

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Eduardo Cristofari Guterres

**CARACTERIZAÇÃO E REUSO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Porto Alegre

2023

Eduardo Cristofari Guterres

**CARACTERIZAÇÃO E REUSO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Alimentos da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Dr. Marco Antônio Záchia Ayub

Porto Alegre

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**CARACTERIZAÇÃO E REUSO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Eduardo Cristofari Guterres

Aprovado em: 29/03/2023

Comissão Examinadora

Professor Dr. Marco Antônio Záchia Ayub
Orientador - UFRGS

Professor Dr. Rafael da Costa Rodrigues
Departamento de Tecnologia de Alimentos
UFRGS

Professor Dr. Claudio Luis Crescente Frankenberg
Departamento de Engenharia Química
PUCRS

AGRADECIMENTOS

Não há palavras suficientes para expressar a minha profunda gratidão à minha filha e esposa, que estiveram ao meu lado em cada passo da minha jornada acadêmica, apoiando-me incondicionalmente nos momentos mais difíceis e trazendo luz para cada dia da minha vida.

Minha mãe, com sua dedicação incansável, lutou com todas as suas forças para me dar as melhores condições de vida e ajudou a moldar a pessoa que sou hoje, mostrando uma determinação admirável diante de todas as adversidades que nossa família enfrentou.

Meus avós são fonte de amor e sabedoria, e sua presença na minha vida foi fundamental para a minha educação e formação. Sou grato por tudo o que me ensinaram e por todo o amor que me deram.

Agradeço a Deus por tornar realidade sonhos que pareciam impossíveis e por me abençoar com muito mais do que eu poderia imaginar.

Aos meus irmãos, agradeço por serem uma parte essencial da minha vida e por me ensinarem lições valiosas que me ajudaram a crescer.

Quero também agradecer aos meus colegas de trabalho, especialmente à Simoni, que esteve comigo em plantões e momentos de riso, e à Luana, que sempre se mostrou prestativa e pronta para ajudar.

À minha segunda família, os Fagundes, agradeço por me acolherem com tanto amor e carinho, e por serem uma fonte constante de apoio e conselhos sábios.

Não posso deixar de mencionar os meus professores, que foram uma inspiração para mim e me ajudaram a superar desafios que pareciam insuperáveis. Em especial, o Dr. Marco Antônio Záchia Ayub, a Dr^a. Giovana Domeneghini Mercali e o Dr. Claudio Luis Crescente Frankenberg, que me deram orientação, paciência, e conselhos valiosos.

Por fim, sou grato a todos os meus amigos, que foram um pilar fundamental na minha vida, ajudando a moldar meu caráter e tornando cada momento ainda mais valioso.

RESUMO

A água é um recurso natural em abundância no planeta terra, porém os recursos hídricos, os quais abastecem a população mundial, vem sofrendo severas degradações devido ao crescimento populacional e a defasagem do sistema de saneamento básico, dentre outras causas. As estações de tratamento de água (ETA), por sua vez, têm a funcionalidade de captar este recurso natural, tratá-lo e entregá-lo à população em condições adequadas de consumo, porém em seus processos existem descartes que as tornam potenciais poluidoras dos corpos hídricos. Dentro do processo, uma destas etapas é a lavagem de filtros, em que ocorre o descarte de, aproximadamente, 1040 m³ de água, com relativo teor de sólidos, nos sistemas pluviais. Visando reduzir o impacto ambiental causado pela água de lavagem dos filtros (ALAF), será desenvolvido um projeto de captação e armazenamento deste efluente, para o recircular na etapa inicial da ETA, juntamente com a entrada da água bruta. As análises físico-químicas de pH demonstraram que os seus valores médios estão entre 6,8 e 7,2, e os de turbidez estão abaixo de 120 NTU. Sendo assim, estão dentro dos padrões de tratamento e potabilidade estipulados pela legislação brasileira. O refluxo só ocorrerá após a diluição do efluente da retrolavagem dos filtros, visando reduzir proporção de sólidos totais frente a quantidade volumétrica de água, e facilitar a inserção na água bruta com vazões reduzidas sem causar grande influência.

Palavras-chave: Estação de tratamento de água. Águas de lavagem dos filtros.

ABSTRACT

Water is a natural resource in abundance on planet earth, but water resources, which supply the world's population, have been suffering severe degradation due to population growth and the lag of the basic sanitation system, among other causes. The water treatment stations (WTP), in turn, have the functionality of capturing this natural resource, treating it and delivering it to the population in adequate conditions of consumption, but in their processes there are discards that make them potential polluters of the water bodies. Within the process, one of these stages is the washing of filters, in which approximately 1040 m³ of water, with relative solids content, is discarded in the pluvial systems. In order to reduce the environmental impact caused by the filter washing water (ALAF), a project will be developed to capture and store this effluent, to recirculate it in the initial stage of the ETA, together with the entry of raw water. Physical-chemical analyzes of pH showed that its average values are between 6.8 and 7.2, and those of turbidity are below 120 NTU. Therefore, they are within the standards of treatment and potability stipulated by Brazilian legislation. The backflow will only occur after diluting the effluent from the backwashing of the filters, aiming to reduce the proportion of total solids compared to the volumetric amount of water, and to facilitate the insertion in the raw water with reduced flow rates without causing great influence. **Keywords:** Water treatment station. Filter washing waters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado para estações de tratamento de águas	15
Figura 2 - Zonas observadas em decantadores convencionais	18
Figura 3 - Decantador lamelar por contato em manto de lodo da ETA	19
Figura 4 - Filtro da Estação de Tratamento de Água.....	20
Figura 5 - Lavagem do Filtro	21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Médias diárias de turbidez das ALAFs.	29
Gráfico 2 - Curva de Turbidez no processo de retrolavagem de filtros.	30
Gráfico 3 - Comparativos de turbidez em diferentes tempos da lavagem.	30
Gráfico 4 - Comparativo entre turbidez da ALAF x água bruta.	31
Gráfico 5 - Comparativo entre pH da ALAF x água bruta.	32
Gráfico 6 - Comparativo de pH entre cada etapa da lavagem.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões de Turbidez para Água Pós-Desinfecção (para Águas Subterrâneas) ou Pós-Filtração.....	24
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETA	Estação de Tratamento de água
ALAF	Águas de Lavagem dos Filtros
PAC	Policloreto de Alumínio
EBAB	Estação de Bombeamento de Água Bruta
DMAE	Departamento de Água e Esgoto de Porto Alegre
m ³	Metros Cúbicos
L	Litro
ONU	Organização Mundial da Saúde
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
DTHA	Doença de Transmissão Hídrica e Alimentar
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
LNSB	Lei Nacional do Saneamento Básico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SST	Sólidos em Suspensão Totais
g	Gramas
°C	Graus Celsius
s	Segundos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. História dos sistemas de tratamentos de água	12
2.2. Água, Saúde e Legislação	13
2.3. Sistemas de Tratamento de Água	14
2.3.1. Captação de água bruta.....	16
2.3.2. Coagulação e Floculação.....	16
2.3.3. Sedimentação	17
2.3.4. Filtração	19
2.3.5. Desinfecção	21
2.3.6. Fluoretação	22
2.3.7. Armazenamento e distribuição.....	22
2.4. Características físicas	23
2.4.1. Turbidez	23
2.5. Características químicas	24
2.5.1. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	24
2.6. Resíduos da estação de tratamento de água	25
2.7. Reuso de água na ETA	25
2.8. Bombas	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. Sistema de tratamento da ETA	27
3.2. Sistema de retrolavagem de filtros	28
3.3. Métodos de análises	28
3.4. Câmara de retenção	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

O planeta terra possui aproximadamente 71% da superfície terrestre composta por água, dos quais 97,5% é água salgada. Os 2,5% restante são classificados como água doce, propícias ao consumo humano, sendo 69% de difícil acesso, pois estão concentradas nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios e lagos (USGS, 2019).

Os desenvolvimentos tecnológicos e urbanísticos trouxeram diversos benefícios para a população, porém o consumo desenfreado e a infraestrutura precária de saneamento básico, causaram enormes degradações dos corpos hídricos com o passar dos anos. Tendo em vista as projeções de escassez dos recursos hídricos em um período, relativamente curto, a Organização Mundial Da Saúde (OMS) juntamente com a Organização das Nações Unidas (ONU), em 1992, redigiu a Declaração Universal dos Direitos da Água (Agenda 21), documento que reúne as medidas necessárias para zelar por essa riqueza. No século XXI, começaram a ser intensificadas as assembleias e conferências sobre o tema meio ambiente, em 2015 a ONU e todos os países membros da organização definiram os objetivos de desenvolvimento sustentável com prazo para 2030 (Agenda 2030), tendo como um dos seus princípios o acesso universal da água potável.

O relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no Brasil, aponta que 84,2% da população é atendida por rede de abastecimento de água e apenas 55,8% têm coleta de esgoto (GOVERNO FEDERAL, 2021). No estado do Rio Grande do Sul, os índices de atendimento urbano com rede de água são de 97,9% e o atendimento urbano com rede de esgoto é de 39,3%. Em Porto Alegre, toda a população é contemplada com água potável, tendo mais de 91,3% da população atendida com rede de coleta de esgoto, porém somente 42% são destinados ao tratamento e 32% foram de perdas de água (DMAE, 2020).

Todos os dados anteriores demonstram a defasagem na estrutura de saneamento básico, principalmente, nos sistemas de esgotamento sanitário. Desta forma, o projeto de reuso e caracterização das ALAFs visará reduzir o impacto de perdas, a diminuição na emissão de esgoto nas redes públicas, o aumento da vazão de tratamento, redução de carga poluidoras no manancial e aumento da eficiência da ETA. Sendo possível conciliando a estrutura disponível na ETA, com os recursos limitados de investimento na área de saneamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. História dos sistemas de tratamentos de água

Essencial ao surgimento e manutenção da vida, a água é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano e apresenta, por essa razão, valores econômicos, sociais e culturais. (MENEZES et al, 2005).

O desenvolvimento estrutural da sociedade iniciou-se com a mudança do nomadismo para o sedentarismo, este evento pode acontecer, principalmente, devido a troca do sistema caçador-coletor para a implementação da agricultura e pecuária. As aglomerações e princípios de cidades foram desenvolvidas próximas a rios e lagos cuja distribuição da água seria facilmente implementada.

As grandes cidades egípcias, romanas, gregas tiveram essa compreensão e o seus crescimentos foram prósperos. Porém nesta época, apenas as percepções sensoriais caracterizam a pureza da água (cor, odor, sabor). Existem manuscritos descrevendo sobre a utilização de fervura da água na Índia em 4000 a.C., utilização de alumínio para sedimentação de partículas no Egito em 1.500 anos a.C.(BAKER; TARAS, 1981). Porém nenhuma destas tinham grandes implementações, apenas os sistemas de diques, aquedutos para coleta, distribuição e armazenamento.

Na idade média, os serviços de saneamento não recebiam grande atenção, porém com as grandes ocorrências de endemias e pandemias ao longo da Europa, começaram a ser repensadas. A primeira lei sanitária inglesa data de 1848 (BRITO, 1943) tornando se um marco para o saneamento básico mundial. Com os surtos de cólera alguns estudiosos relacionavam a doença com o uso da água, porém, somente, através da descoberta de Pasteur, sobre a microbiologia, em 1864, foi feita a Teoria Microbiana das Doenças (MWH, 2005) e teve impulsionado o reconhecimento, em bases científicas, sobre a associação entre qualidade da água e saúde pública e o desenvolvimento das técnicas de tratamento de água.

A partir do marco desta teoria, diversos sistemas de tratamento de água foram desenvolvidos, usando, principalmente, aplicação de coagulante (alumínio ou ferro) para a sedimentação e uso de filtros de areia. Nos Estados Unidos, em 1902 foi aplicado pela primeira vez o uso de cloro para desinfecção da água, técnica que

revolucionou o sistema de tratamento de água, possibilitando a captação em corpos hídricos mais degradados.

No Brasil, o saneamento teve início com a escavação do primeiro poço para abastecimento de água na cidade do Rio de Janeiro, proposto por Estácio de Sá, em 1561. Em 1880, na cidade de Campos, Rio de Janeiro, foi inaugurada a primeira Estação de Tratamento de Água a nível mundial. Em Porto Alegre, a ETA Moinhos de Vento foi precursora no tratamento de água com filtros rápidos por gravidade, em 1920, a partir de tecnologia criada em Chicago, nos Estados Unidos (ROCHA, 2018).

2.2. Água, saúde e legislação

O século XIX foi marcado por endemias e pandemias que impulsionaram diversos estudos sobre a influência da água e a propagação de doenças. Através das descobertas realizadas neste século muitas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas e aprimoradas ao longo do tempo.

No Brasil, os serviços de saneamento ainda não chegam para todos. A ausência do acesso à água tratada e à coleta e ao tratamento de esgoto acentua a propagação de doenças que seriam mais facilmente controláveis em regiões saneadas. Apesar de 84,2% da população ser atendida por rede de abastecimento de água, apenas 55,8% têm coleta de esgoto. No estado do Rio Grande do Sul, os índices de atendimento urbano com rede de água são de 97,9% e o atendimento urbano com rede de esgoto é de 39,3%. Em Porto Alegre, toda a população é contemplada com água potável, e 42% de tratamento de esgoto (DMAE, 2020).

O Centers for Disease Control and Prevention (CDC), centro de vigilância de doenças dos Estados Unidos, estima que 48 milhões de pessoas adoecem anualmente, 128 mil são hospitalizadas e 3 mil morrem anualmente devido a doenças transmitidas pela água. No Brasil, no período de 2007 a 2020, foram notificados, por ano, uma média de 662 surtos de doença de transmissão hídrica e alimentar (TDHA), com o envolvimento de 156.691 doentes (média de 17 doentes/surto), 22.205 hospitalizados e 152 óbitos (BRASIL, 2020).

Em 1971, foi instituído o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). Outro grande obstáculo que existiu durante anos foi a disputa entre governos federal, estadual e municipal sobre quem deveria gerenciar essas diretrizes. Após intensa

luta, os Municípios conquistaram a titularidade dos serviços de saneamento, no dia 05 de janeiro de 2007, com a sanção da Lei Federal nº 11.445, chamada de Lei Nacional do Saneamento Básico – LNSB. Ela entrou em vigência a partir de 22 de fevereiro do mesmo ano e estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil.

Atualmente a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde é quem define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021), buscando a padronização de todos os sistemas de coleta, tratamento, abastecimento e distribuição de água potável no país. A caracterização de água bruta tem seus padrões estipulados pela resolução CONAMA nº 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

A norma NBR 15784:2017, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece os requisitos para o controle de qualidade dos produtos químicos utilizados em sistemas de tratamento de água para consumo humano. Esta norma também fixa os limites das impurezas nas dosagens máximas de uso indicadas pelo fornecedor do produto, com o intuito de não causar prejuízo à saúde humana.

2.3. Sistemas de Tratamento de Água

O tratamento de águas de abastecimento pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizado com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta, isto é, como é encontrada no curso d'água, com padrão sensorial agradável e que não ofereça riscos à saúde humana (DI BERNARDO, 2003).

Os sistemas convencionais de estações de tratamento de águas de classe 3 são mais complexas e formados por diferentes operações unitárias. A Figura 1 demonstra um fluxograma simplificado genérico para sistemas convencionais.

Figura 1 - Fluxograma simplificado para estações de tratamento de águas



Fonte: Autor, 2023.

2.3.1. Captação de água bruta

O sistema de captação de água bruta para tratamento de águas é responsável por coletar a água de uma fonte natural, como rios, lagos ou reservatórios, e encaminhá-la para as estações de tratamento de água. Geralmente, o sistema de captação inclui uma série de estruturas, como barragens, estações de bombeamento, canais de adução, adutoras e tubulações, que garantem que a água chegue até as estações de tratamento em condições adequadas para o processo de tratamento.

É importante que o sistema de captação seja projetado de forma a garantir a qualidade da água coletada, evitando a contaminação por poluentes e organismos patogênicos. Além disso, o sistema deve ser capaz de suportar variações de vazão ao longo do tempo, que podem ocorrer devido a mudanças climáticas ou sazonalidade.

A captação da ETA é realizada pela estação de bombeamento de água bruta (EBAB) no manancial do lago Guaíba, na sua margem esquerda a jusante, ponto da assunção até o morro dos cocos, mais especificamente na praia do Belém Novo. Nesta região, a classificação do corpo hídrico é de classe 3 tendo a meta, até 2030, de redução à classe 2 (SEMA,2016).

2.3.2. Coagulação e floculação

As águas superficiais são aquelas que se encontram em corpos de água localizados acima da superfície topográfica da Terra, e podem apresentar sólidos em suspensão totais (SST) oriundo de diversas fontes contendo microrganismo, matéria orgânica etc.

A ação do coagulante visa reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, que mantém separadas as partículas em suspensão, as coloidais e parcela das dissolvidas. Desta forma, eliminando-se ou reduzindo-se a “barreira de energia” que impede a aproximação entre as diversas partículas presentes, criam-se condições para que haja aglutinação das mesmas, facilitando sua posterior remoção. Os sais de alumínio e ferro são amplamente utilizados como agente de coagulação e a escolha do insumo depende do custo e eficiência do processo (FILHO, 2017).

A associação das moléculas desestabilizadas pela ação do coagulante e subprodutos formados pela precipitação é conhecida como floculação. O conjunto de flocos formados pode ser removido por outras operações unitárias, como a sedimentação por gravidade e/ou filtração (KERRY, 2016).

Os polímeros de cadeia longa (neutros, catiônicos ou aniônicos) podem ser utilizados como auxiliares de coagulação, de modo a reduzir os custos de processo e melhorar a sedimentação a partir da estruturação dos flocos em cadeias, tornando-os mais pesados (BITTENCOURT; DE PAULA, 2014).

O fluido é enviado pela EBAB até à câmara de recepção da ETA Belém Novo e escoado por um canal conectado com a Calha Parshall onde é feita a adição do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC). Com a velocidade implementada pelo bombeamento e a queda após a Calha Parshall ocorre o processo descrito anteriormente como floculação, podendo ser utilizado a Poliacrilamida (polieletrólito não iônico) como auxiliar de processo, quando a turbidez ou a vazão da ETA estiverem elevadas.

A busca pela padronização do uso de PAC e Poliacrilamida de acordo com a turbidez da água captada foi objeto de pesquisa na Estação de Tratamento de Água Belém Novo. Para valores de turbidez até 50 NTU, observou-se que a dosagem de coagulante necessária é 18 mg/L, enquanto que para a faixa de turbidez entre 50 NTU e 100 NTU a dosagem mais econômica é de 21 mg/L. Acima de 100 NTU os resultados satisfatórios indicaram a dosagem de 24 mg/L. Em relação ao auxiliar de coagulação, a concentração de 0,2 mg/L de solução demonstrou resposta adequada para amostras de água bruta com turbidez acima de 100 NTU (CAGLIARI, 2018).

2.3.3. Sedimentação

A sedimentação é um processo físico que ocorre a separação das partículas sólidas em suspensão da água. Através das forças gravitacionais atuantes as moléculas com densidade maior que a da água submergem ao fundo do tanque, operação denominada decantação.

Os decantadores convencionais de fluxo horizontal são altamente empregados em plantas de tratamento de água e efluentes devido a simplicidade de instalação, alta produtividade e capacidade de operação frente a sobrecarga de sólidos (RICHTER, 1991), sendo necessária uma grande área para a sua

implementação. O processo deve ocorrer em escoamento constante e não turbulento, gerando zonas de precipitação como demonstrado na Figura 2. A separação na zona H1 propicia a clarificação do meio líquido de menor massa específica e o espessamento do lodo depositado no fundo do sedimentador (H4).

Figura 2 - Zonas observadas em decantadores convencionais



Fonte: H2O Engenharia, 2022.

A alternativa para estações de tratamento de água com espaço físico reduzidos são os decantadores de manta de lodo ou floco-decantador, tendo em vista que as suas operações de floculação e decantação são integradas na mesma unidade.

O processo combina a sedimentação lamelar por contato em manto de lodo e pulsação. O fluxo da água oriundo da floculação penetra na câmara de pulsão e com a formação de vácuo, é impulsionado pelos defletores inferiores fazendo com que o fluido tenha uma velocidade ascendente passando pela manta de lodo onde ficam retidos os sólidos maiores e emerge pelas lamelas, as partículas de média e pequena densidade, que “escorregam” pelas lamelas em sentido oposto ao da água e acabam se depositando no fundo do decantador, com uma inclinação entre 50 e 60°, para que o lodo escoe continuamente, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Decantador lamelar por contato em manto de lodo da ETA



Fonte: Autor, 2023.

2.3.4. Filtração

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio granular. Em geral, a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma ETA e, portanto, principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com o padrão de potabilidade exigido (ZIPF, 2010).

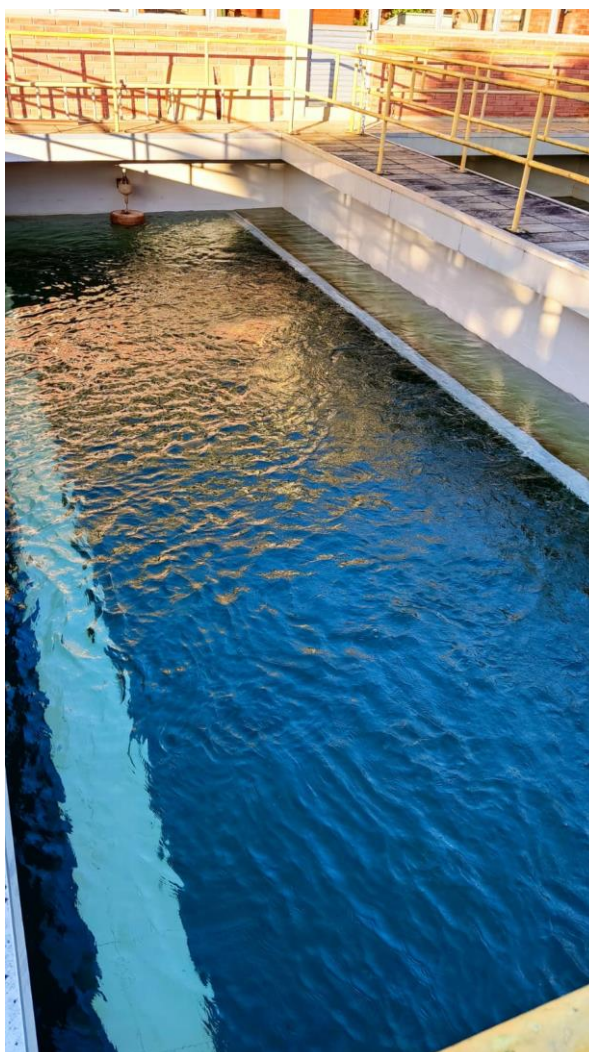
Mesmo que a etapa de floculação e sedimentação seja eficiente, a turbidez resultante não atinge o padrão de potabilidade, a etapa de filtração é essencial para diminuir a turbidez do efluente, e, além disso, mitigar o risco de ocorrência de protozoários como *Giardia* e *Cryptosporidium* (HELLER et al., 2004). E a desinfecção também será favorecida, pois quanto menor a turbidez da água maior será a velocidade de reação do cloro.

O processo pode ser classificado de acordo com a taxa de filtração: filtros lentos, filtros rápidos e filtros rápidos de alta taxa (FILHO, 2017). Na filtração rápida descendente, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante que é formado por uma camada simples de areia e camada dupla de areia e antracito. O uso do carvão

ativado como material de filtro é observado em projetos que combinam filtração com adsorção na mesma etapa (KERRY, 2016).

Em geral, a retenção de impurezas é considerada o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. Em primeiro lugar, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderidas a estes, de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Nos sistemas de filtração rápida, com efluentes abaixo de 0,5 NTU e operados corretamente, podem remover e inativar 99% dos cistos de *Giardia*, assim como amostras de água filtrada com turbidez inferior a 0,3 NTU podem alcançar a redução de 99% de oocistos de *Cryptosporidium* (HELLER et al., 2004).

Figura 4 - Filtro da Estação de Tratamento de Água



Fonte: Autor, 2023.

A limpeza dos filtros deve ocorrer quando a média das análises transpassar o limite de 0,5 NTU a cada 2 h ou após ultrapassar o tempo de carreira do filtro, normalmente, entre 20 e 30 h. A lavagem por ar comprimido e água é um sistema muito utilizado em filtros com areia de grande espessura, onde o ar envolve os grãos e a água lava o espaço entre eles evitando caminhos preferenciais formados apenas pela passagem de água.

O uso de compressor é feito para forçar a passagem ascendente do ar sobre o meio filtrante, fazendo com que haja agitação dos sólidos compactados na base superior do filtro. Em seguida, é utilizada a água em retrolavagem de forma ascendente, visando expurgar a mistura sólido/líquido liberada pela ação do ar comprimido, na calha de transbordo. Nesta etapa, todo o efluente gerado do sistema de lavagem é encaminhado à destinação adequada.

Figura 5 - Lavagem do Filtro



Fonte: Autor, 2023.

2.3.5. Desinfecção

Esse processo é fundamental para prevenir a disseminação de doenças infecciosas e outros males causados por contaminações, além de produzir água tratada segura e de qualidade.

A adição de agentes de desinfecção, além de atuar diretamente no processo, protege o sistema de distribuição, uma vez que a garantia da qualidade microbiológica da água deve ser atendida por toda a extensão da rede de água tratada, com níveis mínimos residuais do produto empregado (FILHO, 2017).

A desinfecção da água pode ser realizada por diferentes métodos que depende de fatores como as propriedades físico-químicas da água, sua finalidade, o tipo desejado de desinfecção e o volume de água a ser tratado. Entre os métodos mais conhecidos podemos citar a cloração (uso de cloro), a ozonização e a descarga de raios ultravioleta.

O emprego do cloro como agente desinfetante é largamente adotado pois deixa residual em solução, protegendo o sistema de abastecimento, pode ser encontrado como gás, líquido ou sólido - como é o caso do hipoclorito -, possui baixo custo, tem potencial de destruição da maioria de microrganismos patogênicos e possui alta solubilidade, aproximadamente 7,0 g/L a 20 °C (RICHTER, 1991).

2.3.6. Fluoretação

O processo de fluoretação consiste na adição controlada de um composto de flúor na água distribuída à população, com a finalidade de elevar sua concentração até um determinado valor, estabelecido como efetivo na prevenção da cárie dentária (RAMIRES; BUZALAF, 2007). Porém, deve ser realizada de forma contínua e em teores adequados para que não ocorra perda do benefício ou o surgimento de efeitos maléficos, como a fluorose (FRAZÃO et al, 2011). A fluorose é um defeito de mineralização do esmalte do dente, com severidade diretamente associada à quantidade do íon flúor ingerida durante o processo de formação do germe dentário.

Os compostos mais recomendados para adicionar flúor à água são: Ácido Fluossilícico, Fluoreto de Cálcio, Fluossilicato de Sódio e Fluoreto de Sódio (BITTENCOURT; DE PAULA, 2014). Conforme a Portaria nº 888/2021, a concentração máxima do íon que pode ser adicionada é de 1,5 mg/L.

2.3.7. Armazenamento e distribuição

O armazenamento de água constitui uma etapa essencial e determinante para a continuidade do abastecimento de água, visto que garante certa produção em

condições de parada emergencial da planta de tratamento e responde às variações de consumo diário de água além de manter a rede de distribuição pressurizada (MUNIZ, 2021).

A ETA Belém Novo possui com capacidade 4500 m³ de reservação de água, distribuídos em dois reservatórios enterrados que se comunicam e possuem 3,3 m de altura, com um extravasor em 3 m, desta forma o limite de produção é 4300 m³.

2.4. Características físicas

Apesar de as características físicas da água terem importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinantes na escolha da tecnologia do tratamento (DI BERNARDO et al, 2002).

2.4.1. Turbidez

A turbidez é característica física relativa à adsorção, ou refração de luz no meio aquoso, devido a presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos. A turbidez pode ser causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Este fator é extremamente relevante ao longo do sistema de tratamento de água, pois baliza a eficiência das operações unitárias empregadas no processo, auxiliando na tomada de decisão do operador frente às nuances operacionais. Segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, os padrões para turbidez da água tratada estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Padrões de Turbidez para Água Pós-Desinfecção (para Águas Subterrâneas) ou Pós-Filtração.

Tratamento da água	VMP(1)	Número de amostras	Frequência
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT(2) em 95% das amostras. 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	A cada 2horas
Filtração em Membrana	0,1 uT(2) em 99% das amostras.	1	A cada 2horas
Filtração lenta	1,0 uT(2) em 95% das amostras. 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Diária
Pós-desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT(2) em 95% das amostras. 5,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Semanal

Fonte: Adaptado de Brasil, 2021.

2.5. Características químicas

Do ponto de vista sanitário, as características químicas das águas são de grande importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos específicos. Dependendo da forma em que se encontra um metal na água, ele poderá ou não ser removido na estação. O cromo com valência seis, por exemplo, é muito mais difícil de ser removido que o cromo de valência três (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

2.5.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH expressa a acidez de uma solução. É um parâmetro importante, principalmente nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e controle de corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto. Águas com valor elevado de pH, tendem a formar incrustações (DI BERNARDO et al, 2002).

Os agentes e auxiliares de coagulação têm sua maior eficiência em pH entre 7 e 8, favorecendo a ação química na desestabilização das partículas sólidas e formação do precipitado. Segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, recomenda-se limites para pH entre 6 e 9.

2.6. Resíduos da estação de tratamento de água

As estações de tratamento de água apresentam potenciais poluidores apesar de serem sistemas produtivos de água para o consumo humano. Os sistemas de tratamento de água convencionais geram resíduos pelo elevado consumo de água na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, produzindo uma grande quantidade de efluentes.

Os resíduos produzidos, caracterizam-se por possuírem grande umidade, geralmente maior que 95%, estando sob forma fluida. Em termos de volume, a maior quantidade de resíduos é proveniente da lavagem dos filtros e, em termos de massa de sólidos, as maiores quantidades são geradas nos decantadores. (SOUZA; CORDEIRO, 2002).

A caracterização dos resíduos oriundos das estações de tratamento de água está relacionada com os diversos parâmetros biológicos específicos da sua captação. Geralmente, tais resíduos apresentam baixa biodegradabilidade, alta concentração de sólidos totais, agentes patogênicos e, eventualmente, metais pesados que podem causar toxicidade à vida aquática.

A disposição inadequada deste efluente, em corpos hídricos, tem mostrado ser extremamente danosa, seja pela provável toxicidade dos resíduos gerados no processo e presentes neste efluente, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez da água no corpo receptor, que podem comprometer a estabilidade da vida aquática. O efluente descartável apresenta uma composição bastante variada, sendo constituído principalmente do material em suspensão, originalmente presente na água bruta, e das substâncias químicas adicionadas à água (coagulantes) para tratá-la. (MENEZES et al, 2005).

2.7. Reuso de água na ETA

Com a crescente degradação dos corpos hídricos buscam-se alternativas para minimizar este problema. Uma tecnologia amplamente empregada nos sistemas de uso excessivo de água são a sua reutilização durante o processo, minimizando o consumo, gastos, etc. Nas estações de tratamento de água, o emprego deste sistema é uma estratégia de redução dos desperdícios no processo,

mediante aumento direto de sua eficiência e, quando viável, da recuperação da água de lavagem e decantação para o próprio tratamento.

No Brasil não há regulamentação específica para esta prática, apenas a norma NBR 12.216 (ABNT, 1992) admite a reutilização da água de lavagem desde que seja submetida a pré-sedimentação e cloração intensa. Uma recomendação usual é que o retorno da água de lavagem não ultrapasse a 10% da vazão da água bruta afluyente à ETA de modo a permitir que não haja nenhum prejuízo no processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento (KAWAMURA, 1991).

2.8. Bombas

O bombeamento de água é uma operação amplamente utilizada em diversas aplicações, como abastecimento público, irrigação, drenagem, entre outras. Para garantir um bom desempenho do sistema, é essencial que a potência da bomba seja corretamente dimensionada e selecionada, de acordo com as demandas de vazão e pressão da aplicação em questão. Além disso, a escolha do tipo de bomba mais adequado para a aplicação é fundamental para garantir a eficiência energética do sistema.

Existem diversos tipos de bombas utilizadas para o bombeamento de água, sendo as mais comuns as bombas centrífugas e as bombas de deslocamento positivo. As bombas centrífugas são amplamente utilizadas devido à sua simplicidade construtiva, baixo custo e alta eficiência energética em altas vazões e baixas pressões. Já as bombas de deslocamento positivo são mais indicadas para aplicações que exigem altas pressões e baixas vazões, apresentando alta eficiência energética em condições de baixa vazão. Entre as bombas de deslocamento positivo, destacam-se as bombas de pistão, as bombas de diafragma e as bombas de engrenagens.

A bomba centrífuga submersa é geralmente usada para bombear líquidos com sólidos em suspensão. Essas bombas têm uma entrada de sucção na parte inferior e usam a força centrífuga para empurrar o líquido para cima e para fora da bomba. Elas podem ser mais eficazes na remoção de sólidos em suspensão do que as bombas submersíveis, pois a entrada de sucção está na parte inferior da bomba, onde a maioria dos sólidos se acumula.

Por outro lado, as bombas submersíveis são normalmente usadas para bombear líquidos mais limpos ou com menos sólidos em suspensão. Essas bombas são projetadas para serem submersas diretamente no líquido a ser bombeado, o que as torna mais eficientes e silenciosas do que as bombas centrífugas submersas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando compreender o projeto desenvolvido por este trabalho será realizada uma breve explicação do funcionamento da estação de tratamento de água, a qual contemplará o reuso das águas de lavagens dos filtros.

3.1. Sistema de tratamento da ETA

A estação de bombeamento de água bruta detém a sua captação à distância de 2000 m da beira da praia do Belém Novo e é formada por 4 conjuntos de motor-bomba de eixo vertical com capacidade de sucção de 1000 L/s. Sendo assim, a ETA tem a mesma capacidade produtiva.

Na Estação de Tratamento de Água (ETA), o fluido é recebido na câmara primária e direcionado para a calha Parshall, onde são adicionados o PAC e o auxiliar de coagulação. O fluido então flui para duas câmaras de compressão, onde é insuflado na parte inferior da manta de lodo dos dois decantadores, retendo partículas maiores. Após o processo de compressão, o fluido segue por um caminho ascendente, passando por placas lamelares e vertedouros, antes de chegar aos seis filtros da ETA. O sistema de filtração é composto por dois sistemas de granulometria diferentes, que permitem a percolação da água de forma rápida e de fluxo descendente. Em seguida, a água é direcionada para o poço de contato, onde é adicionado cloro para desinfecção e fluoretação, antes de ser enviada para os reservatórios de abastecimento e posteriormente bombeada para as redes de distribuição.

3.2. Sistema de retrolavagem de filtros

A retrolavagem dos filtros ocorre quando as análises de turbidez transpassam, continuamente, 0,5 NTU ou quando o tempo de carreira está entre 20 e 24 h. Este processo transcorre, no primeiro momento, com o uso do ar comprimido em contracorrente ao fluxo comum de água por 8 min. Seguidamente, utiliza-se a água junto com o ar comprimido por 6 min. A última etapa é realizada apenas com a água em fluxo ascensional por 6 min. Posteriormente, todo o volume de efluente gerado, 130 m³, é encaminhado à tubulação pluvial da estação.

3.3. Métodos de análises

A análise de turbidez da amostra de água de processo da ETA Belém Novo segue o método nefelométrico, com a utilização de cubeta de vidro para acondicionar a amostra e realizar a leitura com o equipamento turbidímetro da marca HACH modelo 2100P.

A determinação do pH é feita eletronicamente, equipamento de marca HACH, modelo DM-20, com a utilização de um potenciômetro e eletrodos. O princípio da medição eletrométrica do pH é a determinação da atividade iônica do hidrogênio, utilizando o eletrodo padrão de hidrogênio, que consiste em uma haste de platina sobre a qual o gás hidrogênio flui a uma pressão de 101 kPa.

As coletas de amostras foram realizadas em triplicata, em 3 momentos distintos durante a lavagem dos filtros: 0, 10 e 20 min. A partir dos dados obtidos, foi possível obter um perfil da turbidez e do pH ao longo de todo o processo.

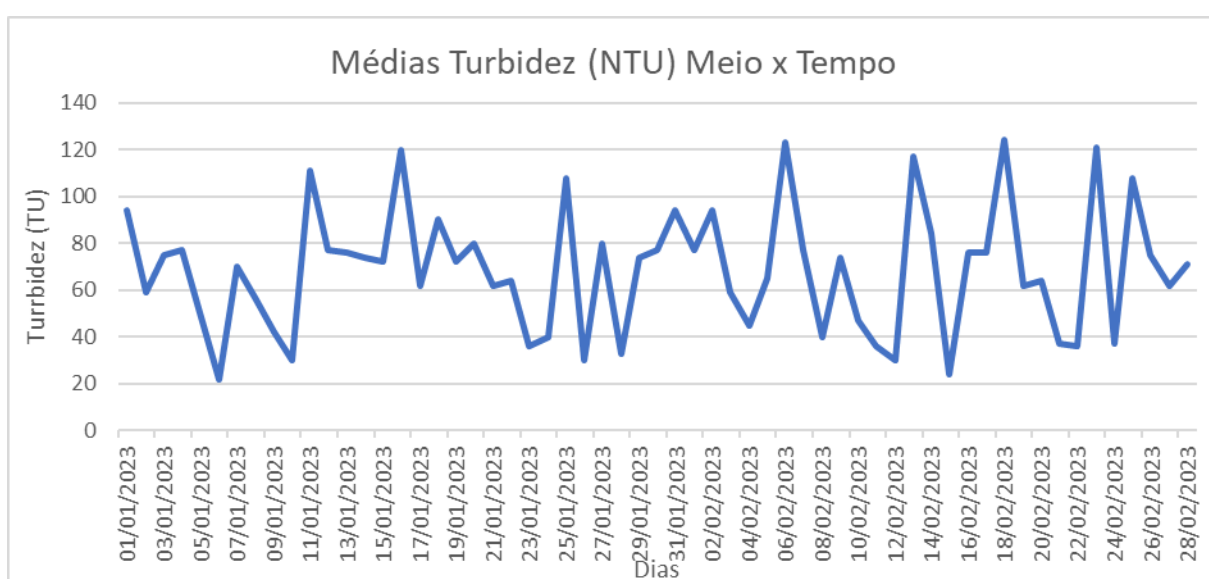
3.4. Câmara de retenção

Devido a capacidade, formatação e canalização de expurgos, já implementadas na ETA, o poço de descarte dos efluentes da ALAF, de dimensões 0,8 x 28,5 x 4,70 m e capacidade útil de 77,5 m³, foi utilizado como câmara de retenção. Desta forma, foi necessário apenas a projeção e implementação da bomba de expurgo e canalização ligando esta etapa à câmara de recepção de água bruta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização da água residual, proveniente da lavagem dos filtros, baseia-se nos padrões de tratamento estabelecidos pela Estação de Tratamento de Água (ETA) e a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde com os limites estipulados de pH entre 6 a 9 e a turbidez com valores abaixo de 1000 NTU. Desta forma, conforme evidenciado no Gráfico 1 e 5, as médias da turbidez e pH da ALAF estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação e do sistema de tratamento.

Gráfico 1 - Médias diárias de turbidez das ALAFs.



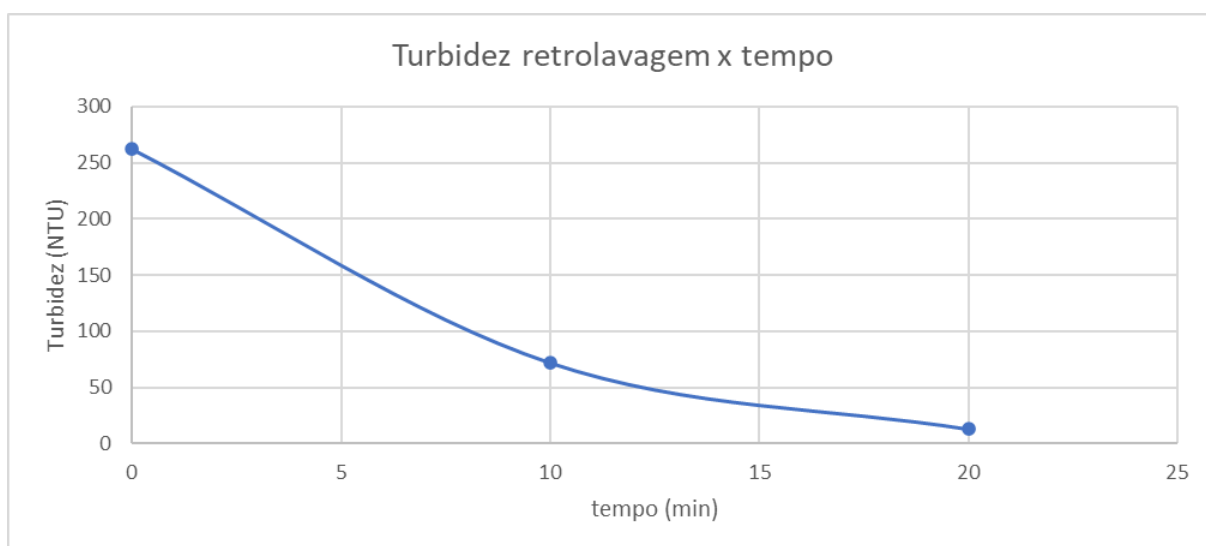
Fonte: Autor, 2023.

A legislação brasileira se limita apenas à classificação das classes de água, não estabelecendo limites para a captação de água bruta nas estações de tratamento. Como resultado, em situações adversas que afetam a turbidez da água, o tratamento é realizado até que os limites de carga sólida dos decantadores sejam atingidos, garantindo que a água tratada esteja dentro dos padrões de potabilidade.

No entanto, nos meses de janeiro e fevereiro, período de estiagem, a turbidez da água bruta e a carga de retenção sólida dos filtros são diretamente afetadas. Apesar de a ETA ter capacidade de tratamento superior a 1000 NTUs, em casos extremos, é necessário reduzir a vazão para garantir o tratamento adequado da água.

Por meio do incremento da carga sólida nos decantadores, há também um aumento correspondente na retenção de sólidos totais nos filtros, podendo ocasionar uma variabilidade quantitativa da turbidez durante a operação de retrolavagem dos filtros. Nesse contexto, o Gráfico 2 ilustra a curva de redução da turbidez ao longo do processo, evidenciando a eficiência da lavagem, bem como a possibilidade de diluição do efluente. A diluição simplifica o reciclo no processo, uma vez que a porcentagem de sólidos presentes na água diminui com a contribuição volumétrica de água, sendo superior à produção mássica de rejeitos sólidos.

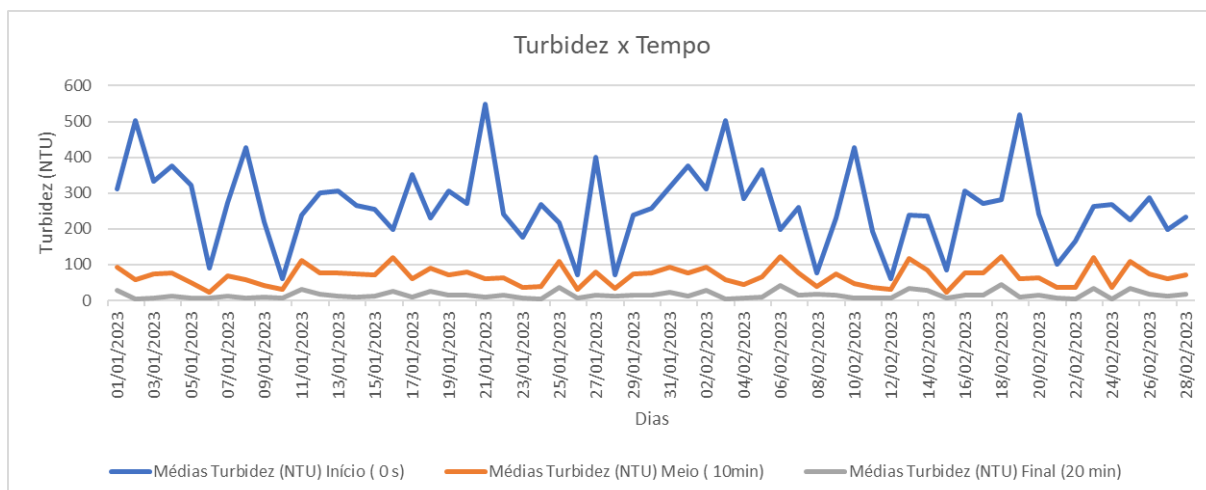
Gráfico 2 - Curva de Turbidez no processo de retrolavagem de filtros.



Fonte: Autor, 2023.

Porém o gráfico 3 demonstra a variação diária da turbidez ao longo da lavagem, e evidencia a necessidade de espera de uma parcela da carga volumétrica retida na câmara de retenção que favorece a diluição do efluente.

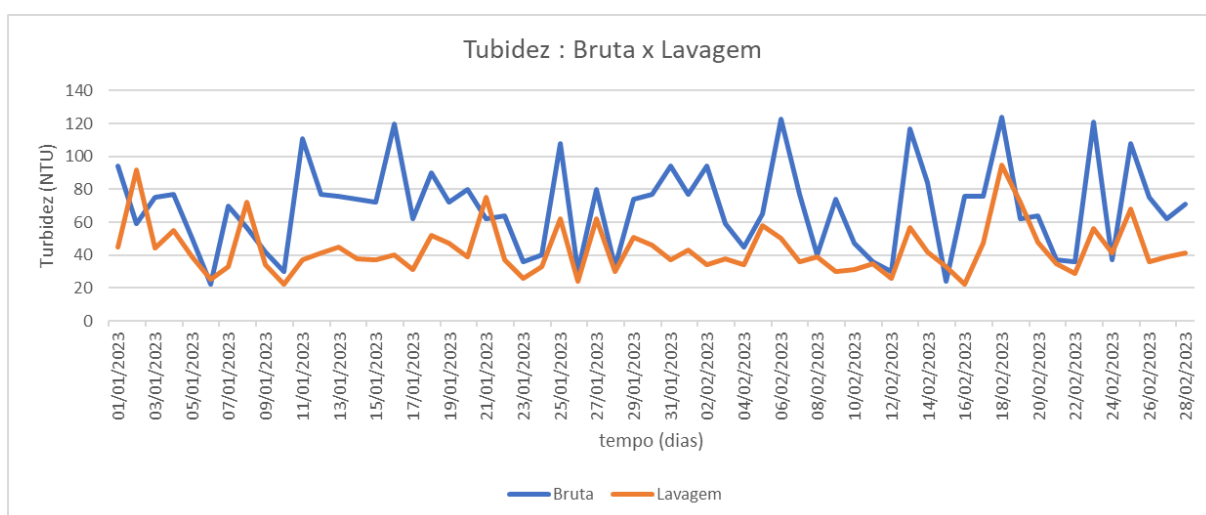
Gráfico 3 - Comparativos de turbidez em diferentes tempos da lavagem.



Fonte: Autor, 2023.

Adequar o projeto de reutilização das águas de lavagem dos filtros, requer considerar um fator importante: a comparação entre a turbidez da água bruta e da água tratada. Para isso, utilizou-se as médias diárias de turbidez, comparando-as com a água captada durante a lavagem no mesmo horário (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Comparativo entre turbidez da ALAF x água bruta.

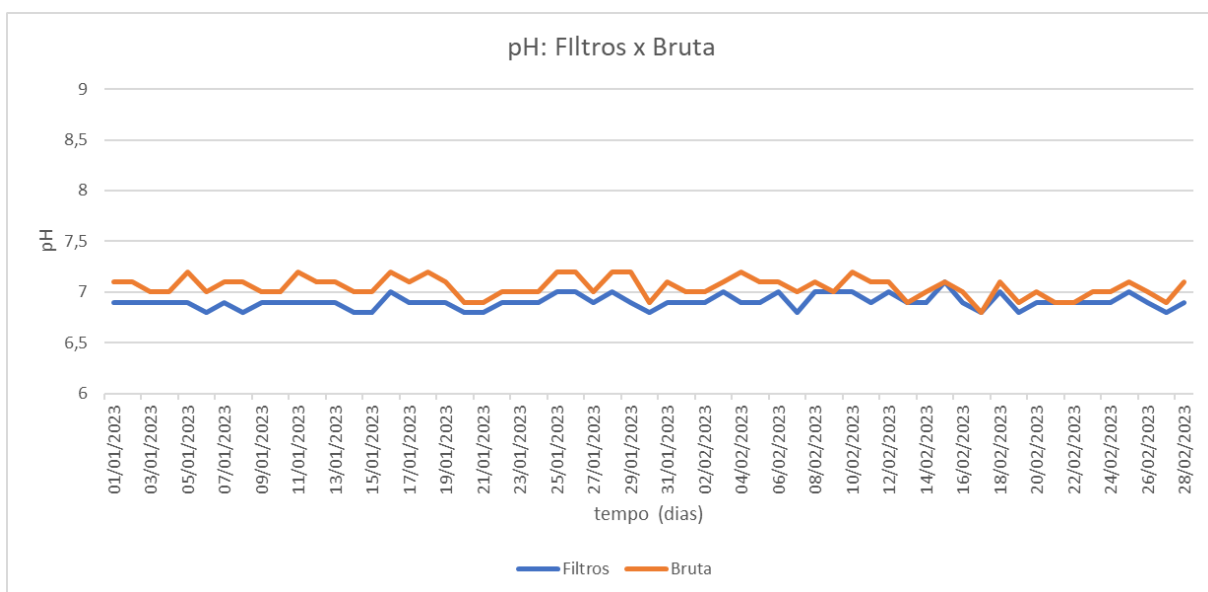


Fonte: Autor, 2023.

Além dos aspectos físicos, é fundamental considerar o parâmetro químico do pH no processo de reutilização das águas de lavagem dos filtros. Da mesma forma

que a turbidez, utilizou-se a média das medições para fazer a comparação (Gráfico 5).

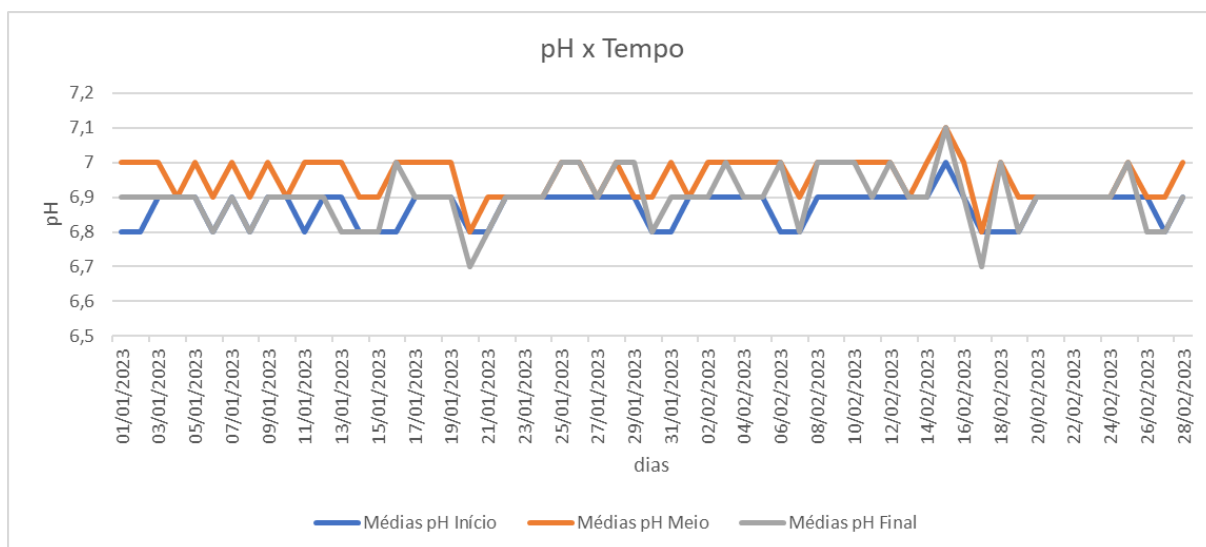
Gráfico 5 - Comparativo entre pH da ALAF x água bruta.



Fonte: Autor, 2023.

Mesmo excluindo as médias gerais, o gráfico 6 demonstra que existe uma semelhança nos resultados das análises diárias de cada etapa da lavagem, com discrepâncias não superiores a 0,4. Estes valores estão de acordo com a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde e as normas teóricas, que recomendam a faixa de pH de 6 a 9 para o tratamento e potabilidade da água.

Gráfico 6 - Comparativo de pH entre cada etapa da lavagem.



Fonte: Autor, 2023.

Para atender à demanda de diluição máxima do efluente gerado durante a retrolavagem do filtro de lavagem, é necessária uma câmara de retenção, com capacidade ideal de 130 m³, até a base do extravasor, a qual se encontra a 50 cm da superfície livre. Na ETA, a câmara tem capacidade de 77,5 m³, o que é suficiente para comportar apenas uma parcela da demanda do processo, sendo necessário iniciar o bombeamento antes de atingir a carga máxima.

Com a seleção apropriada de uma bomba centrífuga submersível, é possível manter um fluxo constante de 65 L/s de fluido ao passar de 6 min do início do processo, eliminando a necessidade de intervalos longos de lavagem. Isso permite que o efluente seja recirculado no processo, mantendo os níveis do poço baixos e tornando possível a lavagem de novos filtros.

5. CONCLUSÃO

O reciclo da água é uma solução adequada para minimizar o desperdício de água em operações de lavagem e, ao mesmo tempo, mitigar o impacto ambiental associado a essa atividade. Após a análise dos resultados das caracterizações

físico-químicas de turbidez e pH, constatou-se que ambos os parâmetros estão dentro dos padrões de operação da ETA e em conformidade com as legislações vigentes.

No entanto, quando enfrentando variações na turbidez, é aconselhável esperar os primeiros 6 min da lavagem antes de acionar o bombeamento, por meio de bóias ou manualmente, com uma vazão mínima de 65 L/s. Essas condições levam a uma diluição do efluente, o que diminui a concentração de sólidos em um volume maior de água. É fundamental garantir que a vazão de refluxo seja inferior a 10% da vazão total da ETA, caso a turbidez do efluente seja alta. Essa medida é efetiva, pois, quando recirculada, a água irá se diluir na mistura com a água bruta sem afetar significativamente a turbidez. É importante destacar que o reciclo das águas de lavagem também contribui para a redução da dosagem de PAC, já que essas águas carregam uma parcela dos processos anteriores, acelerando o processo de floculação e retenção nos decantadores.

De acordo com a literatura, a faixa de pH ótima para o PAC está geralmente entre 5,5 e 7,5 (TARE et al., 2019; PÉREZ et al., 2017; MOLINA et al., 2014). Com base nisso, pode-se constatar que o pH das águas de lavagem está dentro dessa faixa ideal e não há influência significativa de valores devido à sua proximidade com as concentrações de íons H_3O^+ na água bruta.

REFERÊNCIAS

1. ABES. NIT-DN 157:2006 - Critérios para projeto e operação de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/ctqpq/docs/NI157.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2023.
2. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
3. ABNT. NBR 16.098: água para consumo humano. Rio de Janeiro, 2004.
4. BAKER, M.N.; TARAS, M.J. The quest for pure water: the history of the twentieth century. 2. Denver: AWWA, 1981. Volume I, 2. ed.
5. BITTENCOURT, CLAUDIA; DE PAULA, MARIA APARECIDA SILVA. Tratamento de água e efluentes Fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. Saraiva Educação SA, 2014.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças Transmitidas por Água. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha#:~:text=No%20Brasil%2C%20no%20per%C3%ADodo%20de,22.205%20ho spitalizados%20e%20152%20%C3%B3bitos>. Acesso em: 13 jan. 2023.
7. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 7 de maio de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, nº 87, 10 mai. 2021. Seção 1, p. 98-99. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 01 fev. 2023.
8. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 21 jan. 2023.
9. BRITO, Francisco Rodrigues Saturnino de. Abastecimento de águas. Parte geral, tecnologia e estatística. Obras Completas. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, v. 3, 1943.
10. CAGLIARI, Larissa. Padronização do uso de policloreto de alumínio e poliacrilamida em uma ETA de Porto Alegre. 2018.
11. CRAWFORD, Randy. Are submersible pumps right for dry pit service?. World Pumps, v. 2008, n. 499, p. 26-29, 2008.
12. DI BERNARDO, Luiz. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. 2003.
13. DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 11, p. 107-107, 2006.

14. DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo Luiz. Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. 2002.
15. DMAE. Dados Gerais 2020. Porto Alegre, 2021. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/dados_gerais_2020_r-etificado.pdf. Acesso em: 13 jan. 2023.
16. FILHO, S. S. Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. 1. edição. 2017.
17. FRAZÃO, Paulo; PERES, Marco A.; CURY, Jaime A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. Revista de saúde pública, v. 45, p. 964-973, 2011.
18. FUSATI, Leonardo. Desinfecção da Água: conheça mais sobre o processo de desinfecção e tratamento. Disponível em: <https://www.fusati.com.br/desinfeccao-da-agua/#:~:text=ETA%3A%20a%20Grande%20Central%20de%20Desinfec%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%81gua&text=No%20caso%20das%20ETAs%2C%20ap%C3%B3s,de%20c%C3%A1ries%20na%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira..> Acesso em: 05 fev. 2023.
19. GOVERNO FEDERAL. Estudo do governo federal mostra que Brasil tem 753,2 mil km de redes de distribuição de água e 365 mil km de redes de esgoto. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2022/12/estudo-do-governo-federal-mostra-que-brasil-tem-753-2-mil-km-de-redes-de-distribuicao-de-agua-e-365-mil-km-de-redes-de-esgoto>. Acesso em: 08 jan. 2023.
20. H2O ENGENHARIA. Sedimentação. 2022. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/sedimentacao/>. Acesso em: 02 fev. 2023.
21. HELLER, Léo et al. Oocistos de Cryptosporidium e cistos de Giardia: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 13, n. 2, p. 79-92, 2004.
22. KAWAMURA, Susumu. Integrated Design of Water Treatment Facilities. New York: John Willey & Sons. 1991.
23. KERRY, H. Princípios de tratamento de água. São Paulo, SP: Cengage, 2016. ISBN 9788522124084.
24. MENEZES, Ana CLSM 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, p. 191-196, 2005.
25. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Diagnóstico temático - visão geral: abastecimento de água e esgotamento sanitário - 2022. Brasília, DF: MDR, 2022. Disponível em: https://arquivos-snis.mdr.gov.br/REPUBLICACAO_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

26. MODERN PUMPING TODAY. Choosing a submersible pump vs. a dry pit pump. Modern Pumping Today, 2023. Disponível em: [https://modernpumpingtoday.com/choosing-a-submersible-pump-vs-a-dry-pit-pump/#:~:text=Dry%2Dpit%20pumps%20typically%20have,longer%20seal%20and%20bearing%20life\)..](https://modernpumpingtoday.com/choosing-a-submersible-pump-vs-a-dry-pit-pump/#:~:text=Dry%2Dpit%20pumps%20typically%20have,longer%20seal%20and%20bearing%20life)..) Acesso em: 07 fev. 2023.
27. MOGENSEN, Henrik. Does the world need more submersible pumps, or better pumps and installations?. World Pumps, v. 2006, n. 478, p. 24-27, 2006.
28. MOLINA, C. et al. Treatment of wastewater from a paper mill industry by coagulation–flocculation process with polyaluminium chloride (PAC), ferric chloride (FeCl₃) and aluminium sulphate (AS). Water Science and Technology, v. 69, n. 10, p. 2119-2126, 2014.
29. MUNIZ, Luana Toniolo. Sistema para controle de turbidez na etapa de captação em uma estação de tratamento de água de porto alegre. 2021.
30. MWH – MONTGOMERY WATSON HARZA. Water treatment: principles and design. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
31. ONU BRASIL. ONU e o meio ambiente. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 11 jan. 2023.
32. PÉREZ, R. et al. Effects of temperature, pH and Al₂O₃ content on the flocculation properties of polyaluminum chloride. Chemical Engineering Journal, v. 316, p. 1-8, 2017.
33. PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Informações Esgoto Cloacal. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/dmae/informacoes-esgoto-cloacal>. Acesso em: 15 jan. 2023.
34. RAMIRES, Irene; BUZALAF, Marília Afonso Rabelo. A fluoretação da água de abastecimento público e seus benefícios no controle da cárie dentária: cinquenta anos no Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, p. 1057-1065, 2007.
35. RICHTER, Carlos A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. Editora Blucher, 1991.
36. RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Plano Estadual de Saneamento: consulta pública. Porto Alegre: SEMA, 2022. Disponível em: <https://admin.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202210/05140355-plano-estadual-de-saneamento-consultapublica.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.
37. ROCHA, A. A. Histórias do Saneamento. São Paulo, SP: Blucher, 2018. ISBN 9788521210139.
38. SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução CRH nº 207, de 28 de novembro de 2016. Retifica e complementa o enquadramento e aprova metas intermediárias para a bacia do lago Guaíba. Porto Alegre: SEMA, 2016. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/23130127-resolucao-crh-207->

2016-retifica-e-complementa-enquadramento-e-aprova-metas-intermediarias-bacia-lago-guaiba-28-11.pdf. Acesso em: 02 fev. 2023.

39. SOUZA, F. G. C; CORDEIRO, J. S. Resíduos Gerados em Estação de Tratamento de Água com Descargas Diárias. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento. S.d.
40. TARE, V. et al. A study of effect of pH on coagulation with polyaluminium chloride and its comparison with alum. *Journal of Environmental Management*, v. 242, p. 276-283, 2019.
41. TERTO, Raissa Salviano et al. Caracterização dos resíduos da água de lavagem de filtros em ETA de filtração direta-2018. 2019.
42. TRATAMENTO DE ÁGUA. Processo de filtração de água: principais instalações em uma estação de tratamento de água. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/processo-filtracao-agua-principais-instalacoes-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 05 fev. 2023.
43. UNITED NATIONS REGIONAL INFORMATION CENTRE FOR WESTERN EUROPE. Água: um recurso em perigo.
44. United States Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Regulations. Disponível em: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>. Acesso em: 11 fev. 2023.
45. USGS. Water Science School. How much water is there on Earth? Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>. Acesso em: 02 jan. 2023.
46. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, 4th ed. Geneva: WHO, 2011.
47. WORLDOMETERS. Brasil: Estatísticas mundiais em tempo real. 2023. Disponível em: <https://www.worldometers.info/br/>. Acesso em: 11 jan. 2023.
48. ZIPF, Mariah Siebert. Caracterização e estudos de reuso da água de lavagem dos filtros de uma estação de tratamento de água (eta) de uma indústria têxtil de Blumenau-SC. 2010.