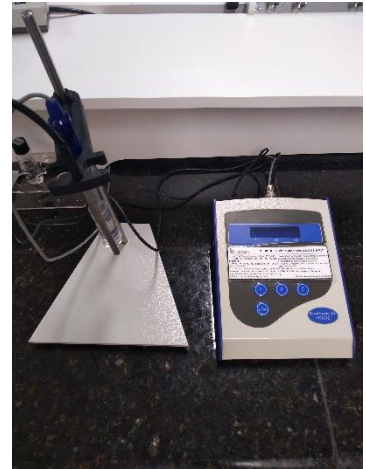
Fonte: Autor (2022).

Figura 2. Medidor de cor



Fonte: Autor (2022).

Figura 3. Medidor de pH



Fonte: Autor (2022).

3.4 POTABILIDADE DA ÁGUA DECANTADA

A eficiência do ensaio foi medida utilizando-se os parâmetros turbidez e cor aparente da água após a etapa de decantação. Considerou-se como melhor resultado a menor dosagem de coagulante que apresentou valores de turbidez recomendados por Ferrari *et al.* (2012) antes do processo de filtração (turbidez < 3 uT, visando um maior tempo de carreira dos filtros). Na tabela 2 encontra-se os padrões de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde para as variáveis estudadas.

Tabela 2. Padrões de potabilidade estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 alterado pela Portaria MS nº 888/2021.

Variáveis	Unidade	VMP
pH	-	6 a 9
Temperatura	°C	-
Turbidez	uT	5
Cor aparente	uH	15

Fonte: Portaria de Consolidação nº5/2017 – Anexo XX alterada pela Portaria MS nº 888/2021.

Notas: VMP= Valor máximo permitido; uT= Unidade de Turbidez; uH= Unidade Hazen.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da caracterização da água bruta no período de estudo estão apresentados na Tabela 3. Na tabela também estão apresentados alguns parâmetros do padrão de qualidade de águas doces classe 2 para comparação dos resultados.

Tabela 3. Caracterização da água bruta do córrego Rodrigues no período chuvoso.

PARÂMETROS	RESULTADOS	CONAMA 357/05
pH	7,31 ± 0,04	6,0 a 9,0
Temperatura (°C)	21,16 ± 0,19	-
Turbidez (uT)	109,59 ± 3,79	< 100
Cor aparente (uH)	135,36 ± 8,25	-
Cor real (uH)	29,74 ± 0,16	< 75
Cond. Elétrica (µs/cm)	193,00 ± 0,82	-
Sólidos Dissolvidos Totais (mg. L ⁻¹)	160,00 ± 4,00	< 500

Fonte: Autor (2022).

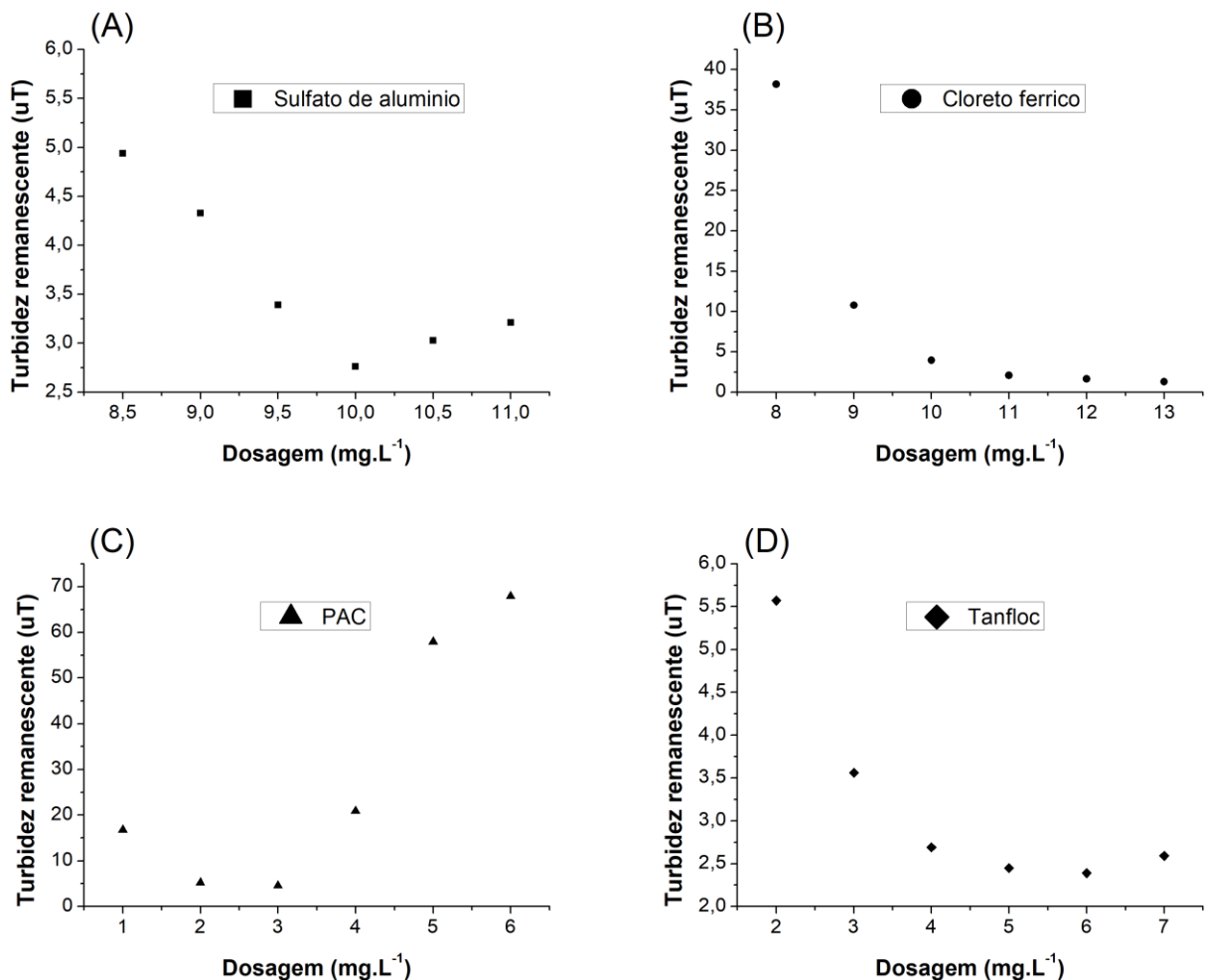
Os elevados níveis de turbidez e cor aparente encontrados na caracterização da água bruta eram esperados por se tratar de um período de alta precipitação, contudo, tais resultados demonstram que no período chuvoso, o ponto de captação escolhido, apresenta uma água bruta com boas condições de ser potabilizada com as unidades previstas na ETA do município de Ibatiba, qualificando o manancial para o uso no

sistema de abastecimento público de água. Comparando os valores encontrados na água bruta com a resolução do CONAMA nº 357/2005, a água estudada possui qualidade compatível com uma água doce classe 2.

Conforme estudos feitos por Skoronski *et al.* (2014), a dosagem do agente coagulante irá variar de acordo com a qualidade da água antes do processo de tratamento. De acordo com as características da água deste estudo e com o resultado alcançado em testes preliminares, definiu-se o intervalo da dosagem a ser aplicada de cada coagulante em cada jarro do equipamento *jar test*. Para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio aplicou-se dosagens de 8,5 a 11 mg.L⁻¹ variando 0,5 mg.L⁻¹ em cada jarro. Para o coagulante inorgânico cloreto férrico aplicou-se dosagens de 8 a 13 mg.L⁻¹ variando 1,0 mg.L⁻¹ em cada jarro. Para o coagulante inorgânico PAC aplicou-se dosagens de 1 a 6 mg.L⁻¹ variando 1,0 mg.L⁻¹ em cada jarro. E por fim, para o coagulante orgânico tanfloc SG aplicou-se dosagens de 2 a 7 mg.L⁻¹ variando 1,0 mg.L⁻¹ em cada jarro.

Na figura 4, tem-se os valores de turbidez da água decantada medidos após os ensaios de tratabilidade com variação da dose de coagulante aplicada. Neste gráfico estão indicados os valores de turbidez para a menor dosagem de cada coagulante que conseguiu atingir a turbidez meta de 3 uT, exceto para o coagulante inorgânico PAC que não conseguiu atingir a turbidez meta.

Figura 4. Turbidez remanescente após os ensaios de tratabilidade com os coagulantes estudados.



Fonte: Autor (2022).

É possível observar que os agentes coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG se mostraram efetivos no tratamento da água bruta nas condições descritas na Tabela 3, atingindo a turbidez meta de 3 uT após os ensaios de tratabilidade. Enquanto o PAC alcançou o nível mínimo de turbidez de 4,62 uT.

Através da figura 4 é possível perceber que o agente coagulante inorgânico PAC apresentou uma faixa de ação mais estreita comparado aos outros agentes coagulantes. Do ponto de vista operacional, a baixa flexibilidade das dosagens de PAC pode trazer dificuldades para a estação de tratamento de água no período chuvoso, uma vez que esse período é caracterizado por águas com maiores níveis de turbidez e o aumento da dosagem do PAC para o seu tratamento não necessariamente irá melhorar o nível de turbidez da água decantada. Além disso, o

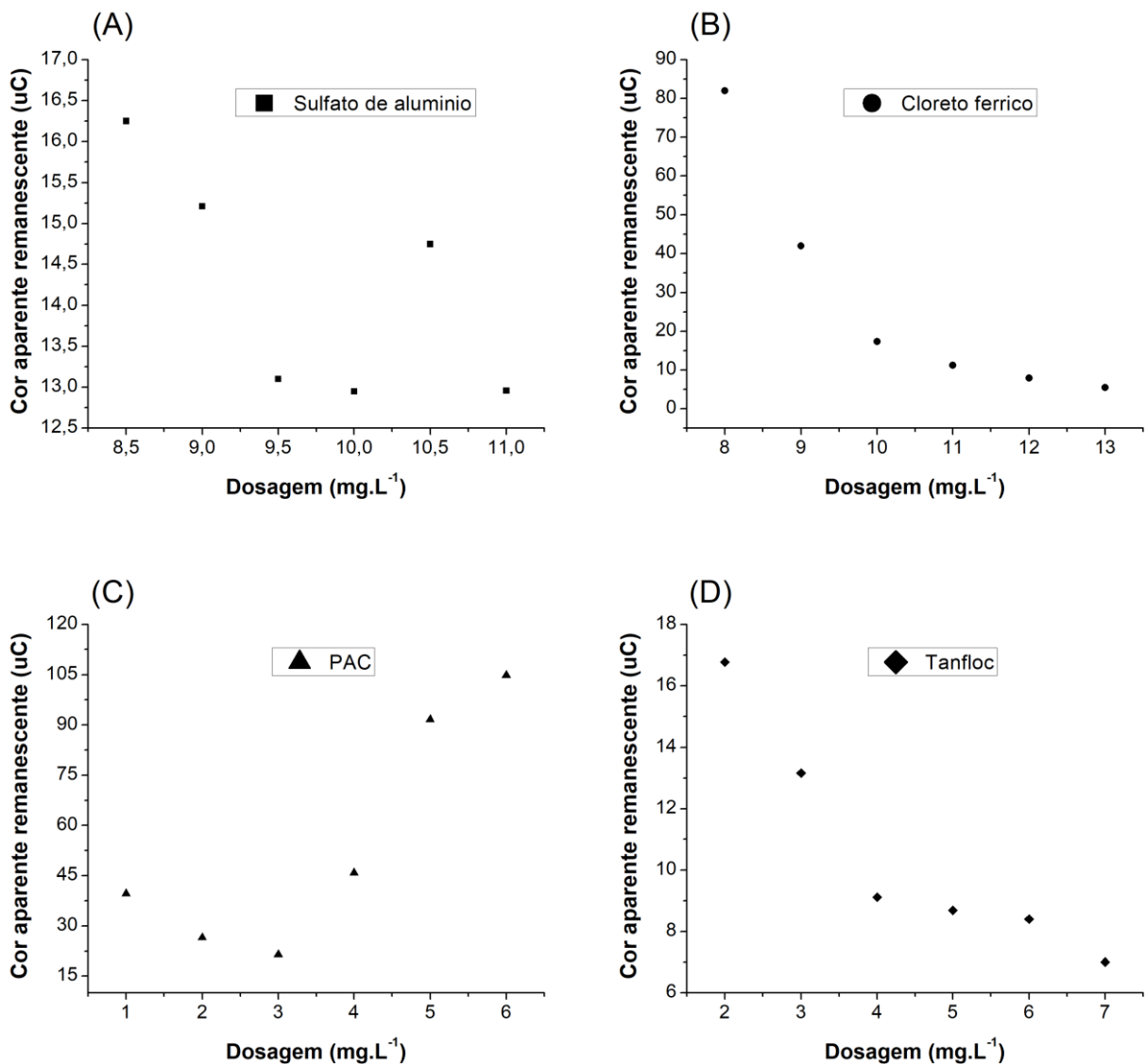
uso do PAC no período chuvoso demandará maior atenção na etapa de filtração, pois pode ser reduzida a carreira de filtração devido a maior turbidez presente na água decantada com o uso do PAC em comparação com os demais coagulantes. Apesar da baixa flexibilidade das dosagens apresentadas pelo PAC neste trabalho, estudos feitos por Rosalino (2011) e Sabogal-Paz e Silva (2019) apontaram que a principal vantagem deste coagulante é o eficiente desempenho numa ampla faixa de pH e temperaturas da água.

Os agentes coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG apresentaram certa similaridade nos seus resultados. Estes três agentes coagulantes conseguiram atingir a turbidez meta de 3 uT e não houve melhora substancial da turbidez com o aumento da dosagem após o atingimento da turbidez meta. Diante disso, as menores dosagens dos coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG que conseguiram atingir a turbidez meta foram, respectivamente, de 10 mg.L⁻¹, 11 mg.L⁻¹ e 4 mg.L⁻¹. Enquanto que a dosagem do coagulante PAC que atingiu o nível de turbidez mais próximo da turbidez meta foi de 3 mg.L⁻¹.

Em estudo realizado por De Julio, Fioravante e Oroski (2008) para avaliar a influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação, os resultados apontaram que os agentes coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico também apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios na remoção de turbidez para o tempo de floculação igual ou superior a 15 minutos, conforme o realizado neste trabalho.

Na figura 5, tem-se os valores de cor aparente da água decantada medidos após os ensaios de tratabilidade com variação da dose de coagulante aplicada. Neste gráfico estão indicados os valores de cor aparente para as mesmas dosagens descritas acima.

Figura 5. Cor aparente remanescente após os ensaios de tratabilidade com os coagulantes estudados.



Fonte: Autor (2022).

De acordo com a figura 5 pode-se perceber que os resultados para cor remanescente após os ensaios de tratabilidade apresentaram um padrão muito semelhante em comparação aos resultados de turbidez remanescente apresentados na figura 4. Os agentes coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG conseguiram atingir menores níveis de cor aparente, para aquelas dosagens que alcançaram a turbidez meta, em relação ao agente coagulante PAC. Dentre os coagulantes testados destaca-se o tanfloc SG que atingiu uma cor aparente de 9,12 uH.

Os resultados encontrados por meio dos diagramas de coagulação construído por Bongiovani *et al.* (2009) também apontaram excelentes remoções, tanto para cor quanto turbidez, utilizando o tanfloc SG como agente coagulante, principalmente para a faixa de pH entre 6 e 9.

Como também visto por Zolett e Jabur (2013), durante a formação dos flocos nos ensaios de tratabilidade, observou-se que os flocos formados pelos sedimentos no tratamento com tanfloc eram maiores do que os formados com os outros coagulantes químicos, caracterizando um ponto positivo para o coagulante orgânico em relação ao inorgânico, já que os flocos maiores tendem a possuir maior massa facilitando a sedimentação e retida dos sedimentos, enquanto os flocos menores possuem maior possibilidade de dispersão na água.

Os resultados da caracterização da água decantada, utilizando essas dosagens estão apresentados no Quadro 4. O Quadro também ilustra resultados da caracterização da água bruta e de eficiência de remoção dos parâmetros no ensaio (cor aparente e turbidez).

Quadro 4. Caracterização da água decantada do córrego Rodrigues sob as condições consideradas ótimas e comparação com as características da água bruta.

Parâmetros	Agente Coagulante	Água bruta	Água decantada	Remoção (%)
pH	Sulfato de alumínio	7,31	6,92	-
	Cloreto férrico		6,62	-
	PAC		6,78	-
	Tanfloc SG		7,24	-
Turbidez (uT)	Sulfato de alumínio	109,56	2,76	97,48
	Cloreto férrico		2,06	98,12
	PAC		4,62	95,78
	Tanfloc SG		2,69	97,54
Cor aparente (uH)	Sulfato de alumínio	135,36	12,95	90,43
	Cloreto férrico		11,25	91,69
	PAC		21,48	84,13
	Tanfloc SG		9,12	93,26

Fonte: Autor (2022).

Os resultados de pH encontrados na água decantada apresentam uma redução em relação a água bruta. Esse resultado é comumente encontrado em estações de tratamento de água que utilizam estes coagulantes, já que a alcalinidade da água é consumida nesse processo. Nesta análise, o coagulante tanfloc SG foi o que apresentou a menor variação de pH dentre os coagulantes analisados conforme também encontrado por Coral, Bergamasco e Bassetti (2009). Coagulantes a base de tanino não consomem significativamente a alcalinidade da água e, conseqüentemente, não proporcionam alteração expressiva nos níveis pH da água (SKORONSKI *et al.*, 2014).

O nível de turbidez da água decantada demonstrou um alto percentual de remoção para todos os agentes coagulantes analisados, destacando a atuação do cloreto férrico e tanfloc SG com remoções de 98,12% e 97,54%, respectivamente. Vale ressaltar que a turbidez remanescente ainda sofrerá uma remoção na etapa de filtração, etapa obrigatória no tratamento de águas superficiais conforme determina a Portaria MS nº 888/2021.

O mesmo aconteceu com os níveis de cor aparente da água decantada, todos agentes coagulantes analisados obtiveram um alto percentual de remoção de cor aparente, destacando a atuação do tanfloc SG e cloreto férrico com remoções de 93,26% e 92,40%, respectivamente.

Com o objetivo de proporcionar uma visão dos aspectos econômicos envolvidos na aplicação dos coagulantes utilizados, calculou-se o custo dos reagentes utilizados para o tratamento da água na ETA de Ibatiba-ES, que possui uma vazão de 42L/s. A viabilidade econômica dos coagulantes foi avaliada a partir dos seus valores comerciais e o volume de água tratada pela ETA, na Tabela 5 está apresentado este estudo de custos.

Tabela 5. Avaliação de custos.

Agente coagulante	Dosagem mg/L	Preço R\$/Kg	Vazão m³/mês	Custo R\$/mês
Sulfato de alumínio	10	4,20	108864	2286,14
Cloreto férrico	11	8,30		4969,64
PAC	3	9,67		1579,07
Tanfloc SG	4	1,57		683,67

Fonte: Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

De maneira geral, todos os agentes coagulantes testados obtiveram um bom desempenho na remoção de cor e turbidez para a água em estudo. Vale destacar os agentes coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc SG que apresentaram desempenhos um pouco melhores em relação ao coagulante PAC, e com desempenhos similares entre si. De acordo com os resultados obtidos com a realização desse estudo verificou-se que o coagulante orgânico tanfloc SG pode servir como uma opção para a ETA de Ibatiba-ES no tratamento da água no período chuvoso, atingindo resultados até melhores que os coagulantes convencionais, além de possuir melhor viabilidade econômica comparado aos outros coagulantes estudados.

Apesar de não ter sido feita nenhuma análise sobre o lodo gerado após os ensaios, pelo fato do coagulante tanfloc SG ter origem vegetal, a ausência de metais nos resíduos gerados torna mais fácil a sua destinação comparado aos coagulantes inorgânicos, que devido ao excesso de metal no lodo gerado, impossibilita a aplicação no solo, por exemplo, dificultando seu gerenciamento.

REFERÊNCIAS

- AMÂNCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. P. V.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 75-86, 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6454790>. Acesso em: 07 jan. 2022.
- ASSOCIATION, A. P. H.; ASSOCIATION, A. W. W.; FEDERATION, W.E. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association. 2012.
- AGERH. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Espírito Santo**. Definição do Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Itapemirim. 2019. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documentação%20CBHs/Itapemirim/Relatório%20Etapa%20B%20-%20Enquadramento%20-%20CBH%20Itapemirim.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- BONGIOVANI, M. C.; MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.8238>. Acesso em: 05 jun. 2022.
- BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa oleifera Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/38659392/viabilidade-do-uso-da-moringa-oleifera-lam-no-tratamento->. Acesso em: 21 jan. 2022.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357/2005, 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**. 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria da 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. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.
- CAGLIARI, L. **Padronização do uso de policloreto de alumínio e poliacrilamida em uma ETA de Porto Alegre**. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/193334>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Mapa interativo. 2021. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 25 nov. 2021.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (tanfloc) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo**. In: 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production, 20-22 mai. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

DE JULIO, M.; FIORAVANTE, D. A.; OROSKI, F. I. Avaliação da influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação no tratamento de água empregando o sulfato de alumínio e o PAC. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, v. 14, n. 2, p. 109-120, 2008. Disponível em. Acesso em: 03 jun. 2022.

FERRARI, T. N.; JULIO, M.; JULIO, T. S.; JÚNIOR, W. C. S. Estudos de tratabilidade das águas do Rio Paraíba do Sul que abastecem o município de São José dos Campos/SP. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**: investigación, desarrollo y práctica, v. 5, n. 2, p. 45-58, ago. 2012. Disponível em: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/32646>. Acesso em: 16 jan. 2022.

FERREIRO, W. B.; PAIVA, W.; NEPOMUCENO, T. C.; DINIZ, T. R. **Estudo da alcalinidade total e pH de coagulação após ensaios de tratabilidade realizados com coagulantes de natureza orgânica e inorgânica**. In: Congresso Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. Campina Grande: ABES, 2017. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/I-348.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2022.

GOMES, A. S. P.; SILVA, C. R.; MOREIRA, A. A. D.; ARAÚJO, I. N. S.; PEREIRA, F. C. Estudo Qualitativo da Água no Município de Picuí-PB, Enfocando os Parâmetros Cor, Turbidez e pH. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 20, p. 38-46, jul. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/187/150>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INGLEZ, Í. S. S. **Aulas de campo como estratégia de integração entre espaços educativos não formais e escola: o rio pardo como local para abordar uma educação ambiental**. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado de Educação em Ciências e Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/391>. Acesso em: 07 jan. 2022.

IKEMOTO, S. M.; NAPOLEÃO, P. R. M. **Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro**: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf. Acesso em: 07 jan. 2022.

LAGE FILHO, F. A.; ANDRADE JÚNIOR, E. R. Tratabilidade da água do reservatório do guarapiranga: efeitos da ozonização sobre algumas variáveis de qualidade das águas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 212-221, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000200012>. Acesso em: 11 jan. 2022.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140002>. Acesso em: 01 jun. 2022.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.082014>. Acesso em: 15 jan. 2022.

MEDEIROS, P. **Avaliação do agente coagulante na remoção de cor e turbidez da água bruta na ETA Morro dos Quadros, Palhoça, SC**. 2015. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2015. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4841>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MORAIS, W. A.; SALEH, B. B.; ALVES, W. S.; AQUINO, D. S. Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 361-367, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1414-462X201600030143>. Acesso em: 20 jan. 2022.

NEUMANN, B. F. **Estudo comparativo entre alternativas de implantação de um sistema de abastecimento de água no município de Cruzeiro do Sul**. 2015. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11624/1124>. Acesso em: 15 jan. 2022.

OLIVEIRA, M. D.; PEREIRA, T. D. S. **Desenvolvimento de modelos de redes neurais artificiais para estimativa da dose de coagulante e da qualidade da água tratada na ETA UFV**. 2011. 85 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/7510482/Desenvolvimento_de_modelos_de_redes_neurais_artificiais_para_estimativa_da_dose_de_coagulante_e_da_qualidade_da_água_tratada_na_ETA_UFV. Acesso em: 15 jan. 2022.

PAIVA, E. C. R.; MATOS, A. T. **Estudo de tratabilidade da água do córrego dos Mayrink, município de Ponte Nova - MG.** In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011. Londrina: IBEAS, 2011. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IX-006.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2022.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2001.tde-21012003-084719>. Acesso em: 17 jan. 2022.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blücher, 2009. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 07 jan. 2022.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Blücher, 1991. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 07 jan. 2022.

ROCHA, L. G. da. **Seleção de eficiências de tratamento de esgotos para os núcleos urbanos da bacia hidrográfica do rio Pardo a partir do emprego da Programação Não Linear.** 2018. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018. Disponível em: https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/selecao_de_eficiencias_de_tratamento_de_esgotos_para_os_nucleos_urbanos_da_bacia_hidrografica_do_rio_pardo_a_partir_do_emprego_da_programacao_nao_linear.pdf. Acesso em: 23 jan. 2022.

ROSA, Anderson L. **Teste de jarros com efluente de uma empresa de produto de limpeza.** Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/ANDERSON_LUIS_ROSA.pdf. Acesso em: 28 jan. 2022.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/6323>. Acesso em: 01 jun. 2022.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Qualidade da água tratada.** Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=40>. Acesso em: 30 jan. 2022.

SABOGAL-PAZ, L. P.; SILVA, K. J. S. **Tratabilidade de água de manancial superficial com cloreto de polialumínio (PAC): diagrama de coagulação e seleção de parâmetros operacionais.** In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019. Rio de Janeiro: ABES, 2019. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP->

EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/I-027.pdf. Acesso em: 02 jan. 2022.

SANTANA, J. A. S. **Qualidade da água das escolas municipais de Igarassu-PE.** 2012. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão de Sistema e Serviços de Saúde) - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2012. Disponível em: <https://www.cpqam.fiocruz.br/bibpdf/2012santana-jas.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SANTOS, G. R. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água.** 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://epqb.eq.ufrj.br/download/clarificacao-de-agua-de-abastecimento-publico.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

SERRA, J. C. V.; SOARES, A. C. S.; AMBRÓSIO, L. D.; PIKANÇO, A. P. **Ensaio de tratabilidade da água do Lago UHE Lajeado utilizando jar test.** In: 28^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. Rio de Janeiro: ABES, 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/IV-094.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

SILVA, E. R. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos.** 1998. 201 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: http://www.pick-upau.org.br/mundo/curso_agua/O%20Curso%20da%20%C1gua%20na%20Hist%F3ria.pdf. Acesso em: 21 jan. 2022.

SILVA, J. S. **Estudo da utilização de polímeros naturais como auxiliares de floculação no tratamento de água para fins industriais.** 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/4637>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 4, p. 679-687, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1303>. Acesso em: 09 jun. 2022.

VALVERDE, K. C. **Avaliação do processo de tratamento de água utilizando a associação do coagulante natural Moringa oleifera Lam e coagulante químicos.** 2014. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3699>. Acesso em: 28 jan. 2022.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 130 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/6900>. Acesso em: 07 jan. 2022.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 2.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ZOLETT, E. R.; JABUR, A. S. **Uso de polímero natural a base de tanino (tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano**. *In*: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. Pato Branco: ABRH, 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/f3e044f81c8cf1a6bc3bde55ce83efc0_a228bfaef3c220a95cd7de6689ba084e.pdf. Acesso em: 06 jun. 2022.

LEVI LACERDA DE MOURA FREITAS

**TRATABILIDADE DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO PARA REMOÇÃO
DE COR E TURBIDEZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 29 de junho de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Benvindo Sirtoli Gardiman Junior
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba
Orientador

Prof. Me. Nelson Rubens Nascimento Del'Antonio
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba
Membro Interno

Prof. Dr. Juscelino Alves Henriques
Instituto Federal de Pernambuco - Campus Afogados da Ingazeira
Membro Externo