

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

ISAC EUSTÁQUIO DA SILVA

**ANÁLISE DA RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE
FILTROS DE ETA DE CICLO COMPLETO E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE
DA ÁGUA TRATADA**

BAMBUÍ

2021

ISAC EUSTÁQUIO DA SILVA

**ANÁLISE DA RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE FILTROS DE
ETA DE CICLO COMPLETO E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA
TRATADA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia ambiental do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Sustentabilidade e Tecnologia ambiental

Linha de pesquisa: Tecnologias Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte

Coorientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni

BAMBUÍ

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus: Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação
Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 15

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada "Análise de recirculação de efluente de lavagem de filtros de ETA de ciclo completo e seus impactos na qualidade da água tratada", de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Isac Eustáquio da Silva, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 07/12/2021, com a média de 94,0 pontos.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pelos professores orientador e coorientador.

A Defesa Pública contou com a presença de público interno e externo do MPSTA (Anísio Cláudio Fonseca; Cláudia de Oliveira Nogueira; Cristiane Frões Soares dos Santos e Flávio Leonildo de Melo), que após a divulgação da defesa pela Secretaria do MPSTA manifestaram interesse em assisti-la, dessa forma houve o cadastro e a liberação do link de acesso por parte da presidente da banca.

Bambuí (MG), 07 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Moreira de Rezende Araújo**, Usuário Externo, em 08/12/2021, às 17:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Hygor Aristides Victor Rossoni**, Usuário Externo, em 08/12/2021, às 17:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Wolff de Almeida Carvalho**, Professora, em 08/12/2021, às 17:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte**, Docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT, em 08/12/2021, às 17:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador 1033056 e o código CRC 0C08E943.

Criado por [ronaldo.barbosa](#), versão 2 por [ronaldo.barbosa](#) em 08/12/2021 16:30:35.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

S586a Silva, Isac Eustáquio da.
Análise da recirculação de efluente de lavagem de filtros de ETA de ciclo completo e seus impactos na qualidade da água tratada. / Isac Eustáquio da Silva. – Bambuí, 2021.
85 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1. Impacto ambiental. 2. Clarificação. 3. Reúso de águas. I. Duarte, Neimar de Freitas. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 628.35

AGRADECIMENTOS

Sou grato ao TODO que organiza e estrutura o universo. Sou grato a todos os amigos e conhecidos que direta ou indiretamente me apoiaram nessa trajetória. Sou grato aos parceiros de pesquisa, ao SAAE e aos meus companheiros de trabalho, especialmente agradeço ao meu encarregado direto, Flávio Leonildo, por todo suporte e apoio.

Sou grato ao amor e tempo que minha família dedicou a mim. Sou eternamente grato a minhas filhas, fontes de inspiração e motivação para todo o sempre. Sou eternamente grato a minha amada por todo carinho, apoio, auxílio, compreensão, cuidado e paciência. Sou grato aos meus professores, mestres de caminhada, que contribuíram para o despertar da semente de crescimento em mim.

OBRIGADO!

RESUMO

A demanda mundial por água potável tem crescido anualmente e torna-se evidente a necessidade de gerir melhor os processos de sua obtenção e uso. As estações de tratamento de água são fundamentais no processo de potabilização, no entanto, demandam muito desse precioso recurso em seus processos, dentre os quais a lavagem dos filtros é o maior consumidor. A água de lavagem de filtros (ALF) é o efluente gerado durante o processo, e tem sido estudado visando a sua recirculação no sistema de tratamento. Recircular a ALF, no entanto, pode trazer riscos quanto à qualidade e segurança da água tratada final. Foi avaliada a viabilidade da recirculação de ALF na ETA do município de Formiga-MG. Analisou-se a eficiência da sedimentação como tratamento prévio e seus impactos nos parâmetros cor, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e turbidez. Executou-se um ensaio de tratabilidade em Jar-test para avaliar o impacto da adição de 3%, 6% e 10% de ALF nos processos de coagulação e sedimentação. Quanto à sedimentação, o processo demanda de, no mínimo, 75 minutos para que se possa começar a ser recirculado o sobrenadante. Com este intervalo, a ALF alcança resultados nos parâmetros estudados melhores que na água bruta. A recirculação de 10% proporcionais de volume de ALF demonstrou diferença estatisticamente significativa quando comparada ao grupo controle. Ficou evidenciado que recircular a ALF pode aliar benefícios ambientais e ainda não causar prejuízo aos procedimentos operacionais da ETA.

Palavras-chave: Impacto ambiental, clarificação, reúso de águas.

ABSTRACT

The world demand for drinking water has grown annually and the need to better manage the processes of obtaining and using it becomes evident. Water treatment plants (WTP) are fundamental in the purification process, however, they demand a lot of this precious resource in their processes, among which the washing of filters is the biggest consumer. Filter backwash water (FBW) is the effluent generated during the process, and has been studied for its recirculation in the treatment system. Recirculating the FBW, however, can bring risks to the quality and safety of the final treated water. The feasibility of FBW recirculation in the WTP in the municipality of Formiga-MG was evaluated. The efficiency of sedimentation as a pretreatment and its impacts on color parameters, pH, electrical conductivity, total dissolved solids and turbidity were analyzed. A Jar-test treatability assay was performed to assess the impact of the addition of 3%, 6% and 10% FBW on the coagulation and sedimentation processes. As for sedimentation, the process requires at least 75 minutes before recirculating the supernatant. With this range, the FBW achieves better results in the studied parameters than in raw water. The recirculation of 10% proportional to the volume of FBW showed a statistically significant difference when compared to the control group. It was evident that recirculating the FBW can combine environmental benefits and still not cause damage to the operational procedures of the WTP.

Keywords: Environmental impact, clarification, water reuse

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ALF	Água de lavagem de filtros
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de Variância
DBP	(Do inglês, Disinfection by products) Produtos secundários da desinfecção
ETA	Estações de tratamento de águas
ETE	Estações de tratamento de efluentes
FBW	(Do inglês, Filter backwash water) Água de lavagem de filtros
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
MO	Matéria orgânica
PAFC	Cloreto férrico de polialumínio
PH	Potencial hidrogeniônico
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SG	(Do inglês, Scholar google) Google acadêmico
STD	Sólidos totais dissolvidos
THM	Trihalometanos
USEPA	Agência Americana de proteção ambiental
UTR	Unidade de tratamento de resíduos
WOS	(Do Inglês, Web of Science)
WTP	(Do Inglês, Water treatment plant) Estações de tratamento de água

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia da conservação de água	13
Figura 2. Mapa do SAAE de Formiga, destacando a localização dos sedimentadores da UTR, Flocculadores e Filtros da ETA I.	19
Figura 3 - Fase inicial (A) e final (B) do processo de limpeza dos filtros.	20
Figura 4. Fluxograma de representação da recirculação de ALF dos filtros descendentes rápidos da ETA I.	21
Figura 1 - Fluxograma do processo de coleta e ensaios conduzidos na ALF	41
Figura 2 – Turbidez em função do tempo de sedimentação	48
Figura 4 – Condutividade em função do tempo de sedimentação.....	50
Figura 5 – STD em função do tempo de sedimentação	50
Figura 6 – pH em função do tempo de sedimentação.....	51
Figura 7 – Turbidez observada em função dos tratamentos	53
Figura 8 – Cor aparente observada em função dos tratamentos	54
Figura 9 – Sólidos totais dissolvidos em função dos tratamentos	55
Figura 10 – Condutividade elétrica em função dos tratamentos.....	56
Figura 11 – pH em função dos tratamentos	57
Tabela 1 - Parâmetros, metodologias e processos/meio onde serão avaliados.....	42
Tabela 2 – Tempo e agitação utilizados no ensaio de tratabilidade.....	43
Tabela 3 – Resultados para dos parâmetros na ANOVA e seus pressupostos	58
Tabela 4 – Comparações múltiplas da ANOVA com Permutação.....	59
Tabela 5 – Análise de comparação de grupos da ANOVA com permutação e clássica	59
Tabela 6 – Contagem de colônias de <i>Escherichia coli</i> na ALF	62
Quadro 1 – Estatísticas descritivas em função do tempo de sedimentação.....	47
Quadro 2 – Estatísticas descritivas para cada tratamento e variável resposta.....	52

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
LISTA DE SIGLAS E ABREVIações	4
LISTA DE FIGURAS	5
1. INTRODUÇÃO GERAL	10
1.1 Relevância e justificativa	12
2. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	18
3. OBJETIVOS	22
3.1 Geral.....	22
3.2 Específicos	22
CAPÍTULO I	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
5. REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO II	38
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO CONVENCIONAIS	38
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1 Amostragem	40
2.2 Avaliação do tempo de sedimentação da ALF	41
2.3 Testes microbiológicos	42
2.4 Ensaio de Tratabilidade Utilizando diferentes Proporções de ALF	42
2.5 Análise estatística.....	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.1 Ensaio de Sedimentação da ALF	46
3.2 Ensaio de tratabilidade com adição de ALF	52
3.3 Ensaio de tratabilidade: Teste de hipóteses	57
3.4 Testes Bacteriológicos do sobrenadante da ALF	61
4. CONCLUSÃO.....	64

REFERÊNCIAS.....	65
CAPÍTULO III	72
ELABORAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO.....	72
JUSTIFICATIVA	72
AVALIAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA DA COAGULAÇÃO	73
Metodologia.....	75
Resultados	76
Conclusões e recomendações	77
Referências	78
APÊNDICE – BANCO DE DADOS DA DISSERTAÇÃO	79
ANEXO – TERMO DE PARCERIA	85

1. INTRODUÇÃO GERAL

O século XXI tem sido marcado por discussões acerca da escassez de água em várias localidades. Gleick (2000) afirma que o contexto do desenvolvimento social e econômico agrava a questão ambiental, com o aumento da demanda por água em função do crescimento urbano acelerado, quando comparado ao século XX, associado ao estresse hídrico em muitas regiões do planeta, ora por questões climáticas, ora por ineficiência no manejo desse recurso.

A demanda mundial por água potável tem crescido anualmente de maneira contínua, e caso não haja uma melhor gestão e atenção global, o cenário tende a se agravar. O Relatório de Desenvolvimento Mundial da Água afirma que existe previsão de um crescimento da demanda por água na ordem de 55% até o ano de 2050, devido principalmente ao aumento de uso industrial, geração de energia, uso doméstico, produção de alimentos e desenvolvimento das áreas urbanas. Segundo o referido relatório, um dos maiores problemas é de governança, uma vez que o consumo de água aumentou 200% a mais que o próprio crescimento populacional nas últimas décadas. Desta forma, se mantidos os padrões atuais, espera-se que em 2030 o mundo já enfrente um déficit de 40% no abastecimento de água (UNESCO, 2015).

No Brasil, a questão hídrica encontra situações de antagonismo extremo, com estados como o Amazonas chegando a uma disponibilidade *per capita* de 700.000 m³ anuais e, em contraste com a região metropolitana de São Paulo, esse valor não ultrapassa os 280 m³ (TUNDISI, 2008). Regiões superpopulosas como o Sudeste brasileiro têm enfrentado dificuldades da ordem de disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Para tanto, são adotadas soluções complexas, tais como a transposição de águas de outras bacias hidrográficas, tecnologias para redução de consumo e para ampliação do reúso (JACOBI; CIBIM; LEÃO, 2015).

O contexto de discussão sobre a questão hídrica não é de todo recente, tanto que em 1992 chefes de estado e ministros de 175 países se reuniram na cidade do Rio de Janeiro, no evento que ficou conhecido como Eco-92, uma convenção em que temas relacionados à crescente degradação ambiental foram abordados, e desse encontro surgiu o documento intitulado Agenda 21, um conjunto de propostas de ações que tinha como base a adoção de políticas que incentivassem a melhor gestão

ambiental, a proteção dos recursos naturais e da biodiversidade, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, entre outros (IPEA, 2009).

O Brasil ainda não dispunha de nenhuma regulamentação sobre o reúso e reciclagem de resíduos. A Agenda 21 (CNUMAD, 1992) trouxe em seu texto, dentro do capítulo 21, os objetivos de “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento” e “Tornar disponível informações, tecnologia e instrumentos de gestão apropriados para encorajar e tornar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias”. O tema, a partir de então, começou a ser mais abordado, sobretudo no meio científico. Desta forma, torna-se evidente e necessário que sejam avaliadas todas as possibilidades de reaproveitamento em todos os sistemas, sejam eles residenciais, industriais ou agrícolas.

Dentro do contexto da Agenda 21, no objetivo de incentivo ao reúso, pode-se destacar as estações de tratamento de água (ETA), que, além de importantes indústrias responsáveis pela potabilização da água bruta, são também grandes consumidoras de água potável em seus processos. Em alguns casos, o consumo pode chegar à marca de 5% (FREITAS *et al.*, 2010) ou ainda expressivos 10% de todo o volume de água tratada produzida (LUSTOSA *et al.*, 2017). A discrepância entre o consumo pode ser atribuída a muitas questões que vão desde a tecnologia empregada no processo de potabilização até a ineficiência ou falta de manutenção em equipamentos. Deste modo, com a escassez atualmente vivenciada, mecanismos eficientes de gestão e reaproveitamento são importantes e necessários.

No Brasil, segundo Botero *et al.* (2009), existem 7500 ETA, aproximadamente, das quais a maioria emprega o processo chamado de ciclo completo ou convencional, no qual a água bruta passa por adição de coagulante, que em sua maioria utilizam sulfato de alumínio ou cloreto férrico, seguindo-se das etapas de floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção.

As etapas iniciais do tratamento convencional, também conhecido como ciclo completo, são etapas de clarificação, em que se objetiva a remoção de partículas suspensas, que podem, a depender do manancial de origem da água bruta, gerar uma maior quantidade de resíduos. O lodo gerado pelos processos demanda ser removido periodicamente, podendo, caso não retirado, impactar negativamente as etapas de clarificação. A remoção é, em geral, feita com periodicidade variada, a depender de

fatores ambientais e tecnológicos de cada ETA. No entanto, a lavagem de filtros é um processo majoritariamente executado com frequência diária e é, segundo Lustosa *et al.* (2017), o processo que gera o maior volume de resíduos em uma ETA. Tal limpeza ainda se faz necessária para manter a qualidade e eficiência do processo de potabilização.

Uma alternativa que vem sendo abordada para diminuir a perda de água nas ETA é a recirculação ou reúso da água de lavagem dos filtros (ALF), podendo-se, em alguns casos, obter vantagens financeiras e ambientais (SILVA JUNIOR *et al.*, 2014); os estudos sobre o reúso deste efluente vem crescendo nos últimos anos no Brasil. Entretanto, a avaliação e investigação caso a caso, conforme as características operacionais, hidrológicas, ambientais de cada localidade é ainda recomendada (FONTANA, 2004; FREITAS *et al.*, 2010).

1.1 Relevância e justificativa

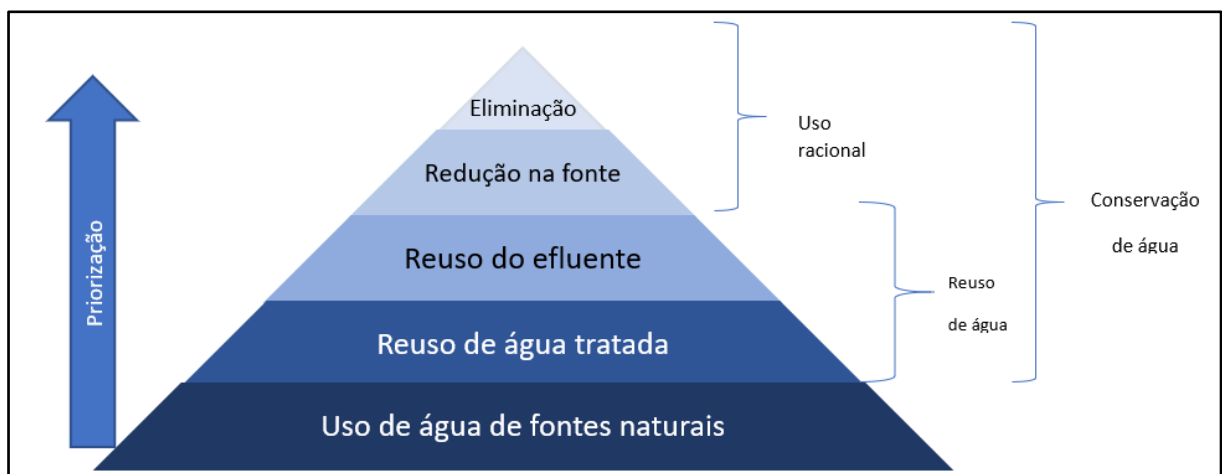
Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estima-se que 16% de toda água doce no planeta está em solo brasileiro, mas a distribuição natural de recurso não é equilibrada (BRASIL, 2021). A região Norte, por exemplo, concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, contudo representa apenas 5% da população brasileira. Já as regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do País (BRASIL, 2021). Comparando a água disponível com a distribuição geográfica da população brasileira, observa-se a precariedade da situação das regiões Nordeste e Sudeste. A região Nordeste demanda implantação de estratégias de convivência com o semiárido baseadas em tecnologias poupadoras de água como: coleta, armazenamento e manejo da água da chuva; implantação de barragens subterrâneas e construção de pequenos barramentos (CUNHA *et al.*, 2011).

A escassez da água, seja ela causada por consumo excessivo ou por poluição, encontra solução por meio das ferramentas de conservação. Segundo Lima, Lima e Melo (2007) a conservação é definida como toda e qualquer ação que reduza a quantidade de água extraída da natureza, seu consumo, suas perdas e desperdícios, e que torne seu uso mais eficiente, promovendo sua reciclagem e seu reúso ou prevenindo sua poluição. Contudo, Wan Alwi *et al.* (2008), acrescentam que

a maximização dos resultados dessas ações deve ser obtida por meio do ordenamento destas, conforme a priorização apresentada na Figura 1, que descreve a hierarquia da conservação da água em cinco níveis: (1) eliminação da fonte, (2) redução da fonte, (3) reutilização / terceirização direta de água externa, (4) reúso do efluente tratado, e (5) uso de água doce.

Cada nível representa várias opções de gestão da água. Os níveis são organizados em ordem de preferência, da opção preferida no topo da hierarquia (nível 1) para a de menor preferência no inferior (nível 5). A minimização do uso da água está relacionada com o primeiro ao quarto nível da hierarquia. A eliminação da fonte no topo da hierarquia visa a evitar completamente o uso de água doce. Por vezes, é possível eliminar o uso d'água em substituição a reduzir, reutilizar ou reciclar. Exemplos incluem o uso de meios de resfriamento alternativos, como ar, outras formas de gerar energia (eólica, solar). Mesmo que a eliminação da fonte seja o objetivo final, muitas vezes não é possível eliminar completamente o uso da água doce (WAN ALWI *et al.*, 2008)

Figura 1 - Hierarquia da conservação de água



Fonte: Wan Alwi *et al.* (2008).

O segundo nível foca em reduzir a quantidade de água que está sendo usada na fonte, em determinado equipamento ou processo. Tal medida é denominada redução da fonte, que é a próxima melhor opção na hierarquia do manejo na conservação de água. Exemplos de equipamento de redução na fonte incluem banheiro com economia de água, sistema de descarga e torneira automáticas. Quando não é possível eliminar ou reduzir a água doce na fonte, o tratamento de águas residuárias para reúso deve ser considerado.

Os níveis 3 e 4 na hierarquia representam dois modos diferentes de reciclagem de água, sendo a reutilização direta (nível 3) e reutilização do efluente tratado (nível 4). Reutilização direta pode ser exemplificada pelo uso de água da chuva na limpeza de áreas externas. No entanto, na maioria das aplicações domésticas, o tratamento (nível 4) pode ser necessário antes da reutilização. O tratamento se refere ao tratamento de águas residuárias ou mesmo água de fontes externas (a exemplo dos rios), devido à água destas fontes não apresentar qualidade suficiente para o uso doméstico (WAN ALWI *et al.*, 2008).

É evidente diante de tantas situações de escassez de água, implementar estudos para diminuir o consumo, e também, conservar as fontes tem potencial de trazer benefícios para a vida no planeta, visto que para Silva Junior *et al.* (2014), toda água tratada em uma ETA advém de um sistema natural de onde é retirada, seja qual for a forma de captação, ocorre de imediato uma alteração na natureza, sobretudo no fluxo e volume de água. Os impactos causados pela remoção do recurso hídrico de seu curso natural são variados e relativos a cada local. Entretanto, os danos não se resumem somente à adução, os processos de potabilização da água geram resíduos, dentre os quais o lodo e a ALF.

Di Bernardo *et al.* (2002), afirmam que a maioria das ETA no Brasil descartam esses efluentes diretamente nos corpos hídricos, sendo raras as que realizam tratamento prévio. Tal situação se dá segundo Achon e Cordeiro (2015), devido a maioria das ETA brasileiras terem sido construídas antes das legislações que regulamentam, exigindo licenciamento e planejamento para a disposição dos seus resíduos gerados. Atualmente são possíveis a adequação e o licenciamento corretivo, porém é algo pouco usual.

No Brasil ainda não existe regulamentação específica para o tema do reúso para fins potáveis, muito embora haja discussões e normas sobre o reúso de água não potável, proveniente de estações de tratamento de efluentes –ETE (CERH-MG, 2020). A ALF ainda não é abordada, apesar de que sua recirculação possa ser considerada reúso, e se enquadre no critério de “não potável”. De toda forma, o ponto a se enfatizar é que as ETA são grandes consumidoras de água tratada em seus processos e que o contexto hídrico atual demanda ações consistentes de forma a buscar a redução de perdas, uma vez que o consumo de água tratada no processo que gera a ALF, é elevado.

Neste contexto, o município de Formiga que possui população estimada em 67.956 habitantes (IBGE, 2021), conta com aproximadamente 27.000 economias abastecidas em sua área urbana, onde se estima uma distribuição média de 22.000 m³ de água potável diariamente (SAAE, 2020) e tem sua estação de tratamento ETA I Santa Luzia, responsável pela produção de 62,5% da demanda por água potável, estando o restante a cargo da produção de 25 poços artesianos espalhados pela cidade. A referida ETA é classificada como de ciclo completo, operando com as etapas de captação e adução, coagulação, floculação, decantação, filtração em filtros rápidos descendentes, desinfecção e distribuição.

No serviço autônomo de água e esgoto (SAAE) de Formiga o percentual médio de consumo de água tratada para a retrolavagem de filtros é 380,7 m³/dia o que corresponde a 2,76% do volume médio diário de água tratada. Todo esse efluente é direcionado diretamente para o manancial de origem, o rio Formiga, sem quaisquer tratamentos. O devido rio se enquadra como de classe 2 para o uso em abastecimento público após tratamento convencional, portanto, a ALF para descarte direto no corpo hídrico deve se enquadrar conforme a classe e atendendo à Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG 01 de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Ainda no ano de 2019 deu-se início às obras de construção da unidade de tratamento de resíduos (UTR), que tem previsão de término para o último trimestre de 2021. A estrutura irá receber a ALF separando a água em um tanque sedimentador e alocando o lodo para ser desaguado em leitos de secagem, podendo assim dar destinação correta ao efluente buscando atender à legislação vigente. Com a conclusão do projeto, haverá a possibilidade de recircular o sobrenadante do tanque sedimentador para o início do ciclo convencional de tratamento da água bruta da ETA, ou seja, ainda na calha Parshall.

A recirculação da ALF se embasa na essência da sustentabilidade ambiental. Entretanto, é importante estar atento aos riscos oriundos de tal aplicação. Amâncio *et al.* (2018), concluíram em seu estudo sobre o lodo da ETA de Formiga, que os níveis de metais pesados encontrados estão acima dos limites preconizados pela resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), indicando a necessidade de que uma alternativa fosse adotada para o lançamento deste resíduo no corpo hídrico de origem. Os autores recomendaram que o envio do material para aterro sanitário poderia ser uma

alternativa viável. Estudos dos mesmos parâmetros para a ALF da referida ETA ainda não existem.

Scalizer e Di Bernardo (2000) e Oliveira, Barcelo e Colares (2012) avaliando as ETA de São Carlos/SP e Anápolis/GO, respectivamente, encontraram valores para turbidez, alumínio, ferro solúvel e manganês solúvel na ALF acima dos limites preconizados pela referida legislação federal. Estes estudos são um indicativo dos riscos da alta concentração de metais, neste efluente.

Várias pesquisas têm sido conduzidas para avaliar a capacidade de reúso da ALF recirculando-a no sistema (ARORA; DI GIOVANNI; LECHEVALLIER, 2001; GOTTFRIED *et al.*, 2008; LUSTOSA *et al.*, 2017; PETRIS *et al.*, 2019; WALSH, LAKE, GAGNON, 2008). Ao se realizar a busca por artigos acadêmicos abordando o tema, nota-se que no Brasil o assunto é recente quando comparado ao cenário internacional, sendo o primeiro trabalho a abordá-lo ainda no ano de 1998 (SCALIZER; DI BERNARDO, 1998). Ao se observar o panorama mundial é possível observar que esse tema já avançara ao ponto que em 2001 a Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) publicou o manual de guia técnico para recirculação de ALF, evidenciando as diretrizes e preocupações com a conservação da qualidade da água (USEPA, 2001).

É ainda notória a questão relacionada aos riscos biológicos inerentes à recirculação da ALF, Freitas *et al.* (2010), apontaram que existem riscos associados a protozoários e que a correlação entre turbidez e sua incidência não pôde ser observada, no entanto, afirmam que a utilização da clarificação do lodo com a adição de polímeros reduz os riscos enunciados. Arora, Di Giovanni e Lechevallier (2001) afirmam que uma vazão de recirculação que não ultrapasse 10% do volume de água bruta aduzida é suficiente para minimizar riscos com protozoários. Loret *et al.* (2013), afirmam que a recirculação quando precedida de sedimentação é suficiente para redução dos riscos biológicos a padrões aceitáveis de acordo com a USEPA. Arendze e Sibiyá (2014) concordam quanto à sedimentação e complementam que a recirculação de ALF deve ser monitorada uma vez que os poluentes e contaminantes são retidos nos filtros e acabam por acumular no lodo, o que torna a ALF um efluente de alto risco para o meio ambiente caso o descarte seja feito nos corpos hídricos de

maneira direta. Atualmente a situação da ETA I enquadra-se neste cenário de risco em função do descarte destes resíduos.

Partindo-se então desse cenário, foi avaliada a viabilidade operacional e qualitativa da recirculação de ALF para o sistema de tratamento, aproveitando a oportunidade de se elucidar o potencial reúso da ALF para fins potáveis, o SAAE de Formiga firmou parceria com a pesquisa para o devido objetivo conforme anexo. Haveria um ganho ambiental, uma vez que o processo diminui a demanda de água bruta a ser aduzida. Podem ainda ser atribuídos ganhos sociais, pois ao recircular a água pode-se aumentar a disponibilidade do recurso, contribuindo com a redução da desigualdade no acesso ao recurso, tendo em vista que o sistema de distribuição encontra dificuldade em atender igualmente algumas áreas periféricas em relação à ETA I. É ainda possível avaliar um benefício econômico, se observados os apontamentos de Silva Júnior *et al.* (2014), que constataram redução no custo energético de adução da ALF em comparativo com a água bruta captada no manancial.

2. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A cidade de Formiga situa-se no centro-oeste de Minas Gerais e possui 67.956 habitantes segundo a estimativa do IBGE para 2021 (IBGE, 2021). A autarquia municipal que é responsável pela prestação de serviço de saneamento e abastecimento público é o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

O SAAE de Formiga tem suas dependências administrativas e operacionais situadas no bairro Santa Luzia, região anexa ao centro da cidade, à margem esquerda do rio Formiga, ficando a aproximadamente 2,5 km do ponto de captação de água para tratamento. A ETA I atualmente opera com vazão média diária de 180 L/s aproximadamente, abastecendo (em conjunto com 25 poços artesianos) a 27.000 economias na área urbana do município.

A UTR em construção situa-se anexa à ETA I, conforme apresentada na Figura 2. A recirculação de ALF está projetada para ocorrer diretamente dos dois tanques sedimentadores conjugados, cada um composto de duas subunidades de 25 m² de área em formato de pirâmide invertida e com volume útil total combinado de 340 m³. A ALF será direcionada para um dos tanques, enquanto o outro fica isolado em processo de sedimentação e recirculação, alternando o tanque usado sempre que necessário.

O processo de retrolavagem dos filtros é realizado em função da perda de carga hidráulica e/ou da redução da qualidade da água filtrada; essa condição é regulada pelo Anexo XX da portaria de consolidação 05 GM/MS (BRASIL, 2017) alterada pela portaria GM/MS 888 (BRASIL, 2021) devendo estar abaixo de 0,5NTU, em 95% das amostras analisadas. O processo de retrolavagem pode ser observado na Figura 3, demonstrando seu início e fim, ilustrando a diferença de concentração de sólidos suspensos no efluente no início e final do procedimento, razão da opção por uma amostra composta representativa que contemple a variação das águas residuárias.

Figura 2. Mapa do SAAE de Formiga, destacando a localização dos sedimentadores da UTR, Floculadores e Filtros da ETA I.

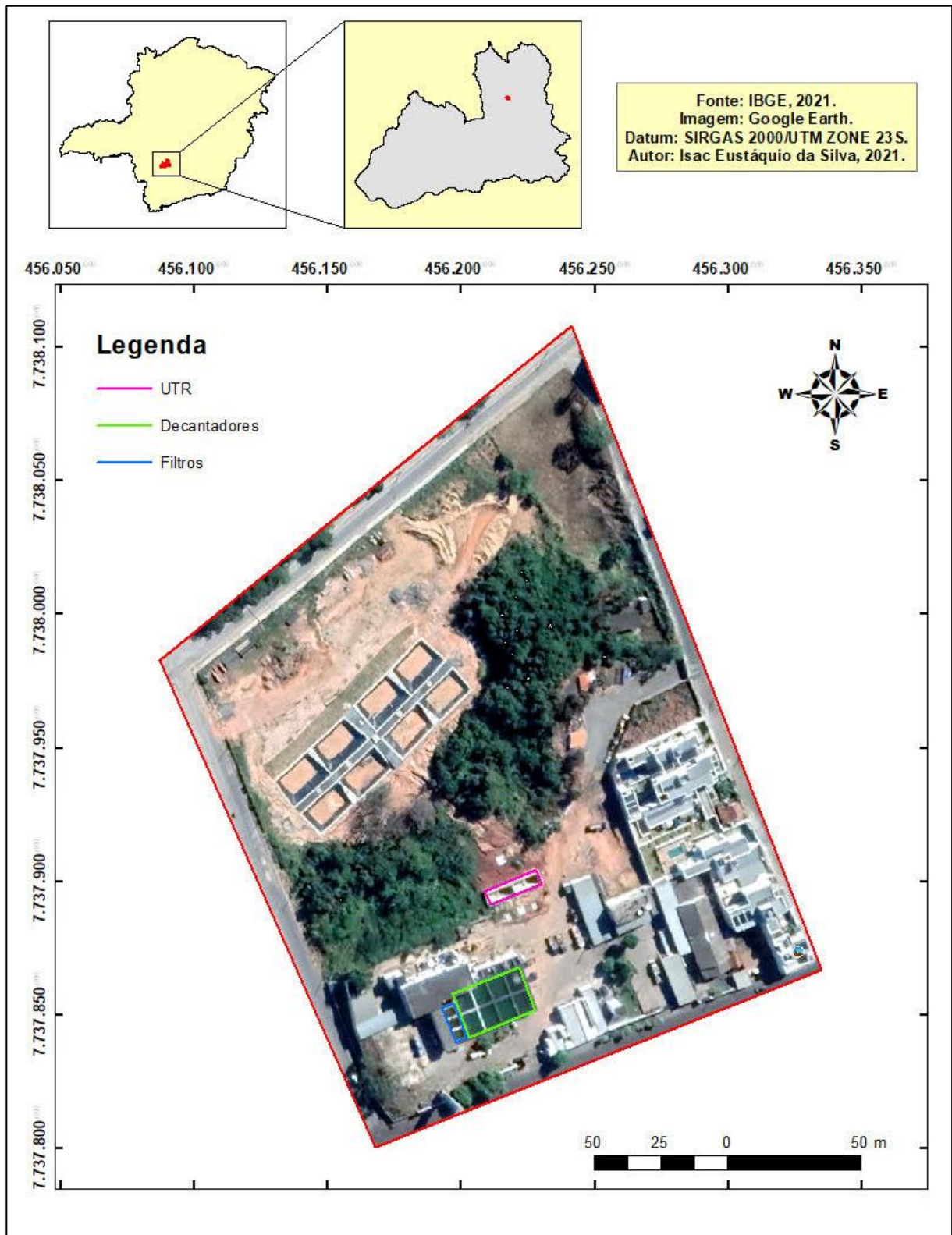


Figura 3 - Fase inicial (A) e final (B) do processo de limpeza dos filtros.



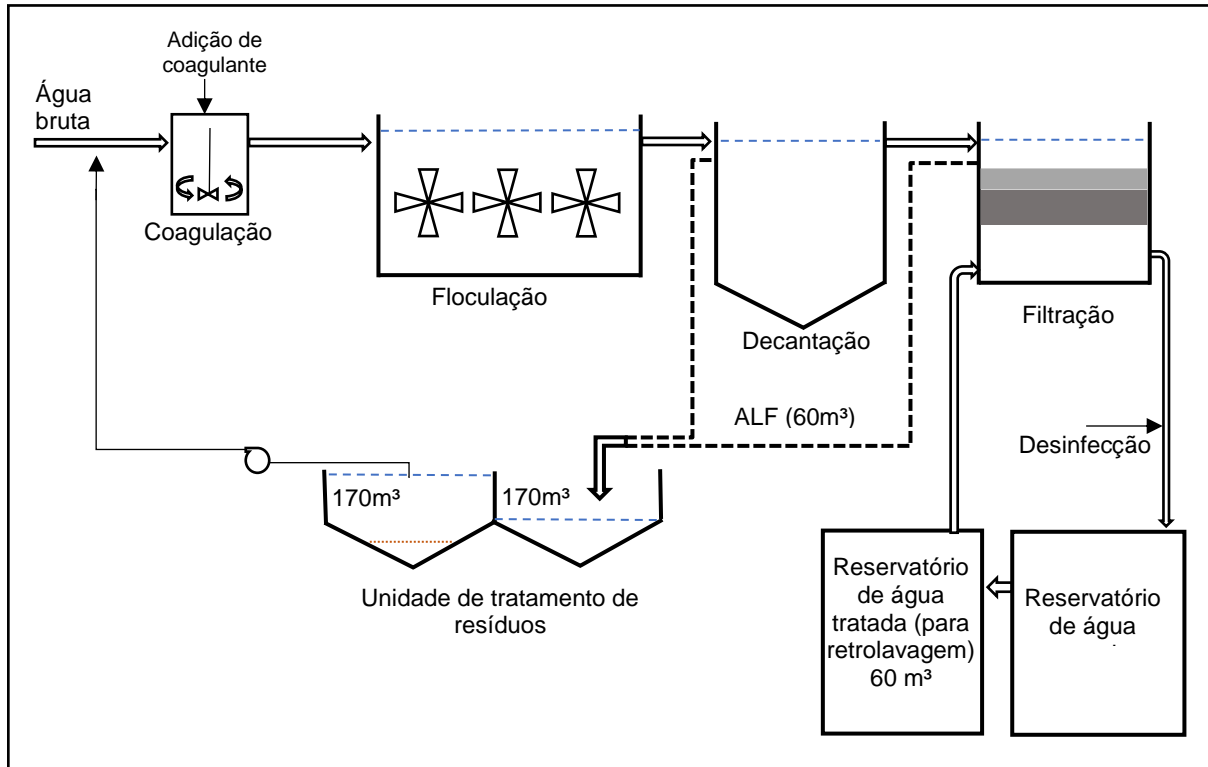
Fonte: O autor, 2021.

A ALF sedimentada será bombeada para a entrada do tanque de mistura rápida, imediatamente após a saída da calha Parshall, neste mesmo ponto é coletada a água que abastece o medidor de corrente contínua, que opera similar a um zetômetro, realizando leituras em tempo real, auxiliando na tomada de decisões quanto à dosagem de coagulante que tem sua concentração controlada por bomba dosadora.

A recirculação poderá ocorrer de forma ininterrupta ou intermitente. Partindo-se do pressuposto de que cada tanque sedimentador possui 170 m^3 , será possível reter o volume de duas lavações de filtro (120 m^3) e o terceiro filtro a ser lavado deverá ter sua ALF alocada para o outro tanque sedimentador. O tempo mínimo necessário aplicado entre um processo de retrolavagem e outro é de aproximadamente 90 minutos, que é o tempo necessário para o bombeamento dos 60 m^3 para o reservatório de água tratada para retrolavagem que está conectado ao sistema de limpeza dos filtros.

A Figura 4 ilustra o ciclo no qual a água passará com a implantação do sistema. A recuperação de ALF sedimentada poderá trazer ganhos de até 106.600 m^3 de água anualmente, partindo-se da média de lavagem anual do período avaliado, e uma taxa de 85% de recuperação de sobrenadante.

Figura 4. Fluxograma de representação da recirculação de ALF dos filtros descendentes rápidos da ETA I.



Fonte: O autor, 2021.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar o processo de recirculação da ALF, previamente sedimentada, em escala de bancada, de modo a produzir informações para nortear a operação da ETA Santa Luzia, Formiga-MG.

3.2 Específicos

- I. Realizar revisão sistemática de literatura acerca do processo de recirculação e seus possíveis impactos na qualidade da água tratada para compreender os fatores de influência para a ALF já estudados.
- II. Caracterizar o sobrenadante da ALF por meio de ensaio de sedimentação de modo a identificar as variações dos parâmetros cor, pH, turbidez, condutividade e SDT dentro do tempo mínimo de intervalo entre as lavagens de filtros da ETA (90 minutos)
- III. Verificar se existe impacto no processo de clarificação em função da adição de 3, 6 e 10% de volume de ALF por meio dos parâmetros cor, pH, turbidez, condutividade e SDT.
- IV. Criar produto técnico sobre o tema no formato artigo técnico de acordo com os resultados obtidos.

Para alcançar os objetivos específicos foi desenvolvida a dissertação em forma de capítulos, desta forma, a organização da dissertação será:

Capítulo I - RISCOS E POTENCIALIDADES ASSOCIADAS À RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE ETA: Uma Revisão Sistemática de Literatura. Atendendo ao objetivo específico I (formatado segundo as normas da revista ESA).

Capítulo II – AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO CONVENCIONAIS. Atendendo aos objetivos específicos II e III.

Capítulo III – ARTIGO TÉCNICO: AVALIAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA DA COAGULAÇÃO. Atendendo ao objetivo específico IV.

CAPÍTULO I

RISCOS E POTENCIALIDADES ASSOCIADAS À RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE ETA: Uma Revisão Sistemática de Literatura

POTENTIALITIES AND RISKS CONNECTED TO FILTER BACKWASH RECYCLE FROM WATER TREATMENT PLANTS: A Systematic Review of Literature

Resumo

O estresse hídrico tem colocado milhares de vidas em risco, e as fontes de reúso de água têm cada vez se tornado mais atrativas e economicamente viáveis. As estações de tratamento de água (ETA) geram grande quantidade de efluentes em seus processos e a recirculação tem sido abordada em muitos países como forma de suprir as demandas por fontes do recurso. Realizou-se uma revisão sistemática de literatura no Google Acadêmico e na *Web of Science*, selecionando artigos que trabalhassem a recirculação da água de lavagem de filtros (ALF) em ETA, nos últimos 10 anos e em língua inglesa; com o objetivo de explorar as potencialidades e riscos deste reúso e 21 artigos atenderam à elegibilidade. Evidenciou-se que o reúso da ALF recirculada em proporção que não ultrapasse 10% da vazão de operação pode ser considerado seguro quanto aos principais riscos encontrados, dentre os quais os subprodutos da desinfecção e os protozoários se destacam. A recirculação tem potencial ainda de trazer benefícios como o aumento da eficiência do processo de coagulação/floculação para águas de baixa turbidez.

Palavras-chave: Protozoários, Recirculação, Subprodutos da desinfecção.

Abstract

Water stress has put thousands of lives at risk, water reuse sources have become increasingly attractive, and economically viable. The water treatment plants (WTP) generate large amounts of spent waters in their processes, the recirculation of these effluents has been approached in many countries as a way to meet the demands for resource sources. A systematic literature review was carried out on Scholar google and on the Web of Science, selecting articles that worked on filter backwash water (FBW) recirculation in WTP, in the last 10 years and in English, with the aim of exploring the potentials and risks of this reuse and 21 articles met eligibility. It was evident that the reuse of recirculated FBW in a proportion that does not exceed 10% of the operation flow rate can be considered safe as to the main risks found, among which the disinfection by-products and protozoa stand out. Recirculation also has the potential to bring benefits like an increase of efficient to the coagulation/flocculation process for low turbidity waters.

Keywords: Disinfection By-Products, Protozoa, Recirculation.

1. INTRODUÇÃO

A Unesco alertou em seu Relatório Mundial sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2021, que no ano de 2018 mais de dois bilhões de pessoas já viviam em áreas de estresse hídrico no mundo (UNESCO, 2021). Escassez de água com qualidade, custos crescentes de gestão e o impulso para a sustentabilidade ambiental têm incentivado esforços de conservação, estimulando o desenvolvimento de técnicas de minimização do consumo e seu uso (WAN ALWI *et al.* 2008).

Para o consumo humano há a necessidade de se garantir a segurança físico-química e biológica da água. Para tal, estações de tratamento (ETA) são utilizadas para que, por meio de variados processos e operações unitárias se assegurem padrões mínimos de qualidade. Existem atualmente várias tecnologias empregadas no tratamento de água para cada demanda específica de consumo. ETAs são projetadas para atender demandas específicas de cada localidade, e o processo de filtração é, na maioria dos casos, a fase final de remoção de material particulado das ETAs. Os filtros demandam manutenção periódica de modo a manter a qualidade e continuidade do processo. Dessa forma, realiza-se a retrolavagem, que é o procedimento rotineiro empregado para remoção do material particulado acumulado nas sucessivas camadas de filtração e recuperação de carga hidráulica.

O procedimento de retrolavagem gera água de lavagem de filtros (ALF) que, em geral, é descartada nos mananciais sem tratamento e acarreta riscos elevados ao ambiente. Wang *et al.* (1973), relataram uma pesquisa com 1700 ETAs nos Estados Unidos, onde 93% destas dependiam do descarte da ALF nos mananciais. Situações similares ainda ocorrem no Brasil, onde grande parte dos municípios destina a ALF diretamente aos cursos d'água sem qualquer tipo de tratamento, processo esse que pode acarretar danos ao meio ambiente, uma vez que este efluente concentra todas as impurezas da água bruta e derivados dos coagulantes (PARSEKIAN, 1998). Isso é preocupante devido à possibilidade de que esses resíduos contenham patógenos (ARORA, DI GIOVANNI & LECHEVALLIER, 2001; SILVA & SABOGAL-PAZ, 2020), subprodutos da desinfecção (CHEN *et al.*, 2016; MCCORMICK, PORTER & WALSH, 2010; WALSH *et al.*, 2008) metais pesados (MAHDAVI *et al.*, 2018; REISSMANN & UHL 2006) e partículas desestabilizadas (GOTTFRIED *et al.*, 2008; LI *et al.*, 2018).

O processo de se recircular a ALF no sistema de tratamento tem sido abordado internacionalmente. Em 2001, os Estados Unidos publicaram sua primeira legislação específica para o tema, a “Regra de recirculação de água de lavagem de filtros”, (FBRR do Inglês)

(USEPA, 2001), com ênfase nos cuidados que devem ser tomados para a adoção do processo. No Brasil, até a presente data, não há regulamentação específica para o reúso de ALF, sequer diretrizes sobre o tema.

Neste contexto, buscou-se avaliar as informações científicas internacionais quanto ao processo, os índices de segurança, os riscos potenciais e os benefícios do reúso da ALF por recirculação no sistema de tratamento das ETAs de ciclo completo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada segue os *principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises* (PRISMA) que apresenta 27 passos a serem seguidos para a construção de uma revisão sistemática nas diretrizes da recomendação (PAGE *et al.*, 2021). Todos os itens possíveis foram seguidos para esta pesquisa. A pergunta motivadora da revisão foi: Quais são as vantagens e riscos associados à recirculação de ALF já abordadas na literatura científica?

Para a realização do estudo foram definidas duas ferramentas para as buscas de dados, sendo elas a Web of Science (WOS) e o Scholar Google (SG). A escolha teve como fundamento o princípio do uso de uma ferramenta privada e de acesso institucional, e outra gratuita e acessível a qualquer pesquisador.

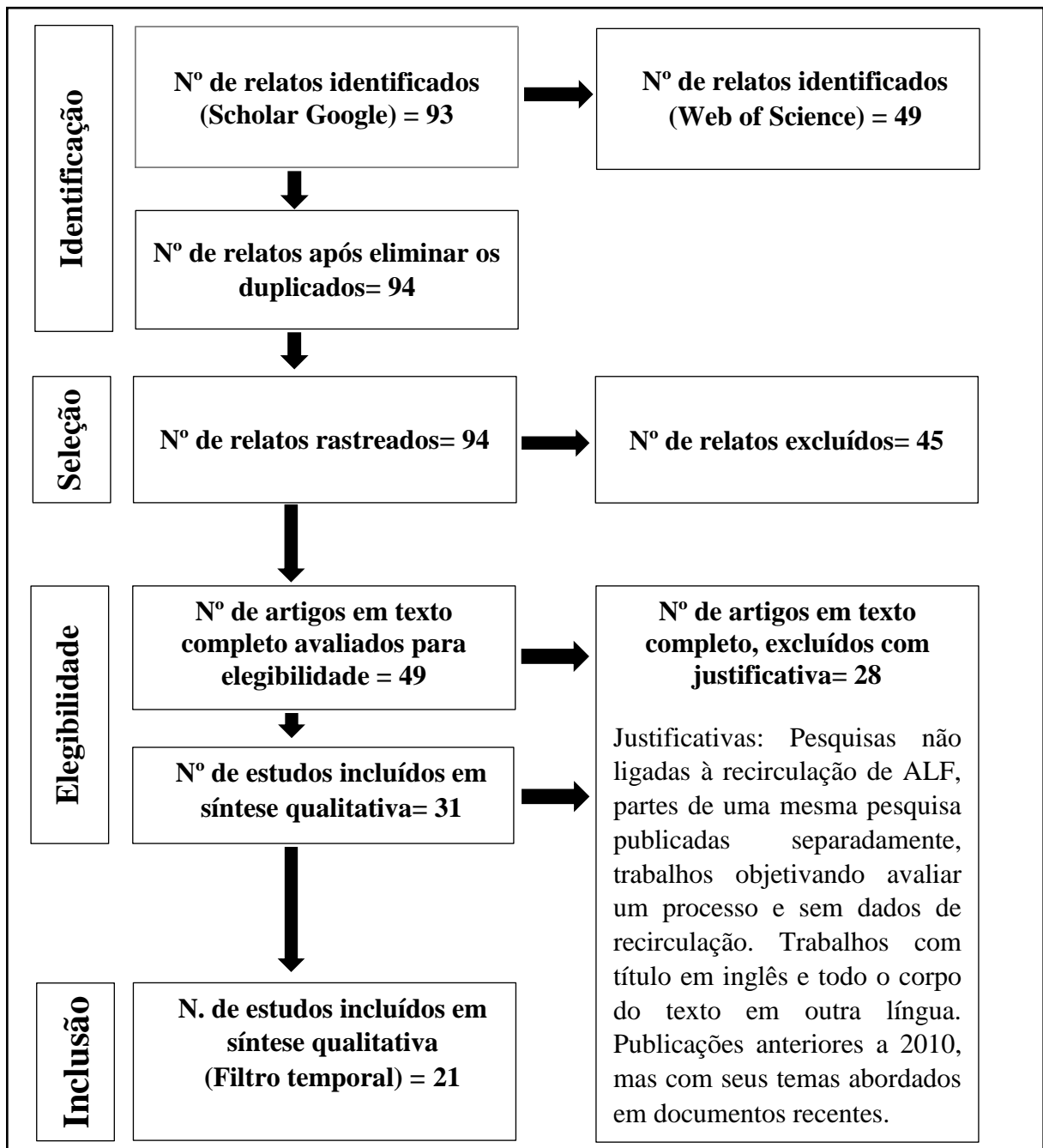
Após a definição das bases de dados, foram definidos os critérios de elegibilidade do estudo, sendo eles: Artigos científicos revisados por pares, de língua inglesa e que abordassem a temática de recirculação de água de filtros em estações de tratamento de água para consumo humano. Desta forma, realizou-se um teste com os termos “*Filter backwash water*” e “*water treatment plant*” acrescidos do operador booleano AND e “*use OR reuse OR recycling*” com a devida expressão. É importante ressaltar que a opção de não incluir citações e patentes foi marcada.

Na plataforma WOS, realizou-se busca avançada com a opção de pesquisa em todas as bases de dados, usando o rótulo de campo “TI=” que retorna resultados para título. No SG, os termos de busca foram utilizados precedidos da expressão “*Intitle:* ”. As buscas foram realizadas sem a aplicação de um filtro temporal, e logo após primeira avaliação optou-se por realizar a inclusão, levando-se em consideração somente as publicações dos últimos 10 anos, por entender que os artigos elegíveis nas etapas prévias e publicados anteriormente a 2010 têm seus temas expostos nos demais trabalhos inclusos e temporalmente mais atuais.

Passou-se a etapa de avaliação de títulos e resumos de cada um dos artigos, a fim de compor o banco de dados desta pesquisa, com aqueles considerados pertencentes aos critérios

de elegibilidade adotados. Os títulos de todos os artigos e a ordem que se apresentaram em ambas as bases foram registrados. O processo de seleção e elegibilidade é ilustrado na Figura 1, com os detalhes de cada uma das etapas e os resultados dos trabalhos inclusos em cada etapa.

Figura 1. Fluxograma descritivo da metodologia adaptada da recomendação PRISMA para seleção e elegibilidade dos artigos para o estudo.



Fonte: Elaborado pelos Autores, adaptado de Page *et al.* (2021)

Os textos completos que passaram pelas etapas anteriores foram baixados e numerados conforme a ordem em que foram dispostos nas plataformas de busca, e passou-se à fase de leitura completa dos artigos pré-selecionados. O banco de dados foi então ordenado conforme a Tabela 1, de modo estabelecer grupos aos quais os trabalhos se encaixariam e a categorizar os conhecimentos publicados até então, objetivando a melhor análise dos conteúdos. Características como o país de origem da pesquisa e os principais aspectos relevantes ao tema de reuso da ALF foram realçados para análise posterior.

Os arquivos foram inseridos no software livre zotero, disponibilizado pela Universidade de George Mason (2021), para composição do banco de referências e citações bem como para análises diversas.

Tabela 1. Categorias e critérios usados para seu enquadramento.

Categoria	Características para enquadramento	Ocorrências
Processos	Artigos científicos com objetivos diretamente ligados à análise ou monitoramento de parte ou todo um processo, diretamente envolvido com o tema.	10
Riscos	Trabalhos com objetivos direcionados à avaliação de um risco diretamente associado ao reuso de ALF	5
Tecnologias	Trabalhos com objetivos de avaliação de tecnologias empregadas no tratamento e recirculação de ALF	3
Processo/Riscos	Trabalhos com objetivos de avaliação de riscos, mas diretamente relacionados à avaliação de um processo	3

Fonte: Os autores, 2021

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 exibe os resultados do processo de seleção com todos os trabalhos selecionados, os periódicos de origem, seu fator de impacto e o Qualis-Capes para o quadriênio de 2013 a 2016, na área de Ciências Ambientais.

Quadro 1 - Artigos científicos inseridos na revisão sistemática.

Autores do trabalho	Ano	Periódico	Fator de impacto	Qualis capes
MD SHAFIQUZZAMAN <i>et al.</i>	2018	Water	2.544	A2
LORET <i>et al.</i>	2013	Water Practice and Technology	NA	B1
MANSOORIAN <i>et al.</i>	2016	Archives of Hygiene Sciences	NA	NA
MCCORMICK; PORTER & WALSH	2010	Water Research	9.130	A1
SUMAN; SINGH & SULEKH	2012	Research Journal of Chemical Sciences	NA	NA
ZHOU <i>et al.</i>	2015	Desalination and Water Treatment	0.854	B1
HOU; LIN & CHEN	2016	RSC Advances	3.119	A1
CHEN <i>et al.</i>	2016	Journal of Environmental Sciences	3.556	A2
SILVA & SABOGAL-PAZ	2020	Water, Air, & Soil Pollution	1.900	A2
ARENDZE & SIBIYA	2014	Journal of Water Reuse and Desalination	2.000	B1
QIAN <i>et al.</i>	2020	Water Research	9.130	A1
EBRAHIMI <i>et al.</i>	2017	Environmental Monitoring and Assessment	1.903	A2
LI <i>et al.</i>	2018	Environmental Science: Water Research & Technology	3.449	NA
MAHDAVI <i>et al.</i>	2018	Journal of Water Reuse and Desalination	2.000	B1
DAVARPANA & ABDOLLAHZADEH SHARGHI	2019	International Journal of Engineering	NA	NA
PETRIS <i>et al.</i>	2019	Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science	0.23	A2
OSOULEDDINI <i>et al.</i>	2017	Eurasian Journal of Analytical Chemistry	0.165	NA
HUANG <i>et al.</i>	2010	Water Science and Technology	1.638	B1
JIBHAKATE <i>et al.</i>	2017	International Journal of Engineering Research and Applications	NA	NA
FOUAD; EL-HEFNY & MOHAMED	2016	International Journal of Civil Engineering and Technology	0.285	NA
ĆURKO <i>et al.</i>	2013	Desalination and Water Treatment	0.854	B1

Fonte: Os autores, 2021. NA = não avaliado.

O primeiro relato observado na literatura que atende aos critérios iniciais de elegibilidade é de Wang *et al.* (1973), e é citado, apesar da data de publicação, apenas para relatar os pioneiros do tema estudado em conformidade com os critérios adotados a exceção da norma temporal estabelecida. O referido trabalho trata-se de um estudo de bancada da recirculação continuada de ALF. Como resultados do estudo, os autores trazem os benefícios de solução ambiental (uma vez que a ALF pode ser recuperada ao sistema); há ganho de uma fonte extra de água para tratamento, redução no tempo de sedimentação e diminuição de perda de carga nos filtros. Os referidos autores trazem, entretanto, o relato de que o processo acarreta aumento do consumo de coagulante, o que é oposto aos resultados da pesquisa de Suman, Singh e Sulekh (2012) que relatam redução de consumo de sulfato de alumínio pelo uso de ALF, contudo, não quantificam valores.

3.1. Riscos do reúso da ALF observados na literatura

Quanto aos riscos do reúso da ALF recirculada no sistema, a possibilidade da presença de protozoários nos sedimentos retidos nos filtros é consenso, uma vez que esses microrganismos são responsáveis por doenças de veiculação hídrica como giardíase, amebíase e criptosporidiose, de forma que a Legislação americana (USEPA, 2001) aborda os riscos do aumento da carga de oocistos de *Cryptosporidium* pelo processo e é usada como referência por alguns autores. Silva e Sabogal-Paz, (2020) apontam em seu estudo que a ozonização pode ser usada para o tratamento da ALF e total inativação dos oocistos, entretanto afirmam que a sensibilidade dos métodos de detecção deve ser aumentada para garantir a segurança necessária.

Loret *et al.* (2013), afirmam que *Cryptosporidium* é o organismo que representa maior risco em processos de recirculação e que o processo de sedimentação com ou sem adição de coagulantes é suficiente para manter os riscos dentro de limites aceitáveis para a USEPA, porém, ressaltam que a recirculação de ALF sem etapa de sedimentação (emprego de filtração direta ou ultrafiltração usada sozinha), gera risco para o consumidor.

Ainda quanto aos riscos da recirculação de ALF, são descritos os produtos secundários da desinfecção (DBP, original do inglês), (MCCORMICK; PORTER & WALSH, 2010; QIAN *et al.* 2020) nos quais destacam-se os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) e os subprodutos nitrogenados, todos formados em função do contato da matéria orgânica (MO) disponível com o cloro residual presente na água usada na lavagem dos filtros (QIAN *et al.*, 2020). Dois trabalhos categorizados como do grupo de riscos abordam a genotoxicidade

relacionada aos DBP (CHEN *et al.*, 2016; HOU; LIN & CHEN 2016), reforçando a caracterização destes compostos como um risco quanto à recirculação de ALF. Qian *et al.* (2020) afirmam em seu trabalho que os riscos de subprodutos nitrogenados (SN) não devem ser ignorados, uma vez que sua genotoxicidade e citotoxicidade são maiores que nos THM. Estes autores relatam que os brometos promovem a SN mais tóxicos, e que a concentração de brometos encontrada na ALF é superior à da água bruta, evidenciando que estes compostos devem ser monitorados com especial atenção no processo de recirculação.

Os relatos de aumento dos níveis de THM podem ser minimizados caso o volume recirculado não ultrapasse 10% da vazão de trabalho (MCCORMICK; PORTER & WALSH, 2010). Estes mesmos autores afirmam que a ausência de cloro nos processos anteriores à filtração é fator determinante para que os níveis de THM não ultrapassem os limites aceitáveis e relatam ainda que os processos de remoção de MO devem ser eficientes. Zhou *et al.* (2015), apontam que o uso de 2 a 5% de ALF recirculada impacta positivamente na remoção de MO no tratamento convencional, quando a água bruta utilizada é de baixa turbidez. Os autores atribuem a remoção de MO ao aumento dos sítios de contato entre as moléculas e a presença de partículas desestabilizadas na ALF. Suman, Singh e Sulekh, (2012) corroboram a afirmação, entretanto, apontam ser 7% a melhor proporção de vazão de recirculação para a remoção de MO. Estes, concluíram que os processos de coagulação, floculação e sedimentação são positivamente impactados pela reciclagem de ALF, confirmando em Jar-test reduções de MO e turbidez quando a ALF é recirculada para ponto antes do início do processo de coagulação.

Assim, de acordo com os autores, pode-se obter a segurança quanto aos THM ao mesmo tempo em que se aumenta a eficiência de remoção de MO, desde que observada a vazão de recirculação de até 10% em proporção ao volume tratado.

O aumento do tamanho dos flocos quando usada a ALF em água bruta de baixa turbidez (SUMAN; SINGH & SULEKH 2012) é um dos resultados que evidenciam que, em vez de aumentar a dosagem de coagulante para a máxima remoção de MO e turbidez, o reúso de ALF poderia ser empregado para a obtenção desses resultados por conter partículas desestabilizadas.

É importante avaliar, no entanto, que o conceito de baixa turbidez é relativo. Os valores de 20~40 NTU são relatados por Suman, Singh e Sulekh (2012); Qian *et al.* (2020), adotaram o mesmo termo para 3,5~5 NTU como sendo valores de baixa turbidez. A realidade de cada local deve ser levada em consideração para adoção de avaliações baseadas nesses termos.

A pesquisa de Li *et al.* (2018), abordou outro aspecto de risco da ALF que é a presença de pesticidas, pois estes compostos segundo os autores têm baixa ou nenhuma remoção em processos convencionais de tratamento de água. A recirculação de ALF demonstrou não impactar negativamente na concentração de pesticidas na água filtrada, as quais se mantiveram iguais ou levemente abaixo da concentração observada na água bruta para o estudo, evidenciando que o processo não acarreta riscos para o aumento desses compostos.

Mahdavi *et al.* (2018), abordaram outro risco que é a possibilidade de aumento dos níveis de metais pesados na água tratada ao recircular ALF no sistema de tratamento. Os autores abordam o uso de cloreto férrico de polialumínio (PAFC) e cloreto de ferro (FeCl_3) como coagulantes primários para a coagulação direta da ALF seguida de clarificação e a utilização do processo de ultrafiltração, relatando que o PAFC apresenta melhor resultado na redução de metais pesados e microrganismos do grupo coliforme.

Jibhakate *et al.* (2017), avaliaram um processo piloto de tratamento da ALF com uso de PAFC como coagulante passando aos processos de floculação, sedimentação e aeração. Em seu estudo os autores utilizaram de 2 a 2,5 horas de tempo de detenção nos tanques sedimentadores e avaliaram o processo nas estações de seca e chuvosa, relatando diferenças na qualidade da ALF nos dois períodos avaliados, expressos pela variação de 102 a 42 NTU de turbidez para verão e inverno respectivamente.

Ebrahimi *et al.* (2017), avaliaram o tratamento da ALF com o emprego do processo de sedimentação primária, coagulação, floculação, sedimentação secundária e ultrafiltração, com o comparativo do uso de PAFC com FeCl_3 . O estudo corrobora com o já afirmado de que a recirculação de ALF não causa elevação do consumo de coagulantes, e complementa que o uso de PAFC impacta positivamente na remoção de MO causando um melhor desempenho da membrana de ultrafiltração.

3.2. PROCESSOS E TECNOLOGIAS APLICADOS À ALF

A vazão de recirculação é um tópico relevante abordado em vários estudos incluídos neste trabalho. Proporções de recirculação de ALF da ordem de 2 a 40% foram observadas (ARENDEZ & SIBIYA, 2014; FOUAD; EL-HEFNY & MOHAMED, 2016; HOU; LIN, e CHEN, 2016; LORET *et al.*, 2013; MCCORMICK; PORTER & WALSH, 2010; QIAN *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2015). Entretanto, é importante ressaltar que são abordados vários objetivos inerentes ao processo, tais como eficiência de clarificação/coagulação, remoção de MO,

redução do uso de coagulantes e impacto no balanço de massa para os principais riscos. De modo geral, valores de proporção de recirculação de ALF superiores a 10% são abordados somente quanto a avaliação da eficiência de processos como a coagulação e a sedimentação (FOUAD; EL-HEFNY & MOHAMED, 2016).

Osouleddini *et al.* (2017), avaliaram o uso do processo de microfiltração para o reúso de ALF, sob diferentes tamanhos de poro de membrana. Segundo os autores, a técnica é eficiente na remoção de microrganismos como algas e crustáceos, e apresenta 44,78% de eficiência de remoção de turbidez, sendo a membrana de 18 μm considerada a alternativa econômica. Entretanto, os autores relatam que os resultados comparativos demonstraram que o uso de tanques sedimentadores revelou melhor qualidade da água filtrada quando comparado às membranas rejeitando a hipótese levantada de substituição dos filtros de areia.

Huang *et al.* (2010), também estudaram a microfiltração, e relataram que a sedimentação prévia da ALF piora a eficiência da membrana, uma vez que o processo acaba por manter na água somente as partículas de tamanho inferior a 1 μm . Quando o material particulado presente é menor que o diâmetro das membranas, ocorre o bloqueio irreversível dos poros e, conseqüentemente, a redução da eficiência. Os autores relataram que a sedimentação com o uso de coagulantes em dosagem ótima de forma a atingir a neutralização total das cargas (onde o potencial zeta esteja próximo de 0) melhora a eficiência do processo de microfiltração, relatando 99,99% de eficiência na redução de turbidez.

O diâmetro de poros de membrana na pesquisa de Huang *et al.* (2010) é 10 vezes menor (0,5 μm) do que a membrana usada por Osouleddini *et al.* (2017), (5 μm). Čurko *et al.* (2013), também pesquisaram a eficiência de membranas no tratamento de ALF, todavia, no processo de ultrafiltração, empregando membranas de 0,04 e 0,05 μm , relatando valores similares de turbidez aos obtidos por Huang *et al.* (2010).

Os trabalhos caracterizados como pertencentes ao grupo de tecnologias discutem a eletrocoagulação (DAVARPANA & ABDOLLAHZADEH SHARGHI, 2019; MANSOORIAN *et al.*, 2016) e o uso de membrana cerâmica de baixo custo (MD SHAFIQUZZAMAN *et al.* 2018), sendo que o objetivo central das pesquisas foi a avaliação da redução de turbidez da ALF, resultados na ordem de 98,4% e 99% de remoção foram alcançados para a eletrocoagulação e a membrana cerâmica, respectivamente. Os referidos trabalhos abordam somente a temática do processo, sem discussões a respeito do impacto nos

parâmetros de ordem biológica, entretanto, recomendam que o efluente filtrado seja submetido a processo de desinfecção antes que seja recirculado na estação de tratamento.

Arendze e Sibiya (2014) realizaram estudo comparativo entre os processos de sedimentação com e sem o uso de coagulantes e o emprego de flotação por ar dissolvido com floculação prévia. Os autores relatam que o processo de sedimentação da ALF mesmo sem coagulação prévia, por tempo superior a 4 horas tem potencial de remoção de 96,9% de turbidez e apresenta o melhor custo/benefício quando comparado aos outros cenários testados. O estudo aponta que para estações com área suficiente, a construção de tanques sedimentadores é uma alternativa eficiente e economicamente viável, mas reforça a necessidade da ALF ser tratada separadamente, de modo a reduzir os riscos de reintrodução de contaminantes no sistema de tratamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais riscos abordados na literatura são os DBP e os protozoários.

O volume máximo de recirculação de ALF mais observado quanto à segurança do processo é 10% proporcional à vazão de tratamento. Esta proporção conjuga benefícios de remoção de fatores de risco quanto à formação de DBP com redução de risco biológico.

A recirculação de ALF traz maior eficiência aos processos de coagulação e floculação em águas de baixa turbidez.

O uso de tanques sedimentadores apresenta ser a alternativa mais econômica e prática, aliando custo e eficiência de remoção de material particulado, sendo necessário observar o tempo mínimo de sedimentação, que pode variar em função das características da ALF.

5. REFERÊNCIAS

- ARENDEZE, S.; SIBIYA, M. Filter backwash water treatment options. *Journal of Water Reuse and Desalination*, v. 4, n. 2, p. 85–91, 1 jun. 2014.
- ARORA, H.; DI GIOVANNI, G.; LECHEVALLIER, M. SPENT filter backwash water CONTAMINANTS AND TREATMENT STRATEGIES. *Journal - American Water Works Association*, v. 93, n. 5, p. 100–112, maio 2001.
- CHEN, T. *et al.* Evaluation of drinking water treatment combined filter backwash water recycling technology based on comet and micronucleus assay. *Journal of Environmental Sciences*, v. 42, p. 61–70, abr. 2016.
- ĆURKO, J. *et al.* Treatment of spent filter backwash water from drinking water treatment with immersed ultrafiltration membranes. *Desalination and Water Treatment*, v. 51, n. 25–27, p. 4901–4906, jul. 2013.
- EBRAHIMI, A. *et al.* Hybrid coagulation-UF processes for spent filter backwash water treatment: a comparison studies for PAFCl and FeCl₃ as a pre-treatment. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 8, p. 387, ago. 2017.
- FOUAD, H. A.; EL-HEFNY, R. M.; MOHAMED, M. A. REUSE OF SPENT FILTER BACKWASH. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, p. 12, 2016.
- GOTTFRIED, A. *et al.* Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes. *Water Research*, v. 42, n. 18, p. 4683–4691, nov. 2008.
- HOU, B.; LIN, T.; CHEN, W. Evaluation of a drinking water treatment process involving directly recycling filter backwash water using physico-chemical analysis and toxicity assay. *RSC Advances*, v. 6, n. 80, p. 76922–76932, 2016.
- HUANG, C. *et al.* Recycling of spent filter backwash water using coagulation-assisted membrane filtration: effects of submicrometre particles on membrane flux. *Water Science and Technology*, v. 61, n. 8, p. 1923–1929, 1 abr. 2010.
- JIBHAKATE, M. L. *et al.* Reuse & Recirculation of Filter Backwash Water of Water Treatment Water. *International Journal of Engineering Research and Applications*, v. 07, n. 04, p. 60–63, abr. 2017.
- L. DAVARPANAH; E. ABDOLLAHZADEH SHARGHI. Performance of Continuous Electrocoagulation Process for Turbidity Removal from Sand Filter Backwash Water. *International Journal of Engineering*, v. 32, n. 12, dez. 2019.
- LI, W. *et al.* Influence of spent filter backwash water recycling on pesticide removal in a conventional drinking water treatment process. *Environmental Science: Water Research & Technology*, v. 4, n. 7, p. 1057–1067, 2018.
- LORET, J. F. *et al.* Assessment and management of health risks related to the recycling of filter backwash water in drinking water production. *Water Practice and Technology*, v. 8, n. 2, p. 166–179, 1 jun. 2013.

- MAHDAVI, M. *et al.* Metals, heavy metals and microorganism removal from spent filter backwash water by hybrid coagulation-UF processes. *Journal of Water Reuse and Desalination*, v. 8, n. 2, p. 225–233, 1 jun. 2018.
- MANSOORIAN, H. J. *et al.* Assessment of a Continuous Electrocoagulation on Turbidity Removal from Spent Filter Backwash Water. *Archives of Hygiene Sciences*, v. 5, n. 2, p. 9, 2016.
- MCCORMICK, N. J.; PORTER, M.; WALSH, M. E. Disinfection by-products in filter backwash water: Implications to water quality in recycle designs. *Water Research*, v. 44, n. 15, p. 4581–4589, ago. 2010.
- MD SHAFIQUZZAMAN *et al.* Application of a Low Cost Ceramic Filter for Recycling Sand Filter Backwash Water. *Water*, v. 10, n. 2, p. 150, 3 fev. 2018.
- OSOULEDDINI, N. *et al.* Re-use of Spent Filter Backwash Water by Micro strainer in Water Treatment Plants. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, v. 12, n. 5b, p. 599–606, 5 jul. 2017.
- PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, p. n71, 29 mar. 2021.
- PARSEKIAN, M. P. S. *Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do Estado de São Paulo*. Mestrado em Hidráulica e Saneamento—São Carlos: Universidade de São Paulo, 31 jul. 1998.
- PETRIS, A. *et al.* Physicochemical, microbiological and parasitological characterization of the filter backwash water from a water treatment plant of Blumenau - SC and alternatives for treatment and reuse. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 14, n. 3, p. 1, 20 maio 2019.
- QIAN, Y. *et al.* Haloacetonitriles and haloacetamides precursors in filter backwash and sedimentation sludge water during drinking water treatment. *Water Research*, v. 186, p. 116346, nov. 2020.
- REISSMANN, F. G.; UHL, W. Ultrafiltration for the reuse of spent filter backwash water from drinking water treatment. *Desalination*, v. 198, n. 1–3, p. 225–235, out. 2006.
- SILVA, H. G.; SABOGAL-PAZ, L. P. Filter Backwash Water and Floated Residue Containing Pathogenic Protozoa: Detection Method and Treatment Alternatives. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 231, n. 3, p. 129, mar. 2020.
- SUMAN, S.; SINGH, N. P.; SULEKH, C. Effect of Filter Backwash Water when blends with Raw Water on Total Organic Carbon and Dissolve Organic Carbon Removal. *Research Journal of Chemical Sciences*, v. 2, p. 5, 2012.
- UNESCO. *Valuing Water*. The United Nations World Water Development Report 2021. Disponível em: <http://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en> >. Acesso em: 15 jun. 2021.

USEPA. **Filter Backwash Recycling Rule (FBRR)**. United States Environmental Protection Agency. 66 FR, vol. 66, n. 111, 8 de Jun, 2001. Disponível em: <https://www.epa.gov/nscep>. Acesso em 29 jul. 2021.

WALSH, M. E. *et al.* Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water. **Water Research**, v. 42, n. 8–9, p. 2135–2145, abr. 2008.

WAN ALWI, S. R. *et al.* A holistic framework for design of cost-effective minimum water utilization network. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 2, p. 219–252, jul. 2008.

WANG, L. K. *et al.* Continuous Pilot Plant Study of Recycling of Filter Backwash Water. **Journal (American Water Works Association)**, v. 65, n. 5, p. 355–358, 1973.

ZHOU, Z. *et al.* Effect of recycling filter backwash water on characteristic variability of dissolved organic matter in coagulation sedimentation process. **Desalination and Water Treatment**, v. 53, n. 1, p. 48–56, 2 jan. 2015.

Zotero. **Documentation**. Disponível em: <https://www.zotero.org/support>. Acesso em: 20 out. 2021.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO CONVENCIONAIS

Resumo

A escassez de água é um problema que afeta 4 bilhões de pessoas no mundo, realizar o reúso pode ser uma alternativa para os problemas enfrentados com a demanda crescente. As ETA são geradoras de uma quantidade expressiva de águas residuárias em seus processos, a maior parte delas em forma de ALF. A recirculação desse efluente tem sido pesquisada em muitos países, de forma a garantir uma fonte extra de recurso. Desta forma, buscou-se avaliar quais são os impactos desse processo nas etapas de coagulação/floculação e sedimentação. Foram realizadas coletas de amostras sequenciais de ALF dos 4 filtros da ETA da cidade de Formiga – MG, entre os meses de abril a junho de 2021, as amostras foram submetidas a ensaio de sedimentação e o sobrenadante avaliado e usado em ensaio de tratabilidade com adição de ALF em proporção de 3, 6 e 10% da água bruta em Jar-Test, além de um tratamento controle. O ensaio de tratabilidade demonstrou que a adição de ALF nas proporções avaliadas não impacta negativamente na coagulação/floculação e sedimentação, a proporção de 10% de adição de ALF demonstrou aumentar a eficiência da coagulação no cenário estudado. Desta forma conclui-se que recircular a ALF no sistema de tratamento não acarreta prejuízo aos processos e que existe a possibilidade de aumento na eficiência da coagulação caso seja recirculada proporção de 10% de ALF.

1. INTRODUÇÃO

Há mais de 4000 anos já era relatado na Índia a importância de tratar a água para consumo humano (USEPA, 1990). A água tem significância vital, e sua potabilização é necessária para que se diminuam os riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica para as populações humanas.

As tecnologias de tratamento têm evoluído em busca de atender à demanda cada vez maior de eficiência nos processos de remoção de impurezas na água para fins de consumo humano. Com o aumento observado no consumo de água de 1% ao ano, segundo a UNESCO (2021) a disponibilidade do recurso tem se tornado cada vez mais escassa.

O Brasil é, segundo Richter e Azevedo Neto (1991), pioneiro no que hoje é empregado em todo o mundo em termos de tecnologia de tratamento. Segundo estes autores, em 1880 foi construído, na cidade de Campos, no Rio de Janeiro, a primeira instalação com emprego de filtros rápidos. As ETAs são parte fundamental do processo contínuo de cuidado com a saúde humana e do meio ambiente.

A escassez de água é um problema que afeta 4 bilhões de pessoas no mundo por pelo menos um mês no ano (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016). Soluções para a redução e racionalização são importantes, bem como o reúso de águas residuárias. Segundo Qadir *et al.* (2020), cerca de 380 bilhões de metros cúbicos de água podem ser recuperados anualmente dos esgotos.

No Brasil, segundo o IBGE (2021), são distribuídos aproximadamente 43,6 milhões de metros cúbicos de água tratada por dia. Segundo a USEPA (2002), são gerados aproximadamente de 3 a 6% do volume total de água tratada em forma de ALF. Se os percentuais mínimos de geração de ALF fossem calculados com base na distribuição de água tratada segundo o IBGE, ter-se-ia uma geração diária de 1,31 milhões de metros cúbicos de ALF.

Neste contexto, foi testada a hipótese de que a adição de ALF em proporção de 3%, 6% e 10% de recirculação não acarreta alterações nos processos iniciais de clarificação, ou seja, a coagulação/floculação e a sedimentação avaliados por meio dos parâmetros cor aparente, pH, condutividade elétrica, STD e turbidez.

2. MATERIAL E MÉTODOS

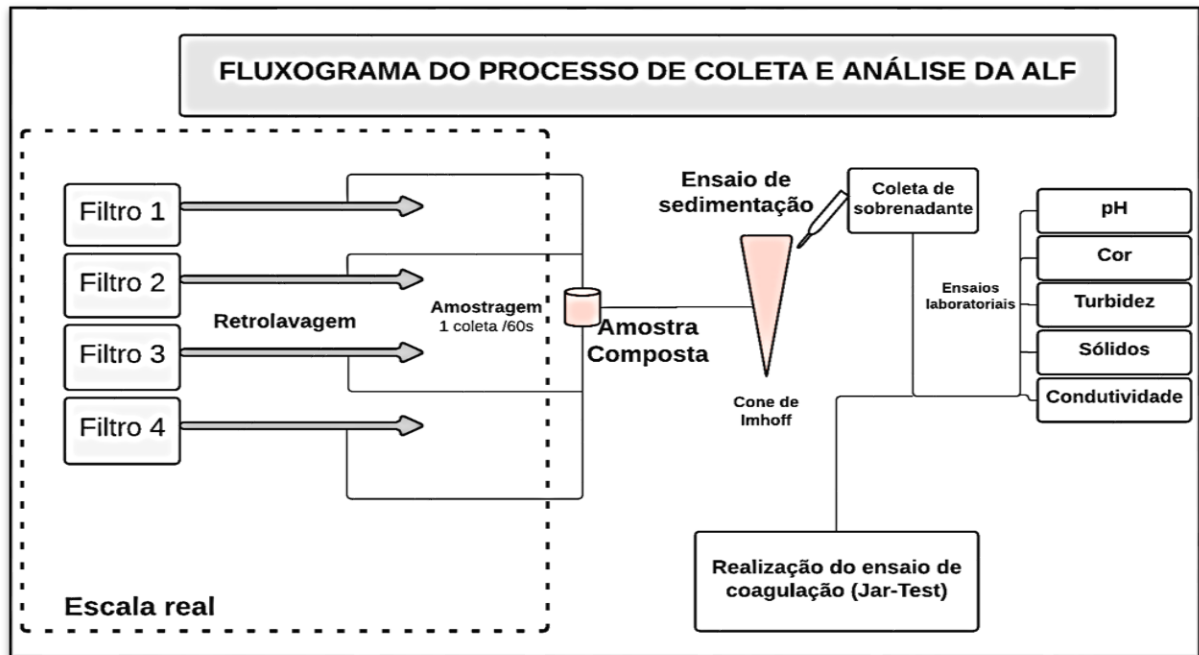
2.1 Amostragem

Foram coletadas amostras compostas sequenciais da ALF dos 4 filtros da ETA Santa Luzia da cidade de Formiga, seguindo a metodologia de McCormick, Porter e Walsh, (2010), adaptada para a realidade do sistema de tratamento. Ao iniciar a retrolavagem, a partir do momento que a ALF começa a verter pela canaleta de esgotamento, foi coletada uma amostra de 1000 mL, em becker de polipropileno previamente limpo. Sendo coletada novamente 1000 mL a cada 60 segundos de duração do processo, que em geral dura de cinco a sete minutos. Os volumes coletados foram dispostos em recipiente de polipropileno e em seguida homogeneizados por agitação manual, para execução dos ensaios. O processo se repetiu para cada um dos filtros. Na Figura 1 está esquematizado o fluxograma do processo de coleta e ensaios que foram conduzidos na ALF.

As amostras de água bruta para os ensaios de Jar-test foram coletadas na calha Parshal da ETA I, em ponto anterior ao local de adição de coagulante. Para a coleta foi utilizado becker de polipropileno, previamente limpo.

Para as amostras de ALF sedimentadas a ser quantificada a presença de *Escherichia coli*, foi utilizada seringa de polipropileno para sucção, frasco borosilicato para o armazenamento e disposição das alíquotas em tubos de ensaio de 20 mL, esterilizados.

Figura 1 - Fluxograma do processo de coleta e ensaios conduzidos na ALF



Fonte: O autor, 2021.

2.2 Avaliação do tempo de sedimentação da ALF

As amostras compostas sequenciais da ALF foram dispostas em cone de Imhoff para sedimentação em simulação ao processo, que ocorrerá nos tanques sedimentadores da UTR. O processo de sedimentação está previsto para durar 90 minutos. Esse tempo foi estipulado tomando como base o intervalo médio necessário para enchimento do reservatório de água tratada e uma possível nova lavagem de filtro.

Foram conduzidas análises da ALF em sedimentação, imediatamente após a coleta e a cada 15 minutos até completar o ciclo de 90 minutos, de modo a avaliar a evolução dos parâmetros físico-químicos e, a partir dos resultados, verificar o menor tempo recomendável para o início do processo de recirculação quanto à qualidade do efluente, tomando como base as observações na literatura internacional (EDZWALD *et al.*, 2003; LORET *et al.*, 2013; WALSH *et al.*, 2008; MCCORMICK; PORTER; WALSH, 2010). Os ensaios analíticos realizados estão dispostos na Tabela 1, em conformidade com a “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*” 23ª edição (APHA, 2017).

Tabela 1 - Parâmetros, metodologias e processos/meio onde serão avaliados.

Parâmetro	Referência na Standard Methods	Processo/meio onde será avaliado	Equipamento utilizado
Cor	2120 B	Água bruta, ACFI*, Jar-test	Colorímetro Aquacolor
pH	4500 H ⁺ B		pHmetro Aquacolor
Turbidez	EPA 180,1		Hanna HI 98703
Condutividade	2510 B		Orion Versa Star Pro
STD	2540 C		

Legenda: ACFI - Amostra composta de filtro individual.

Fonte: O autor, (2021)

Os resultados das análises da ALF foram adicionados ao banco de dados, e inseridos no software estatístico R (R CORE TEAM, 2020), de modo a realizar a análise exploratória qualitativa; o intervalo de tempo que apresentou a menor variação, estando sua turbidez e cor abaixo dos valores médios da água bruta em adução, no momento da execução do trabalho, foi registrado.

2.3 Testes microbiológicos

Para a avaliação bacteriológica da ALF foram separadas amostras do sobrenadante ao final do ciclo de sedimentação (90 minutos), totalizando quatro análises (uma para cada filtro) em duplicata. Desta forma, foram realizadas 8 análises microbiológicas do grupo coliforme (totais) e *Escherichia coli*. Ambas as análises foram realizadas pela técnica de tubos múltiplos de modo a avaliar o número mais provável (NMP), técnica amplamente usada em microbiologia. Para os ensaios o meio de cultura utilizado foi o substrato enzimático definido e a metodologia do teste pode ser consultada no manual prático de análise de água (FUNASA, 2013). Todas as análises foram conduzidas no laboratório de microbiologia da ETA I.

2.4 Ensaios de Tratabilidade Utilizando diferentes Proporções de ALF

O ensaio foi conduzido com adição 3, 6, 10% e sem adição (controle) de volume da amostra de ALF já sedimentada. Esses valores foram definidos a partir da

capacidade máxima projetada para a recirculação de ALF, que é de aproximadamente 10% da vazão de operação atual da ETA. O procedimento de simulação de bancada, Jar-test, foi conduzido de forma padronizada, baseado nos tempos de detenção médios de cada uma das etapas de tratamento, observados na ETA I (TABELA 2). As velocidades de agitação em bancada, foram definidas para simular os parâmetros hidráulicos, baseados nos gradientes de velocidades empregados nas diferentes unidades da ETA I. Ao final do tempo de decantação foi coletada uma amostra de cada cuba do aparelho, correspondente a cada tratamento, e analisados os parâmetros cor, turbidez, pH, STD e condutividade elétrica. Foram avaliadas 12 repetições do ensaio, contemplando 3 vezes a ALF sedimentada, de cada filtro. Foram também analisados e registrados os mesmos parâmetros para a água bruta que participou dos testes, bem como a ALF (APÊNDICE).

Tabela 2 – Tempo e agitação utilizados no ensaio de tratabilidade.

Etapa correspondente	Agitação (RPM)	Tempo (s)
Mistura rápida	160	108
Floculação (3 etapas)	100 / 70 / 30	360 / 360 / 360
Decantação	0	5400

Fonte: O autor, 2021.

O ensaio de tratabilidade foi realizado no laboratório de análises físico-químicas da ETA I. Uma vez que o procedimento demanda ALF recém-coletada e sedimentada, as coletas de ALF foram realizadas concomitantemente com os ensaios de tratabilidade, sempre nos momentos em que foi possível a realização dos processos conjuntos com a retrolavagem dos filtros.

Foram utilizados a água bruta, que estava sendo aduzida para a estação, e o coagulante, sulfato de alumínio. A concentração de coagulante seguiu a proporção real do que estava sendo utilizado no dia, com registro de data e hora dos ensaios. Foi realizada a diluição do coagulante bruto (densidade = 1320g/m³), usando 10 g e avolumando para 500 mL com água destilada. Cada 0,1 mL dessa solução, em uma cuba de 2000 mL passa a representar 1 mg/L ou 1ppm.

Para os ensaios foi usado equipamento de Jar-test do próprio laboratório do SAAE, da marca Aquacolor, com 6 cubas de 2000 mL em acrílico e ajuste analógico de rotação.

2.5 Análise estatística

As informações coletadas nos ensaios de tratabilidade com adição de ALF foram tabuladas e inseridas no software estatístico de linguagem R (R CORE TEAM, 2020) para condução das análises. Foi conduzida uma ANOVA com um fator para cada uma das variáveis (Cor, pH, Turbidez, Condutividade, STD), de modo a avaliar se existe diferença estatística entre os tratamentos; os resíduos do modelo linear foram testados quanto à sua distribuição através do teste de Shapiro-Wilk e a hipótese da homoscedasticidade foi averiguada pelo teste de Levene/Bartlett.

Estudos estatísticos (MANLY, 2009; QUEEN; QUINN; KEOUGH, 2002) relatam que o teste F da ANOVA é robusto a violações da hipótese de normalidade se os dados são balanceados, a variância dos resíduos é homogênea, se a distribuição dos dados entre os tratamentos não for fortemente assimétrica, o que parece ser o caso para o estudo.

Como a ANOVA demonstrou existir pelo menos uma diferença entre tratamentos para cor e turbidez, foi realizado o teste de Tukey de comparações múltiplas (Valor-P corrigido por Bonferroni) para identificar em quais grupos encontrase diferença significativa, por ser um procedimento robusto à não normalidade, outliers e variância não homogênea.

Foi adotado para todas as análises o nível de significância de 5%. Com a constatação de não normalidade dos resíduos para o parâmetro turbidez, foi conduzida uma ANOVA com teste de permutação, de modo a averiguar se a ANOVA paramétrica foi robusta a não normalidade, e em sequência realizaram-se as comparações múltiplas conforme proposto em Mangiafico (2021) com método de Bonferroni de correção do valor-P.

Uma vez que a análise dos resíduos da ANOVA clássica forneceu evidências de que os resíduos do modelo linear associado não possuem distribuição aproximadamente normal para o parâmetro turbidez, optou-se pela aplicação de um

procedimento robusto via testes de permutação ou aleatorização para verificar se há diferenças importantes entre os resultados, isto é, para verificar a consistência dos resultados.

Conforme (BERRY; JOHNSTON; MIELKE JR., 2019; MANLY, 2009; MANLY; ALBERTO, 2020) uma vantagem que a abordagem de permutação tem sobre um convencional teste paramétrico sobre a diferença média da amostra é que não é necessário assumir qualquer tipo particular de distribuição para os dados, como distribuições normais para as duas amostras para um teste t. A abordagem de randomização tem ainda a vantagem sobre um teste não paramétrico como o teste U de Mann-Whitney por permitir que os dados originais sejam usados em vez de apenas a posição ou *rank* dos dados. Especificamente, aplicou-se a formulação de uma análise de variância com um fator via teste de permutação descrito em Hothorn *et al*, (2006).

De forma a analisar quais tratamentos diferem entre si, aplicou-se um procedimento de comparações múltiplas para uma ANOVA via teste de permutação implementado em Mangiafico (2021).

Para fins estatísticos, considera-se no ensaio de tratabilidade a independência entre os tratamentos e os parâmetros cor, pH, turbidez, condutividade e STD, como variáveis quantitativas contínuas de resposta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Sedimentação da ALF

O Quadro 1 traz as principais estatísticas descritivas para o ensaio de sedimentação. Pode-se observar que o parâmetro turbidez atinge aparente estabilidade aos 75 minutos de sedimentação, registrando seu menor desvio padrão. A turbidez é usada como indicadora de eficiência na remoção de material particulado e redução do risco microbiológico segundo a literatura (ARORA; DI GIOVANNI; LECHEVALLIER, 2001).

A cor aparente apresenta, assim como a turbidez, expressiva redução ao se comparar o momento da coleta (tempo 0) e os demais tempos de sedimentação. Seu menor desvio padrão também é observado aos 75 minutos do ensaio, demonstrando que a partir desse intervalo, eventualmente, poderia se dar início ao processo de recirculação.

Se observadas as médias de turbidez e cor da ALF no momento da coleta (tempo 0) e sua média aos 75 minutos de sedimentação (10,3 NTU; 34,2 uC) registra-se uma redução de 96,25% e 91,36% respectivamente. Este valor é menor que a turbidez média da água bruta do mês de coletas (maio 2021 = 19,7 NTU). Os dados omitidos para o parâmetro cor (N= 5) ocorrem em função da análise resultar em um valor acima do limite máximo de quantificação do aparelho utilizado para os ensaios (>500 uC) e para não ser utilizada a combinação de variáveis contínuas e categóricas. (Uso de N.A)

Arendze e Sibiya, (2014) avaliaram o efeito da sedimentação sobre a ALF nos tempos de 4 a 12 horas, sem nenhum tipo adicional de tratamento. Os autores relataram redução de 96,9% na turbidez média após 4 horas de sedimentação, chegando a 99,6% após 7 horas do processo.

Neste estudo observou-se uma redução de 96,25% na turbidez média após 75 minutos. No entanto, é importante ressaltar que estes resultados representam somente a realidade do local, assim como Campos (2014) recomenda em seu trabalho, que estudos individualizados sejam feitos em cada ETA, uma vez que os parâmetros de qualidade podem divergir enormemente entre cada localidade em

função de características como geomorfologia, uso e ocupação do solo, clima entre outros.

Quadro 1 – Estatísticas descritivas em função do tempo de sedimentação

Tempo de sedimentação	Variável	Nº	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
0 min (coleta)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	14	57,6	56,4	3,18	54,5	65,9
15 min		14	57,4	57,2	2,55	54,7	63,9
30 min		14	57,5	56,5	3,07	54,4	65,4
45 min		14	57,4	56,6	2,95	54,1	64,4
60 min		14	57,6	57,4	2,76	53,7	62,9
75 min		14	57,4	56,6	2,88	54,4	64,2
90 min		14	57,5	56,6	2,97	53,4	63,3
0 min (coleta)	Cor aparente (uC)	9	396	443	153,	3,84	483
15 min		14	59,6	62,3	23,3	23,1	101
30 min		14	48,7	52,3	15,8	22,3	76,6
45 min		14	44,7	44,3	12,9	22,3	65,9
60 min		14	40,2	37,9	11,5	24,2	63,1
75 min		14	34,2	32,8	8,12	24,7	54,3
90 min		14	29,1	28,0	8,24	20	46,1
0 min (coleta)	pH	14	6,72	6,72	0,056	6,63	6,83
15 min		14	6,73	6,72	0,06	6,6	6,82
30 min		14	6,74	6,74	0,058	6,64	6,82
45 min		14	6,74	6,74	0,052	6,66	6,85
60 min		14	6,76	6,76	0,051	6,65	6,83
75 min		14	6,75	6,76	0,043	6,66	6,84
90 min		14	6,76	6,76	0,037	6,69	6,81
0 min (coleta)	STD (mg/L)	14	28,1	27,7	1,49	26,7	31,8
15 min		14	28,2	28,0	1,33	26,7	31,7
30 min		14	28,2	27,7	1,48	26,6	32,1
45 min		14	28,2	27,9	1,43	26,6	31,5
60 min		14	28,2	28,0	1,34	26,3	31,1
75 min		14	28,2	27,8	1,33	26,8	31,4
90 min		14	28,4	28,1	1,30	26,8	31,3
0 min (coleta)	Turbidez (NTU)	14	275	250	130	124	576
15 min		14	17,4	16,5	6,75	6,53	28,1
30 min		14	14,3	13,8	5,31	6,42	26,6
45 min		14	13,0	11,6	5,43	6,25	25,4
60 min		14	11,7	10,3	4,70	6,29	23,7
75 min		14	10,3	9,71	3,04	7,0	17,2
90 min		14	8,95	7,92	3,09	5,78	17,3

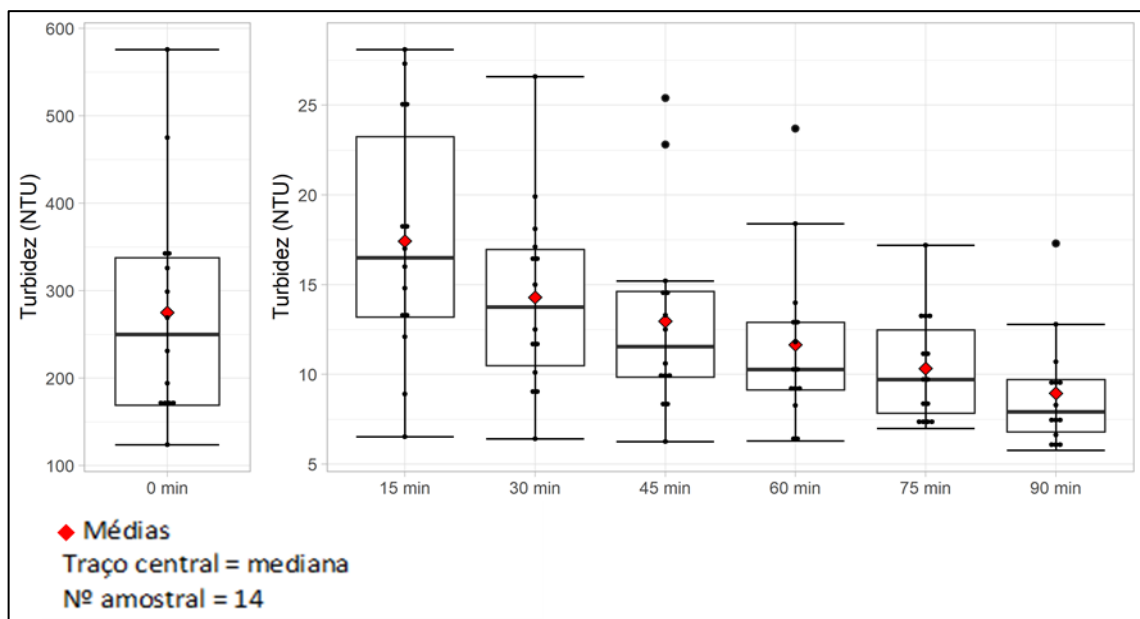
Fonte: O autor, 2021.

Os parâmetros STD, condutividade elétrica e pH (QUADRO 1) não demonstram diferenças significativas entre o tempo 0 e os demais momentos da sedimentação, como observado para cor e turbidez ao se avaliar as médias e medianas. Esse comportamento pode ser compreendido por ser a sedimentação um processo majoritariamente físico, e a não adição de outros compostos como coagulantes ou polímeros faz com que haja pouca reação entre as substâncias dissolvidas na água e os componentes da ALF, o que explicaria os resultados.

A Figura 2 ilustra o comportamento da turbidez da ALF em função do tempo de sedimentação. Pode-se observar que a redução da variação do parâmetro é gradativa, evidenciado pelo tamanho das caixas do boxplot. Aos 90 minutos se observa o menor espaçamento entre os dados, indicando maior homogeneidade da distribuição, entretanto, apresenta pequena diferença no desvio padrão quando comparada aos 75 minutos (QUADRO 1).

Neste estudo o processo de sedimentação sem adição de coagulantes reduz a turbidez média de 275 NTU para 8,95 NTU em 90 minutos (QUADRO 1), Arendze e Sibiya, (2014) verificaram em seu estudo de ALF na África do Sul, que o uso do processo de sedimentação com tempo superior a 4 horas alcança eficiência de 96,9% de redução na turbidez.

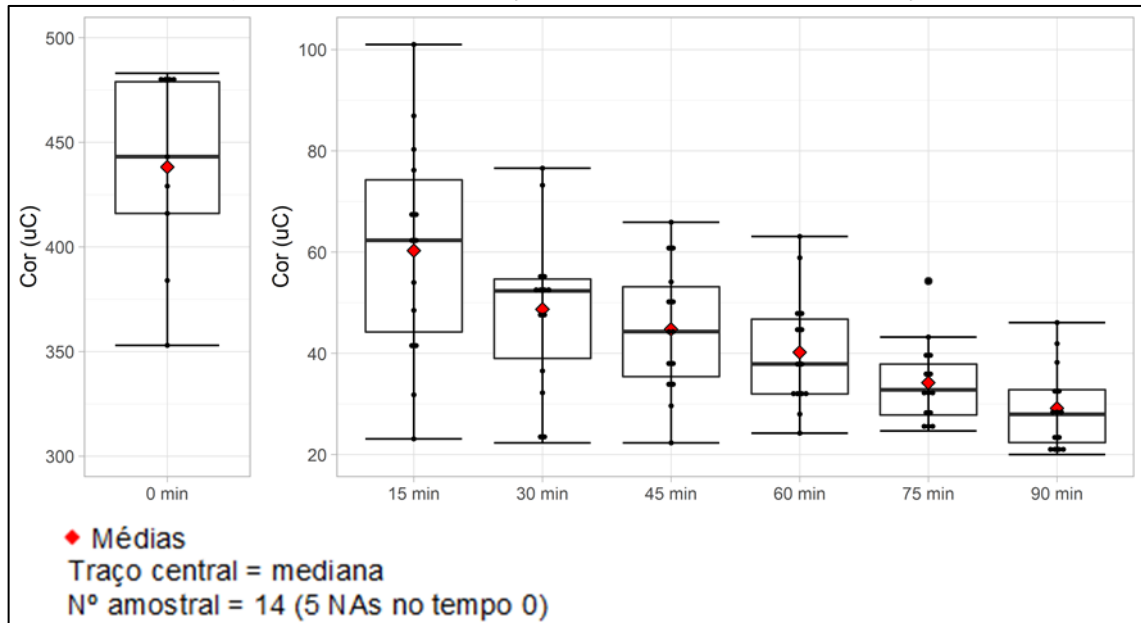
Figura 2 – Turbidez em função do tempo de sedimentação



Fonte: O autor, 2021.

A cor aparente apresenta relação similar ao observado com a turbidez. Na Figura 3 é possível observar que aos 75 minutos de tempo de sedimentação há a menor variação da distribuição dos dados. A cor aparente é aumentada pela turbidez e tem relação direta com o tamanho das partículas suspensas; com a precipitação do material particulado há a redução na turbidez e consequentemente na cor aparente.

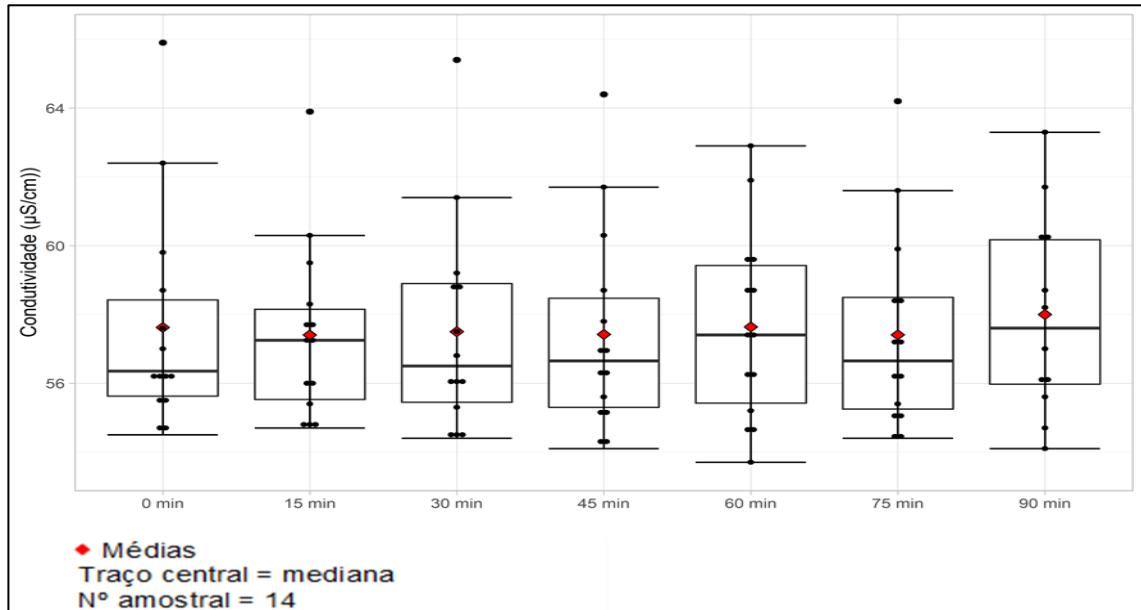
Figura 3 – Cor em função do tempo de sedimentação



Fonte: O autor, 2021.

A condutividade e os STD (FIGURA 4 e FIGURA 5) não demonstram variação nos intervalos de tempo de sedimentação. Loret *et al.* (2013), relata que estes parâmetros na ALF e na água bruta apresentam diferenças quase nulas. Tais parâmetros estão melhores associados com a eficiência dos processos coagulação e decantação. É importante ressaltar que apesar do que se observa nas Figuras 4 e 5 (quanto as flutuações e diferenças nos gráficos) os valores médios para ambos os parâmetros apresentam baixa variação, ficando menores que 1 unidade para cada um ($\mu\text{S}/\text{cm}$ e mg/L) (QUADRO 1) o que em termos práticos não altera a operação da ETA.

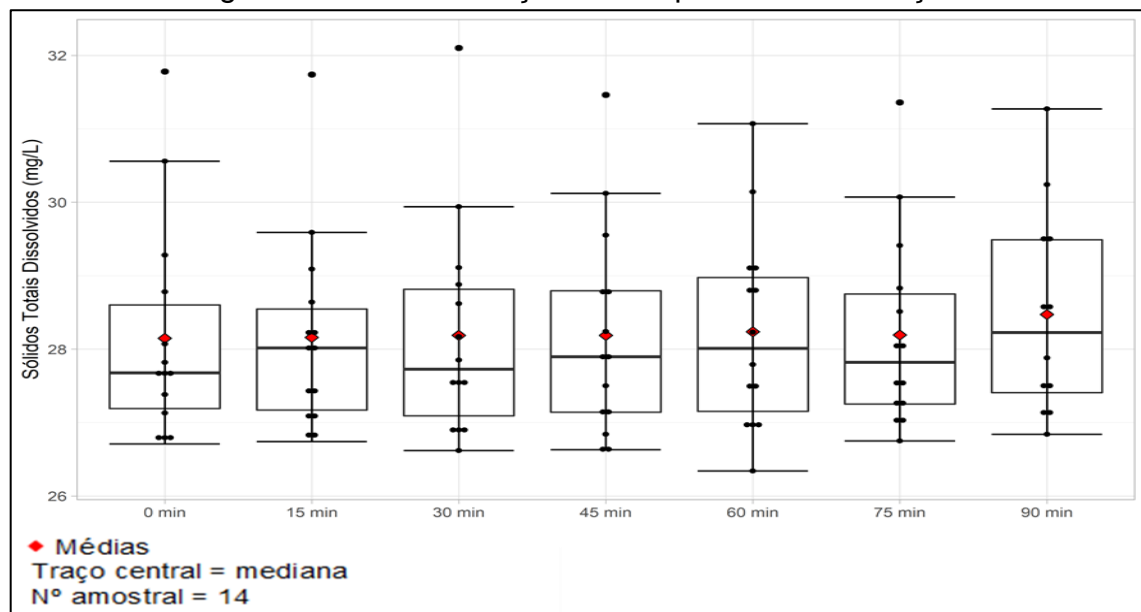
Figura 4 – Condutividade em função do tempo de sedimentação



Fonte: O autor, 2021.

Os STD (FIGURA 5) apresentam baixa variação nas amostras avaliadas, médias e medianas oscilam 0,3 e 0,4 mg/L respectivamente (QUADRO 1). Menezes *et al.* (2005), encontraram valores entre 112 e 324 mg/L para sobrenadantes de ALF e descarga de decantadores em lagoa de lodo. Os referidos autores relatam a relação entre pH e o maior uso de coagulante (sulfato de alumínio) a maior utilização destes compostos em períodos chuvosos pode afetar também os sólidos dissolvidos na ALF demandando, portanto, a continuidade dos estudos como no caso deste trabalho.

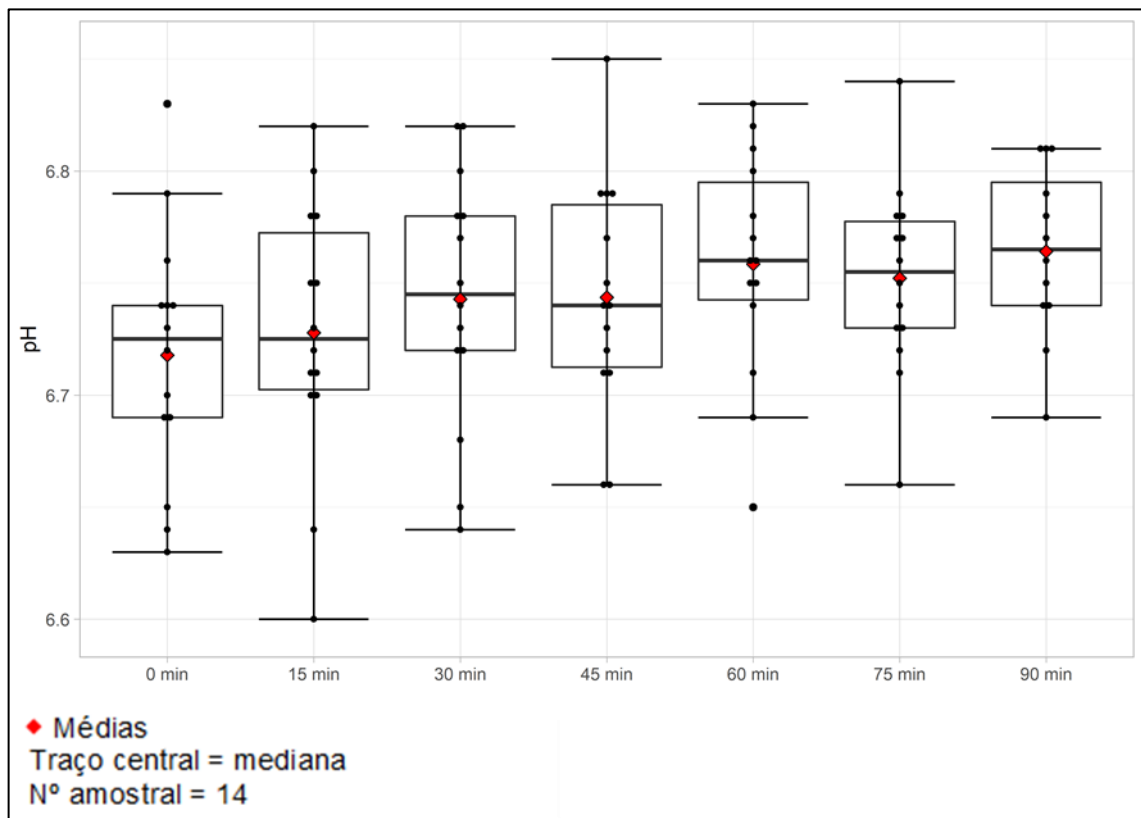
Figura 5 – STD em função do tempo de sedimentação



Fonte: O autor, 2021.

A observação da figura 6 evidencia que o pH tem menor valor aos 90 minutos de sedimentação. No entanto, ao observarmos o Quadro 1, é possível constatar que as médias divergem somente 0,04 pontos. O pH é um importante parâmetro, sobretudo, porque a eficiência da coagulação depende de sua estabilidade em uma faixa ideal (variando para cada tipo de coagulante) e no caso para o sobrenadante da ALF é de especial atenção o monitoramento deste parâmetro.

Figura 6 – pH em função do tempo de sedimentação



Fonte: O autor, 2021.

O pH médio observado na ALF (6,72 ~ 6,76) corresponde a uma redução de 5,45% em comparação com a média observada para o mesmo parâmetro na água bruta no período de condução das análises (pH médio da água bruta em maio ~ junho/2021 = 7,15).

Menezes *et al.*, (2005) relatam que a redução do pH é maior em meses chuvosos, nos quais existe uma maior demanda de coagulante. Tobiasson *et al.* (2003), relataram em seu estudo o pH 7,0 (média) para a água bruta e variação de 6,7 a 7,3 no pH da ALF, corroborando a afirmativa de Loret *et al.* (2003), de que este parâmetro apresenta valor próximo na ALF e na água bruta.

3.2 Ensaio de tratabilidade com adição de ALF

O Quadro 2 apresenta as estatísticas descritivas para todas as variáveis resposta em função dos tratamentos.

Quadro 2 – Estatísticas descritivas para cada tratamento e variável resposta.

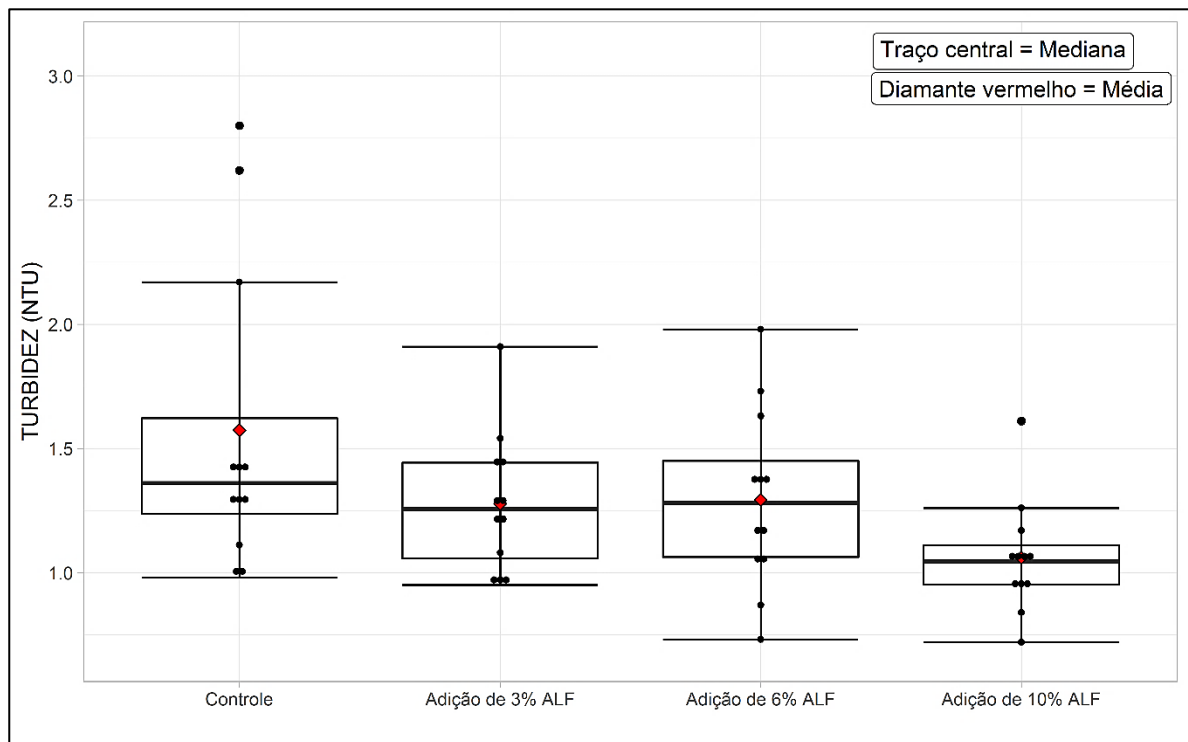
TRATAMENTO	Variável	N	DAM	Média	Mediana	DP	Min	Max
Adição de 10% ALF	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	12	0,81	50,1	50,2	0,99	48,6	52,0
Adição de 6% ALF			1,56	50,0	50,0	1,37	48,2	52,7
Adição de 3% ALF			0,67	49,4	49,8	1,35	46,9	52,2
Controle			1,26	49,3	49,4	1,51	46,8	52,6
Adição de 10% ALF	COR (uC)	12	0,89	2,98	3,00	1,12	0,90	4,9
Adição de 6% ALF			0,89	3,38	3,65	1,08	1,70	5,6
Adição de 3% ALF			0,81	3,93	3,75	1,16	2,10	6,2
Controle			1,33	4,66	4,75	1,28	2,50	7,0
Adição de 10% ALF	pH	12	0,04	6,76	6,74	0,07	6,69	6,89
Adição de 6% ALF			0,04	6,76	6,73	0,07	6,70	6,89
Adição de 3% ALF			0,06	6,77	6,77	0,06	6,69	6,87
Controle			0,09	6,78	6,78	0,11	6,56	6,94
Adição de 10% ALF	TDS (Mg/L)	12	0,49	24,5	24,6	0,47	23,8	25,3
Adição de 6% ALF			0,78	24,5	24,4	0,77	23,4	25,8
Adição de 3% ALF			0,62	24,3	24,4	0,74	23,0	25,6
Controle			0,63	24,1	24,2	0,69	23,0	25,6
Adição de 10% ALF	TURBIDEZ (NTU)	12	0,15	1,06	1,04	0,22	0,72	1,61
Adição de 6% ALF			0,33	1,29	1,28	0,36	0,73	1,98
Adição de 3% ALF			0,28	1,28	1,25	0,28	0,95	1,91
Controle			0,24	1,57	1,36	0,61	0,98	2,8

Fonte: O autor, 2021.

Legenda: DAM = desvio absoluto médio, DP = Desvio padrão, Min = Mínima, Max = Máxima, N = Número de observações

Observa-se na Figura 7 que a adição de ALF demonstra reduzir a turbidez. A adição de 10% de volume parece produzir o maior efeito redutor na turbidez. No entanto, será necessário a verificação por meio de procedimentos formais inferenciais se este é um padrão sistemático ou faz parte da variabilidade natural do fenômeno. Além disso, a adição de ALF a 10% aparenta reduzir a variabilidade da turbidez, reduzindo em 60% sua variação, estimada pontualmente pelo desvio absoluto médio ($0,245/0,148 \approx 0,604$) que pode ser observado no Quadro 5.

Figura 7 – Turbidez observada em função dos tratamentos



Fonte: O autor, 2021.

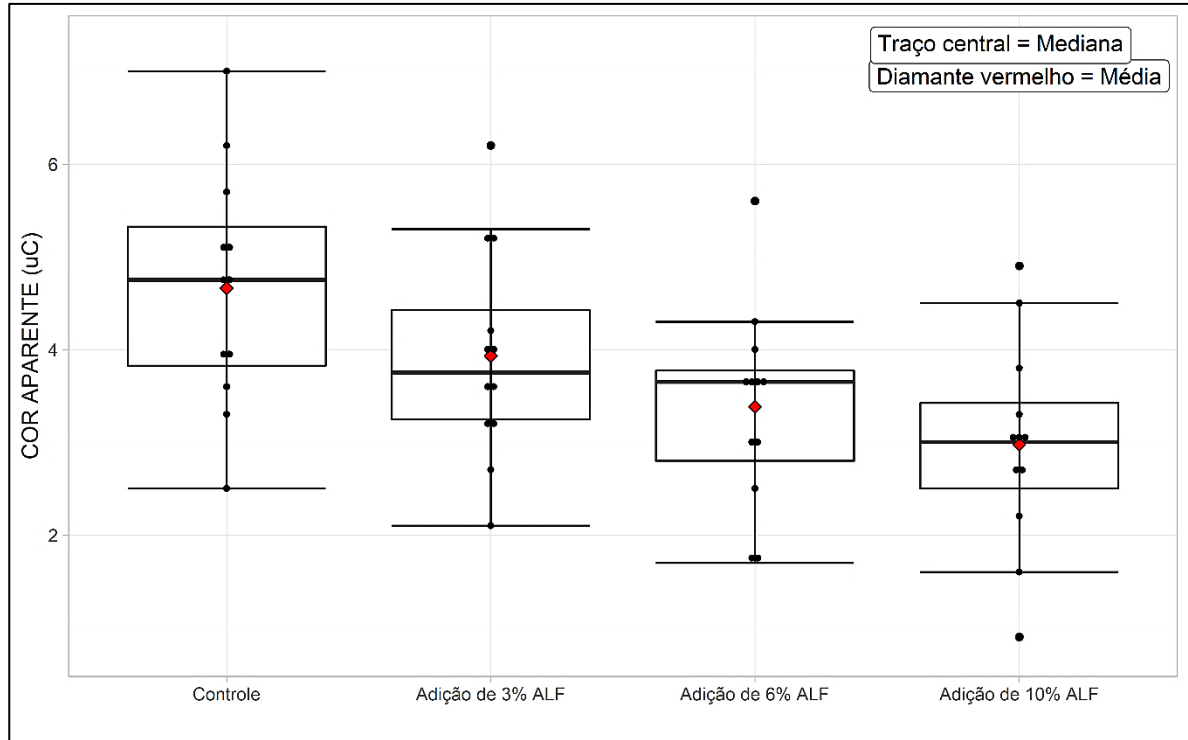
No caso da turbidez, três observações foram identificadas como outliers extremos, o que sugere que a aplicação de um modelo linear baseado na normalidade e simetria dos resíduos pode não ser suportado pelos dados, o que, por sua vez, sugere a possível necessidade da aplicação de modelos robustos à não normalidade e presença de outliers nos resíduos.

O grupo controle é o que apresenta maior assimetria na distribuição empírica dos dados, o que pode ser verificado pela distância entre a mediana (linha em preto) e média (diamante vermelho). Os outliers detectados estão em conformidade com o resultado esperado da aplicação do Jar-test, dada a variação natural da qualidade da água bruta aduzida e da maior dificuldade em se conseguir alto desempenho no tratamento convencional de águas de baixa turbidez. Wang, Kundert e Emelko (2020) relatam que a baixa quantidade de material particulado e a formação de flocos finos em águas de baixa turbidez dificulta o processo de sedimentação.

Ao observar a Figura 8, nota-se que a adição de ALF demonstra causar efeito positivo sobre a cor aparente da mesma forma que se pôde notar na turbidez (FIGURA 7); observa-se que 10% de volume de ALF aparenta ter benefícios na redução do

parâmetro, evidenciado pela redução de 66% no desvio absoluto médio (1,33/0,89) (QUADRO 2).

Figura 8 – Cor aparente observada em função dos tratamentos



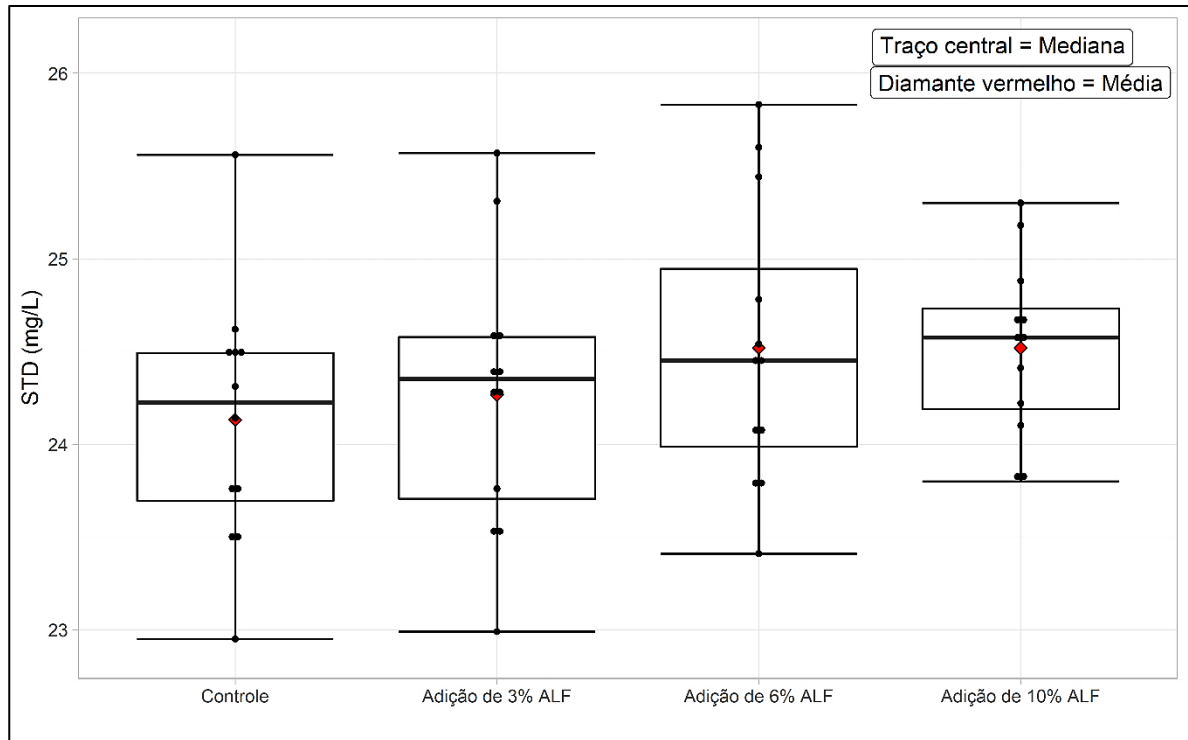
Fonte: O autor, 2021.

A cor verdadeira se refere à avaliação de cor em amostras sem turbidez (Após centrifugação ou filtração) e difere da cor aparente pela relação entre o tamanho das partículas; assim sendo, pode-se generalizar que partículas coloidais e dissolvidas conferem cor verdadeira, enquanto as com diâmetro superior a 1,2 μm (CAMPOS, 2014).

Neste sentido é esperado que a redução observada na turbidez acarrete também uma redução no parâmetro cor aparente. Em uma ETA é importante se atentar a este parâmetro, uma vez que sua redução demonstra a eficiência em remover material particulado e dissolvido, sendo um indicador importante de segurança da água tratada. A cor aparente observada nos tratamentos já se encontra em conformidade com o Anexo XX da portaria de consolidação 05 GM/MS (BRASIL, 2017) alterada pela portaria GM/MS 888 (BRASIL, 2021) para a água tratada (<15uC) e ressalta-se que ainda restariam nesta pesquisa as etapas de filtração e cloração (do tratamento convencional), que reduzem o parâmetro; desta forma, a adição de ALF não prejudica a qualidade final da água, quando avaliado conforme a cor aparente.

A avaliação da Figura 9 indica que a adição de ALF aparentemente não impacta o parâmetro STD, evidenciado pela proximidade das medianas (24,2~24,6) (QUADRO 3). No entanto, a adição de 10% de ALF demonstra diminuir a variabilidade do parâmetro.

Figura 9 – Sólidos totais dissolvidos em função dos tratamentos

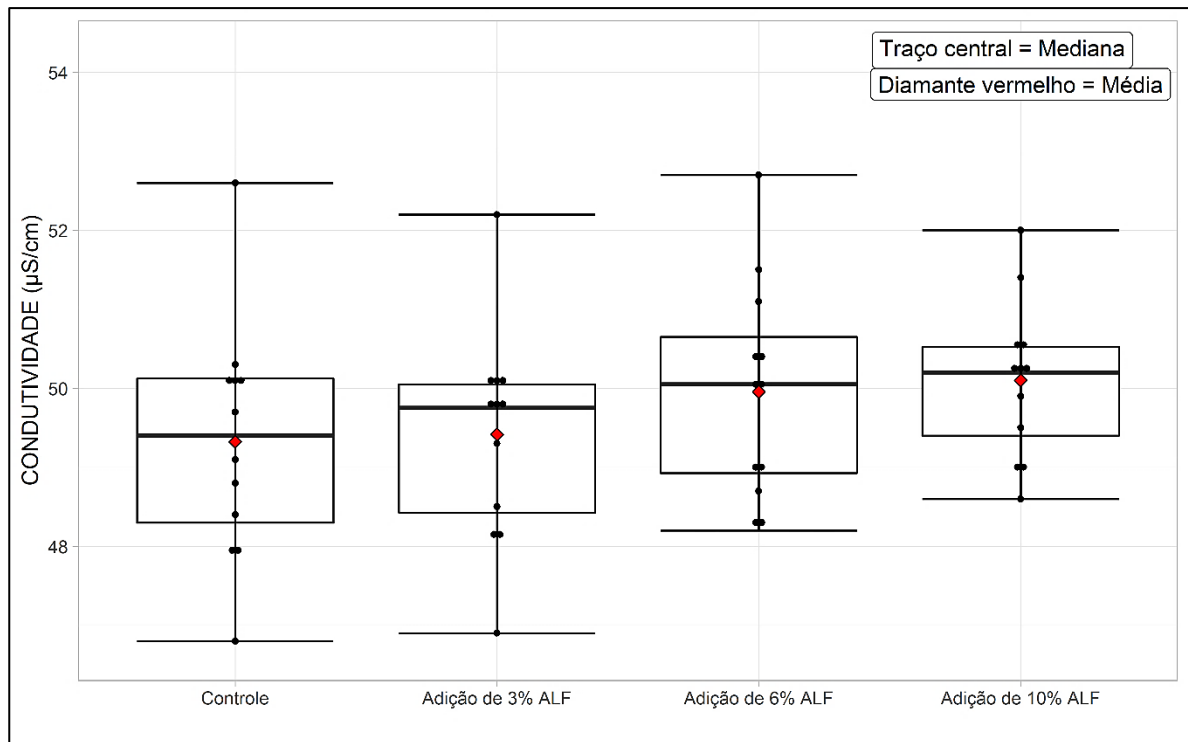


Fonte: O autor, 2021.

A presença de STD pode alterar as características organolépticas em águas para consumo humano. O Anexo XX da portaria de consolidação 05 GM/MS (BRASIL, 2017) alterada pela portaria GM/MS 888 (BRASIL, 2021) define o limite de 500 mg/L para a água tratada final. Os valores de STD neste estudo estão abaixo dos limites previstos na legislação, no entanto, é importante notar que a adição de ALF aparenta não impactar negativamente sua concentração, o que pode ser positivo para locais onde o STD natural da água bruta aduzida seja elevado.

Assim como o STD o parâmetro condutividade elétrica (FIGURA 10) aparentemente não sofre variação expressiva em função da adição de ALF, a análise do gráfico sugere uma pequena redução na variabilidade quando adicionados 10% de ALF em conformidade com o já observado na Figura 9 para STD. Segundo Braga *et al.* (2021), há uma relação direta entre a Condutividade elétrica e o STD, sendo que a primeira indica a capacidade da água em conduzir corrente elétrica e é causada pela presença de íons, que em geral são os componentes dos STD.

Figura 10 – Condutividade elétrica em função dos tratamentos

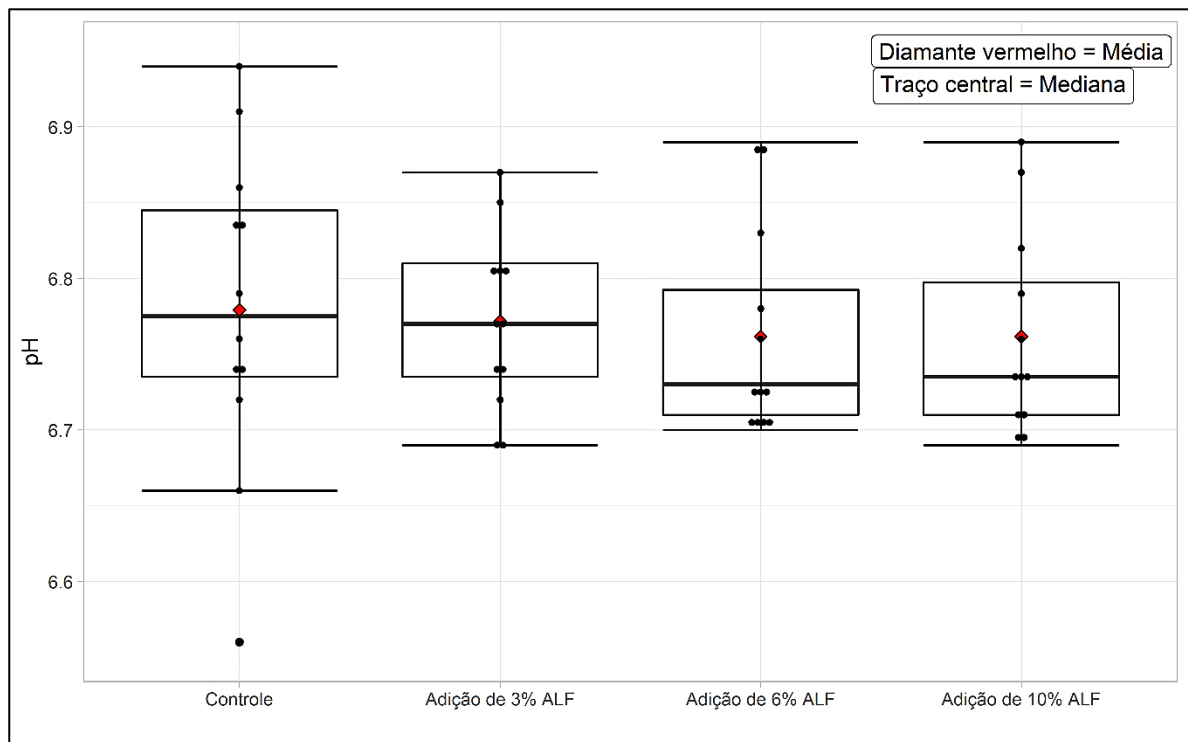


Fonte: O autor, 2021.

A condutividade elétrica não é abordada na legislação quanto à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2021). Para questões operacionais, no entanto, é um parâmetro de importância, uma vez que pode indicar padrões iônicos diferenciais que levem à necessidade de alteração no consumo de coagulante. Para Ribeiro, Maia e Medeiros, (2004) a condutividade elétrica é a variável mais utilizada para avaliar a salinidade de águas; sua relação com os STD foi averiguada por Braga *et al.* (2021), observando relação linear entre condutividade e STD em águas residuárias de efluentes domésticos. A avaliação da Figura 10 demonstra que o parâmetro se comporta semelhante ao STD, indicando que a relação entre os dois é sustentada para a ALF, e que não há evidência de prejuízo ao tratamento ou à qualidade final da água ao consumidor quanto a estes parâmetros.

O parâmetro pH apresenta baixa variabilidade nos três tratamentos de adição de ALF, quando comparados com o controle (FIGURA 11). A análise gráfica não evidencia mudança no padrão de comportamento do parâmetro, o que é natural para sistemas de tratamento em que se trabalhe com a dosagem ótima de coagulante, pois, conforme Menezes *et al.* (2005), a dosagem maior de coagulantes em períodos chuvosos de turbidez elevada impacta o pH.

Figura 11 – pH em função dos tratamentos



Fonte: O autor, 2021.

Esta variação observada no ensaio corrobora a afirmação de que a adição de ALF não implica em correção de pH e, quando comparado aos resultados do parâmetro turbidez (FIGURA 7) fica evidente que não houve prejuízo ao processo de coagulação, uma vez que a maior proporção de ALF gerou os melhores resultados. No entanto é importante atentar para a necessidade de averiguação se as mesmas condições se manteriam em águas com faixa de pH da água bruta menores do que as observadas nesse estudo (pH médio da água bruta = 6,93). Estudos de tratabilidade conduzidos com ALF (TOBIASON *et al.*, 2003) observaram que o pH da ALF variou entre 6,7 e 7,3 o que se aproxima com os dados obtidos nesse estudo, onde a variação ficou entre 6,76 e 7,01.

3.3 Ensaio de tratabilidade: Teste de hipóteses

Inicialmente, estimou-se a ANOVA com 1 fator para comparar o efeito da adição de Água de Lavagem de Filtro (3%, 6%, 10% e controle (0%)) sobre a turbidez, cor aparente, pH, STD e condutividade da água usada no processo. Os resultados indicaram uma diferença estatisticamente significativa para cor aparente e turbidez

pelo menos em dois tratamentos, no entanto, os demais parâmetros não demonstraram diferenças significativas.

A Tabela 3 traz os resultados obtidos para todos os parâmetros na ANOVA. Pode-se observar que a normalidade dos resíduos do modelo linear realizada pelo teste de Shapiro-Wilk só não foi constatada para o parâmetro turbidez (Valor-P= 0,001717); desta forma, a hipótese de homoscedasticidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Levene para este parâmetro, e com o teste de Bartlett para os demais.

Tabela 3 – Resultados para dos parâmetros na ANOVA e seus pressupostos.

Parâmetro	Valor-P (ANOVA)	Normalidade de resíduos (Shapiro-Wilk)	Homoscedasticidade (Levene / Bartlett)
Turbidez (NTU)	0,0271*	0,001717	0,1812 (levene)
Cor aparente (uC)	0,00609**	0,5275	0,9528 (Bartlett)
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,389	0,2501	0,5985 (Bartlett)
STD (mg/L)	0,414	0,3478	0,4406 (Bartlett)
pH	0,932	0,0585	0,1864 (Bartlett)

Fonte: O autor, 2021.

*Diferença significativa, **Diferença significativa (alta)

Os resultados do teste de comparações múltiplas de Tukey indicaram que a turbidez e a cor aparente média foram significativamente diferentes entre os tratamentos com adição de 10% de ALF e o controle (Valor-P ajustado via Bonferroni = 0.0146081 e = 0,00499 respectivamente).

No entanto, como a normalidade e a homoscedasticidade dos resíduos para a turbidez na ANOVA clássica não foi atendida, foi realizada a checagem dos resultados com uma ANOVA com teste de permutação (alternativa não paramétrica). O valor-P obtido (0.03923) fornece evidências de que há pelo menos uma diferença entre os tratamentos.

A Tabela 4 traz os resultados para o teste de comparações múltiplas usado para a ANOVA com permutação, que demonstraram alguma consistência entre os resultados da ANOVA clássica ou paramétrica e a ANOVA via teste de permutação, pois indicaram haver uma diferença significativa apenas na turbidez entre as amostras do tratamento com adição de 10% de ALF em relação ao grupo controle (Valor-P com ajuste de Bonferroni = 0,0950), entretanto, o resultado é significativo apenas ao nível

de significância $\alpha = 0,10$. É importante, ainda, ressaltar que a observação nos resultados do teste não paramétrico é relevante, uma vez que foi usado o ajuste mais conservador para um grupo de dados de um universo ambiental com enorme possibilidade de fatores de interferência, os dois testes corroboram o observado em laboratório, mas fica evidente a necessidade da continuidade da pesquisa para expansão dos dados e o aumento do poder do teste.

Tabela 4 – Comparações múltiplas da ANOVA com Permutação

Tratamentos comparados	Valor – P Ajustado (TURBIDEZ)
Controle - ALF10%	0,09504
Controle - ALF3%	0,83040
Controle - ALF6%	1,000
ALF10% - ALF3%	0,30040
ALF10% - ALF6%	0,43610
ALF3% - ALF6%	1,000

Fonte: O autor, 2021.

A tabela 5 foi criada para avaliar os resultados estatísticos observados para cor aparente e turbidez na ANOVA com permutação, uma vez que esse modo de exibição pode facilitar a tomada de decisões.

Tabela 5 – Análise de comparação de grupos da ANOVA com permutação e clássica

TRATAMENTO	turbidez $\alpha = 0,1^*$		cor aparente $\alpha = 0,05$ ANOVA clássica	
	valor de P	P Ajustado	valor de P	P Ajustado
Adição de 10% de ALF	a	a	a	a
Adição de 3% de ALF	ab	ab	ab	ab
Adição de 6% de ALF	ab	ab	ab	ab
Controle	b	b	b	b

Grupos com letras diferentes diferem entre si.

*Diferença no nível de significância adotada somente no teste de post-hoc

Fonte: O autor, 2021.

A avaliação da tabela 5 demonstra que, como já mencionado, os grupos controle e adição de 10% de ALF diferem entre si. Adicionalmente podemos observar que os tratamentos com adição de 3 e 6% de ALF demonstram resultados semelhantes e não estatisticamente diferentes dos demais, podendo ser adotados em situações de demanda operacional sem que haja prejuízo ao processo de tratamento. A tabela 8 ainda evidencia a conformidade de resultados entre a ANOVA clássica e a alternativa não paramétrica.

Pode-se afirmar com base nos ensaios e na análise estatística que a adição de ALF em um volume de até 10% do total aduzido não causa variação significativa em STD, condutividade elétrica e pH. A não variação do pH é um fator que auxilia a operação da ETA, indicando que o processo não demandará, para as situações analisadas, de alteração no consumo de coagulante ou de pré-alcalinização. É importante que o pH da ALF seja monitorado uma vez que um efluente com pH elevado tende a causar maior demanda de coagulantes (TOBIASON *et al.*, 2003).

Silva *et al.* (2008), observaram uma maior variação do pH em seu estudo de ALF comparando-a com a água bruta (6,44~7,27 pH ALF). Os autores atribuem a variação à incidência de chuvas, o que teria afetado pH e outros parâmetros de seu estudo.

Foi solicitado à SAAE de Formiga acesso ao banco de dados dos anos anteriores para avaliar as oscilações nos parâmetros ao longo do tempo (APÊNDICE). Observou-se que a variabilidade do parâmetro pH para a água bruta (6,84~7,27) não foi alta como a observada por Silva *et al.* (2008). A variabilidade natural de parâmetros é diversa em função de muitos fatores, tais como a geomorfologia, o uso e ocupação do solo à montante do ponto de captação dentre outros.

Já a observação de que não há impacto significativo em condutividade elétrica e STD indicam que a presença de partículas desestabilizadas na ALF (EDZWALD *et al.*, 2003) não causam a deterioração da qualidade da água ou a solubilização de compostos presentes nos sedimentos dos filtros. Isso se deve ao fato da aplicação da etapa de sedimentação prévia, em concordância com a literatura que afirma que a adição de um sedimentador é suficiente para garantir segurança e eficiência no processo de recirculação de ALF (ARENDZE; SIBIYA, 2014; LORET *et al.*, 2013).

O ensaio de tratabilidade demonstrou que o processo de recirculação pode impactar positivamente na clarificação em algumas situações, como em épocas do ano onde se opera com baixa turbidez de água bruta aduzida (outono e inverno, em sua maioria) (APÊNDICE). Este resultado implica na possibilidade de conciliar outros benefícios encontrados na literatura, como a remoção de matéria orgânica dissolvida (SUMAN; SINGH; SULEKH, 2012; ZHOU *et al.*, 2015). Gottfried *et al.* (2008), relata que a adição de ALF recirculada não implica em aumento da demanda por coagulante; neste estudo, observou-se que houve diferença estatisticamente comprovada na

comparação entre a adição de 10% de ALF em recirculação e o tratamento sem sua adição. A diferença encontrada em todos os ensaios experimentais foi positiva do ponto de vista da melhoria da clarificação (APÊNDICE).

A observação de diferença significativa entre os tratamentos controle e com adição de 10% de ALF, em conjunto com a observação de Gottfried *et al.* (2008), que afirma ser também essa a proporção de recirculação que impacta positivamente na remoção de matéria orgânica natural (MON), e uma vez que a presença de MON é determinante para possibilitar a formação de DBP, pode-se associar que o processo dentro destas condições alia as vantagens operacionais e ambientais, reduzindo aos principais riscos (Protozoários e DBP) evidenciados na literatura (ARORA; DI GIOVANNI; LECHEVALLIER, 2001; CHEN *et al.*, 2016; LORET *et al.*, 2013; MCCORMICK; PORTER; WALSH, 2010).

A observação de que a recirculação de 10% de ALF impacta positivamente na clarificação (QUADRO 4) (APÊNDICE) é abordada na literatura quanto à redução do consumo de coagulantes. Zhu *et al.* (2017), relataram redução de 33% de uso de coagulante no verão e de 25% no inverno, em seu estudo com ALF na China. Saron e Silva (2001) apud (OLIVEIRA; BARCELO; COLARES, 2012) relataram redução da ordem de 10% no consumo de coagulantes na ETA de Guaraú/SP com a recirculação de ALF.

Neste estudo não foram testadas as hipóteses de redução no consumo de coagulantes, todavia, a melhora na clarificação observada com a proporção de recirculação de 10% de ALF pode ser um indício de que o processo possa gerar redução no consumo de sulfato de alumínio. Novos estudos devem ser conduzidos para avaliar esta hipótese.

3.4 Testes Bacteriológicos do sobrenadante da ALF

A Tabela 6 traz os resultados obtidos nas culturas para *Escherichia coli* dos sobrenadantes da ALF de cada um dos quatro filtros da ETA I. Os valores obtidos estão todos em conformidade com a legislação vigente (BRASIL, 2021) em termos de comparação com os padrões para a água bruta.

Os resultados observados para coliformes totais ficaram todos acima de 1600 NMP. Não foram conduzidos processos de diluição para determinar o seu valor exato, uma vez que a *Escherichia coli* ficou dentro do limite de quantificação, e estes

organismos são os indicadores de contaminação fecal mais utilizados devido a sua característica natural de presença no trato intestinal de praticamente todos os mamíferos, havendo interesse direto em seu monitoramento como observado na legislação vigente que estabelece o limite de 1000 NMP de média geométrica de *E.coli* para a água bruta (BRASIL, 2021).

Tabela 6 – Contagem de colônias de *Escherichia coli* na ALF

Filtro	NMP/100ml				
	<i>E. coli</i> (1ª coleta)	<i>E. coli</i> (2ª coleta)	Média Geométrica	Coliformes totais	
				(1ª coleta)	(2ª coleta)
1	30	40	34,64	>1600	>1600
2	8	17	11,66	>1600	>1600
3	23	17	19,77	>1600	>1600
4	14	21	17,14	>1600	>1600

Fonte: O autor, 2021.

Quando comparados com a média geométrica do último ano (2020) (APÊNDICE) a *E. coli* apresentou valores abaixo dos observados na água bruta. Freitas *et al.*, (2010) em estudo de ALF da ETA da Universidade Federal de Viçosa (UFV) não encontraram *E. coli* na ALF; os autores atribuíram a ausência destes organismos ao cloro presente na água tratada usada para a retrolavagem dos filtros.

Braga *et al.* (2007), investigando a ALF da mesma ETA na UFV também não encontraram *E. coli* na ALF recirculada, quando a mesma passa pelo menos pelo processo de clarificação sem uso de polímeros, observou-se aumento de esporos de bactérias anaeróbias e aeróbias, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. Ao se adicionar polímero catiônico para a clarificação da ALF, foi observada a redução em todos os parâmetros microbiológicos.

Silva *et al.* (2008), encontrou valores de *E. coli* na ALF menores que na água bruta, e quando avaliado o sobrenadante do ensaio de tratabilidade em Jar-test foi verificada a ausência destes organismos. Os autores atribuem a redução ainda maior dos microrganismos ao fato de que a maior eficiência na formação de flocos acaba por reter as bactérias, ficando estas presas ao sedimento. De fato, a maior eficiência do processo de coagulação com reúso de ALF é abordada na literatura com associação à redução de protozoários (EDZWALD *et al.*, 2003).

Loret *et al.* (2013), aponta que mesmo sem nenhum tipo de tratamento observando-se o limite de 10% de volume recirculado para a entrada do sistema (ponto prévio à adição de coagulante) é possível manter a segurança do processo de recirculação apenas com o processo de sedimentação da ALF. Este estudo corrobora

a afirmação de que um menor aporte de material particulado (gerado pela melhoria no processo de clarificação) indica também uma menor possibilidade de transporte de microrganismos para os filtros, sobretudo, os de maior importância para estes cenários, ou seja, os protozoários.

O risco microbiológico que existe com a recirculação de ALF deve ser minimizado com o acompanhamento sistemático dos parâmetros indicadores, neste caso cor e turbidez, além de análises de *E. coli* periodicamente.

4. CONCLUSÃO

A caracterização da ALF através do ensaio de sedimentação demonstrou que com 75 minutos os parâmetros avaliados já se encontram menores do que os observados na água bruta usada durante os testes. Sua recirculação em caso de demanda operacional poderia ser realizada a partir desse tempo, no entanto, recomenda-se o acompanhamento dos parâmetros e quando possível, maior tempo de sedimentação.

A proporção de 10% de sobrenadante de ALF demonstrou diferença estatística quando comparada ao tratamento sem adição de ALF, indicando haver melhoria no processo de clarificação com esse volume de recirculado.

Para as proporções de 3% e 6% não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, indicando que a recirculação nestas condições não prejudica o processo de clarificação da ALF.

Recircular ALF em épocas do ano onde opera-se com baixa turbidez pode trazer benefícios ao processo de clarificação, podendo ainda ser testada a hipótese de redução do consumo de coagulante.

A segurança do processo quanto aos indicadores de contaminação biológica demonstrou ser garantida, desde que observados os critérios de proporção de recirculação e tempo de sedimentação.

Estudos complementares são indicados para elucidar outros fatores não abordados neste trabalho, bem como suas inter-relações.

REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. **XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 45º Assembleia nacional do ASSEMAE, de**, v. 24, 2015.
- AMÂNCIO, D. V. *et al.* Caracterização do lodo gerado numa estação de tratamento de água. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 29-44, 2018.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. APHA, 2017.
- ARENDZE, S.; SIBIYA, M. Filter backwash water treatment options. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 4, n. 2, p. 85-91, 2014.
- ARORA, H.; DI GIOVANNI, G.; LECHEVALLIER, M. SPENT filter backwash water CONTAMINANTS AND TREATMENT STRATEGIES. **Journal - American Water Works Association**, v. 93, n. 5, p. 100–112, maio 2001.
- BERRY, K. J.; JOHNSTON, J. E.; MIELKE JR., P. W. A Primer of Permutation Statistical Methods. [s.l.] Springer International Publishing, 2019.
- BOTERO, W. G. *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.
- BRAGA, E. A. S. *et al.* Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 10 jul. 2021.
- BRAGA, M. D. *et al.* Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros e avaliação de diferentes cenários de recirculação. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 1, n. 3.
- BRASIL. Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Quantidade de água**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 27 mai. 2021.
- BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual prático de análise de água. 4ª ed. Brasília. 2013.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021(*)**. Ministério da Saúde. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-*--321540185. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA 430, de 16 de maio de 2011**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 10 mai. 2021.

CAMPOS, M. C. D. **INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**. p. 172, Dissertação de mestrado. UNICAMP. CAMPINAS, 2014.

CHEN, T. *et al.* Evaluation of drinking water treatment combined filter backwash water recycling technology based on comet and micronucleus assay. **Journal of Environmental Sciences**, v. 42, p. 61–70, abr. 2016.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNUMAD) - **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação normativa CERH-MG Nº 65, DE 18 de Junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Disponível em: <<https://jornal.iof.mg.gov.br>>. Acesso em 17 out. 2020.

CUNHA, A. H. N *et al.* **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país**. 2011. Disponível em:

<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20ambientais/o%20reúso.pdf>.

Acesso em: 08 fev. 2021.

DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. **RiMa**. São Carlos –SP, 2002.

EDZWALD, J. K. *et al.* Evaluation of the effect of recycle of waste filter backwash water on plant removals of Cryptosporidium. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 52, n. 4, p. 243–258, jun. 2003.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros**. Dissertação de mestrado. UFSCar. São Carlos, 2004

FREITAS, A. G. *et al.* Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2010.

GLEICK, P. H. **The world's water**. 2000-2001. Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p.

GOTTFRIED, A. *et al.* Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes. **Water research**, v. 42, n. 18, p. 4683-4691, 2008.

HOTHORN, T. *et al.* A lego system for conditional inference. *The American Statistician*, v. 60, n. 3, p. 257–263, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística-IBGE. **Formiga**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/formiga/panorama>>. Acesso em: 22 out. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística-IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/0>. Acesso em: 2 nov. 2021.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada- IPEA. **Desafios do Desenvolvimento**. Ano 7, nº 56, 2009.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 27-42, 2015.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. O solo no meio ambiente abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: UFPR, 2007.

LORET, J. F. *et al.* Assessment and management of health risks related to the recycling of filter backwash water in drinking water production. **Water Practice and Technology**, v. 8, n. 2, p. 166–179, 1 jun. 2013.

LUSTOSA, J. B. *et al.* Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista Dae**, v. 65, n. 206, p. 44-61, 2017.

MANGIAFICO, S. rcompanion: Functions to Support Extension Education Program Evaluation. [s.l: s.n.].

MANLY, B. F. Statistics for Environmental Science and Management. 2. ed. [s.l.] Crc Press, 2009.

MANLY, B. F.; ALBERTO, J. A. N. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. 4. ed. [s.l.] Chapman; Hall/CRC Press, 2020.

MCCORMICK, N. J.; PORTER, M.; WALSH, M. E. Disinfection by-products in filter backwash water: Implications to water quality in recycle designs. **Water Research**, v. 44, n. 15, p. 4581–4589, ago. 2010.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science advances**, v. 2, n. 2, p. e1500323, 2016.

MENEZES, A. C. L. S. M. DE *et al.* Caracterização da água de lavagem de uma estação de tratamento de água, com vistas ao reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. suppl 1, p. 191–196, 2005.

OLIVEIRA, C. A.; BARCELO, W. F.; COLARES, C. J. G. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO DA ETA ANÁPOLIS/GO. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012.

PETRIS, A. *et al.* Physicochemical, microbiological and parasitological characterization of the filter backwash water from a water treatment plant of Blumenau - SC and alternatives for treatment and reuse. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 14, n. 3, p. 1, 20 maio 2019.

QADIR, M. *et al.* Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. **Natural Resources Forum**, v. 44, n. 1, p. 40–51, fev. 2020.

QUEEN, J. P.; QUINN, G. P.; KEOUGH, M. J. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. [s.l.] Cambridge University Press, 2002.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

RIBEIRO. G. M.; MAIA. C.E.; MEDEIROS. J.F. Uso da Regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 9. Nº1. p.15-22, 2004.

RICHTER, C. A.; DE AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Editora Blucher, 1991.

SCALIZE, P. S.; DI BERNARDO, L. Caracterização da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000.

SCALIZE, P. S.; DI BERNARDO, L. Clarificação da água de lavagem de filtros rápidos e caracterização do sobrenadante e lodo. In: **XXVI CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL**, 1998, Lima. Anais Eletrônicos BRAAPA040, 1998. p. 12p.

Serviço Autônomo de água e Esgoto de Formiga-MG. Disponível em:

<<https://www.saaeformiga.com.br/servicos/agua>>. Acesso em: 17 out. 2020.

SILVA, G. C. O. *et al.* CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA E AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE REUSO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS DA ETA SÃO SEBASTIÃO, CUIABÁ–MT. **Águas Subterrâneas**, 2008.

- SILVA JUNIOR, I. C. *et al.* Avaliação dos sistemas de reutilização da água de lavagem dos filtros de uma estação de tratamento de água: estudo de caso. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 3713–3717, 26 nov. 2014.
- SUMAN, S.; SINGH, N. P.; SULEKH, C. Effect of Filter Backwash Water when blends with Raw Water on Total Organic Carbon and Dissolve Organic Carbon Removal. **Research Journal of Chemical Sciences**, v. 2, p. 5, 2012.
- TOBIASON, J. E. *et al.* Effects of waste filter backwash recycle operation on clarification and filtration. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 52, n. 4, p. 259–275, jun. 2003.
- TUNDISI, J. G. Water resources in the future: problems and solutions. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.
- UNESCO. **Water for a Sustainable World**. The United Nations World Water Development Report 2015. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>> Acesso em: 26 dez. 2020.
- USEPA. Filter Backwash Recycling Rule (FBRR). **United States Environmental Protection Agency**. 66 FR, vol. 66, n. 111, 8 de Jun, 2001. Disponível em: <https://www.epa.gov/nscep>. Acesso em 29 Jul. 2021.
- USEPA. Filter backwash Recycling Rule. *Technical Guidance Manual*. **United States Environmental Protection Agency**. 2002. Disponível em: <https://www.epa.gov/dwreginfo/filter-backwash-recycling-rule-documents>. Acesso em 29 Jul. 2021.
- VIEBIG, R. G. Pesquisa científica e publicações. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 46, n. 1, p. 7–8, mar. 2009.
- WALSH, M. E.; LAKE, C. B.; GAGNON, G. A. Strategic pathways for the sustainable management of water treatment plant residuals. **J. Environ. Eng. Sci**, v. 7, 2008.
- WAN ALWI, S.R. *et al.* A holistic framework for design of cost-effective minimum water utilization network. *Journal of Environmental Management*, v. 88, n. 2, p. 219-252, 2008.

WANG, D.; KUNDERT, K. L.; EMELKO, M. B. Optimisation and improvement of in-line filtration performance in water treatment for a typical low turbidity source water. **Environmental Technology**, v. 41, n. 2, p. 181–190, 15 jan. 2020.

ZHOU, Z. *et al.* Effect of recycling filter backwash water on characteristic variability of dissolved organic matter in coagulation sedimentation process. *Desalination and Water Treatment*, v. 53, n. 1, p. 48–56, 2 jan. 2015.

ZHU, S. *et al.* Effect of continuous direct recycling of combined residual streams on water quality at the pilot scale in different seasons. **Journal of Environmental Engineering**, v. 143, n. 5, p. 04017004, 2017.

CAPÍTULO III

ELABORAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Ao coletar-se os dados do ensaio de tratabilidade e avaliar a literatura, foi elaborado um artigo técnico, com o objetivo de divulgar os dados obtidos para público específico da área de saneamento. Foram seguidas as normas da revista Hydro, e o material produzido foi disponibilizado também ao SAAE, uma vez que a autarquia demanda conhecimentos e diretrizes específicas sobre o processo de recirculação de ALF para dar início ao processo quando finalizarem-se as obras da UTR.

JUSTIFICATIVA

Público-alvo: O produto técnico e tecnológico apresentado é destinado à divulgação para operadores, gestores e interessados no processo de recirculação de água de lavagem de filtros de estações de tratamento (ETA) convencionais de ciclo completo.

Objetivo: Este produto foi desenvolvido para atender as demandas operacionais da unidade de tratamento de resíduos da ETA de Formiga- MG, cujo operador é o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).,

Abrangência: Este trabalho pode ser estendido a outras cidades e ETAs, onde se tenha interesse no processo de recirculação, sobretudo pelos benefícios descritos no texto.

Inovação: A recirculação de água de lavagem de filtros, apesar de já ser realizada a mais de 40 anos nos Estados Unidos e outros países, ainda não é amplamente executada no Brasil, e estudos individualizados para cada localidade devem ser conduzidos para levantamento e avaliação das características previamente à execução do processo.

O artigo foi feito para um público interessado na aplicação prática do conhecimento, e foi normatizado em conformidade com as publicações da revista Hydro, da editora Aranda.



AVALIAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA DA COAGULAÇÃO

Isac Eustáquio da Silva, Mestrando do IFMG – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais; Neimar Freitas Duarte, Prof. Do IFMG; Hygor Aristides Victor Rossoni Prof. Da UFV – Universidade Federal de Viçosa.

As estações de tratamento de água (ETAs) geram resíduos em seus processos, em sua maioria a água de lavagem de filtros (ALF) e o lodo dos decantadores. A remoção desses resíduos é necessária para manter a eficiência do sistema e garantir a segurança na qualidade final da água tratada.

No Brasil, a maioria das ETAs foram criadas antes da Resolução Conama 237/1997, que exige o licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras e, portanto, não possuem sistema de tratamento ou destinação de resíduos, descartando seus efluentes (sobretudo a ALF) sem nenhum tratamento diretamente nos corpos hídricos.

O descarte de efluentes das ETAs nos rios, sem tratamento prévio, configura desrespeito à política nacional de resíduos sólidos, instituída pela lei de 12305/2010. Sobretudo, trata-se de um problema ambiental que aumenta a degradação da qualidade das águas dos rios e pode causar danos à flora e à fauna. Há ainda os riscos de contaminação de populações ribeirinhas e socialmente vulneráveis, uma vez que esses efluentes concentram patógenos e poluentes retidos pelo sistema de tratamento.

A ALF representa a maior quantidade de resíduos gerados em uma ETA, podendo chegar em alguns casos a 10% do total tratado. Com a crise hídrica recente, houve o aumento da visibilidade por tecnologias que viabilizem o reaproveitamento de água.

Realizar o reúso de ALF tem ganhado atenção especial em muitos países, e a recirculação vem sendo pesquisada e executada há mais de 40 anos. As pesquisas

que avaliaram a possibilidade de recircular a ALF no sistema demonstraram bons resultados quanto à segurança do processo desde que esse efluente passe primeiro por um tratamento.

A figura 1 ilustra o processo de recirculação em uma ETA convencional de ciclo completo onde há a utilização de um sedimentador para tratamento prévio da ALF e para posterior recirculação do sobrenadante.

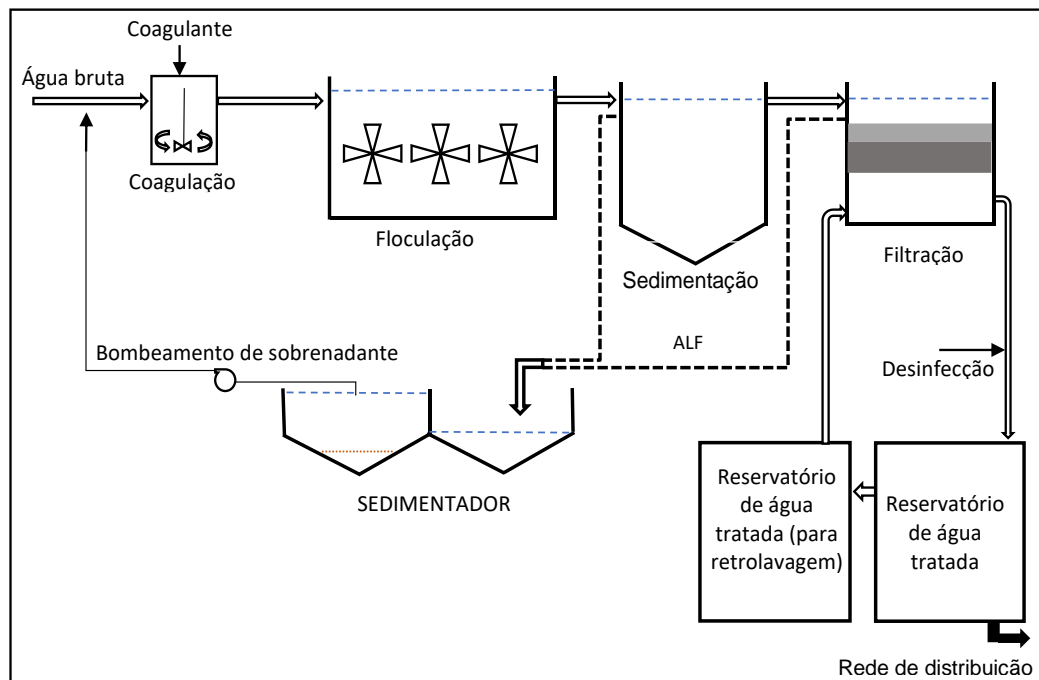


Fig. 1 – Fluxograma de um sistema de recirculação

O direcionamento da ALF para tanques sedimentadores tem demonstrado ser uma alternativa economicamente viável para seu tratamento. A agência de proteção ambiental americana (USEPA) [1] aborda seu uso em sua legislação específica para o tema desde 2001, uma vez que esse efluente concentra material particulado já coagulado, contribuindo geralmente para uma rápida sedimentação e demonstra boa retenção de patógenos.

A recirculação do sobrenadante para o início do tratamento (ponto de entrada de água bruta, calha Parshal) é utilizada em muitos locais; desta forma, a ALF pode ser reaproveitada mantendo-se o conceito de múltiplas barreiras para a segurança da água de consumo humano, sobretudo quanto aos riscos de reintrodução de microrganismos causadores de doenças, em que se destacam os protozoários.

O reúso de ALF pode combinar, além do benefício ambiental gerado pela possibilidade de destinação correta dos resíduos, o ganho de uma fonte extra que pode levar à menor necessidade de captação/adução de água bruta.

Os sistemas de tratamento convencionais enfrentam um maior desafio nas estações secas, onde tratam águas de baixa turbidez, uma vez que este parâmetro está diretamente associado ao material particulado sedimentável, dificultando o processo de floculação e decantação. Nestas condições, o processo de recirculação pode trazer maior eficiência à coagulação e remoção de matéria orgânica [2]. As

partículas desestabilizadas presentes no sobrenadante acabam por aumentar os sítios de interação entre as moléculas, sobretudo em águas de baixa turbidez, levando a uma melhor formação de flocos e conseqüentemente uma maior remoção de material suspenso [3]. Desta forma, buscou-se avaliar se existe impacto da recirculação de ALF no processo de clarificação em águas de baixa turbidez definida como <15 NTU em ensaio de tratabilidade com o uso de Jar-Test.

Metodologia

Para a realização do ensaio de tratabilidade foram coletadas amostras compostas da ALF dos quatro filtros da ETA de Formiga-MG em 12 repetições entre os meses de maio a junho de 2021. A referida ETA opera com tecnologia de ciclo completo, com filtros descendentes rápidos e utiliza sulfato de alumínio como coagulante.

As amostras de ALF coletadas foram colocadas para a sedimentação em cone de Imhoff por 90 minutos; o sobrenadante foi então coletado. O ensaio de tratabilidade foi conduzido em aparelho de Jar-test (FIGURA 1) com uso de 4 cubas de acrílico e controle de agitação analógico. Para o experimento, foi utilizada a velocidade de 160 rpm para a etapa de mistura rápida, e 100,70 e 30 rpm para floculação em 3 estágios.

A concentração de dosagem de coagulante foi aplicada em conformidade com o que estava sendo dosado na ETA durante os dias de teste, e oscilou entre 19 a 21 mg/L. A água bruta utilizada no experimento foi coletada diretamente na calha Parshall, e sua caracterização é exposta na tabela I.

TAB. I Caracterização da água bruta utilizada no estudo				
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	Cor aparente (uC)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)
46,2	64,24	22,66	6,93	14,96

As amostras do sobrenadante de ALF foram adicionadas ao Jar-Test em proporções de 3, 6 e 10% em relação ao volume de água bruta utilizado, além da condução de um teste controle sem reúso de água para fins de comparação.

Ao final do ensaio, amostras foram coletadas e analisados os parâmetros: cor aparente, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez, todos em conformidade com a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23ª ed [4]. Os resultados foram registrados e analisados estatisticamente.

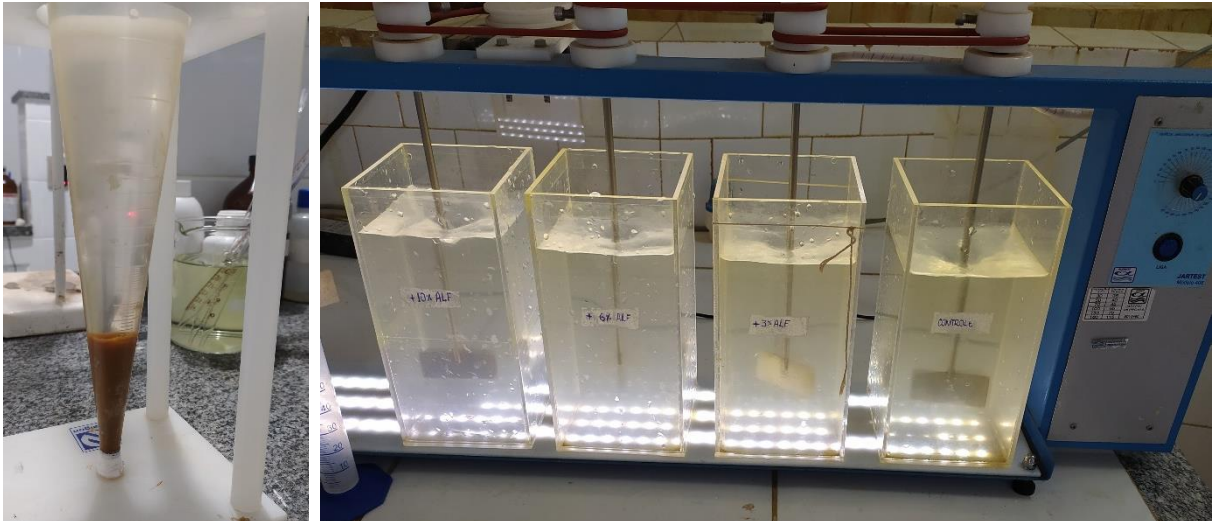


Fig. 1 – Sedimentação da ALF em cone de Imhoff e ensaio de tratabilidade com Jar-Test

Resultados

A tabela II traz as médias observadas no ensaio de tratabilidade para os parâmetros analisados na pesquisa. É possível observar que os parâmetros pH, STD e condutividade apresentam pouca ou quase nenhuma variação, demonstrando que a recirculação de ALF aparenta não os influenciar. Esses resultados, porém, demandam atenção, uma vez que as interações com a ALF podem ser influenciadas pela constituição natural da água bruta e estão sujeitas a variações nos períodos chuvosos.

TAB. II Resultados médios obtidos no ensaio de tratabilidade para cada uma das proporções de recirculação						
TRATAMENTO	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cor aparente (μC)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Teste de comparações múltiplas*
+10% ALF	50,1	2,98	24,5	6,76	1,06	A
+6% ALF	50,0	3,38	24,5	6,76	1,29	AB
+3% ALF	49,4	3,93	24,3	6,77	1,28	AB
Controle	49,3	4,66	24,1	6,78	1,57	B

*Testes usados: ANOVA com permutação, e teste de comparações múltiplas

Pode-se observar que, para a cor aparente, houve diminuição de 36%, e que para a turbidez a redução foi de 32,5% quando comparados os tratamentos com adição de 10% de ALF e o controle.

Ao avaliar os resultados observou-se que o tratamento controle e o com adição de 10% de ALF são estatisticamente diferentes ($P\text{-valor} = 0,0271$); a distribuição dos dados pode ser observada na Figura 2, onde fica evidente a diferença quando a ALF é adicionada em comparação ao controle.

Nos tratamentos com 3 e 6% de adição de ALF, a cor aparente e a turbidez apresentaram resultados melhores que o controle (TAB II). No entanto, quando avaliadas estatisticamente essas diferenças não foram significativas; desta forma, a

recirculação de ALF em proporção inferior à de 10%, não causa impacto na coagulação.

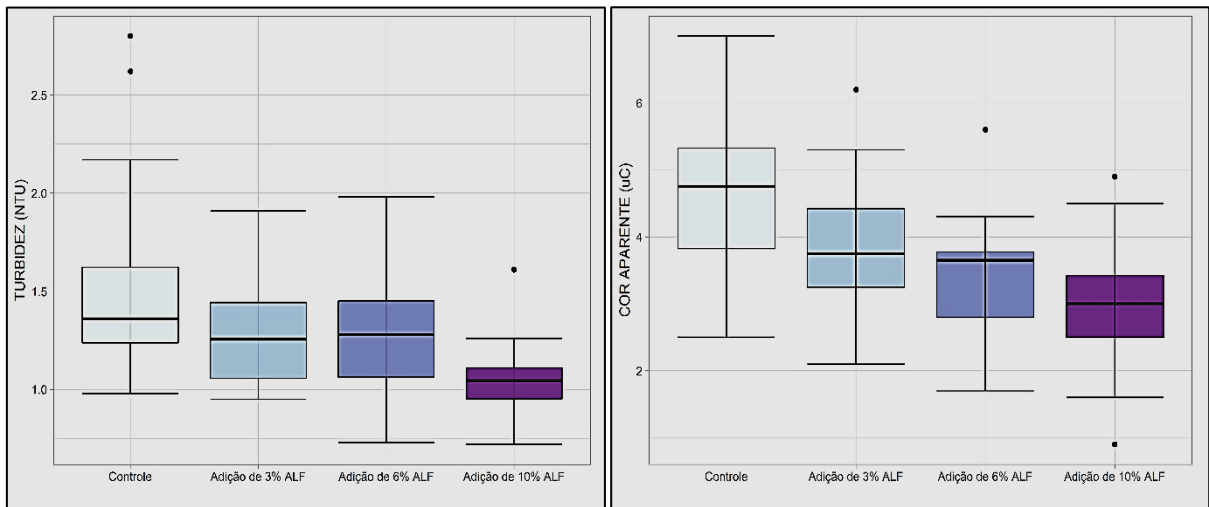


Fig 2 – Distribuição dos resultados de turbidez e cor aparente em função dos tratamentos

Ao observar a Fig. 2, pode-se notar que a introdução de ALF causa efeitos similares na cor aparente e turbidez. Isso ocorre porque existe relação direta entre os parâmetros com a concentração de partículas suspensas na água.

A maior eficiência na remoção de turbidez e cor aparente proporcionada pela adição de ALF é importante para se reduzir os riscos associados ao processo de recirculação como a reintrodução de patógenos e aumento na concentração de metais e outros compostos prejudiciais à saúde humana.

A observação dos resultados evidencia que a recirculação não causa prejuízos ao processo de coagulação, floculação e sedimentação, e que em situações em que seja possível recircular 10% de sobrenadante de ALF existe melhoria na eficiência da remoção de turbidez e cor aparente, o que é reforçado por outras pesquisas sobre o tema.

Conclusões e recomendações

A recirculação de ALF em proporção igual a 10% da vazão de operação da ETA em períodos de baixa turbidez leva a uma maior eficiência do processo de clarificação.

A não existência de prejuízos ao processo de floculação e sedimentação em proporções de recirculação iguais ou inferiores a 10% de ALF, indicando que o processo tem potencial para ser adotado na maioria das ETAs do Brasil, aliando os benefícios ambientais e operacionais já citados.

Recomenda-se atenção especial aos indicadores de risco de contaminação biológica como o monitoramento de *Escherichia coli* no sobrenadante da ALF, de forma a garantir a segurança da água tratada distribuída a população.

Recomenda-se que a avaliação da recirculação seja realizada com periodicidade, quando possível em consonância com as análises rotineiras da ETA, de modo a observar o comportamento dos parâmetros operacionais na ALF.

Para reprodução do processo é recomendado que cada localidade realize a caracterização da ALF gerada e conduza ensaios de tratabilidade em Jar-test

Referências

- [1] USEPA. Filter backwash Recycling Rule. Technical Guidance Manual. United States Environmental Protection Agency. 2002. Disponível em: <https://www.epa.gov/dwreginfo/filter-backwash-recycling-rule-documents>. Acesso em 29 jul. 2021.
- [2] ZHOU, Z. *et al.* Effect of recycling filter backwash water on characteristic variability of dissolved organic matter in coagulation sedimentation process. *Desalination and Water Treatment*, v. 53, n. 1, p. 48–56, 2 Jan. 2015.
- [3] GOTTFRIED, A. *et al.* Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes. *Water Research*, v. 42, n. 18, p. 4683–4691, nov. 2008.
- [4] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23th ed. APHA, 2017

APÊNDICE – BANCO DE DADOS DA DISSERTAÇÃO

TABELA 1 – Médias anuais e dias com médias abaixo de 15 NTU.

ANO AVALIADO	TURBIDEZ MÉDIA ANUAL (NTU)	DIAS COM MÉDIAS <15NTU	PERCENTUAL ANUAL (DIAS <15NTU)
2016	32,48	212	57,9%
2017	24,97	298	81,6%
2018	36,01	208	57,0%
2019	32,59	162	44,4%
2020	56,01	151	41,3%
TOTAL (2016-2020)	36,71	1031	70,5%

Fonte: Organizado pelo autor, 2021. (Dados obtidos da ETA I, cedidos pelo SAAE de Formiga)

TABELA 2 – Principais estatísticas descritivas de *Escherichia coli* da água bruta aduzida diretamente do rio Formiga.

ANO	N	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA GEOMÉTRICA
2016	35	274	279	50	1600	208,16
2017	41	138	90,7	30	500	113,70
2018	36	128	50	50	240	117,68
2019	45	188	205	50	914	142,96
2020	44	195	196	4	1011	136,51

Fonte: Organizado pelo autor, 2021. (Dados obtidos da ETA I, cedidos pelo SAAE de Formiga) N = Número de análises realizadas

Tempo	Cor	pH	Turb.	Condut.	STD	Tempo	Cor	pH	Turb.	Condut.	STD
Inicial	>500	6,69	475	56,4	27,38	30 min	46,4	6,82	15	59	28,88
Inicial	>500	6,65	299	54,5	26,71	30 min	76,6	6,65	19,9	54,5	26,89
Inicial	353	6,74	124	59,8	29,28	30 min	55,2	6,75	16,6	59,2	29,11
Inicial	479	6,74	179	54,9	26,74	30 min	53,1	6,73	12,5	54,6	26,62
Inicial	>500	6,79	269	62,4	30,56	30 min	22,3	6,8	8,72	61,4	29,94
Inicial	443	6,83	166	55,5	26,88	30 min	24,7	6,82	6,42	55,3	26,96
Inicial	>500	6,7	343	57	27,82	30 min	32,2	6,78	9,37	56,8	27,85
Inicial	>500	6,63	576	58,7	28,78	30 min	73,2	6,64	26,6	58,6	28,62
Inicial	429	6,64	342	56,3	27,59	30 min	52,9	6,74	18,1	56,2	27,49
Inicial	483	6,76	326	56,2	27,58	30 min	55,2	6,72	16,3	56,2	27,57
Inicial	416	6,72	164	55,5	27,13	30 min	36,5	6,77	10,1	54,4	26,84
Inicial	477	6,74	194	65,9	31,78	30 min	52	6,78	11,7	65,4	32,1
Inicial	3,84	6,69	164	56	27,76	30 min	48,8	6,68	11,7	55,9	27,6
Inicial	480	6,73	231	57,6	28,07	30 min	52,6	6,72	17,1	57,5	28,17
15 min.	54	6,8	16	57,7	28,26	45 min	54,1	6,79	15,2	57,1	27,99
15 min.	86,9	6,64	24,9	54,7	26,74	45 min	60,3	6,66	14,7	55,2	26,84
15 min.	63,2	6,73	18,2	59,5	29,09	45 min	50,4	6,75	13,3	60,3	29,55
15 min.	42,8	6,75	12,1	54,8	26,92	45 min	34,6	6,74	8,08	54,1	26,63
15 min.	40,3	6,78	13,5	60,3	29,59	45 min	29,6	6,85	8,6	61,7	30,12
15 min.	23,1	6,82	6,53	55,4	27,11	45 min	22,3	6,79	6,25	55,1	27,14
15 min.	68,4	6,72	14,8	57,1	27,97	45 min	43,2	6,77	10	56,8	27,8
15 min.	66,4	6,6	27,3	58,3	28,64	45 min	61,3	6,66	25,4	58,7	28,81
15 min.	80,3	6,71	28,1	56,1	27,51	45 min	65,9	6,71	22,8	56,5	28,75
15 min.	48,5	6,75	13,1	55,9	27,35	45 min	33,2	6,73	9,85	56,1	27,5
15 min.	31,8	6,71	8,91	54,9	27,07	45 min	38,2	6,74	10,6	54,5	26,64
15 min.	101	6,78	25,2	63,9	31,74	45 min	45,4	6,79	12,5	64,4	31,46
15 min.	76,2	6,7	17	57,4	28,06	45 min	37,8	6,71	9,87	55,6	27,15
15 min.	61,4	6,7	18,3	57,7	28,19	45 min	50	6,72	14,4	57,8	28,24

Quadro 1 – Dados do ensaio de sedimentação para os intervalos de 0 a 45 minutos

Fonte: O autor, 2021. (Unidades de Cor = uC, Condutividade elétrica = $\mu\text{S}/\text{cm}$, STD = mg/L, Turbidez = NTU)

Tempo	Cor	pH	Turb.	Condut.	STD	Tempo	Cor	pH	Turb.	Condut.	STD
60 min	43,7	6,80	14,0	57,6	28,23	75 min	43,2	6,78	13,3	57,3	28,05
60 min	47,1	6,65	12,9	53,7	26,34	75 min	33,4	6,66	12,9	54,5	27,01
60 min	39,2	6,75	11,8	59,6	29,19	75 min	27,4	6,74	7,73	59,9	29,41
60 min	28,0	6,83	6,29	54,5	27,05	75 min	38,3	6,75	9,89	54,4	26,75
60 min	32,1	6,82	9,08	61,9	30,14	75 min	29,1	6,84	8,59	61,6	30,07
60 min	24,2	6,77	6,55	55,2	27,00	75 min	26,0	6,79	7,02	54,9	27,29
60 min	36,6	6,76	9,36	57,2	27,79	75 min	31,0	6,77	7,42	57,1	28,04
60 min	63,1	6,69	23,7	58,9	28,84	75 min	54,3	6,71	17,2	58,6	28,83
60 min	58,9	6,74	18,4	56,4	27,53	75 min	40,9	6,73	13,6	56,2	27,48
60 min	32,5	6,75	9,33	56,1	27,46	75 min	36,5	6,73	11,2	56,2	27,60
60 min	31,6	6,78	8,27	54,8	26,89	75 min	32,1	6,76	9,53	55,4	27,05
60 min	31,9	6,81	9,97	62,9	31,07	75 min	24,7	6,77	8,15	64,2	31,36
60 min	45,6	6,76	10,6	59,6	29,02	75 min	26,5	6,78	7,00	55,2	27,24
60 min	48,7	6,71	12,9	58,5	28,76	75 min	35,3	6,72	11,1	58,2	28,51

Quadro 2 – Dados do ensaio de sedimentação para os intervalos de 60 e 75 minutos

Fonte: O autor, 2021. (Unidades de Cor = uC, Condutividade elétrica = $\mu\text{S/cm}$), STD = mg/L, Turbidez = NTU)

Tempo	Cor	pH	Turb.	Condut.	STD
90 min	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
90 min	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
90 min	20,0	6,76	6,36	60,4	29,52
90 min	27,6	6,77	6,62	54,1	27,05
90 min	28,3	6,81	9,32	61,7	30,24
90 min	21,3	6,81	5,78	55,6	27,22
90 min	33,1	6,81	7,38	57,0	27,88
90 min	46,1	6,72	17,3	60,1	29,48
90 min	41,9	6,74	12,8	56,1	27,47
90 min	29,2	6,69	9,56	56,1	27,53
90 min	32,0	6,79	9,78	54,7	26,84
90 min	22,1	6,78	7,52	63,3	31,27
90 min	23,7	6,75	6,41	58,7	28,58
90 min	38,2	6,74	10,7	58,2	28,57

QUADRO 3 – Dados do ensaio de sedimentação para o intervalo de 90 minutos

Fonte: O autor, 2021. (N.M = não medido) (Unidades de Cor = uC, Condutividade elétrica = $\mu\text{S/cm}$), STD = mg/L, Turbidez = NTU)

Quadro 4 – Dados do ensaio de tratabilidade

Tratamento	Cor (uC)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	ID
ALF entrada	13,2	6,82	5,1	61,2	29,02	1
ALF entrada	31,9	6,8	10,6	57,0	28,13	2
ALF entrada	56,4	6,82	16,0	60,0	29,5	3
ALF entrada	14,1	6,76	4,15	57,1	28,03	4
ALF entrada	20,0	6,77	5,80	55,4	27,07	5
ALF entrada	36,6	6,77	9,36	57,2	27,79	6
ALF entrada	13,4	6,82	4,70	56,9	27,98	7
ALF entrada	8,10	7,01	4,74	57,2	27,98	8
ALF entrada	24,9	6,92	8,94	61,4	30,18	9
ALF entrada	18,9	6,82	5,47	58,5	28,7	10
ALF entrada	28,7	6,89	7,58	57,2	28,39	11
ALF entrada	13,3	6,79	4,24	59,4	29,42	12
+ 10% ALF	3,1	6,71	1,17	50,2	24,54	1
+ 10% ALF	3,0	6,73	1,09	50,2	24,61	2
+ 10% ALF	3,0	6,79	1,05	52,0	25,3	3
+ 10% ALF	4,9	6,73	0,84	49,5	24,22	4
+ 10% ALF	2,8	6,76	0,98	49,1	24,1	5
+ 10% ALF	0,9	6,82	0,93	49,9	24,41	6
+ 10% ALF	1,6	6,70	0,72	48,9	23,8	7
+ 10% ALF	3,8	6,87	1,61	50,5	24,88	8
+ 10% ALF	2,6	6,74	1,04	50,3	24,66	9
+ 10% ALF	2,2	6,71	0,96	51,4	25,18	10
+ 10% ALF	4,5	6,69	1,26	50,6	24,68	11
+ 10% ALF	3,3	6,89	1,07	48,6	23,85	12
+ 3% ALF	2,7	6,69	1,29	49,3	24,23	1
+ 3% ALF	4,1	6,69	1,44	50,2	25,57	2
+ 3% ALF	3,6	6,81	1,54	49,8	24,41	3
+ 3% ALF	6,2	6,74	0,95	48,5	23,76	4
+ 3% ALF	3,6	6,80	1,22	48,1	23,52	5
+ 3% ALF	4,2	6,81	1,21	49,7	24,33	6
+ 3% ALF	3,1	6,77	0,96	48,2	23,54	7
+ 3% ALF	5,1	6,87	1,91	50,0	24,6	8
+ 3% ALF	3,9	6,74	0,99	49,9	24,37	9
+ 3% ALF	3,3	6,77	1,08	52,2	25,31	10
+ 3% ALF	5,3	6,72	1,45	50,2	24,57	11
+ 3% ALF	2,1	6,85	1,29	46,9	22,99	12
+ 6% ALF	3,6	6,70	1,73	49,0	24,05	1
+ 6% ALF	2,5	6,71	1,39	50,3	24,54	2
+ 6% ALF	3,7	6,78	1,63	50,1	24,42	3
+ 6% ALF	2,9	6,71	0,87	49,0	24,1	4

+ 6% ALF	4,3	6,76	1,14	48,7	23,8	5
+ 6% ALF	3,7	6,83	1,2	52,7	25,83	6
+ 6% ALF	1,7	6,73	0,73	48,4	23,78	7
+ 6% ALF	3,7	6,89	1,98	51,1	25,6	8
+ 6% ALF	4	6,73	1,07	50	24,48	9
+ 6% ALF	1,8	6,7	1,04	51,5	25,44	10
+ 6% ALF	5,6	6,72	1,36	50,5	24,78	11
+ 6% ALF	3,1	6,88	1,37	48,2	23,41	12
BRUTA	57,7	6,86	12,4	51,9	25,57	1
BRUTA	61,3	6,91	13,4	46,0	22,41	2
BRUTA	60,1	6,9	12,8	45,7	22,31	3
BRUTA	49,8	6,86	11,4	45,4	22,21	4
BRUTA	55,9	6,97	10,4	44,6	21,95	5
BRUTA	49,3	6,89	10,3	45,9	22,42	6
BRUTA	50,1	6,95	10,9	44,8	22,21	7
BRUTA	47,8	6,92	12	46,5	22,7	8
BRUTA	50,3	7,03	9,88	44,8	22,35	9
BRUTA	64,2	6,98	16,3	46,9	22,77	10
BRUTA	44,7	6,89	10,4	46,2	22,84	11
BRUTA	47	7,02	9,51	46,1	22,58	12
CONTROLE	4,0	6,56	1,44	49,1	24,14	1
CONTROLE	6,2	6,74	2,8	49,7	24,31	2
CONTROLE	4,7	6,79	2,17	50,3	24,62	3
CONTROLE	4,8	6,72	0,98	48,4	23,77	4
CONTROLE	3,9	6,91	1,28	47,9	23,47	5
CONTROLE	3,6	6,83	1,41	48,8	23,75	6
CONTROLE	5,2	6,76	1,11	48	23,53	7
CONTROLE	5,7	6,86	2,62	50,1	24,49	8
CONTROLE	3,3	6,66	1,03	50,2	24,49	9
CONTROLE	5	6,94	1,31	52,6	25,56	10
CONTROLE	7	6,74	1,43	50	24,5	11
CONTROLE	2,5	6,84	1,3	46,8	22,95	12

Fonte: O autor, 2021.

Tabela – 3 Data dos ensaios e concentração de coagulante usado

DATA	Concentração de coagulante mg/L (Sulfato de Alumínio)	ID do ensaio
12/04/2021	20	1
22/04/2021	21	2
28/04/2021	21	3
04/05/2021	20	4
04/05/2021	20	5
10/05/2021	15	6
18/05/2021	20	7
18/05/2021	20	8
30/05/2021	21	9
05/06/2021	19	10
15/06/2021	19	11
21/06/2021	18	12

Fonte: O Autor, 2021.

Observação: As concentrações de coagulante usadas nos ensaios estão em conformidade com o que estava sendo usado na ETA I no dia e hora do ensaio de sedimentação. A determinação da dosagem ótima é feita com o auxílio de um medidor de corrente da marca Chemtrac, com funcionamento similar a um zetômetro.

Tabela 4 – Análises da composição do coagulante utilizado na ETA e no estudo.

Análise	Especificação	Resultado	Unidade
Alumínio solúvel em água como Al_2O_3	7,500 à 9,000	7,920	%
Ferro total solúvel como Fe_2O_3	0,000 à 1,200	0,730	%
Basicidade livre como Al_2O_3	0,000 à 0,400	0	%
Acidez livre como H_2SO_4	0,000 à 0,500	0,500	%
Resíduo insolúvel em água	0,000 à 0,050	0,000	%
Densidade	1,300 à 1,350	1,315	g/mL

Fonte: Adaptado pelo autor, disponibilizado pelo SAAE de Formiga, Laudo de Suall Indústria e Comércio Ltda, 2021.

ANEXO – TERMO DE PARCERIA

Pelo presente **Termo de Parceria**, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) situado à Rua Antônio José Barbosa, número 723, na cidade de Formiga-MG, CEP 35570-000, CNPJ nº 16782211/0001-63, declara colaborar com o suporte necessário na execução do Pré-projeto do discente Isac Eustáquio da Silva, concorrente a uma vaga de estudo no “Curso de Pós-graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental”, do Campus Bambuí, em Bambuí (MG).

Outras informações:

Nome do Pré-projeto apresentado no Processo Seletivo do MPSTA 2018/2019:
MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DA ÁGUA COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO E DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL:
 Estudo de caso referente ao Programa Vida Nova Rio Formiga– Rio Formiga

Cidade na qual será realizada a execução do Pré-projeto: Formiga-MG

Atividades da empresa/órgão: Tratamento e Distribuição de Água potável.

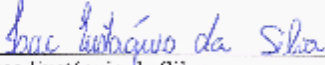
Suporte da empresa/órgão na execução do Pré-projeto:

- infraestrutura disponível.
- quadro de funcionários.
- recursos financeiros.
- outros suportes: Apoio técnico se necessário

Contrapartida do discente para a empresa/órgão referente ao desenvolvimento do Pré-projeto

Evolução profissional, aprendizado e experiência em temáticas pertinentes ao trabalho em qualidade de água.

Em: 13/11/2018.



Isac Eustáquio da Silva
 Discente



Flávio Passos
 Diretor do SAAE