



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LUCIANA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS
FILTROS DE UMA ETA COMPACTA PARA APLICAÇÃO *IN PLANT***

TUCURUÍ
2020

LUCIANA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS
FILTROS DE UMA ETA COMPACTA PARA APLICAÇÃO *IN PLANT***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Prof^ª. Ma. Vanessa Conceição dos Santos

Coorientador: Me. Mayko de Sousa Menezes

TUCURUÍ
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

P324a Paula de Souza, Luciana.
ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RECIRCULAÇÃO DA
ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ETA
COMPACTA PARA APLICAÇÃO IN PLANT / Luciana Paula de
Souza. — 2020.
82 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. MSc. Vanessa Conceição dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2020.

1. Tratamento De Água, Reaproveitamento de Água,
Resíduos Gerados em ETAs, Uso de Polímeros.. I. Título.

CDD 628.162

LUCIANA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS
FILTROS DE UMA ETA COMPACTA PARA APLICAÇÃO *IN PLANT***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 09 / 12 / 2020

Conceito: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Ma. Vanessa Conceição dos Santos - UFPA/CAMTUC/FAESA(Orientadora)

Me. Mayko de Sousa Menezes - ELETROBRAS/ELETRONORTE (Coorientador)

Prof^a. Dra. Etiene Elayne Meireles da Rocha - UFPA/CAMTUC/FAESA (Avaliador interno)

Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa - UFPA/ITEC/FAESA (Avaliador externo)

(Assinado digitalmente em 23/02/2021 16:14)


ETIENE ELAYNE MEIRELES DA ROCHA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
CTUCU (11.16)
Matrícula: 2389998

(Assinado digitalmente em 26/02/2021 14:54)

FRANCISCO CARLOS LIRA PESSOA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
ITEC (11.41)
Matrícula: 1949441

(Assinado digitalmente em 23/02/2021 01:24)

VANESSA CONCEICAO DOS SANTOS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
CTUCU (11.16)
Matrícula: 2412354

 Assinado de forma digital por
Mayko De Sousa Menezes
Dados: 2021.02.24 11:28:50 -03'00'

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufpa.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **6**, ano: **2021**,
tipo: **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO/TCC**, data de emissão: **23/02/2021** e o código
de verificação: **bf1e60d066**

Dedico à minha família e todos que contribuíram para este trabalho. Dedico também a toda mulher negra de origem humilde que, por algum motivo, não obteve acesso ao ensino superior. Em especial, a minha mãe Irany Souza que foi e sempre será a minha maior inspiração e a luz do meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e a toda divindade que me acompanha, pois sou muito abençoada e isso me impulsiona na busca dos meus sonhos e a ter perseverança nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Selmir Paula Santos e Irany Lavrador de Souza (Em Memória) que são muito mais que provedores da minha vida, mas dos meus sonhos, dos meus ideais, fonte de inspiração e força. Obrigada por serem o sentido da minha vida, tudo é por vocês. Mãe, o seu maior sonho pra mim se realizou e de onde estiver, sei que estás radiante!

Aos meus familiares pela torcida, pelas palavras de apoio e carinho. Em especial, minha avó, Salustiana Lavrador de Souza que me faltam palavras para descrever a sua força, a serenidade e clareza. Obrigada por tanto!

Aos meus amigos que sempre foram meu suporte e amor durante toda a minha jornada acadêmica. Eu sou sinceramente muito grata por toda energia positiva, pois acredito que de alguma forma o universo se encarregou de fazê-la chegar até mim. Eu gostaria muito de poder citar nomes, mas eu seria muito injusta em escolher citar apenas alguns.

À Universidade Federal pública que me proporcionou o acesso ao ensino superior e com isso a oportunidade de trilhar novos caminhos, maiores e melhores do que eu poderia imaginar. Sou grata a política de Assistência estudantil que concedeu a minha permanência no meu objetivo, proporcionando moradia e auxílio financeiro.

À Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (CAMTUC/UFPA) e todos os professores que sempre se dedicaram com maestria ao lecionar. Em especial ao Professor Davi Sales que, mais que um mestre, tornou-se um amigo querido do qual sempre levarei seus ensinamentos. Aos amigos de classe que foram minha família durante esses cinco anos de graduação: Agnes Araújo, Lucas Nunes, Heloisa Heidtman e Viviane Gomes e aos demais, muito obrigada.

À minha querida orientadora e amiga, Professora Vanessa Santos, que foi a minha parceira nesse trabalho. Sempre estive à disposição para me auxiliar, orientar, coordenar e me aconselhar. Tive muita sorte em ter te escolhido para embarcar nessa missão comigo. Obrigada!

À Eletrobrás/Eletronorte por disponibilizar todos os recursos necessários para esta pesquisa. Em especial ao Mayko Menezes que acreditou no meu potencial, tornando-se coorientador do meu trabalho, questionando e dando suporte em tudo que fosse essencial. As técnicas Gisele Lacorte e Regilene Lisboa, a estagiária Milena Aguiar e a todos os funcionários da ETA Vila que sempre foram prestativos e dispostos a me auxiliar.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Inovação é uma escada de conhecimentos do amanhã, construídos a partir de um problema concreto de hoje”. R. F. Ferreira

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) constituem-se de processos e operações no qual a água bruta é submetida com o intuito de alterar suas características físicas, químicas e microbiológicas para atingir o padrão de potabilidade preconizada pela portaria de consolidação nº 05 de 28 de dezembro de 2017, Anexo XX. Entretanto, esses sistemas geram resíduos como, por exemplo, o lodo proveniente dos decantadores e a água de lavagem dos filtros (ALF), que podem corresponder até 10% da vazão da estação e que, por possuírem alto potencial poluidor, necessitam de tratamento e destinação final adequada. Uma das alternativas no que se refere a ALF é a recirculação na própria estação que contribui para a redução de perdas de água da ETA e a economia de energia na captação. O trabalho foi desenvolvido na ETA convencional da Vila Residencial Permanente da Eletronorte – Tucuruí/PA, com o objetivo de propor uma recirculação de ALF *in plant*, bem como avaliar e definir os melhores cenários de recirculação para que a qualidade da água não seja prejudicada e garantir o padrão de potabilidade previsto em lei. Para isso, foram realizadas as caracterizações físico-químicas da ALF bruta, da água nas etapas de tratamento (decantação e filtração) e testes de tratabilidade da água em condições de recirculação variadas (incremento de 5% e 10% de vazão), tipo de resíduo (bruta ou clarificada) e auxiliares de coagulação (polímero aniônico e catiônico). Os resultados encontrados indicam que a redução do tempo de lavagem para 5 minutos, apontaram uma economia de aproximadamente 29,23 m³ de água e R \$ 141.426 por ano. Os fatores que mais interferiram na recirculação da ALF foram os polímeros utilizados seguidos do coagulante e quanto ao tipo de resíduo, o uso de ALF bruta contribuiu para o tratamento devido à turbidez adicional que causa a formação de flocos mais pesados e mais densos. O estudo demonstra que nos ensaios envolvendo ALF, sua reintrodução *in plant* não causou prejuízos à qualidade da água, tornando-se uma alternativa viável para a ETA -Vila, adotando as melhores condições observadas nos cenários 2, 3, 4 e 5.

Palavras-Chave: Tratamento De Água, Reaproveitamento de Água, Resíduos Gerados em ETAs, Uso de Polímeros.

ABSTRACT

Water Treatment Stations (WTS) consist of processes and operations in which raw water is subjected in order to change its physical, chemical and microbiological characteristics to achieve the standard of potability recommended by consolidation ordinance no. 05 of 28 December 2017, Annex XX. However, these systems generate waste, such as sludge from decanters and filter washing water (FWW), which can correspond to up to 10% of the flow of the station and, because of their high polluting potential, require treatment and appropriate final destination. One of the alternatives with regard to FWW is the recirculation at the station itself, which contributes to the reduction of water losses from the WTS and the energy savings in abstraction. The work was carried out in the conventional WTS of the Eletronorte's Permanent Residential Villa - Tucuruí / PA, with the objective of proposing a recirculation of FWW in plant, as well as evaluating and defining the best recirculation scenarios so that the water quality is not affected and guarantee the potability standard provided by law. For this purpose, the physical-chemical characterizations of the gross FWW, of the water in the treatment stages (decantation and filtration) and tests of water treatability in varied recirculation conditions (increment of 5% and 10% of flow), type of residue (crude or clarified) and coagulation aids (anionic and cationic polymer). The results found indicate that the reduction of the washing time to 5 minutes, showed savings of approximately 29.23 m³ of water and R\$ 141,426 per year. The factors that most interfered in the recirculation of FWW were the polymers used followed by the coagulant and as for the type of waste, the use of crude FWW contributed to the treatment due to the additional turbidity that causes the formation of heavier and denser flakes. The study shows that in trials involving FWW, its reintroduction in plant did not cause any damage to water quality, making it a viable alternative for WTS-Villa, adopting the best conditions observed in scenarios 2, 3, 4 and 5.

Keywords: Water treatment, water reuse, waste generated in water treatment plants, use of polymers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Etapas do Tratamento de Água Convencional. | 14 |
| Figura 2 – Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros em ETAs convencionais..... | 21 |
| Figura 3 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa. | 25 |
| Figura 4 – Mapa de Localização da Área de Estudo. | 26 |
| Figura 5 – Estação de Tratamento de Água da Vila Permanente – Tucuruí. | 27 |
| Figura 6 – Ponto de Captação da ETA – Vila. | 28 |
| Figura 7 – Calha Parshall da ETA – Vila. | 29 |
| Figura 8 – Sistema de Dosagem de Produto Químico..... | 30 |
| Figura 9 – (a) Floculador Mecânico da ETA – Vila; (b) Representação interna..... | 30 |
| Figura 10 – Decantador de Alta Taxa da ETA – Vila. | 31 |
| Figura 11 – Câmaras de Filtração da ETA – Vila. | 32 |
| Figura 12 – Reservatório de Água Tratada da ETA – Vila. | 32 |
| Figura 13 – Fluxograma dos Pontos de Monitoramento na ETA – Vila..... | 34 |
| Figura 14 – Equipamento Jar Test utilizado nos ensaios..... | 36 |
| Figura 15 – Fluxograma esquemático dos cenários de recirculação da ALF..... | 39 |
| Figura 16 – Precipitação diária do município de Tucuruí no período de Agosto de 2019 a Agosto de 2020. | 41 |
| Figura 17 – Concentração de Coliformes Totais e Escherichia Coli da ALF da ETA – Vila...43 | |
| Figura 18 – Concentração de cor da ALF durante a lavagem dos filtros na ETA – Vila no período de outubro de 2019 a abril de 2020. | 44 |
| Figura 19 – Concentração de turbidez da ALF durante a lavagem dos filtros na ETA – Vila no período de outubro de 2019 a abril de 2020. | 44 |
| Figura 20 – Diagrama de Pareto para avaliação da cor versus condições operacionais aplicadas para recirculação de ALF nos ensaios realizados. | 46 |
| Figura 21 – Diagrama de Pareto para avaliação da turbidez x condições operacionais aplicadas para recirculação de ALF nos ensaios realizados. | 46 |
| Figura 22 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.... | 47 |
| Figura 23 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.... | 48 |
| Figura 24 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020...48 | |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020... | 49 |
| Figura 26 – (A, B, C, D, E, F) Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 50 |
| Figura 27 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.... | 51 |
| Figura 28 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020..... | 52 |
| Figura 29 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020... | 53 |
| Figura 30 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020... | 53 |
| Figura 31 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 54 |
| Figura 32 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020..... | 55 |
| Figura 33 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020..... | 56 |
| Figura 34 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020..... | 57 |
| Figura 35 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020..... | 57 |
| Figura 36 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 58 |
| Figura 37 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 59 |
| Figura 38 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 59 |
| Figura 39 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 60 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 40 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 60 |
| Figura 41 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 61 |
| Figura 42 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 62 |
| Figura 43 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 63 |
| Figura 44 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 63 |
| Figura 45 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 64 |
| Figura 46 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 64 |
| Figura 47 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 66 |
| Figura 48 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 66 |
| Figura 49 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 67 |
| Figura 50 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020. | 67 |
| Figura 51 – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas. | 68 |

LISTAS DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Características da Água de Lavagem de ETAs..... | 18 |
| Tabela 2 – Características físico-químicas da ETA – Vila (AB, ADE, ADS, AFS e ALF) no período de outubro de 2019 a abril de 2020. | 40 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Principais Métodos de Lavagem dos Filtros. | 17 |
| Quadro 2 – Estudos para o reaproveitamento da ALF no Brasil..... | 20 |
| Quadro 3 – Descrição dos parâmetros físico-químicos e a metodologia utilizada..... | 34 |
| Quadro 4 – Parâmetros utilizados para determinação das condições ideais da ETA..... | 35 |
| Quadro 5 – Condições Gerais dos Ensaios de Recirculação da ALF..... | 37 |
| Quadro 6 - Resultados Gerais das Condições de Recirculação de ALF..... | 69 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------------|---------------------------------------------------------------|
| AB | Água Bruta. |
| ADE | Água De Entrada Do Decantador. |
| ADE | Água De Saída Do Decantador. |
| AFS | Água De Saída Dos Filtros. |
| ALF | Água De Lavagem Dos Filtros. |
| ALFB | Água De Lavagem Dos Filtros Bruta. |
| ALFC | Água De Lavagem Dos Filtros Clarificada. |
| ALFCM | Água De Lavagem Dos Filtros Composta. |
| AM | Água De Mistura. |
| CONAMA | Conselho Nacional Do Meio Ambiente. |
| DBO | Demanda Bioquímica De Oxigênio. |
| DQO | Demanda Química De Oxigênio. |
| ELETRONORTE | Centrais Elétricas Do Norte Do Brasil. |
| ETA | Estação De Tratamento De Água. |
| HCA | Hidróxido De Alumínio |
| IBGE | Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. |
| NBR | Norma Técnica Brasileira. |
| PNRS | Política Nacional De Resíduos Sólidos |
| PROSAB | Programa De Pesquisas Em Saneamento Básico. |
| SAMAE | Serviço Autônomo Municipal De Água E Esgoto. |
| TL | Tempo De Lavagem. |
| UHE | Usina Hidrelétrica. |
| USEPA | Agência De Proteção Ambiental Dos Estados Unidos (Traduzido). |
| VRE | Vila Residencial Da Eletronorte. |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 13 |
| 1.1.1 | <i>Geral</i> | 13 |
| 1.1.2 | <i>Específicos</i> | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) | 14 |
| 2.2 | RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)..... | 15 |
| 2.3 | ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS (ALF) | 16 |
| 2.3.1 | <i>Características Físicas, Químicas e Microbiológicas das ALFs.</i> | 18 |
| 2.3.2 | <i>Estratégias para Redução ou Reutilização da ALF.</i> | 19 |
| 2.4 | RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS IN PLANT | 21 |
| 2.4.1 | <i>Tratamento da ALF.</i> | 22 |
| 2.4.2 | <i>Práticas e Critérios para a recirculação da ALF.</i> | 23 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 26 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO DA ETA VILA..... | 27 |
| 3.2.1 | <i>Captação</i> | 28 |
| 3.2.2 | <i>Mistura Rápida, Medição e Controle da Vazão</i> | 29 |
| 3.2.3 | <i>Preparação e dosagem dos Produtos Químicos.</i> | 29 |
| 3.2.4 | <i>Floculação</i> | 30 |
| 3.2.5 | <i>Decantação</i> | 31 |
| 3.2.6 | <i>Filtração</i> | 31 |
| 3.2.7 | <i>Desinfecção</i> | 32 |
| 3.2.8 | <i>Reservação</i> | 32 |
| 3.3 | PROCEDIMENTOS DE COLETA E PONTOS DE MONITORAMENTO..... | 33 |
| 3.4 | REPRODUÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ETA | 35 |
| 3.5 | ENSAIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS (ALF)..... | 35 |
| 3.5.1 | <i>Preparação dos produtos químicos utilizados</i> | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 39 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DA AB, ADE, ADS AFS E ALFC | 39 |
| 4.2 | ENSAIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS..... | 45 |
| 4.2.1 | <i>Cenário 1: ALF Bruta Com Uso Do Polímero Aniônico</i> | 47 |
| 4.2.2 | <i>Cenário 2: ALF Bruta Com Uso Do Polímero Catiônico</i> | 51 |
| 4.2.3 | <i>Cenário 3: ALF Bruta Sem Uso De Polímero</i> | 55 |
| 4.2.4 | <i>Cenário 4: ALF Clarificada Com Uso Do Polímero Aniônico</i> | 58 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.5 | <i>Cenário 5: ALF Clarificada Com Uso Do Polímero Catiônico</i> | 62 |
| 4.2.6 | <i>Cenário 6: ALF Clarificada Sem Uso De Polímero</i> | 65 |
| 4.2.7 | <i>Análise dos Desempenho dos Cenários</i> | 68 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 70 |
| | REFERÊNCIAS | 72 |

1 INTRODUÇÃO

A água é parte integrante dos seres vivos e indispensável para o sustento da vida bem como para o desenvolvimento agrícola e industrial. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015) são necessários 50 a 100 litros de água por pessoa, por dia, para assegurar a satisfação às necessidades básicas e reduzir os problemas associados à saúde.

A Organização das Nações Unidas (ONU, 2011) ressalta que o abastecimento de água e a disponibilidade de saneamento deve ser contínuo e eficiente para atender todas as necessidades de uso e a água ofertada deve ser segura, sem contaminantes, microrganismos e substâncias químicas ou outras formas de poluição dos corpos hídricos que possam acarretar na deterioração da vida na Terra.

Nesse sentido, as estações de tratamento de água (ETA) são essenciais para a população humana uma vez que, tomada a água bruta, produzem água potável para os mais diversos usos. No entanto, a garantia de água de qualidade em quantidades suficientes ainda é um dos desafios da atualidade devido à crescente contaminação dos corpos d'água utilizados para abastecimento público (BITENCOURT, 2016).

Os efeitos adversos das ações antrópicas nos corpos hídricos utilizados para abastecimento trazem mudanças na qualidade da água e, dessa forma, exigem o emprego de processos e operações, por sua vez, geram resíduos líquidos e sólidos que podem retornar aos mananciais criando um ciclo de poluição causando grandes prejuízos ambientais e encarecendo o tratamento para as concessionárias (SOBRINHO *et al.*, 2019).

O lançamento de esgotos domésticos e industriais (tratados ou não), o assoreamento dos rios e a escassez dos mananciais irão influenciar na quantidade e qualidades dos resíduos gerados nas ETAs após o processo de tratamento da água. Esses resíduos podem, por sua vez, ser lançados in natura nos corpos hídricos contribuindo para poluição e deterioração da qualidade da água (CAMPOS, 2015; BITENCOURT, 2016).

Diante disso, as empresas de saneamento vêm buscando alternativas mais adequadas para disposição de resíduos e, para isso, é necessário obter informações por meio de estudos mais aprofundados a respeito das características da ETA e investimentos em recursos humanos e operacionais. Essas exigências causam grandes entraves no condicionamento adequado, visto que é uma “operação unitária” muitas vezes dispensadas devido ao seu custo e apresenta um grande passivo ambiental (CAMPOS, 2015).

As mudanças nas configurações das ETAs estão relacionadas com as cobranças por parte dos órgãos ambientais de soluções ambientalmente corretas, entretanto as configurações são

antigas em que os projetos não previam nenhuma unidade para o tratamento dos resíduos ou qualquer tipo de ação para minimizar os impactos. Dessa forma, os resíduos são lançados, geralmente, no corpo hídrico onde é realizado a captação (CAMPOS, 2015).

Os resíduos gerados em uma ETA são provenientes da água de lavagem dos filtros e dos decantadores e diante do grande potencial poluidor, o lançamento direto ou indireto dos resíduos nos corpos d'água pode ocasionar alteração nos padrões organolépticos como cor e turbidez como também a inibição das atividades biológicas, aumento da concentração de sólidos no fundo e apresentar riscos à saúde em razão da presença de microrganismos patogênicos e metais pesados (SCALIZE & DI BERNARDO, 1999; DI BERNARDO *et al.*, 2012).

Uma das alternativas para a disposição das ALFs é a coleta, homogeneização e recirculação para o início da ETA de forma regularizada e gerenciada, tendo em vista a sua qualidade microbiológica. Os autores afirmam ainda que o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos deve ser compatível com a realidade de cada localidade, levando em consideração fatores como a área disponível, a existência de mão-de-obra qualificada para a operação e manutenção, a qualidade da água bruta, entre outros (PROSAB, 1999).

Afim de minimizar o uso dos recursos hídricos e evitar o lançamento dos resíduos nos corpos d'água, a recirculação de ALF também promove a redução do consumo de água na ETA e de energia elétrica, conforme o que foi constatado por Freitas (2017) em seu estudo, como vantagens da adoção dessa medida em ETAs.

Ressalta-se a importância de estudos para contribuição acerca desse processo, visto que há altos consumos de energia elétrica no processo de tratamento, bem como perdas de água no processo de lavagens dos filtros que são realizados diariamente, podendo ser retornado, tratado e disponibilizado para uso, promovendo a sustentabilidade.

No Brasil, ainda não dispõe de uma legislação ou normas específicas abordando o tratamento e recirculação da ALF e qual as melhores práticas para escolha da melhor abordagem em sistemas de tratamento de águas convencionais. Por outro lado, é crescente o interesse por parte das concessionárias de abastecimento público a implantação de tal prática. Tornam-se, então, necessários estudos acerca do tema a fim de apropriar-se das perspectivas a respeito das vantagens e do funcionamento do processo.

O presente estudo foi realizado na estação de tratamento de água da Vila Residencial da Eletronorte (VRE) localizado no município de Tucuruí-Pa com intuito de analisar os aspectos físicos, químicos e microbiológicos da ALF para verificar a possibilidade de uma recirculação

in plant. Foram considerados distintos cenários de recirculação por meio de ensaios de bancada e aplicação de diferentes polímeros como auxiliares de coagulação no processo afim de identificar quais as condições mais satisfatórias. O tempo de lavagem dos filtros também foi analisado com o objetivo de melhorar o processo, promovendo a redução de perdas e a economia de energia das bombas adutoras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar o desempenho de um sistema de recirculação da água de lavagem dos filtros (ALF) da Estação de Tratamento de Água da Vila Residencial Permanente da Eletronorte do município de Tucuruí-Pa.

1.1.2 Específicos

- Caracterizar a ALF por meio de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Indicar o tempo ideal do processo de lavagem dos filtros;
- Analisar a eficiência dos cenários propostos, apontando o mais satisfatório e identificar o comportamento dos auxiliares de coagulação (polímero catiônico e aniônico) a partir do incremento de ALF *in plant*;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

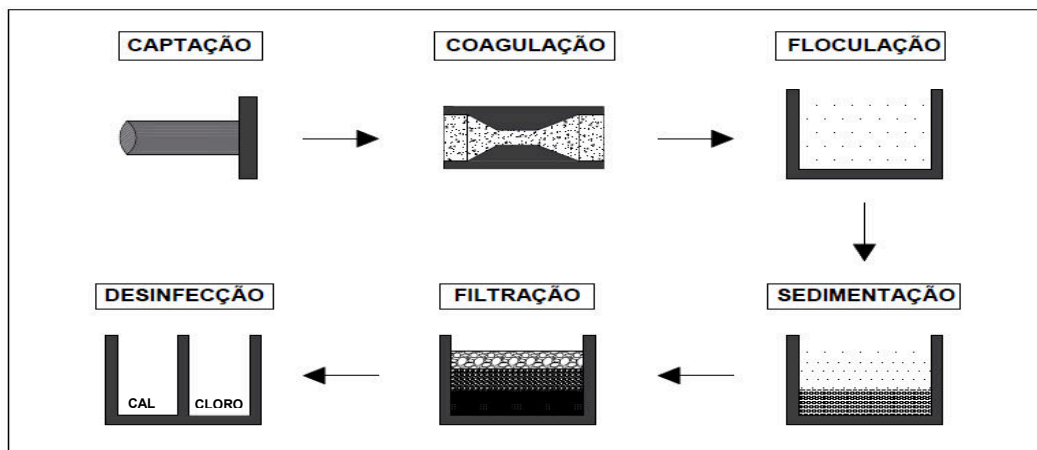
2.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

As estações de tratamento de água (ETAs) são um conjunto de processos e operações realizadas em algumas unidades responsáveis pelo enquadramento das características da água destinada ao consumo humano aos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde (NBR 12216/92; SOUZA, 2007).

A escolha das unidades ou tecnologias de tratamento estão diretamente associadas a qualidade da água bruta e as alterações ambientais na bacia hidrográfica. Partindo desse princípio, a caracterização da água bruta por meio de ensaios em laboratório deve ser realizada preliminarmente e o estudo dos diversos parâmetros de operação, manutenção e seus respectivos custos, conforme recomenda Di Bernardo *et al.*, (2012).

Segundo Achon *et al.*, (2013) existem cerca de 7.500 ETAs no Brasil onde a maioria está configurada em ciclo completo. Este empreendimento está sujeito ao licenciamento ambiental, conforme a Resolução 237 de 19 de dezembro de 1997 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 1997b). A sequência das etapas que compõem o ciclo completo pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Etapas do Tratamento de Água Convencional.



Fonte: Própria Autora, 2020.

O sistema de ciclo completo é constituído por várias etapas, iniciando-se pela captação de água no recurso hídrico e encaminhada para a unidade de coagulação que utiliza produtos químicos ou auxiliares de coagulação como os sulfatos de alumínio, ferro e/ou polímeros, respectivamente. Esses produtos são empregados para reduzir as cargas e as forças que desassociam as partículas em suspensão (CORDEIRO, 1999; PÁDUA, 2010; RICHTER, 2009).

Posteriormente, a água é encaminhada para a unidade de floculação onde as partículas são agregadas contribuindo na formação de flocos que possuem massa específica levemente maior que a da água para propiciar a sedimentação na unidade seguinte. A decantação é a unidade utilizada para a clarificação da água (CORDEIRO, 1999; PÁDUA, 2010; RICHTER, 2009). Na unidade de filtração, a água é conduzida pelos filtros que retém as partículas menores que não sedimentaram no decantador. Nesse processo, ocorre também a maior parte da remoção de protozoários, parasitas e estruturas infectantes como cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. No entanto, devido a sua dimensão, alguns desses microrganismos patogênicos passam pelos filtros e, por isso, a necessidade da unidade de desinfecção com o objetivo de eliminar quaisquer organismos causadores de doenças que afetem a saúde da população (ARORA *et al.*, 2001; LECHEVALLIER; NORTON, 1995).

2.2 RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

Devido as impurezas presentes na água no processo de produção de água potável, obtém-se a geração de resíduos que apresentam características e propriedades diversas e geralmente desconhecidas. Isso contribui para que a maioria das ETAs projetadas no Brasil despejem seus resíduos nos cursos d'água provocando impactos ambientais (ACHON *et al.*, 2013).

Para o PROSAB (1999), sistemas de tratamento de água são similares a qualquer indústria, onde a matéria prima é submetida a diversos processos e operações para obtenção do produto final. Esses sistemas podem gerar resíduos em diferentes etapas com características diferenciadas relacionadas a matéria prima, produtos químicos empregados, *layout* da estação entre outros.

Os principais resíduos gerados nas ETAs que possuem tecnologia de ciclo completo são as águas de lavagem dos filtros (ALF) e o lodo proveniente dos decantadores. Ressalta-se que as principais perdas de água em uma estação ocorrem nesse processo de limpeza das unidades (ACHON *et al.*, 2013).

O lodo gerado proveniente da sedimentação que ocorre nos decantadores e a lavagem dos filtros possuem cerca de 0,1 a 4% e 0,004 a 0,1% de teor de sólidos totais, respectivamente. Nesse sentido, percebe-se que a concentração de lodo nos decantadores é maior, porém com um volume menor de produção, já a lavagem dos filtros possui maior volume e, no entanto, é mais diluída (RICHTER, 2009; SILVA *et al.*, 2014).

Os custos relativamente altos de implantação, operação e manutenção de uma estação de tratamento de resíduos (ETR), propicia a destinação inadequada dos resíduos. A prática desse

lançamento *in natura* é vedada pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), uma vez que os lodos de ETAs são classificados como resíduos sólidos pela NBR 10004 (BRASIL, 2010; ABNT, 2004).

Os resíduos produzidos em ETAs apresentam um elevado potencial poluidor e o seu lançamento direto ou indiretamente nos corpos d'água pode ocasionar alterações de cor, turbidez, inibição da atividade biológica, aumento do teor de sólidos e risco à saúde humana em virtude do aumento da presença de patógenos e metais pesados (SCALIZE e DI BERNARDO, 1999; DI BERNARDO *et al.*, 2012).

Mesmo com o avanço das tecnologias de tratamento de resíduos, cerca de 73% dos resíduos não são tratados (IBGE, 2002). Isso expressa que uma destinação final viável e ambientalmente sustentável ainda é um grande desafio a ser vencido, conforme afirma Di Bernardo *et al.*, (2012).

2.3 ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS (ALF)

A água de lavagem dos filtros (ALF) é gerada quando a água é aplicada no sentido inverso do fluxo da filtração para a retirada e desprendimento de impurezas retidas na camada filtrante. Geralmente esse processo é realizado periodicamente em uma ETA com intervalos de 24h a 72h (USEPA,2002).

Segundo Di Bernardo *et al.* (2005), o método de lavagem influencia na quantidade e na qualidade do resíduo gerado. Para Ferreira Filho (2017), essa etapa é uma das mais importantes para tornar possível uma produção de água de qualidade na carreira de filtração subsequente à lavagem.

Existem diversos tipos de métodos de lavagem dos filtros, conforme descritos no Quadro 1, a seguir, mas independente de qual método seja adotado pela ETA, o procedimento deve permitir que as partículas que estão aderidas ao meio filtrante sejam transferidas para a fase líquida e, posteriormente encaminhadas para fora da unidade de filtração (FERREIRA FILHO, 2017). Os métodos que utilizam ar, por exemplo, podem gastar de 30% a 50% menos água (USEPA, 2002).

Quadro 1 – Principais Métodos de Lavagem dos Filtros.

| Método de Lavagem | Características |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Exclusivamente com água em contracorrente | Aplica-se uma vazão ascensional no meio filtrante possibilitando a remoção das impurezas da superfície dos grãos que compõem o meio filtrante e a condução para fora da unidade. Para ser efetivo, é necessário a expansão em torno de 20% a 30% do meio filtrante. Atualmente o processo não é o mais indicado por não possibilitar a completa remoção de impurezas retidas durante o processo. |
| Lavagem superficial seguida de água em contracorrente | Aplica-se uma vazão superficialmente no meio filtração para proporcionar a liberação de partículas coloidais retidas na parte superior. Possibilita a expansão de 20% a 30% do meio filtrante. O emprego desse método mostrou ser confiável para filtros rápidos. |
| Injeção de ar seguida de água em contracorrente | Aplicação de ar no meio filtrante em torno de 2 a 3 minutos e, posteriormente, a introdução de água em contracorrente possibilitando a expansão de 20% a 30% do material filtrante. A utilização de ar é extremamente efetiva para a remoção das impurezas durante o processo de filtração enquanto a aplicação da água em sentido oposto é responsável pelo carreamento dessas partículas. O método mais recomendável para lavagem dos filtros. |
| Injeção de ar juntamente água em contracorrente | Terminada a carreira de filtração, diminui-se o nível de água na caixa do filtro até 5 cm a 10 cm do material filtrante e, em seguida, aplicar água e ar simultaneamente entre 2 a 4 minutos. A utilização desse método só é recomendada quando houver garantias de que os operadores apresentem habilidade para lidar com procedimentos operacionais mais sofisticados. |

Fonte: FERREIRA FILHO, 2017 (adaptado).

A água utilizada na lavagem dos filtros representa em torno de 5% do volume total de água tratada e, conseqüentemente, gera um grande volume de resíduo em curtos intervalos de tempo (FREITAS *et al.*, 2010). Para USEPA (2002) esse resíduo pode chegar até 10% do volume tratado.

Segundo Kawamura (2000), a lavagem deve ser concluída quando a turbidez do afluente estiver entre 10 a 15 Ut. No entanto o autor reforça que a turbidez ótima da ALF ou o tempo de lavagem devem ser determinados de acordo com as peculiaridades de cada sistema. Segundo Freitas (2007), estudos mostraram que os valores máximos de turbidez e sólidos totais suspensos ocorrem no início da lavagem dos filtros.

No estudo realizado por Sartori e Silva (2017) na ETA Mairiporã no estado de São Paulo, considerou-se o tempo ótimo de lavagem a partir da estabilização da turbidez, isto é, quando

este parâmetro não sofre variação. A partir dos resultados, foi possível reduzir o tempo de 10 minutos de lavagem para 6 minutos.

2.3.1 Características Físicas, Químicas e Microbiológicas das ALFs.

As propriedades da ALF estão diretamente ligadas ao tipo de estação, as impurezas da água bruta, tipo de coagulante e condicionantes empregados no tratamento de água (PROSAB, 1999) e sua caracterização compreende a determinação de alguns parâmetros analíticos como sólidos suspensos e dissolvidos, cor aparente, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais, coliformes, entre outros (SCALIZE, 1997). A Tabela 1 apresenta alguns dados da caracterização da ALF a partir de amostras compostas em quatro ETAS diferentes.

Tabela 1 – Características da Água de Lavagem de ETAs.

| Parâmetros | Faixa de Valores | | |
|--------------------------------------|------------------|--------|----------|
| | Média | Mínimo | Máximo |
| Cor Aparente (uH) | 900 | 200 | 2690 |
| Turbidez (uT) | 108,75 | 58 | 171 |
| DQO (mg/L) | 43,95 | 35 | 48 |
| pH | 7,33 | 6,90 | 8,00 |
| Alcalinidade (mg/L) | 22,20 | 12,60 | 37,00 |
| Dureza (mg/L) | 26,40 | 12,00 | 40,80 |
| Condutividade (mS/cm) | 56,70 | 37,10 | 95,00 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 195 | 88 | 367 |
| Sólidos Sedimentáveis (mg/L) | 31,60 | 8,00 | 74,00 |
| Coliformes Totais (NMP/100 mL) | 65496 | 1095 | 241920 |
| <i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 mL) | 4478,75 | 3,00 | 17820,00 |

Fonte: PROSAB, 1999 (adaptado).

As ETAs 1 e 2 realizam a filtração segundo o método de taxa de declinante variável por questões operacionais. Os filtros da ETA 3 (ciclo completo) funcionam com regulador de vazão devido a ausência de um reservatório que permita o processo de limpeza de acordo com a perda de carga no decorrer do seu funcionamento, esse processo exige maior quantidade de água para lavagem dos filtros. Já a ETA 4 é do tipo de filtração direta ascendente com taxa aproximadamente constante, realizando o procedimento a partir da perda de carga do leito filtrante (PROSAB, 1999).

O estudo feito por Molina (2010), realizou a caracterização da água de lavagem dos filtros da ETA do município de Rebouças – PR, monitorando os dados de turbidez, cor, sólidos, coliformes totais, *Escherichia Coli*, pH, DQO, fósforo, nitrogênio e metais (Al, Cu, Fe, Mn e Zn). A ETA está configurada em ciclo completo e utiliza o sulfato de alumínio como

coagulante. O autor observou valores elevados dos parâmetros nos primeiros 2 minutos de lavagem e a sua queda com o passar do tempo de lavagem realizada em 10 minutos.

No estudo realizado por Freitas (2017), os picos de cor, turbidez, sólidos sedimentáveis e suspensos foram verificados entre os minutos 2 e 3, enquanto nos demais minutos de lavagem esses parâmetros encontraram-se próximos de zero. Os resultados conseguiram determinar e reduzir o tempo de lavagem dos filtros da ETA de Extremoz no Rio Grande do Norte (RN) para 4 minutos e, conseqüentemente, a água utilizada para lavagem e o resíduo gerado.

Oliveira *et al.*, (2013), apresentaram em seu estudo a caracterização da água de lavagem dos filtros da ETA convencional de Anápolis – GO, onde foram avaliados os parâmetros físico-químico e microbiológicos. Seus resultados apontaram que a recirculação desse resíduo deve ser realizada de forma controlada devido os parâmetros de alumínio, ferro, turbidez e coliformes que encontraram-se fora dos limites estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005 e 430/2011.

2.3.2 Estratégias para Redução ou Reutilização da ALF.

A lavagem dos filtros gera um grande volume de resíduo e um pequeno intervalo de tempo conforme relatado por Freitas (2014). Esse procedimento é realizado quando há obstrução dos leitos filtrantes após um período de aproximadamente 24 a 72 horas de funcionamento dos filtros e dura cerca de 4 a 6 minutos até a clarificação da água, indicando o fim do processo (USEPA, 2000).

A ETA II de Blumenau – SC, por exemplo, é composta por 10 filtros e todos são lavados uma vez ao dia, utilizando cerca de 130 m³, média, de água tratada para o processo. São 39.000 m³ utilizados mensalmente de água tratada (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto, SAMAE, 2016). BRAGA *et al.*, (2007) salienta que no período de escassez hídrica, esses dados estimulam e ressaltam a importância do reaproveitamento. Além da economia de energia gasta em captação destacada por Freitas (2017).

A composição da ALF contém todas as impurezas retidas nos filtros como as altas concentrações de compostos químicos provenientes do próprio processo de tratamento ou da água bruta e estruturas parasitárias como, por exemplo, cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*, protozoários causadores de doenças de veiculação hídrica que podem impactar na saúde humana quando lançada nos corpos hídricos sem tratamento prévio (CAMPOS, 2015; CANALE 2014; OLIVEIRA; BARCELO; COLARES, 2013; USEPA, 2002).

Mesmo diante dos perigos associados, a maioria das ETAs do Brasil dispõe esse resíduo de forma irregular no corpo hídrico onde ocorre a captação para tratamento. Vários estudos estão sendo realizados afim de recomendar estratégias eficazes para o reaproveitamento da ALF (PETRIS, 2018). Para Pereira (2014), no que se refere ao desenvolvimento de técnicas, a caracterização dos resíduos torna-se imprescindível afim de conhecer o quantitativo de sólidos produzidos no processo de tratamento. O Quadro 2 aponta alguns dos estudos realizados no Brasil.

Quadro 2 – Estudos para o reaproveitamento da ALF no Brasil.

| Local | Tipo de Filtro | Metodologia | Referência |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| São Paulo | Filtro rápido descendente com camada simples de areia. | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação com o uso de polímeros catiônicos, aniônicos e não-iônicos. | SCALIZE (1997). |
| Paraíba | Não informado | Recirculação completa da ALF | MENEZES <i>et al.</i> , (2005). |
| Minas Gerais | Filtro rápido descendente com camada simples de areia. | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação com e sem o uso de polímeros catiônicos, aniônicos e não-iônicos. | FREITAS <i>et al.</i> , (2010). |
| Paraná | Filtro rápido descendente. | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação com o uso de polímeros médio e levemente aniônicos e polímero natural de amido de batata. | MOLINA; SANTOS (2010). |
| Ceará | Filtro rápido descendente com camada simples de areia. | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação associada ao uso de polímero catiônico e técnica de floculação por ar dissolvido. | CHAVES (2012). |
| Goiás | Não informado | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação. | SILVA JUNIOR <i>et al.</i> , (2014). |
| Tocantins | Filtração direta ascendente como pré-tratamento para a filtração descendente (Dupla Filtração) | Recirculação da ALF com clarificação por sedimentação. | LUSTOSA <i>et al.</i> , (2017). |

Fonte: Autora, 2019.

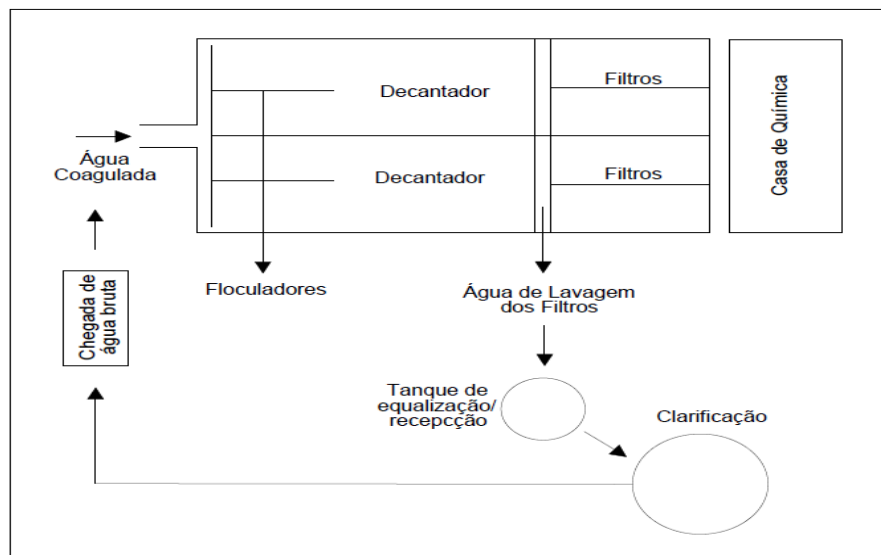
A recirculação da ALF é a principal estratégia apontada nos estudos já realizados e vem sendo desenvolvida nas ETAs no Brasil e no mundo. Entre as vantagens destacadas está a diminuição do volume de água na captação que contribui para a redução em gastos energéticos, uma vez que a energia gasta na recirculação é menor que o bombeamento da água bruta (SRI LANKA, 2012; SILVA JUNIOR, 2014).

Cidrack *et al.*, (2017), relatam em seu estudo o incremento de vazão com a implantação da estação de recirculação na ETA Gavião no Ceará. A captação foi reduzida 6,6% compensada pela vazão introduzida pela recirculação da água de lavagem dos filtros. Silva Junior (2014) destaca que essa prática é uma tendência técnico-economicamente viável, além de contribuir para a diminuição do lançamento do resíduo nos corpos hídricos, sistema de esgotamento sanitário ou sistema de drenagem fluvial.

2.4 RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS IN PLANT¹.

A recirculação da ALF é um procedimento realizado pela ETA que tem por finalidade o retorno do efluente (tratado ou não) de forma continuada entre o ponto de chegada da água bruta da estação e o decantador (CAMPOS, 2014) conforme Figura 2 abaixo:

Figura 2 – Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros em ETAs convencionais.



Fonte: PROSAB, 1999 (Adaptado).

As ETAs são projetadas para operarem a partir de uma vazão específica. Dessa forma, quando há a recirculação direta da ALF, as condições hidráulicas de funcionamento dos processos podem sofrer alterações ocasionadas pela introdução de compostos que comprometem o processo de tratamento (CAMPOS, 2014).

PETERSEN & CALHOUN (1995), recomendam que a recirculação seja realizada de forma contínua para não prejudicar o tratamento de água. A mesma recomendação é encontrada em Ferreira Filho (2017), que afirma que a continuidade da recirculação da ALF para cada ETA deve ser realizada com o intuito de haver menor impacto na qualidade da água tratada.

¹ Na planta. Nesse caso, na própria Estação de Tratamento de Água.

No que se refere a vazão de recirculação, Kawamura (2000) recomenda entre 2% e 5% do volume de água aduzido por dia. Cornwell E Lee (1994) concluiu que a vazão de recirculação deve permanecer abaixo de 10% da vazão da ETA. No entanto, USEPA (2002) propõe que a vazão deve ser determinada para cada ETA com o intuito de haver menor impacto na qualidade da água tratada.

Freitas (2017), em seu estudo avaliou diferentes taxas de recirculação (0, 2, 5 e 8%) em relação a vazão da ETA simulando diferentes configurações de filtração direta e em linha, com e sem etapas de oxidação e aplicando diferentes tipos de coagulantes. Os resultados apontaram que a recirculação não influenciou na qualidade da água tratada e não houve diferenças significativas entre os tipos de resíduos ou as porcentagens de recirculação adotadas.

Campos (2014), avaliou o impacto da aplicação das taxas 2, 4, 6, 8 e 10% em volume de ALF em relação ao volume total tratado e concluiu que de maneira geral, as porcentagens recirculadas de ALFs não provocaram inadequação em alguns parâmetros de potabilidade como cor, turbidez, metais e subprodutos como os trihalometanos.

2.4.1 Tratamento da ALF.

O encaminhamento da ALF para o início do processo de tratamento também pode introduzir outras substâncias e diversos organismos de importância para o tratamento de água para consumo como protozoários, coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia Coli* (BRAGA *et al.*, 2006). Para minimizar os riscos associados é indicado realizar o tratamento antes da recirculação (USEPA, 2000).

De modo geral, as águas de lavagem dos filtros são submetidas a um processo de clarificação, com ou sem o uso de produtos químicos e polímeros, para o seu reaproveitamento nas ETAs com o intuito de minimizar os impactos dentro do sistema de tratamento (FREITAS, 2010; USEPA, 2002).

As alternativas de tratamento para ALF consistem na remoção dos sólidos em suspensão e, posteriormente, os microrganismos e são similares as opções adotadas na ETA para a água bruta. Os processos mais utilizados são clarificação ou sedimentação, a flotação e a filtração em membranas acompanhados ou não de unidades de equalização (USEPA, 2002).

Canale (2014) ressalta em seu estudo na ETA de Piracicaba em São Paulo a importância da clarificação da ALF antes da recirculação para a redução da turbidez a níveis mínimos, mas que direcionar até 4,5% de ALF para o início do tratamento não causaria efeitos indesejáveis ou comprometeria a qualidade da água tratada.

No entanto, Cornwell e Macphee (2001) destacam que a necessidade ou não de tratamento de ALF antes da recirculação depende da capacidade da ETA em remover, de forma satisfatória, a maior carga de partículas provocada por este processo de introdução do resíduo. Se os filtros e decantadores atenderem essa sobrecarga, não é necessário o tratamento antes de recircular.

Lustosa (2017) avaliou o sistema de reuso da água na ETA de Colmeia-TO que realizava a introdução da ALF clarificada e observou que a qualidade da água recirculada apresentava praticamente as mesmas características da água bruta, apenas um ligeiro aumento nos parâmetros alumínio, dureza e condutividade que, para o autor, favoreciam o tratamento da água.

Freitas (2010) realizou a recirculação em escala de bancada avaliando a introdução de ALF sem tratamento e detectou condições favoráveis para as taxas de recirculação de 5, 10, 15 e 20% em relação a vazão de água bruta. Apenas para a porcentagem de 20 % de ALF os resultados mostraram aumentos consideráveis nos parâmetros de cor e turbidez.

Para Ferreira Filho (2017), a alternativa de clarificação da ALF apenas se justifica para condições específicas como a utilização de água bruta para a abastecimento com rigoroso comprometimento da qualidade microbiológica, pois esse procedimento torna o sistema de recuperação mais complexo e composto de mais unidades como, por exemplo, sistema de equalização, estações elevatórias e dosagem de polímero.

2.4.2 Práticas e Critérios para a recirculação da ALF.

No Brasil não existe legislação específica ou norma técnica que regulamenta as práticas de reuso da ALF. Apesar disso, já existem práticas de ETAs brasileiras que realizam a recirculação de ALF como as ETAs Morro Redondo, Rio Manso e Rio das Velhas em Minas Gerais; a ETA Rio Descoberto em Brasília e a ETA da cidade de Cardoso em São Paulo (FREITAS, 2014).

Entretanto, em outros países como Canadá e Reino Unido e alguns estados norte-americanos já possuem regulamentação própria a respeito da recirculação da ALF. O estado de Maryland-EUA recomenda que a vazão de recirculação não ultrapasse 5% da vazão da ETA, precedida de sedimentação de 2h adotando o emprego de polímeros (USEPA, 2002).

O estado do Mississippi-EUA recomenda vazão de recirculação inferior a 10% da vazão da água bruta e ainda adverte que a prática não é recomendada para água bruta com excessiva presença de algas ou problemas de sabor, odor e níveis de trihalometanos acima do permitido

em águas tratadas. Já o estado de Ohio-EUA indica o tratamento da ALF antes da recirculação, mas mantém a vazão de recirculação inferior a 10% (USEPA, 2002).

O Reino Unido preconiza que haja tratamento para remoção de sólidos superior a 90% da ALF antes de ser recirculada. A introdução deve ser realizada de forma contínua e a vazão de recirculação até 10% em relação a água captada. Recomenda-se ainda ensaios de jarros com a água bruta e com ALF clarificada para determinar a dosagem ideal de coagulante e o monitoramento contínuo do clarificado por meio da turbidez, parâmetro de controle (UKWIR, 1998).

Segundo Huertas (2006), o que irá definir o tipo de sistema de tratamento que deve ser utilizado, os investimentos necessários, o custo de operação e manutenção e o nível de segurança a ser garantido é a qualidade da água acessível e a destinação do reuso. Por esse motivo, alguns critérios devem ser seguidos relacionados a qualidade da água assim como a realização de campanhas de orientação e informação da população sobre os benefícios de um programa de reuso e da garantia de segurança aos consumidores quanto à presença de agentes de risco à saúde.

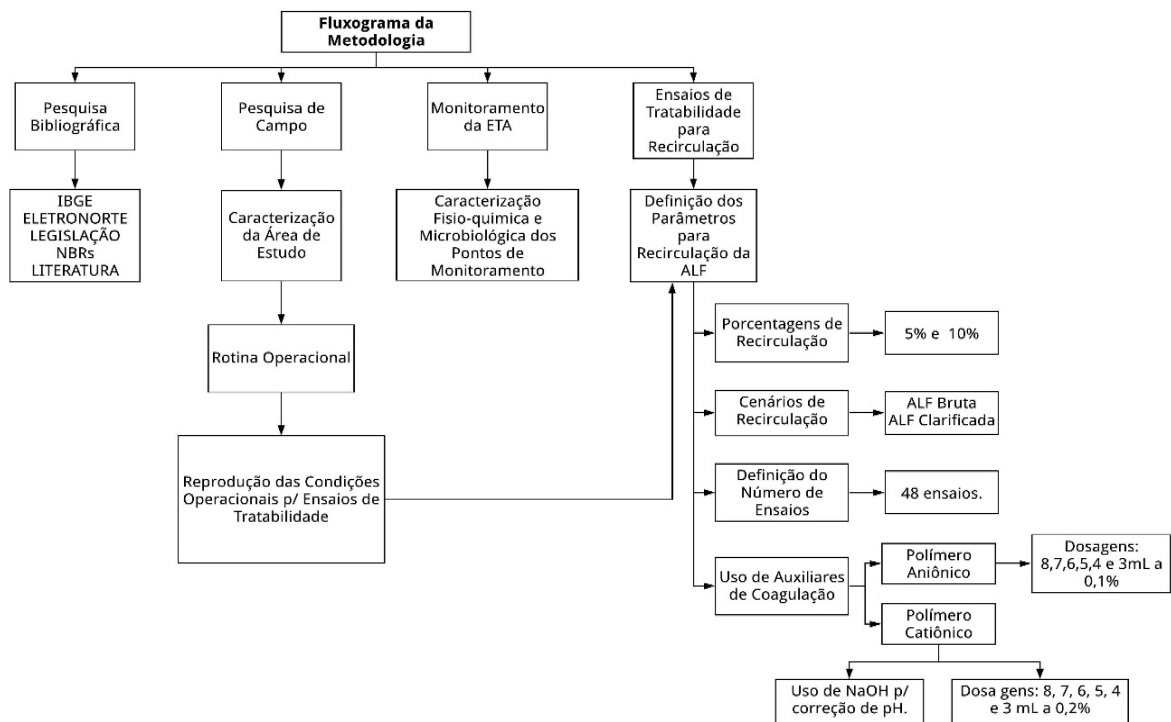
3 MATERIAL E MÉTODOS

Para caracterizar e analisar a geração da ALF e todos os fatores que estão ligados para fins de reuso *in plant*, é necessário investigar os métodos mais apropriados de modo a garantir uma recirculação segura e eficiente para uma ETA.

Dessa maneira, foi realizado um levantamento teórico em artigos, revistas, teses, dissertações, livros, sites governamentais e consultas às legislações com o intuito de compilar e atualizar informações a respeito do funcionamento otimizado das unidades de uma ETA, os possíveis tratamentos para ALF e sua recirculação. A ETA Vila possui três módulos de tratamento, no entanto foi escolhido apenas um módulo de forma que representasse todo o sistema.

Houve o monitoramento das características da água captada e de cada etapa do tratamento e a ALF, objeto de estudo deste trabalho. Posteriormente, ensaios de recirculação da ALF foram executados em diferentes porcentagens e utilizou-se a aplicação de produtos químicos que auxiliam na coagulação com o intuito de determinar quais as condições ótimas de operação e tratamento para a recirculação na ETA. O fluxograma esquemático das etapas do trabalho pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma da Metodologia de Pesquisa.



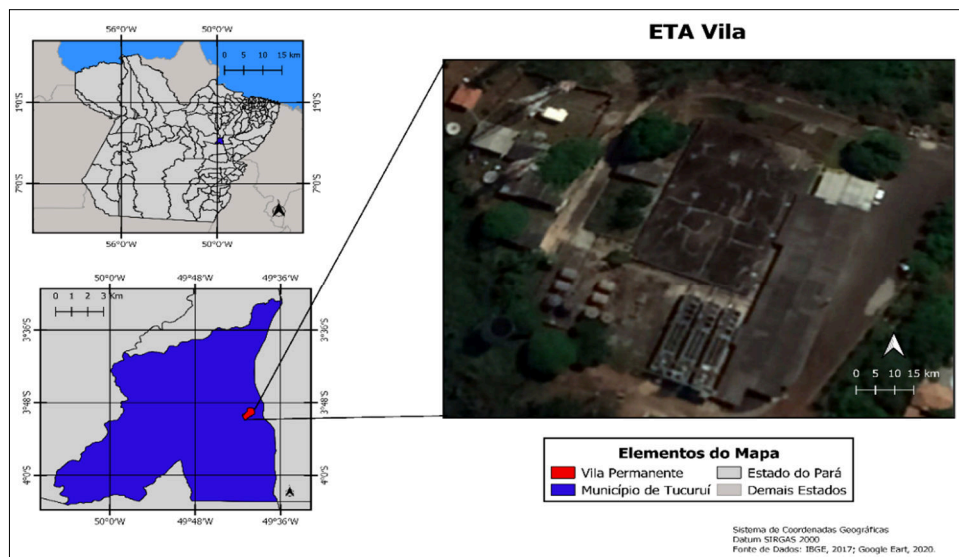
Fonte: Própria Autora, 2020.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Tucuruí está localizado na mesorregião do sudeste paraense, dispondo de uma população de 97.128 mil habitantes e densidade demográfica de 46,56 hab/km², segundo o último Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no entanto a última estimativa realizada em 2018, consta que a população chegou a 112.148 mil munícipes. Tucuruí está inserida na sub-bacia da região Araguaia-Tocantins cuja a área é de aproximadamente 123.989 km², o que corresponde a cerca de 9,9% do território do estado do Pará. O município dispõe atualmente de mais de 40 bairros entre eles a Vila Residencial da Eletronorte, onde está localizado o objeto de estudo dessa pesquisa.

A Vila Residencial da Eletronorte (VRE) está sob as coordenadas geográficas 3°45'57.1" S 49°40'45.2" O. Foi construída em 1977 com o intuito de abrigar os operários que trabalhavam na construção e administração da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE). O bairro foi projetado para dispor de infraestrutura adequada e serviços de saneamento básico como coleta regular de resíduos, sistema de esgotamento sanitário e estação de abastecimento e tratamento de água para atender a demanda comercial, hospitais, instituições de ensino, entre outros (ELETRONORTE, 2018). A Figura 4 mostra a localização do município.

Figura 4 – Mapa de Localização da Área de Estudo.



Fonte: Própria Autora, 2020.

As características gerais da área de estudo são diretamente influenciadas ao meio tropical úmido, clima predominante da região tropical brasileira. A temperatura média é de 28 °C, sendo Setembro o mês mais quente e Janeiro o mês mais frio. A pluviosidade média anual é de 2.427 mm, sendo agosto o mês mais seco, apresentando o menor índice de precipitação média de 28 mm e Março o mês mais chuvoso, com 450 mm de precipitação média (Clima-Date, 2019).

A pedologia constitui-se como argissolo vermelho-amarelo distrófico típico petroplântico - argilosa/muito argilosa, média/argilosa e média cascalhenta/argilosa, suave ondulado - e latossolo vermelho distrófico - argilosa, muito argilosa, plano e suave ondulado (IBGE, 2008) que influenciam na formação de solos ácidos e pouco férteis e grande suscetibilidade a erosão (ELETRONORTE, 2018).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ETA VILA

A Estação de Tratamento de Água da Vila Residencial (ETA Vila) está localizada próxima ao Lago de Tucuruí, sob as coordenadas 3°50'03.17"S 49°41'09,47"O. O sistema foi projetado considerando um horizonte de 20 anos para atender 2.510 unidades domiciliares, com uma população estimada em 20.000 habitantes. A ETA é classificada como convencional do tipo compacta modelo ITAIPU-150, composta de três módulos com capacidade de tratar aproximadamente 450m³/h de água, operando em regime contínuo com previsão de, no mínimo, 8h/dia e, no máximo, 23h/dia com o objetivo de garantir a potabilidade da água conforme preconiza a Portaria de Consolidação nº 05 de setembro de 2017, Anexo XX.

As instalações da ETA Vila são constituídas pelas unidades de captação, medição e mistura rápida, preparação e de dosagem de produtos químicos, floculação, decantação, filtração, desinfecção e reservação. Além disso, o local dispõe de prédio administrativo, laboratório, casa de química, tanque de equalização, entre outros. Para este estudo, as unidades e processos que compõe o tratamento são as mais relevantes, uma vez que a forma como são operadas e conduzidas influenciam nas características da água de lavagem dos filtros. A Figura 5 apresenta a estrutura da ETA em estudo.

Figura 5 – Estação de Tratamento de Água da Vila Permanente – Tucuruí.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Para a operação, a ETA-Vila dispõe de 20 operadores, distribuídos em 4 turnos de 5 funcionários que se organizam em atividades relacionadas à captação e operação da ETA e ETE. Os parâmetros cor, turbidez, pH e cloro residual são avaliados a cada uma hora para controle operacional. Além disso, a cada 15 dias são realizadas as coletas nas “pontas de rede” para avaliação de uma série de parâmetros em pontos estratégicos da rede, cujo o objetivo é verificar o atendimento dos padrões exigidos pela portaria do Ministério da Saúde.

3.2.1 Captação

A captação da água bruta é realizada em um manancial localizado no reservatório formado pelo lago da UHE de Tucuruí, a 10 km de distância do eixo da barragem e a cerca de 900 m da ETA Vila. O local foi escolhido em detrimento das condições operacionais, ambientais, financeiras e por se enquadrar dentro dos critérios da NBR 12.213/92 que estabelece os critérios para a elaboração de projetos de captação de águas superficiais para abastecimento público.

A unidade de captação (Figura 6) foi montada sobre um flutuante com aproximadamente 100 metros de comprimento onde, na parte superior da balsa principal, há a instalação de três conjuntos motor-bomba do tipo turbina vertical com motor de 500 HP. As três bombas funcionam em paralelo alternadamente, permanecendo uma em *stand by*, permitindo assim a produção de vazão de 1.000 m³/h, prevendo-se um aumento populacional da área atendida pela ETA.

Figura 6 – Ponto de Captação da ETA – Vila.



Fonte: ELETRONORTE, 2019

3.2.2 Mistura Rápida, Medição e Controle da Vazão

Após a captação, a água bruta (AB) passa por um canal de entrada onde está instalada a Calha Parshall, conforme a Figura 7. Esta possui dimensões de aproximadamente 9 polegadas, modelo CPW-12, que permite medições de vazão numa faixa de 12 a 1.600m³/h. A vazão é dividida nos três módulos da estação, por meio de vertedores triangulares utilizados para medir e ajustar a vazão máxima de 150 m³/h em cada módulo. Nessa unidade também ocorre a mistura rápida, no qual o coagulante (sulfato de alumínio) é dispersado de forma homogênea e rápida conforme a AB é introduzida no tratamento.

Figura 7 – Calha Parshall da ETA – Vila.



Fonte: Própria Autora, 2020.

3.2.3 Preparação e dosagem dos Produtos Químicos.

Para o preparo e armazenamento da solução de sulfato de alumínio e da suspensão de hidróxido de cálcio utilizados como coagulante e alcalinizante, respectivamente, a ETA dispõe de quatro tanques do tipo cilíndrico vertical aberto e com fundo plano, confeccionados em polietileno, com capacidade de 1600 litros cada tanque.

Para a dosagem da solução de sulfato de alumínio e a suspensão de hidróxido de cálcio na calha Parshall instalada no canal de água bruta, a unidade possui duas bombas dosadoras diafragma, modelo EG-400-4C-15 e quatro agitadores mecânicos de eixo e hélice aço inoxidável: sendo dois do tipo rápido vertical modelo AR-1700/1,0 e rotação 1700 rpm com o objetivo de promover a dissolução do sulfato de alumínio e; dois do tipo lento vertical modelo AL-300/1,5 e rotação de 300 rpm, com o intuito de promover a dissolução do hidróxido de cálcio e manter a suspensão, conforme Figura 8.

Figura 8 – Sistema de Dosagem de Produto Químico.



Fonte: Própria Autora, 2020.

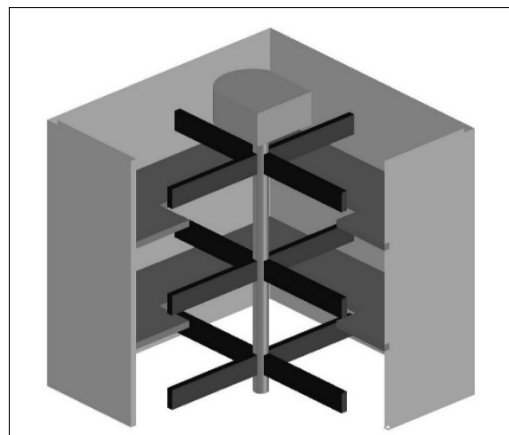
3.2.4 Floculação

Unidade mecânica composta por três câmaras de floculação modelo CFM-150 Multiestágios (Figura 9), com capacidade de permitir que os gradientes de velocidade possam ser alterados de acordo com a variação da qualidade da água bruta. A vazão unitária é de 150 m³/h com tempo de retenção de 20 minutos. Possui 3,2 m de largura, 4,6 m de comprimento, 3,4 m de altura útil e 3,5 m de altura total. Essa etapa do tratamento, permite a aglomeração das partículas por efeitos de transporte de fluidos, formando partículas maiores e mais pesadas para serem separadas por gravidade.

Figura 9 – (a) Floculador Mecânico da ETA – Vila; (b) Representação interna.



(a)



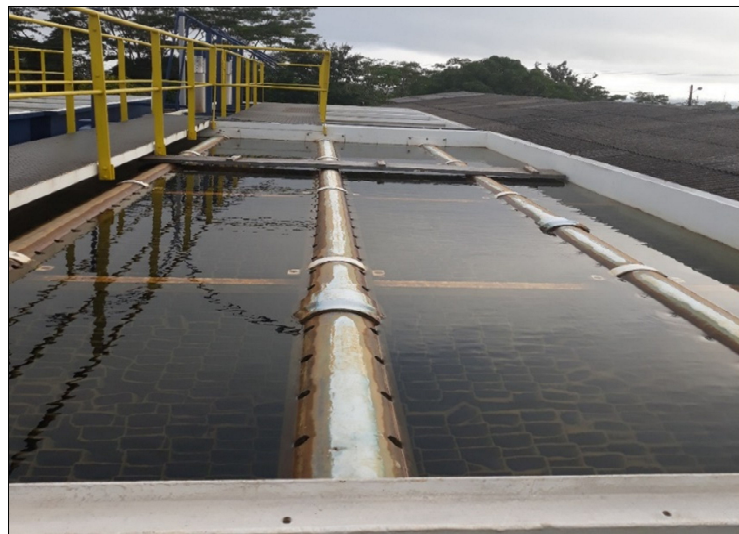
(b)

Fonte: Própria Autora, 2020.

3.2.5 Decantação

Constituída de três câmaras de decantação do tipo lamelar (Figura 10), modelo CD-150, com vazão unitária de 150 m³/h e tempo de detenção de 31 minutos. O decantador possui taxa de aplicação superficial de 6,25 m³/m².h, tendo as seguintes dimensões: 3,2 m de largura; 7,5 m de comprimento; 3,3 m de altura útil e; 3,5 m de altura total. A finalidade dessa unidade é sedimentar e separar do líquido as partículas sólidas e as sujeiras que foram aglomeradas na floculação.

Figura 10 – Decantador de Alta Taxa da ETA – Vila.



Fonte: Própria Autora, 2020.

3.2.6 Filtração

A filtração é realizada por três câmaras de filtração (Figura 11), com quatro subcâmaras cada, modelo CFD-150, com vazão unitária de 150 m³/h. Os filtros possuem taxa de filtração de 9,6 m³/m².h e as seguintes dimensões: 6,0 m de largura; 2,6 m de comprimento; 3,3 m de altura útil e; 4,2 m de altura total. A finalidade dessa unidade é remover as partículas que não foram removidas no decantador.

A taxa de retrolavagem² do filtro é de 38,4 m³/m².h, apresentando um consumo de água durante a lavagem de cada sub câmara variando de 25 a 37,5 m³, dependendo do tempo previsto para a operação, que pode variar de 10 a 15 minutos. Esse procedimento é realizado diariamente e está atrelado as condições e características da água bruta. A camada filtrante do filtro é simples, composto por 40 cm de areia, 30 cm de seixo e fundo falso, conforme Figura 11.

² O processo de retrolavagem consiste na passagem da água através do filtro em sentido contrário ao fluxo de filtragem com o objetivo de remover partículas orgânicas e inorgânicas retidas no meio filtrante.

Figura 11 – Câmaras de Filtração da ETA – Vila.



Fonte: Própria Autora, 2020.

3.2.7 Desinfecção

A desinfecção consiste na destruição ou inativação dos microrganismos patogênicos que possam causar prejuízos à saúde humana. Esse procedimento é realizado após a filtração em um compartimento onde o hipoclorito de sódio é dosado por meio de uma bomba dosadora. O composto utilizado para a formação do desinfetante utilizado é o cloreto de sódio não tóxico. Numa sala reservada é preparada a solução de salmoura, à concentração de 30%, que é encaminhada a um reator onde ocorre a eletrólise.

3.2.8 Reservação

Unidade onde a água tratada é armazenada em um reservatório semienterrado composto de duas câmaras com capacidade de 1.560m³ cada e encaminhado para a rede de distribuição. da Vila Residencial da Eletronorte, conforme Figura 12.

Figura 12 – Reservatório de Água Tratada da ETA – Vila.



Fonte: Própria Autora, 2020.

3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PONTOS DE MONITORAMENTO.

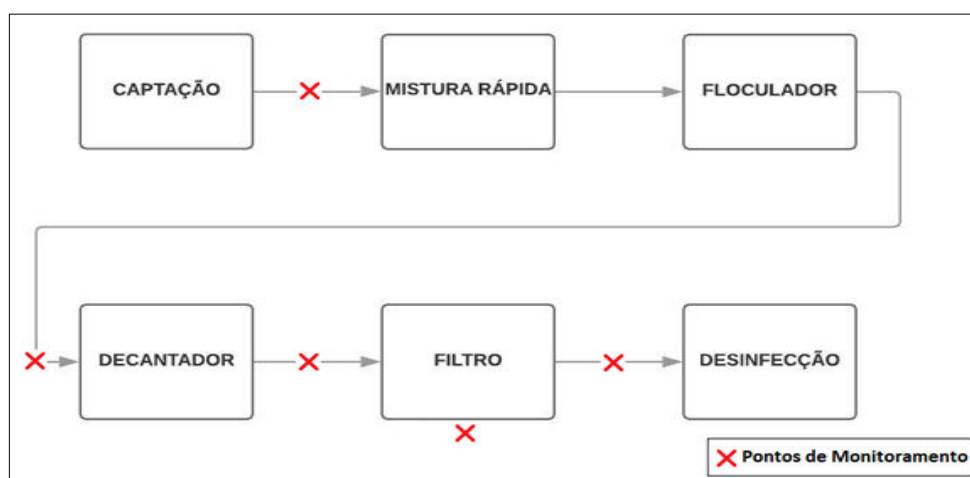
As coletas das amostras nos diferentes pontos da ETA-Vila foram realizadas com o objetivo de:

- a) avaliar a qualidade da água de lavagens dos filtros;
- b) a caracterização da água de lavagem dos filtros e;
- c) a coleta em intervalos de 1 minuto para identificar o tempo gasto no processo de lavagem da unidade de filtração.

O monitoramento foi realizado mensalmente no período de outubro de 2019 a abril de 2020. Os pontos de coleta das amostras estão indicados na Figura 13 e detalhados a seguir.

- **Água Bruta (AB):** coleta realizada na adutora de água bruta.
- **Água de entrada do Decantador (ADe):** a amostra foi coletada na unidade de floculação, pois a entrada de água do decantador tem fluxo descendente tornando inacessível sua retirada para análise.
- **Água de saída do Decantador (ADs):** coleta realizada na saída do decantador e entrada dos filtros.
- **Água de Saída dos Filtros (AFs):** a ETA Vila possui uma tubulação para coleta dessa unidade para monitoramento horário conforme recomendação em norma. Dessa forma, foi aproveitado o ponto para recolher a amostra.
- **Tempo de Lavagem (TL):** foram coletadas amostras de 4 litros a cada minuto durante a operação de lavagem, iniciando pelo minuto zero até o minuto 10, totalizando 11 amostras individuais.
- **Água de Lavagem dos Filtros Composta (ALFcm):** a amostra foi obtida por meio da mistura de alíquotas iguais de cada uma das amostras de tempo de lavagem dos filtros e utilizada nas análises dos parâmetros físico-químico, microbiológica e nos ensaios no Jar Test.

Figura 13 – Fluxograma dos Pontos de Monitoramento na ETA – Vila.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Para os tempos de lavagem dos filtros (0 min a 10 min), foram analisados os parâmetros: temperatura, condutividade, cor aparente, turbidez, sólidos sedimentáveis (SS) e sólidos totais dissolvidos (STD). As demais coletas foram analisadas a partir de todos os parâmetros mencionados no Quadro 3. A metodologia de análise utilizada seguiu os procedimentos padrões descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMEWW, 2012), com exceção dos parâmetros de temperatura, condutividade, pH, Sólidos Sedimentáveis, Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, conforme descrito abaixo:

Quadro 3 – Descrição dos parâmetros físico-químicos e a metodologia utilizada.

| Parâmetros | Metodologia Utilizada | VMP* |
|----------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Temperatura | Medidor Multiparâmetro Portátil | SR* |
| Condutividade | Medidor Multiparâmetro Portátil | SR* |
| Turbidez | SMEWW, Ed. 2012, Método 2130 B. | ≤ 1 uT |
| Cor Aparente | SMEWW, Ed. 2012, Método 2120 B | ≤ 15 NTU |
| pH | Medidor Multiparâmetro Portátil | 6 A 9 |
| Oxigênio Dissolvido | SMEWW, Ed. 2012, Método 4500 G | SR* |
| DQO | SMEWW, Ed. 2012, Método 5220 B. | SR* |
| Alcalinidade | SMEWW, Ed. 2012, Método 2320 B. | SR* |
| Dureza | SMEWW, Ed. 2012, Método 2340 C. | ≤ 500 mg/L |
| Cálcio | SMEWW, Ed. 2012, Método 3500 Ca-B | SR* |
| Magnésio | SMEWW, Ed. 2012, Método 3111 B | SR* |
| Cloreto | SMEWW, Ed. 2012, Método 4500 B. | ≤ 250 mg/L |
| Nitrogênio Amoniacal | SMEWW, Ed. 2012, Método 4500 B e C. | $\leq 1,5$ mg/L |
| Nitrato | SMEWW, Ed. 2012, Método 4110 B. | ≤ 10 mg/L |
| Ferro Total | SMEWW, Ed. 2012, Método 3120B | $\leq 0,3$ mg/L |

| | | |
|----------------------------|--------------------------------------------------|-------------|
| Fosfato | SMEWW, Ed. 2012, Método 4500 B.5e Método 4500 E. | SR* |
| Fósforo Total | SMEWW, Ed. 2012, Método 4500 B. e Método 4500 E. | SR* |
| Alumínio | SMEWW, Ed. 2012, Método 3111B | ≤ 0,2 mg/L |
| Sólidos Sedimentáveis | Cone IMHOFF | SR* |
| Sólidos Suspensos Totais | SMEWW, Ed. 2012, Método 2540 B e D. | SR* |
| Sólidos Dissolvidos Totais | SMEWW, Ed. 2012, Método 2540 C e Método 2540B. | ≤ 1000 mg/L |
| Coliformes Totais | Contagem de Colônias | Ausência |
| <i>Escherichia Coli</i> | Contagem de Colônias | Ausência |

*LEGENDA: **VMP** – Valor Máximo Permitido pela Portaria de Consolidação nº 5, anexo XX do Ministério da Saúde; **SR** – Sem Referência.

Fonte: Própria Autora, 2020.

3.4 REPRODUÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ETA

Para determinar as condições atuais de operação de uma ETA é necessário realizar alguns ensaios. Os seus resultados permitirão a verificação do gradiente de velocidade de mistura rápida e de floculação e as demais condições ideais para, posteriormente, serem adotadas nos ensaios de recirculação da ALF, conforme Quadro 4.

O gradiente de velocidade da mistura rápida realizada na Calha Parshall de aproximadamente 9 polegadas, foi estimado por meio dos cálculos apontados por RITCHER e AZEVEDO NETTO (1991). O tempo de mistura rápida foi estimado em 1000 s⁻¹.

Quadro 4 – Parâmetros utilizados para determinação das condições ideais da ETA.

| Unidade | Parâmetro | Valor |
|----------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Mistura Rápida | Gradiente de Velocidade | 400 rpm |
| | Coagulante | Sulfato de Alumínio |
| | | Dosagens: 3mL, 4 mL, 5mL, 6mL, 7mL e 8m. |
| Mistura Lenta | Gradiente de Velocidade | 42 e 66 rpm |

Fonte: Própria Autora, 2020.

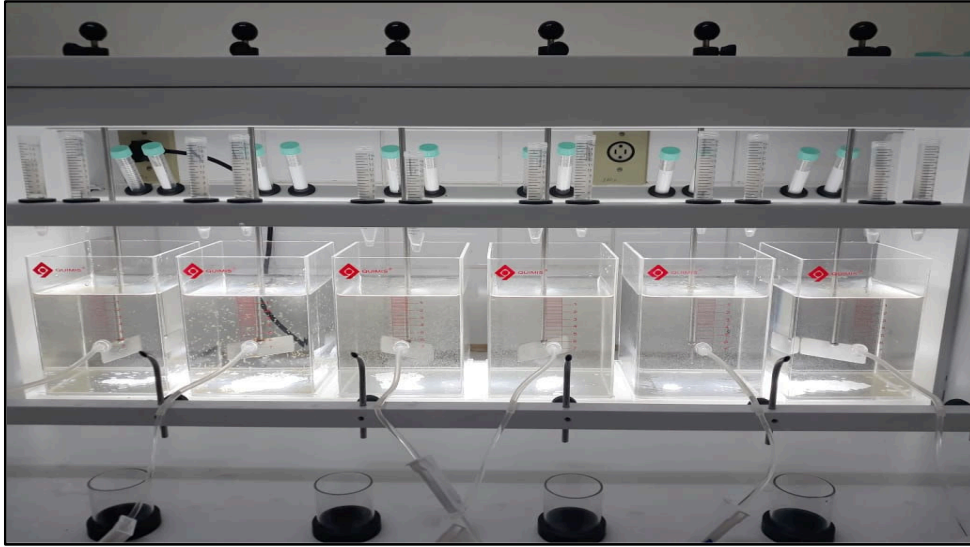
3.5 ENSAIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS (ALF)

Os ensaios de recirculação de ALF foram executados no equipamento Jar Test para determinação das condições mais satisfatórias tanto para mistura rápida, quanto para floculação e decantação objetivando assim uma possível recirculação em escala real. Os ensaios

aconteceram no laboratório da ETA Vila e ao final da decantação (30 minutos) foram coletadas amostras para análise de cor, turbidez e pH.

O Jar Test utilizado (Figura 14) é composto por 6 jarros de acrílico transparente com capacidade de 2 litros/jarro, fabricante QUIMIS, com controle de velocidade micro controlado com técnica PWM variando de 15 a 400 rpm.

Figura 14 – Equipamento Jar Test utilizado nos ensaios.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Os ensaios foram realizados para água de mistura (AM) da AB e a ALFc com tratamento (clarificada) e sem tratamento (bruta), com e sem a utilização de um auxiliar de floculação, para avaliar a possibilidade da recirculação *in plant* em diferentes porcentagens. O Quadro 5 descreve os principais parâmetros e produtos químicos utilizados em cada etapa do tratamento durante os ensaios. O planejamento adotado foi fatorial completo do tipo n^k , onde n é o número de cenários e k é o número de porcentagens de recirculação adotada.

A clarificação das amostras para os ensaios foi reproduzida em provetas de 1000 mL e, após o tempo de 30 minutos, houve a coleta do sobrenadante e encaminhado para o Jar Test de acordo com o percentual de recirculação estipulado para cada ensaio. Não foi utilizado nenhum tipo de produto químico para auxiliar na clarificação da ALF.

Quadro 5 – Condições Gerais dos Ensaios de Recirculação da ALF.

| TR* | PR* | | PQU* | Quantidade de Ensaios |
|-----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| | 5% | 10% | | |
| ALF _B * | Sem o uso de polímero | Sem o uso de polímero | Coagulante: Sulfato de Alumínio. | 3+3 |
| | Uso de polímero aniônico | Uso de polímero aniônico | | |
| | Uso de polímero catiônico | Uso de polímero catiônico | Coagulante: Sulfato de Alumínio; Alcalinizante: Hidróxido de Sódio. | |
| ALF _C * | Sem o uso de polímero | Sem o uso de polímero | Sulfato de Alumínio. | 3+3 |
| | Uso de polímero aniônico | Uso de polímero aniônico | | |
| | Uso de polímero catiônico | Uso de polímero catiônico | Coagulante: Sulfato de Alumínio; Alcalinizante: Hidróxido de Sódio. | |
| Total de Ensaios | | | | 12 ensaios mensais |
| Total de Ensaios (Campanha de 4 meses) | | | | 48 ensaios |
| Total de Dados = 288 combinações | | | | |

*LEGENDA: PR – Porcentagem de Recirculação; TR – Tipo de Resíduo; PQU – Produtos Químicos Utilizados; ALF_B – Água de Lavagem dos Filtros Bruta; ALF_C – Água de Lavagem dos Filtros Clarificada.
Fonte: Própria Autora, 2020.

A aplicação dos dois polímeros não foi simultânea, isto é, cada ensaio aplicou-se apenas um tipo de polímero, mantendo o mesmo coagulante e os mesmos parâmetros, com o intuito de avaliar o desempenho individual do tipo aniônico e catiônico.

3.5.1 Preparação dos produtos químicos utilizados

Para os ensaios de tratabilidade da AM foi utilizado um alcalinizante para correção de pH, coagulante para formação de flocos na mistura lenta e auxiliar de floculação, isto é, os polímeros sintéticos catiônico e aniônico. O preparo de todas as soluções utilizadas seguiu as recomendações de Di Bernardo *et al.*, (2012). O preparo não seguiu uma sequência padronizada, e os procedimentos ocorreram conforme a necessidade de cada ensaio.

O alcalinizante utilizado foi a Cal Hidratada para ajustar o pH da faixa de trabalho do polímero catiônico e sua dosagem variou conforme o pH da água bruta no momento de cada ensaio. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio. A concentração da solução foi de 10 g/L. Como o sistema de dosagem da ETA Vila é volumétrico, as variações nos ensaios foram dos volumes das dosagens em cada jarro. Sendo assim, considerou-se as dosagens de 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mL, respectivamente.

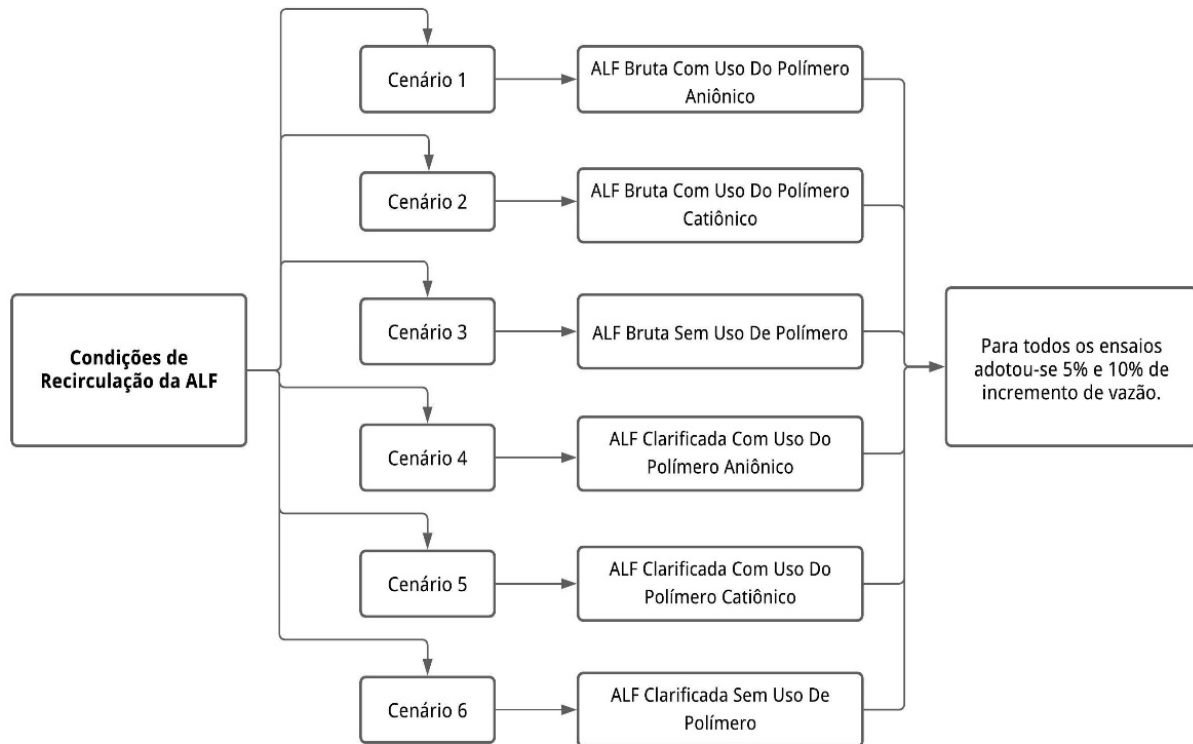
Foram utilizados dois polímeros como auxiliar de coagulação. O polímero catiônico FLONEX 4350 SH com faixa de trabalho de pH acima de 8. Para encontrar a concentração da solução que seria utilizada nos ensaios, realizou-se ensaios no Jar Test com diferentes concentrações do produto. Foi preparado a solução superconcentrada de 0,02g/L e a partir desta, soluções com as seguintes concentrações: 0,2%; 0,5% e 1,0%. A concentração que apresentou melhores resultados foi de 0,2%. A partir disso, considerou-se as dosagens de 8, 7, 6, 5, 4 e 3 mL, respectivamente, para o tipo catiônico.

O outro polímero utilizado foi o aniônico A-130HMW com faixa de trabalho de pH acima de 4. Para encontrar a concentração da solução que será utilizada nos ensaios, realizou-se ensaios no Jar Test com diferentes concentrações do produto. Foi preparado a solução superconcentrada de 0,02g/L e a partir desta, soluções com as seguintes concentrações: 0,1%; 0,2% e 0,5%. As concentrações deste produto foram diferentes em virtude de sua emulsão que, muito concentrada, poderia entupir as dosadoras se utilizado em escala real. A concentração que apresentou melhores resultados foi de 0,1%. A partir disso, considerou-se as dosagens de 8, 7, 6, 5, 4 e 3 mL, respectivamente, para o tipo aniônico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados a respeito da caracterização das amostras coletadas (AB, ADe, ADs AFs e ALFc), os ensaios de recirculação *in plant* da ALF e suas respectivas condições denominadas de Cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6, conforme Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma esquemático dos cenários de recirculação da ALF.



Fonte: Própria Autora, 2020.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AB, ADE, ADS AFS E ALFC

As características da água de entrada do decantador (ADE), água de saída do decantador (ADS), água de saída dos filtros (AFS) e a água de lavagem dos filtros compostas (ALFc) coletadas no período de pesquisa estão reunidos na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Características físico-químicas da ETA – Vila (AB, ADE, ADS, AFS e ALF) no período de outubro de 2019 a abril de 2020.

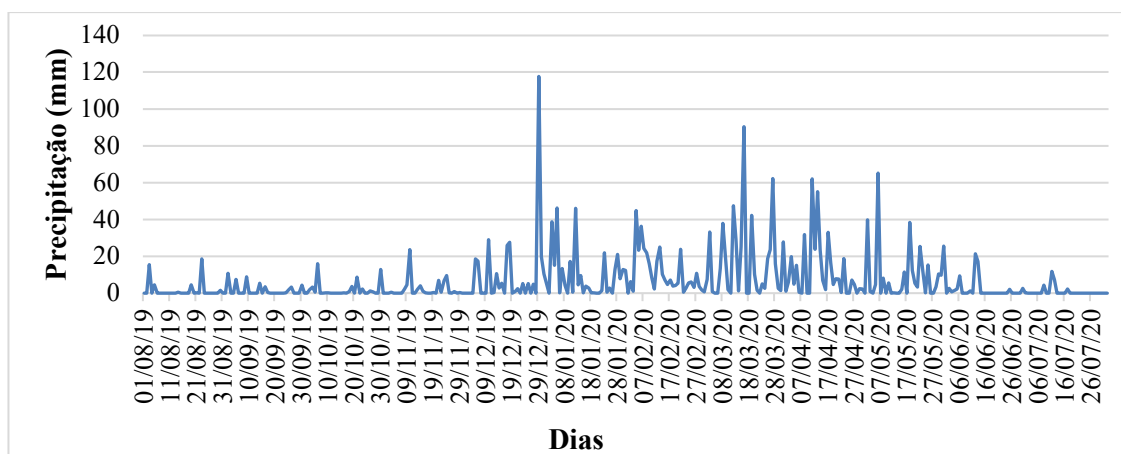
| Parâmetro | Unidade | AB | | ADE | | ADS | | AFS | | ALFc | |
|---------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| | | Mínimo / Máximo | CV | Mínimo / Máximo | CV | Mínimo / Máximo | CV | Mínimo / Máximo | CV | Mínimo / Máximo | CV |
| pH | - | 6,04 - 7,40 | 7,55% | 5,18 - 6,67 | 8,15% | 5,69 - 6,60 | 6,67% | 6,17 - 6,73 | 2,77% | 5,60 - 7,0 | 7,67% |
| Cor Aparente | uH | 7,40 -68,10 | 76,38% | 8,40 - 83,80 | 82,23% | 7,36 - 63,10 | 89,29% | 3,8 - 43,50 | 93,58% | 20,3 - 117 | 53,74% |
| Turbidez | unT | 1,53 - 14,10 | 91,69% | 3,25 - 21,30 | 72,41% | 0,46 - 14,4 | 93,89% | 0,4 - 8,50 | 98,02% | 5,69 - 42,60 | 84,52% |
| Temperatura | °C | 27,74 - 29,90 | 2,80% | 28,46 - 30,30 | 2,21% | 28,71 - 30,3 | 2,26% | 28,24 - 29,70 | 2,43% | 27,72 - 29,27 | 1,98% |
| Condutividade | µS/cm | 35,0 - 48,0 | 10,44% | 39,0 - 67,0 | 21,59% | 39,0 - 67,0 | 24,83% | 39,0 - 65,0 | 21,48% | 38,0 - 67,0 | 21,46% |
| Oxigênio Dissolvido | mg/L | 5,28 - 7,76 | 12,65% | 5,44 - 8,40 | 15,74% | 4,32 - 7,36 | 18,17% | 4,64 - 9,28 | 25,71% | 4,96 - 7,76 | 15,75% |
| DQO | mg/L | 2,72 - 18,4 | 50,64% | 3,61 - 8,48 | 48,09% | 3,12 - 18,08 | 49,68% | 3,12 - 18,0 | 53,19% | 8,4 - 19,6 | 30,35% |
| Alcalinidade | mg/L | 4,0 - 68,0 | 115,71% | 5,0 - 46,0 | 104,95% | 6,0 - 48,0 | 117,50% | 6,0 - 38,0 | 89,10% | 6,0 - 36,0 | 75,48% |
| Ferro Total | mg/L | 0,11 - 0,86 | 84,84% | 0,06 - 0,8 | 66,57% | 0 - 0,60 | 85,73% | 0,02 - 0,33 | 64,39% | 0,08 - 1,96 | 91,12% |
| Alumínio | mg/L | 0,01 - 0,10 | 135,55% | 0,01 - 0,72 | 104,60% | 0,01 - 0,65 | 118,74% | 0,01 - 0,59 | 132,80% | 0,01 - 0,8 | 97,09% |
| Cloreto | mg/L | 3,50 - 10,0 | 27,92% | 3,0 - 13,50 | 49,74% | 4,50 - 12,50 | 43,38% | 3,50 - 14,50 | 55,76% | 3,0 - 15,0 | 50,18% |
| Dureza | mg/L | 3,10 - 27,40 | 63,23% | 2,0 - 28,0 | 60,18% | 2,35 - 28,20 | 61,96% | 3,60 - 27,60 | 57,05% | 2,53 - 3,80 | 68,29% |
| Magnésio | mg/L | 1,17 - 3,11 | 34,33% | 1,07 - 4,03 | 46,42% | 0,39 - 3,35 | 58,45% | 1,12 - 3,69 | 41,25% | 1,5 - 15,10 | 47,38% |
| Cálcio | mg/L | 1,5 - 5,84 | 50,65% | 1,68 - 4,64 | 41,62% | 1,60 - 6,40 | 47,50% | 1,76 - 4,96 | 30,49% | 1,52 - 5,12 | 39,79% |
| N-Amoniacal | mg/L | 0,01 | 0,00% | 0,06 - 0,06 | 0,00% | 0,01 | 0,00% | 0,01 | 0,00% | 0,01 - 0,06 | 101,02% |
| Nitrato | mg/L | 0,02 - 0,06 | 40,77% | 0,01 -0,06 | 56,03% | 0,03 - 0,06 | 54,24% | 0,02-0,05 | 35,49% | 0,03 -0,07 | 36,44% |
| Sólidos Suspensos | mg/L | 0,01 - 3,60 | 122,47% | 1,2 - 21,20 | 74,97% | 0,1 - 11,20 | 103,78% | 0,1 - 5,20 | 116,01% | 8,36 - 9,30 | 93,52% |

LEGENDA: *CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Própria Autora, (2020).

A variabilidade dos parâmetros cor, turbidez e alcalinidade nas unidades da ETA-Vila estão atreladas as características da água bruta influenciadas pela dinâmica pluviométrica da região, conforme pode ser visualizado na Figura 16. Sendo o período chuvoso de Dezembro a Maio e o período seco de Junho a Novembro.

Figura 16 – Precipitação diária do município de Tucuruí no período de Agosto de 2019 a Agosto de 2020.



Fonte: INMET, 2020.

A substituição do coagulante de sulfato ferroso para sulfato de alumínio foi realizada a partir de Janeiro de 2020 em virtude de mudanças nas estratégias operacionais e financeiras justifica a variação de alguns parâmetros nos processos. Em dezembro de 2019, o alumínio registrou uma média de 0,02 mg/L e em janeiro 0,36 mg/L e o ferro 0,30 mg/L e, posteriormente 0,04 mg/L no mesmo período.

O lago da UHE de Tucuruí não sofre grandes influências antrópicas e o seu uso é, primordialmente, destinado a navegação, pesca e captação de água para consumo humano. Tal cenário pode explicar a constância nas concentrações de nitrogênio amoniacal e a pouca variabilidade no pH, temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido.

Foi observado que os registros da diminuição do pH no mês de dezembro podem ter inibido a precipitação natural dos sais de cálcio e magnésio contribuindo para a elevação da dureza nesse mês, apontando o aumento dos valores de dureza neste período do estudo. Outra possibilidade é a lixiviação desses compostos em virtude do início da estação chuvosa na região. Apesar dessas condições, a água estudada foi considerada mole e não apresentou possíveis prejuízos ao tratamento.

A alcalinidade apresentou um alto coeficiente de variação devido aos índices obtidos em outubro de 2019, onde há um período de intensa insolação e por isso o saldo da fotossíntese em relação à respiração pode ser elevado e a retirada de gás carbônico provoca o aumento de pH,

registrando 6,50 no mesmo período. Um dos maiores resultados no intervalo estudado. Vale ressaltar que o pH do lago da UHE de Tucuruí geralmente apresenta-se na faixa de acidez.

O fato do nitrogênio amoniacal não ter variado pode estar atrelado a baixa interferência antrópica e o baixo índice de indústria em torno do reservatório, no raio de influência do ponto de captação. Diante disso, tal parâmetro pode não ter causado grandes interferência no oxigênio dissolvido no meio, que registrou baixa variabilidade. As alterações registradas podem estar associadas às interferências de outros fatores como temperatura, sais dissolvidos, entre outros, assim como a DQO.

A respeito das influências nas características físico-químicas da ALF mencionadas na Tabela 2, foi constatado nos meses de novembro e dezembro de 2019 que a reforma das unidades de tratamento da ETA-Vila promoveu melhorias em seus processos e, conseqüentemente, influenciou na qualidade do ALF. Durante as coletas para análise e os ensaios de bancada, observou-se uma redução nos valores de cor, turbidez e sólidos a partir do mês de Janeiro de 2020. Os resultados obtidos demonstram a importância do bom funcionamento das unidades e sua relação direta com a produção de resíduos.

Outro fator que alterou as características da ALF foi a utilização do polímero catiônico adotado nos ensaios de tratabilidade como auxiliar de coagulação na ETA a partir de Março de 2020. Essas mudanças melhoraram o processo de coagulação e decantação, o que diminuiu a carga de sólidos para os filtros.

As características de ALF da ETA – Vila expressaram resultados similares aos obtidos por Brito (2019) na ALF da ETA – Extremoz que já realiza o processo de recirculação. As médias encontradas em seu estudo foram de 58,0 uH, 15,9 uT e 60,0 mgSST/L para cor, turbidez e sólidos suspensos, respectivamente. O mesmo aconteceu na análise realizada por Freitas (2010) que obteve resultados de 150 uH, 33,5 uT, 75 mgSST/L para os mesmos parâmetros.

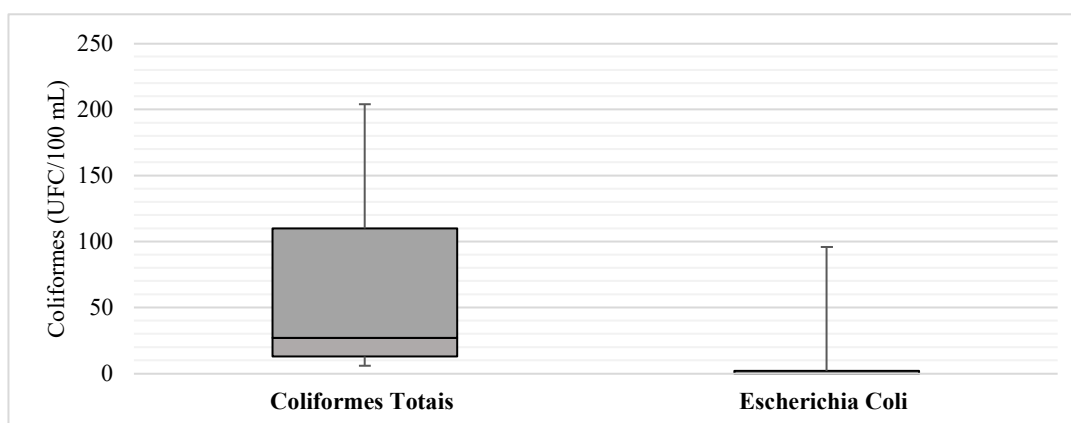
Outros estudos apontaram amplas variações nos valores de cor, turbidez e sólidos suspensos em ALF, tais como o PROSAB (1999) que registrou faixas de 200 a 2690 uH; 59 a 313 mgSST/L e 58 a 171 uT. Já Tobiason *et al.*, (2003) observaram valores médios de turbidez em amostras compostas de 150 a 400 uT em três ETAs nos Estados Unidos. Os picos desses parâmetros no presente estudo foram, respectivamente, de 117 uH; 42,60 uT e 69,30 mgSST/L nas coletas para análises físico-químicas e 394 uH; 134 uT e 192,8 mgSST/L registrados entre o primeiro e segundo minuto de lavagem.

Os demais parâmetros estiveram abaixo dos valores encontrados em alguns estudos realizados pelo PROSAB (1999). No entanto é importante destacar que os resultados variam de

acordo com o porte, o tipo de filtração, o tempo de lavagem, eficiência dos decantadores, técnicas de manutenção e operação, bem como as especificidades de cada ETA (DI BERNARDO, 2012). É importante destacar que os parâmetros registrados na ALF gerada na ETA- Vila estiveram dentro dos padrões de lançamento previstos na Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011 do Ministério da Saúde.

A Figura 17 expressa a concentrações de coliformes totais e *Escherichia Coli* (*E. Coli*) encontradas na ALF da ETA- Vila. Os estudos realizados por Oliveira (2013) registraram valores entre 5.000 NMP/100mL a 50.000 NMP/100mL para coliformes e 4.000 NMP/100mL a 7.000 NMP/100mL de *E. Coli* na ETA de Anápolis-GO. O PROSAB (1999) ao analisar quatro diferentes tipos de ETAs registrou concentrações variando de 1.045 NMP/100mL a 241.920 NMP/100mL e 3 NMP/100mL a 17820 NMP/100mL para coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente.

Figura 17 – Concentração de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* da ALF da ETA –Vila.



Fonte: Própria Autora

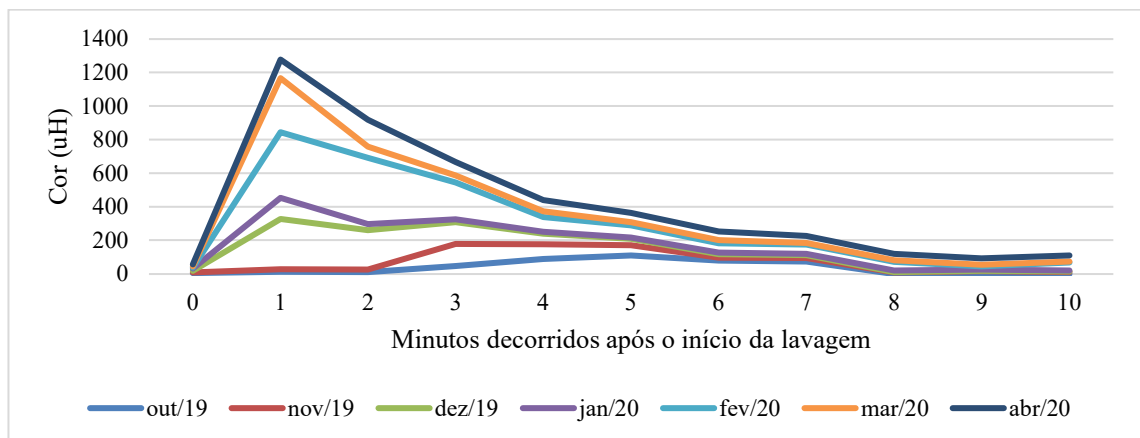
Canale (2014), registrou faixas de 7.000 NMP/100mL a 300.000 NMP/100mL para coliformes e 200 NMP/100mL a 24.000 NMP/100mL para *E. Coli* na ETA Capim Fino em Piracicaba, SP. É importante destacar que a presença de *Giardia spp.* e *Cryptosporidium spp.* só foram encontradas em concentrações acima de 50.000 NMP/100mL de coliformes totais e apenas em uma das concentrações de *E. Coli*, 5000 NMP/100mL.

A respeito das características bacteriológicas de ALF, as concentrações encontradas na literatura, estiveram bem maiores que as encontradas no presente no estudo. Todos os resultados obtidos estiveram dentro do valor máximo permitido (VMP) da Resolução CONAMA 357/2005 que enquadra os corpos d'água e estabelece que para águas de classe 2 (classificação do lago UHE de Tucuruí onde ocorre a captação) o VMP para coliformes totais e *E. Coli* é de 1000 NMP/100mL.

As Figuras 18 e 19 apresentam o comportamento da cor e turbidez no decorrer do tempo de 10 minutos de lavagem. Esse tempo era aplicado para a limpeza das unidades de filtração antes deste estudo. Houve uma diferença nas concentrações dos parâmetros nos meses de outubro, novembro e dezembro em virtude da reforma ocorrida nestes meses. A partir de janeiro a ETA- VILA passou a operar sob novas condições. Essa medida fomentou em melhorias nos processos de tratamento e também na qualidade da ALF.

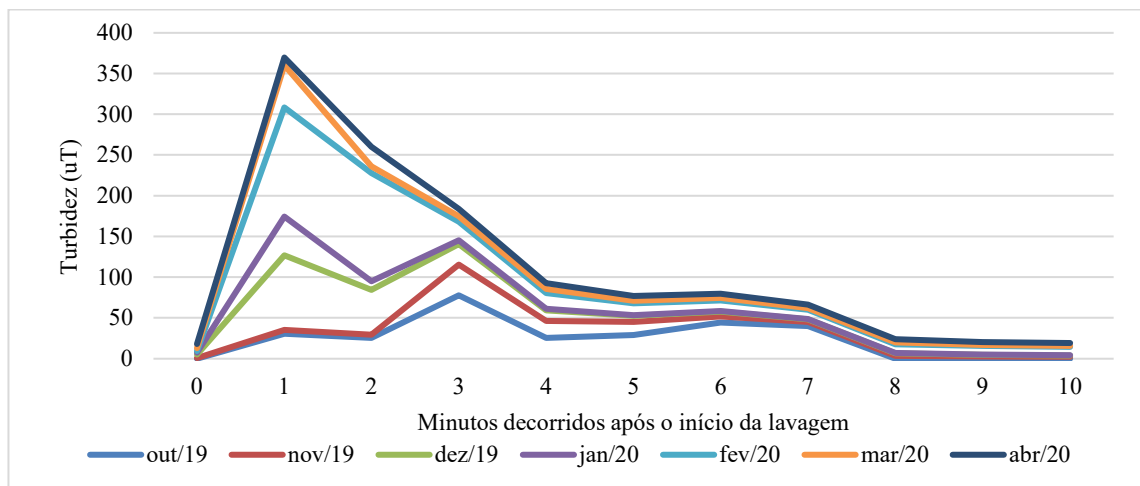
Identificou-se que a lavagem dos filtros é realizada entre 1 e 5 minutos após o início da operação; intervalo de tempo em que ocorre o pico de cor, turbidez e sólidos. De acordo com as recomendações de Kawamura (2000), a lavagem deve ser concluída quando a turbidez do afluente estiver entre 10 a 15 uT. Com base nesses resultados, pode-se afirmar que o tempo de lavagem dos filtros da ETA – Vila pode ser diminuído para 5 minutos.

Figura 18 – Concentração de cor da ALF durante a lavagem dos filtros na ETA – Vila no período de outubro de 2019 a abril de 2020.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Figura 19 – Concentração de turbidez da ALF durante a lavagem dos filtros na ETA – Vila no período de outubro de 2019 a abril de 2020.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Atualmente a ETA- Vila produz cerca de 350 m³/h de água tratada e utiliza aproximadamente 10 minutos de produção para o processo de lavagem dos filtros, isto é, 58 m³ de volume de água gastos a cada limpeza. Com a redução do tempo para 5 minutos, a estação economizará 29,23 m³ e, conseqüentemente, gastos energéticos de uso do conjunto motor-bomba de captação, operacionais, trazendo maior aproveitamento do sistema de tratamento e mais sustentabilidade ao processo de tratamento.

Na literatura, o tempo de lavagem dos filtros variou de 4 a 8 minutos. Oliveira *et al.*, (2013) adotaram o tempo de 5 minutos, assim como Brito (2019) que constatou em seu estudo que após esse período, cor e turbidez apresentam concentrações próximas a zero. Freitas (2017) propôs a redução do tempo de lavagem dos filtros para 4 minutos, o mesmo ocorreu no trabalho de Terto *et al.*, (2018), pois o coeficiente de variação dos parâmetros permaneceu o mesmo após esse período. Silva (2019), no entanto, adotou o tempo de 8 minutos necessários para a limpeza.

4.2 ENSAIOS DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS

Para todas as configurações em que ALF foi recirculada, analisou-se os parâmetros de cor e turbidez. A cor da água bruta utilizada nos ensaios apresentava concentrações de 15 uH a 62,30 uH e a turbidez variou de 2,40 uT a 14,1 uT. A água de lavagem dos filtros variou de 25,3 uH a 325 uH e 7,03 uT a 90,1 uT para cor e turbidez, respectivamente. Todas as características das águas no momento dos ensaios foram diretamente influenciadas por fatores como a carreira de filtração e a incidência de chuva no dia anterior.

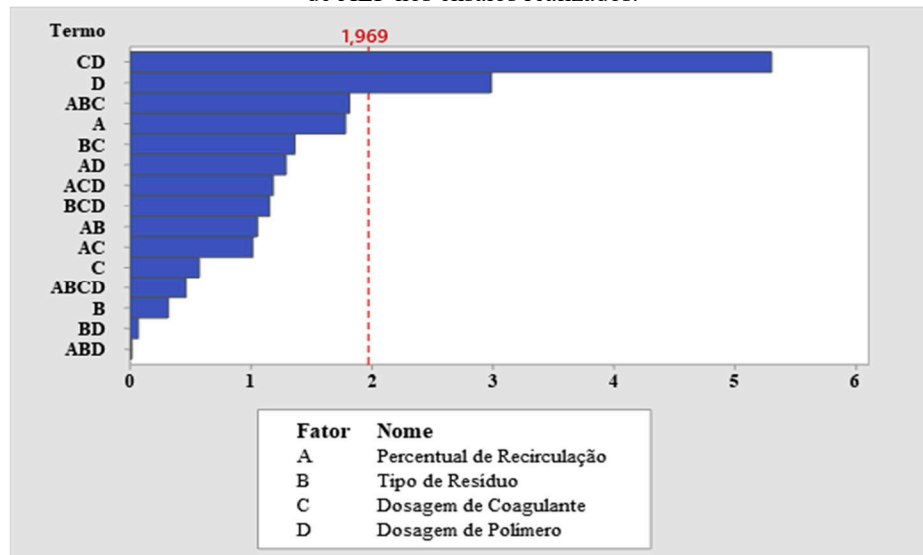
As médias dos resultados remanescentes de cor e turbidez em relação as variáveis aplicadas (porcentagem de recirculação, dosagem de coagulante e polímero) para todas as condições foram apresentadas em gráficos elaborados a partir da análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 95%. O desvio padrão combinado foi utilizado para calcular os intervalos.

O diagrama de Pareto, observado nas Figuras 20 e 21, foi utilizado para analisar a influência dos fatores que mais afetaram na remoção desses parâmetros nos ensaios realizados. É possível verificar que a combinação das doses de coagulante e polímero e a aplicação de polímero, respectivamente, foram as condições aplicadas que interferiram de maneira significativa na qualidade da água produzida.

Os auxiliares de coagulação agem proporcionando uma ponte entre as partículas desestabilizadas e a superfícies onde estão aderidas (DI BERNARDO, 2003). Mas é importante

ressaltar que somente o uso de polímero pode não apresentar resultados satisfatórios uma vez que a aplicação de coagulante é indispensável para a desestabilização coloidal.

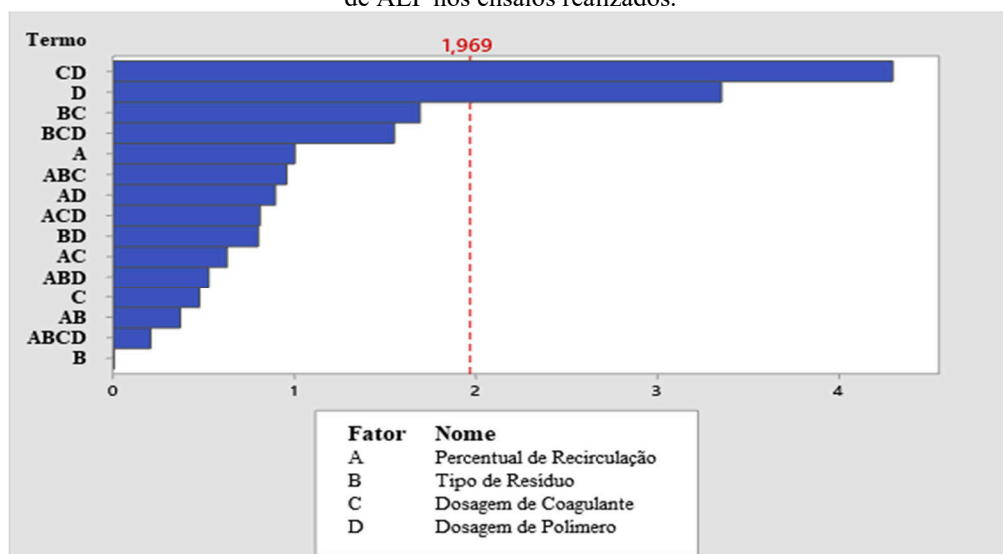
Figura 20 – Diagrama de Pareto para avaliação da cor versus condições operacionais aplicadas para recirculação de ALF nos ensaios realizados.



Fonte: Própria Autora, 2020.

Para a turbidez, esses fatores foram bem mais significativos que para a cor. Tal acontecimento pode ser visualizado nos ensaios de bancada, onde os maiores percentuais de remoção foram para turbidez, principalmente nos cenários onde ocorreram os usos simultâneos de polímero e coagulante. Salienta-se que alguns fatores isolados analisados como o tipo de resíduo, não contribuíram expressivamente, combinações como o uso simultâneo de coagulante e polímero apontaram influências relevantes no tratamento.

Figura 21 – Diagrama de Pareto para avaliação da turbidez x condições operacionais aplicadas para recirculação de ALF nos ensaios realizados.



Fonte: Própria Autora, 2020.

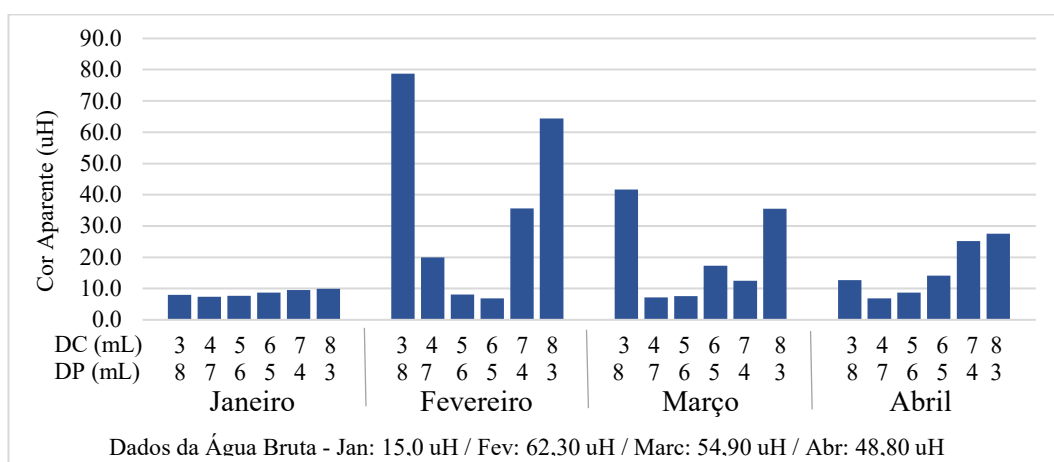
4.2.1 Cenário 1: ALF Bruta Com Uso Do Polímero Aniônico

Nos ensaios realizados com o polímero aniônico e coagulante, a remoção dos parâmetros de cor e turbidez apresentaram uma média percentual de remoção de 77,37% e 87,70%, respectivamente, nas melhores dosagens.

Na recirculação de 5% da ALFb, a cor alcançou valores nas faixas de 6,90 uH a 7,70 uH. As condições aplicadas nesse ensaio atenderam aos padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 05, anexo XX de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (MS) que prevê valores menores que 15 uH para cor.

Os resultados dos ensaios mostram que apenas no mês de Janeiro a variação nas concentrações nas dosagens não causou prejuízos à qualidade da água, registrando valores abaixo de 15 uH. No entanto, para os demais meses, a aplicação excessiva de coagulante ou de polímero apresentou um salto nos resultados do parâmetro. A Figura 22 expressa os valores de cor em todas as dosagens testadas nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

Figura 22 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

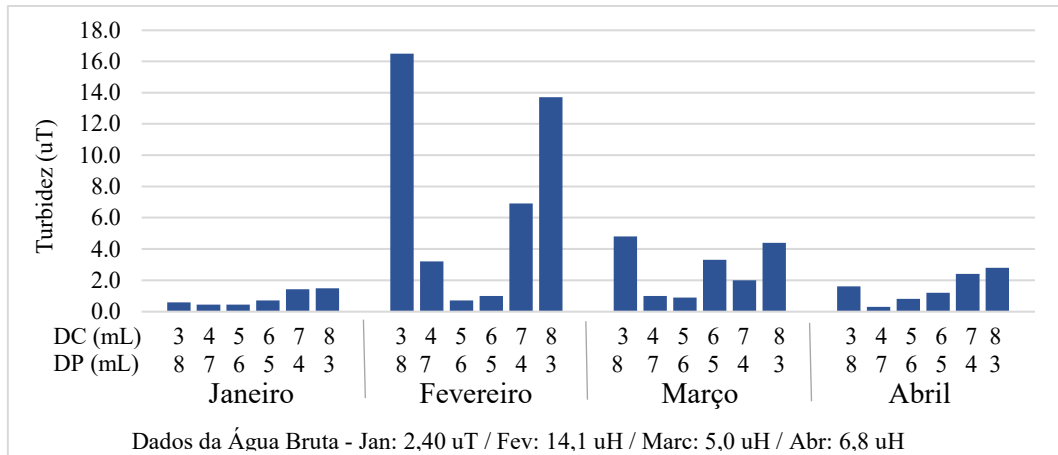


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez atingiu intervalos de 0,30 uT a 0,90 uT atendendo aos padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 05, anexo XX de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (MS) que prevê valores menores que 1 uH em filtros lentos. Os menores valores registrados foram no mês de Janeiro em virtude da qualidade da água bruta. A Figura 23 apresenta os valores de turbidez nos ensaios realizados.

Figura 23 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

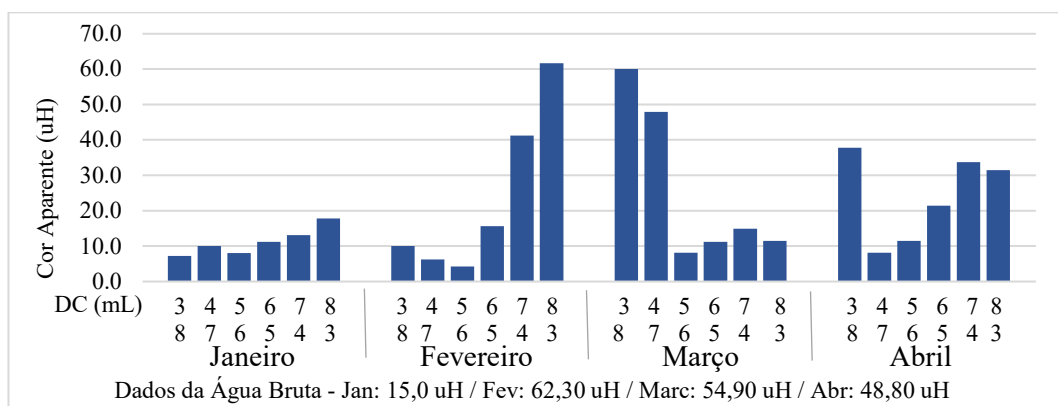


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

No estudo realizado por Freitas (2017) para constatar a possibilidade de recirculação de ALFb na ETA- Extremoz, utilizando a filtração direta e sem uso de qualquer auxiliar de coagulação, os resultados estiveram entre 22 uH e 23 uH de cor e 1,90 uT a 2,37 uT de turbidez, dosando 3 mg/L de Hidroclorato de Alumínio (HCA) numa vazão de 2% de recirculação. A água bruta registrava 23 uH no momento dos ensaios.

Para os ensaios para 10 % de recirculação da ALFb neste estudo, a cor alcançou uma faixa de 4,20 uH a 8,10 uH, permanecendo de acordo com o Ministério da Saúde e seus critérios de potabilidade. Além da dosagem ótima para o tratamento, outras dosagens também permitiram a remoção do parâmetro dentro dos padrões. Na Figura 24 tem-se os valores de cor em todas as dosagens testadas mensalmente.

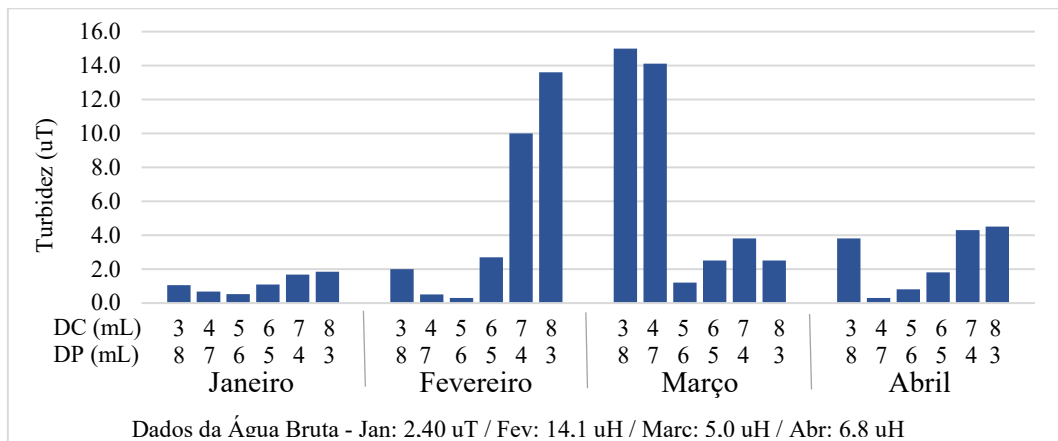
Figura 24 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez atingiu intervalos de 0,30 uT a 1,20 uT, conforme apresenta a Figura 25. Para esta condição, apenas o mês de Março não obteve resultados satisfatórios no que se refere ao padrão de potabilidade estabelecido pelo MS para turbidez alcançando, no menor registro, 1,20 uH na unidade de decantação. Todavia, devido ao a proximidade do valor ao exigido, há possibilidade de redução na filtração, tornando a recirculação em 10% de ALFb uma medida aplicável mesmo com esse cenário.

Figura 25 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

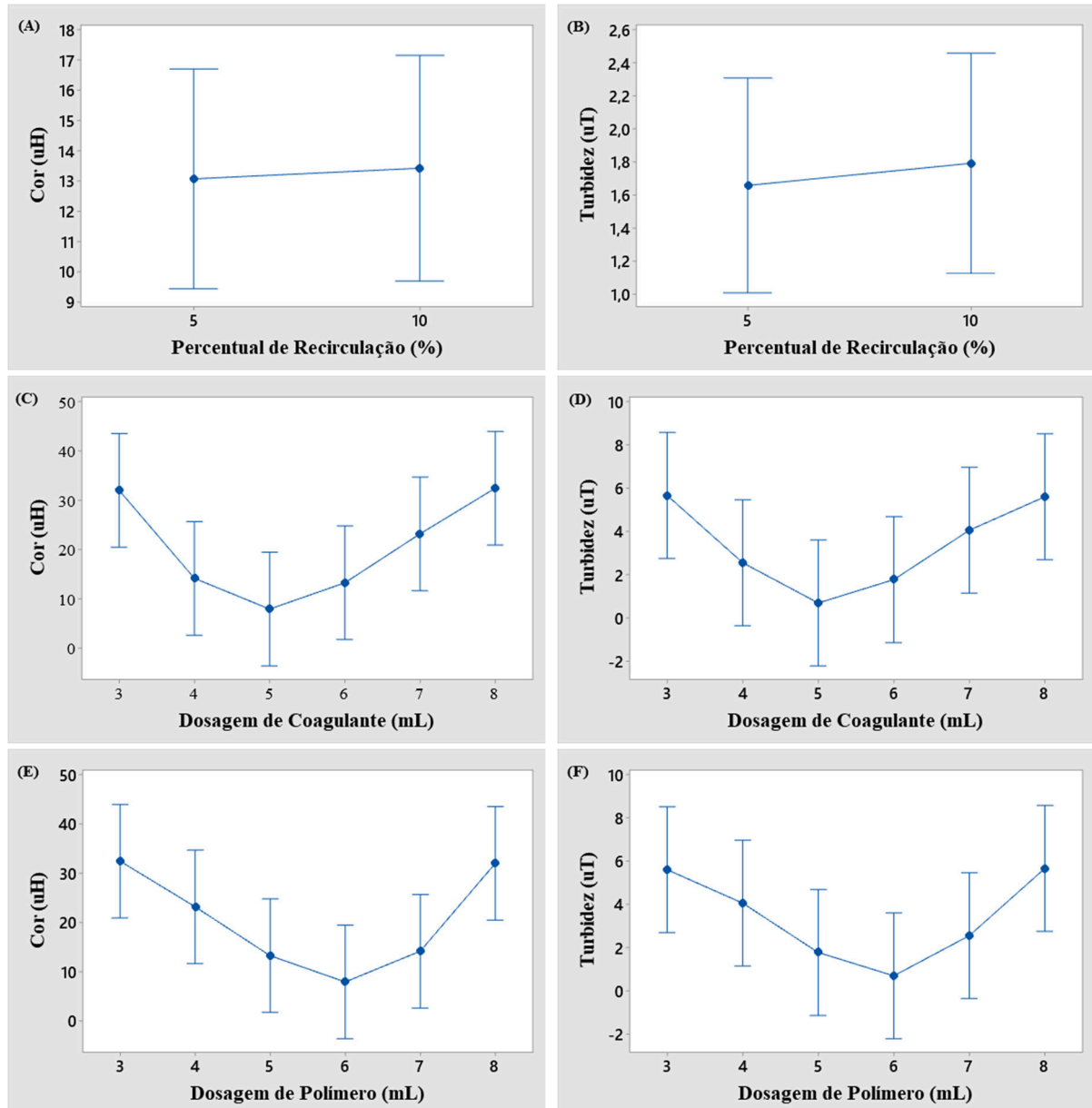
Campos (2014) também avaliou 10% da vazão de ALFb para fins de recirculação *in plant* e atingiu valores de 3 uH a 19 uH e 0,1 uT a 1,7 uT para cor e turbidez, respectivamente. Apesar de alcançar resultados satisfatórios para cor, a turbidez esteve acima do preconizado pelo MS mesmo após a filtração. Ressalta-se ainda que para filtros rápidos, caso da ETA- SANASA objeto do estudo em questão, o valor máximo permitido (VMP) é de 0,5 uT.

Nos ensaios de introdução de 8% da ALFb na ETA-Extremoz foi observado os resultados de 21 uH e 1,85 uT utilizando 3 mg/L de HCA em filtração direta. Segundo Freitas (2017), os melhores resultados em seu estudo foram para fases que incluíam a oxidação como etapa do tratamento. O experimento não utilizou nenhum tipo de polímero como auxiliar de coagulação.

Com relação as condições aplicadas aos experimentos, nos gráficos da Figura 26 é possível notar no que tange a remoção da cor (26A) e turbidez (26B), as taxas de recirculação não expressaram grandes diferenças entre si, entretanto a melhor média de vazão de recirculação foi a de 5%.

Apesar de ambos percentuais atingirem os critérios de potabilidade para cor, houve aumento na turbidez ao recircular 10% de ALFb (25B). A melhor dosagem de polímero e coagulante para o tratamento foram 5 mL e 6 mL, respectivamente em relação a remoção dos parâmetros analisados.

Figura 26 – (A, B, C, D, E, F) Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.



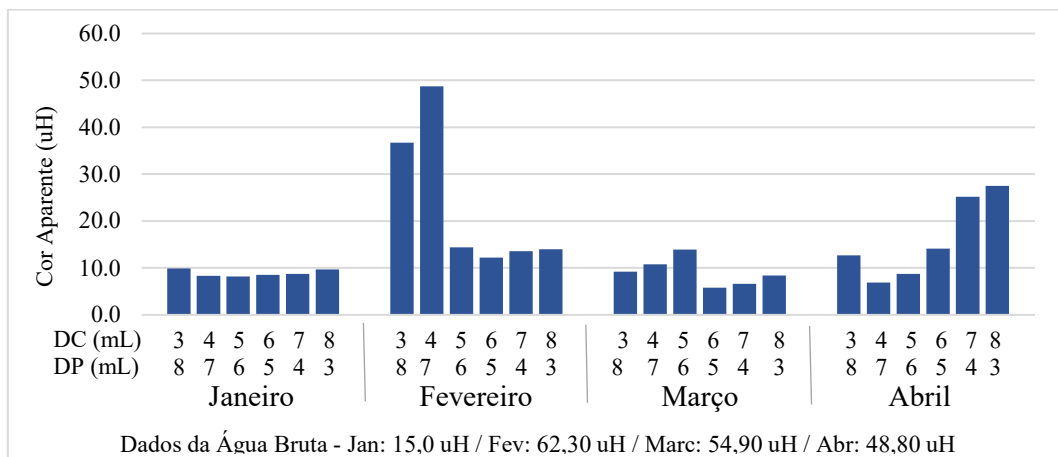
Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.2 Cenário 2: ALF Bruta Com Uso Do Polímero Catiônico

O uso do polímero catiônico como auxiliar de coagulação, atingiu percentuais de remoção para cor e turbidez de 75,25% e 88,68%, respectivamente. Na recirculação de 5% da ALFb, a cor alcançou uma faixa de 5,80 uH a 12,20 uH nas melhores dosagens de tratamento, enquadrando-se nos padrões preconizados pelo Ministério da Saúde.

No mês de Fevereiro, onde há maior intensidade pluviométrica, os ensaios registraram 12,20 uH, enquanto o experimento realizado com o uso do polímero aniônico utilizando o mesmo tipo de resíduo e a mesma vazão de recirculação apresentou valores mais satisfatórios para a remoção da cor apresentando 6,90 uH, demonstrando portanto maior eficiência. A Figura 27 expressa os resultados de todos os meses analisados.

Figura 27 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

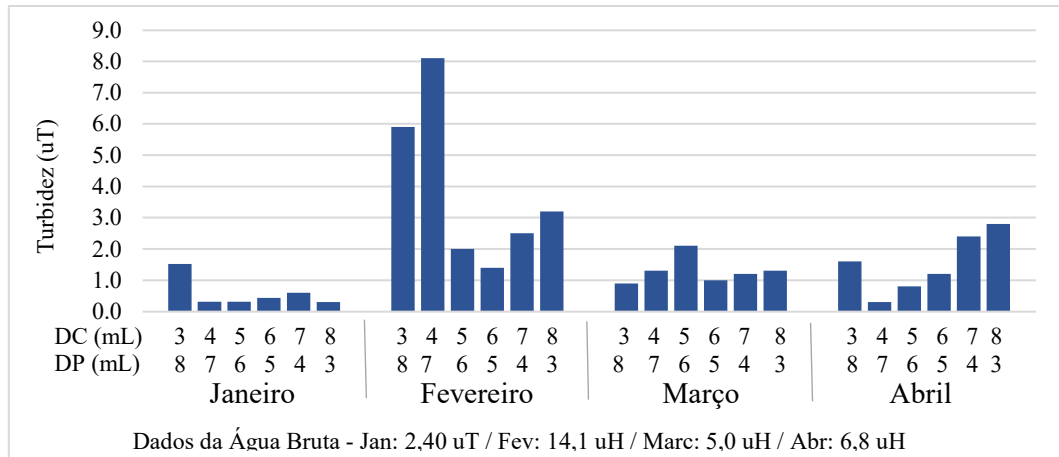


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez dos ensaios atingiu intervalos de 0,31 uT a 1,40 uT nas melhores dosagens registradas em 5% de recirculação de ALFb. Apesar de apresentar maior percentual de remoção desse parâmetro em relação ao uso do polímero aniônico, no mês de Fevereiro a turbidez atingiu 1,40 uH, não atingindo os critérios definidos pelo Ministério da Saúde, que estabelece o valor de 1,0 uH. Contudo, os padrões podem ser reestabelecidos após a unidade de filtração, viabilizando a proposta. A Figura 28 apresenta os resultados obtidos nos ensaios dessa condição.

Figura 28 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

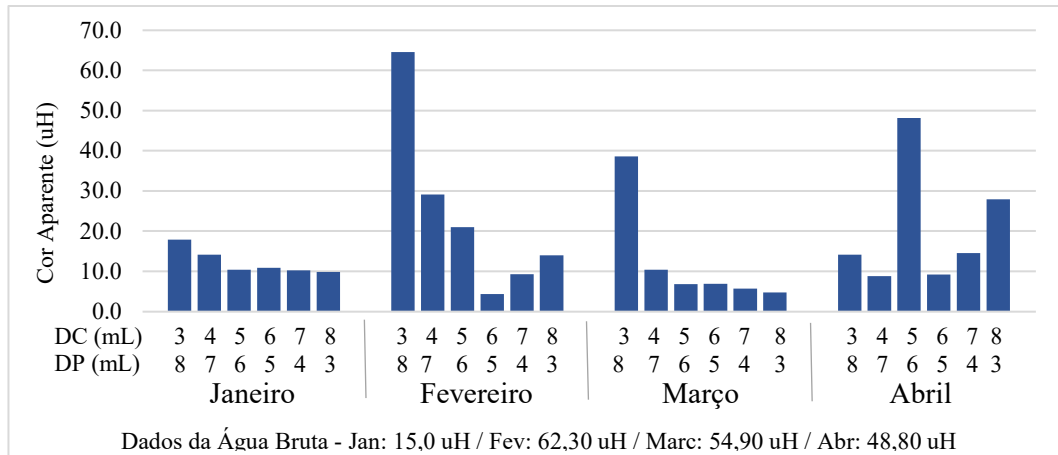


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

Para recirculação em 10%, os valores de cor remanescentes atingiram uma faixa de 4,30 uH a 10,40 uH. Os resultados para essa condição foram mais favoráveis em comparação com a introdução de apenas 5% de ALFb. Esse fator pode estar associado a presença de partículas desestabilizadas em sua constituição e o residual de coagulante presentes na ALFb pode auxiliar a remoção de partículas da água bruta (FREITAS, 2017). Neste caso, o maior percentual de recirculação tornou-se mais vantajoso no tratamento da água.

Nos meses mais críticos analisados, Fevereiro e Março, o polímero catiônico expressou valores mais satisfatórios em relação ao mesmo período no emprego do polímero aniônico (cenário 1). Apesar disso, é importante destacar que foi o mês de janeiro que apresentou o resultado mais elevado para a cor nos experimentos, o que pode estar associado ao controle de pH que é um fator imprescindível para a eficiência do polímero catiônico. A Figura 29 exhibe os intervalos encontrados.

Figura 29 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

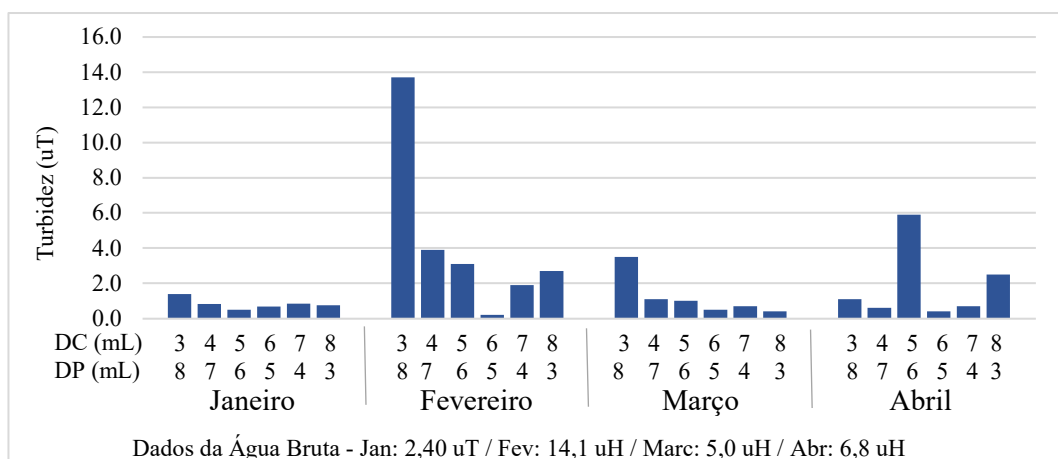


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Os valores de turbidez expressos na Figura 30 atingiram faixas de 0,20 uT a 1,0 uT, respectivamente, nas dosagens ótimas dos experimentos. Ressalta-se que a condição de recircular 10% da ALFb, apresentou intervalos menores do parâmetro quando comparado a taxa de 5%. No estudo de Freitas (2010) para o mesmo percentual, porém sem adotar polímeros como auxiliares de coagulação, registrou 4,6 uT nos ensaios de bancada. Em relação ao uso do polímero aniônico expresso no cenário 1, o catiônico reproduziu valores mais satisfatórios.

Figura 30 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

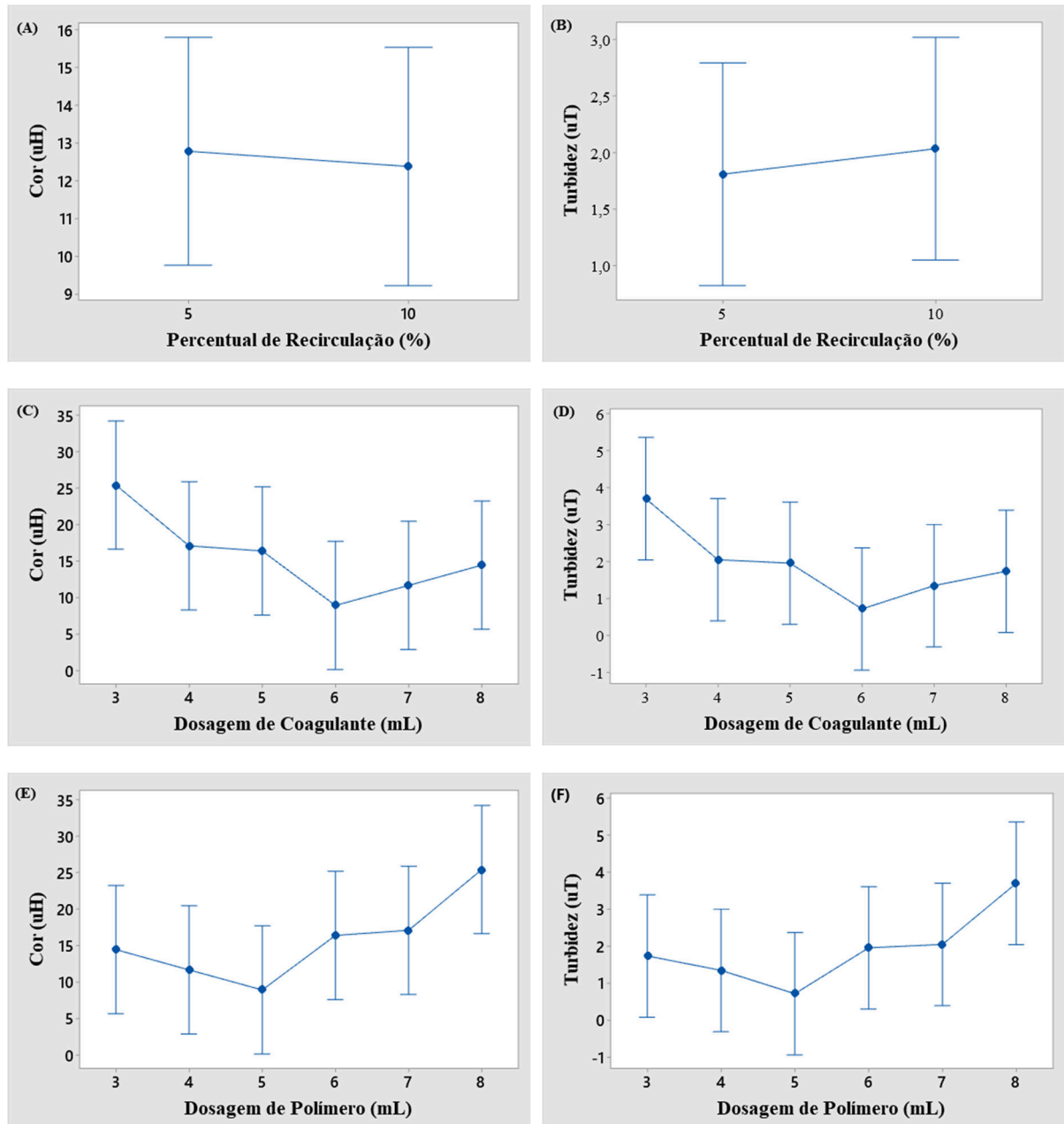


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A Figura 31 expressa as médias remanescentes de cor e turbidez em relação as variáveis aplicadas para os ensaios realizados. É possível observar que os melhores resultados foram para os experimentos que utilizaram 10% como taxa de recirculação, principalmente no que se refere a turbidez (31B). As melhores dosagens foram 6 mL para coagulante e 5 mL para o polímero, diferente dos experimentos do cenário 1 utilizando o polímero aniônico, que foi mais eficiente com a maior concentração de polímero em relação ao coagulante.

Figura 31 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.



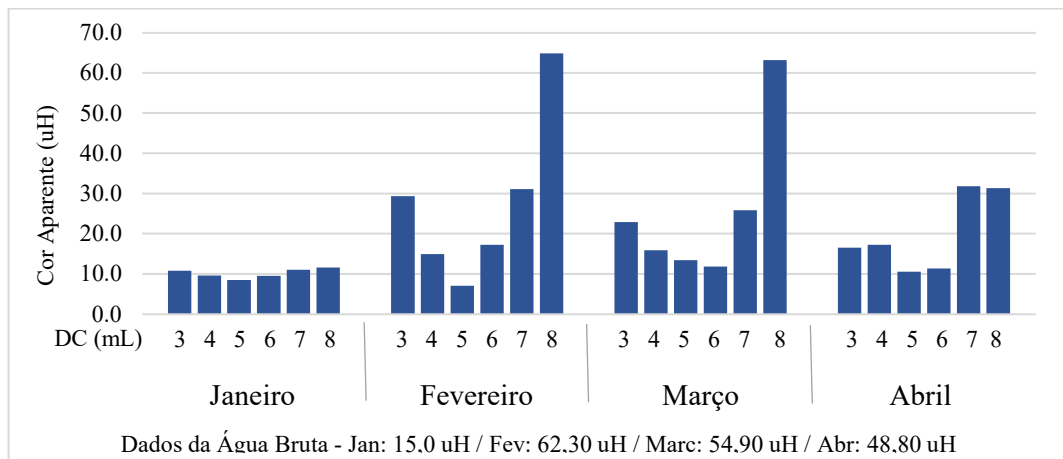
Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.3 Cenário 3: ALF Bruta Sem Uso De Polímero

Nos ensaios realizados utilizando apenas o coagulante sulfato de alumínio, a remoção dos parâmetros de cor e turbidez expressaram uma média percentual de remoção de 72,27% e 71,53%, respectivamente, nas melhores dosagens. Alguns resultados de turbidez estiveram acima do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde, evidenciando a necessidade de um auxiliar de coagulante para o tratamento da água.

Na recirculação *in plant* de 5% da ALFb, a cor variou de 7,0 uH a 11,80 uH em dosagens adequadas. Apesar dos valores se enquadrarem nos critérios de potabilidade, foi um dos experimentos que mais registraram os valores mais altos para o parâmetro. O maior registro foi identificado no mês de Março, onde ocorre intensas chuvas na região. A Figura 32 apresenta o comportamento da cor nos ensaios realizados.

Figura 32 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

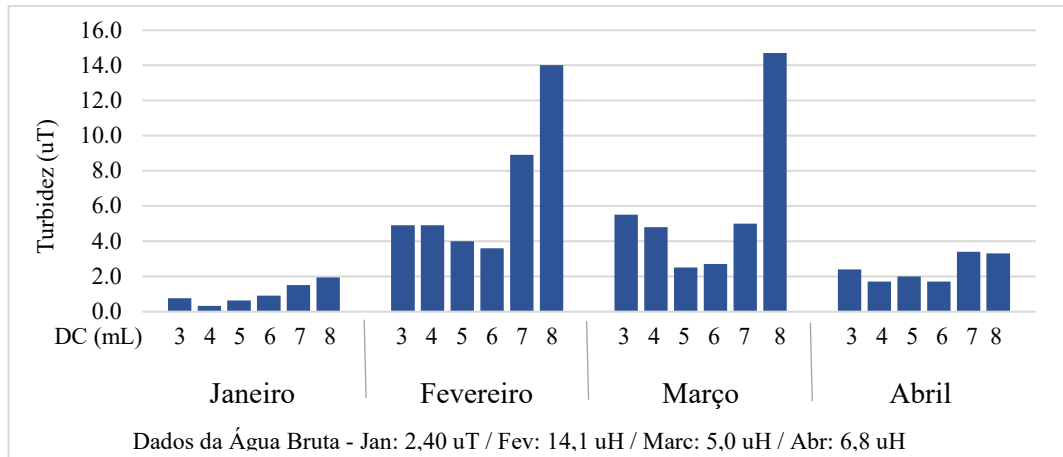


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez atingiu faixas de 0,32 uT a 3,60 uT em dosagens ótimas do produto. Destaca-se que essa condição de recirculação resultou nos maiores valores encontrados durante todo o experimento. Nos meses de intensas chuvas, apenas o uso do coagulante não foi suficiente para adequar o parâmetro nos padrões requeridos. Fevereiro apresentou 3,60 uT e Março 2,70 uT, indicando um possível comprometimento na qualidade da água tratada em razão da reintrodução de 5% da ALFb na ETA nesse período. Na Figura 33 pode-se verificar os resultados encontrados.

Figura 33 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



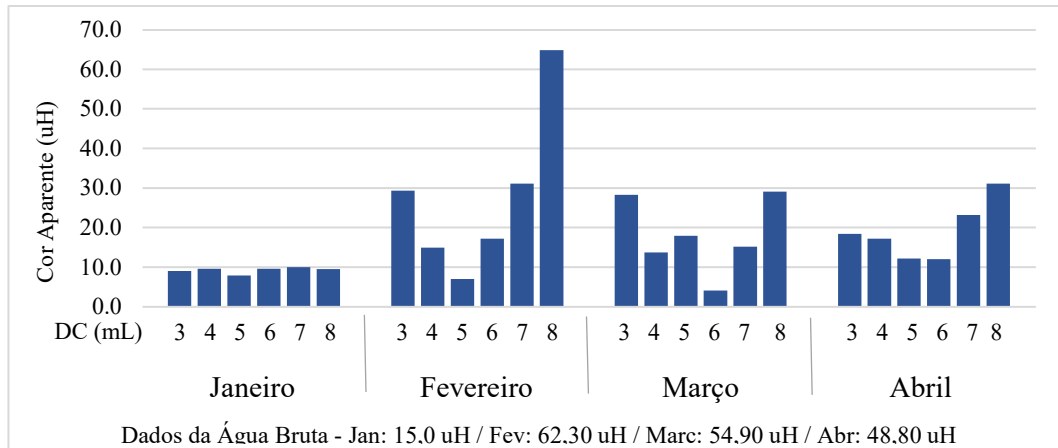
LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Freitas (2017) utilizou a pré-oxidação nos ensaios de bancada para recirculação de 5% de ALFb utilizando o HCA como coagulante, com isso os valores para cor e turbidez variaram de 7,0 uH a 15 uH e 0,67 uT a 1,10 uT, respectivamente. Campos (2014) verificou a influência da recirculação de ALF na qualidade da água na ETA –SANASA que registrou intervalos de 3 uH a 21 uH e 0,1 uT a 1,94 uT para cor e turbidez, respectivamente, adotando um pouco mais de 5% de vazão de incremento. O estudo utilizou Policloreto de Alumínio (PAC) a 2% como coagulante e o cloro como oxidante.

Os experimentos para recirculação em 10% apresentaram melhores resultados na remoção em comparação a 5%. A partir das melhores dosagens, os valores de cor atingiram uma faixa de 4,10 uH a 12,0 uH estando dentro dos critérios estabelecidos para tratamento. Campos (2014) encontrou efeitos parecidos ao recircular 8%, os valores para cor foram mais satisfatórios que 6%. A Figura 34 apresenta os resultados encontrados neste estudo.

Figura 34 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

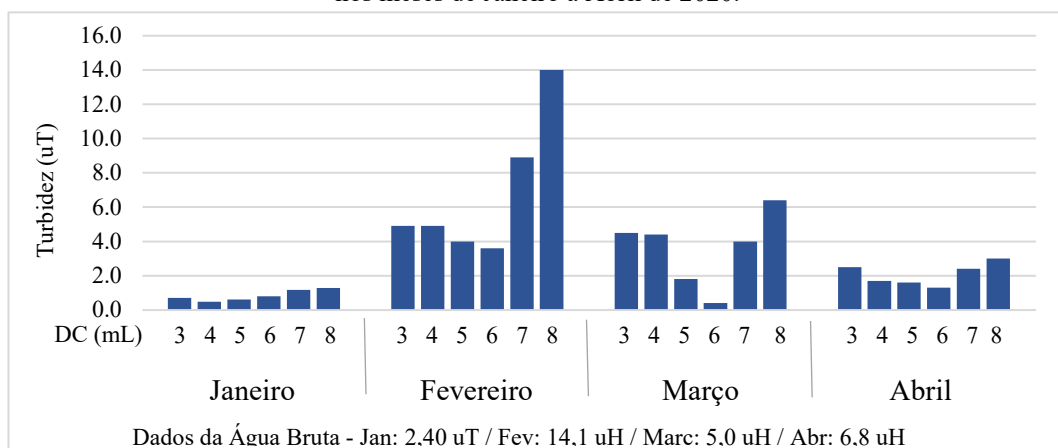


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

Os valores de turbidez de 10% de recirculação apresentados na Figura 35 estiveram entre 0,40 uT a 1,60 uT nas melhores dosagens. É importante ressaltar que essa taxa contribuiu para obtenção de intervalos menores do que 5% de vazão de ALFb. Campos (2014) também encontrou os mesmos resultados em seus estudos utilizando 6% e 10% para reintroduzir o resíduo.

Nos estudos de Suman *et al.*, (2012) que avaliaram, em laboratório, diferentes taxas de recirculação (5%, 7% e 10%) de ALFb com turbidez entre 20 uT a 40 uT para remoção da matéria orgânica, registraram que o aumento da turbidez gerado pela introdução de 7% do resíduo antes da unidade de coagulação fez com que os flocos aumentassem seu tamanho. O mesmo foi observado neste estudo usando 10% de vazão indicados na Figura 35.

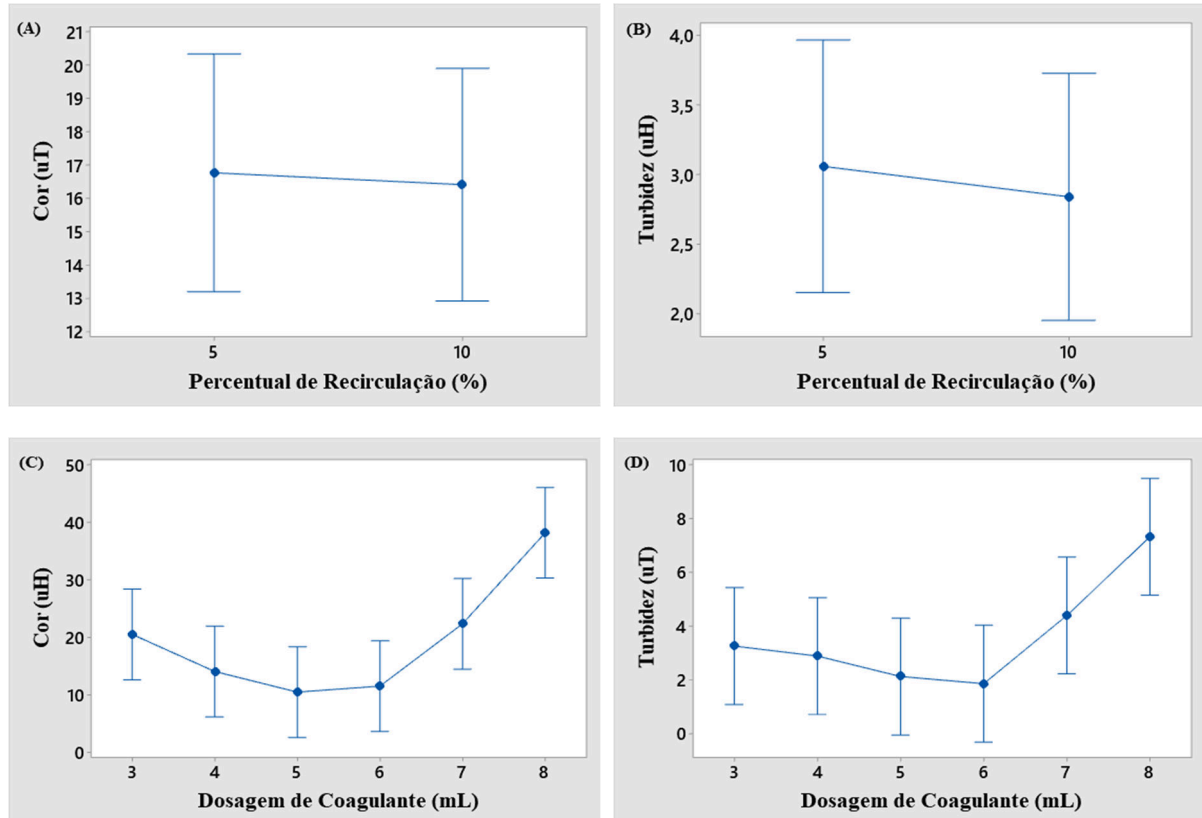
Figura 35 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Bruta recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

A Figura 36 expressa as médias remanescentes de cor e turbidez em relação as variáveis aplicadas para os ensaios realizados com uso somente de coagulante. Os resultados destacam que os melhores resultados foram para recirculação em 10%, corroborando com os efeitos positivos que a introdução de ALFb pode trazer ao sistema de tratamento. No que se refere a dosagem do coagulante, a melhor dosagem para essa condição foi de 6 mL.

Figura 36 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.



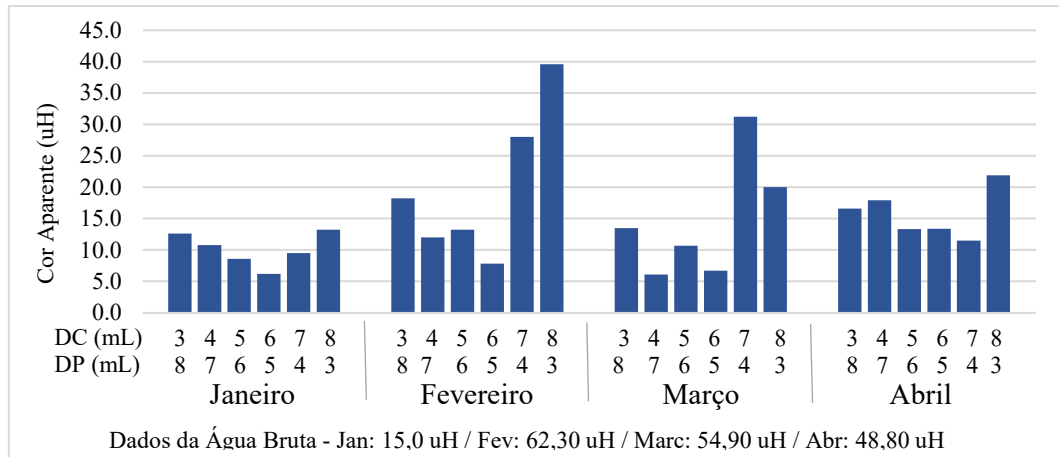
Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.4 Cenário 4: ALF Clarificada Com Uso Do Polímero Aniônico

A introdução da ALFc com uso do polímero aniônico nos experimentos apresentou uma média percentual de remoção de 77,97% e 85,42% para cor e turbidez, respectivamente, nas melhores dosagens. No que se refere ao tipo resíduo, a eficiência de remoção atingiu resultados similares para ALF bruta e clarificada utilizando o mesmo tipo de polímero.

O ensaio de recirculação de 5% da ALFc (Figura 37) alcançou uma faixa de 6,10 uH a 11,50 uH em concentrações ideais do polímero e coagulante. Ainda que os resultados obtidos estivessem dentro do exigido pelo Ministério da Saúde, com relação a remoção da cor, o uso da ALFb sob as mesmas condições registrou resultados mais satisfatórios. Contudo, nos experimentos realizados por Freitas (2017), o tipo de resíduo não interferiu nos valores da cor aparente.

Figura 37 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

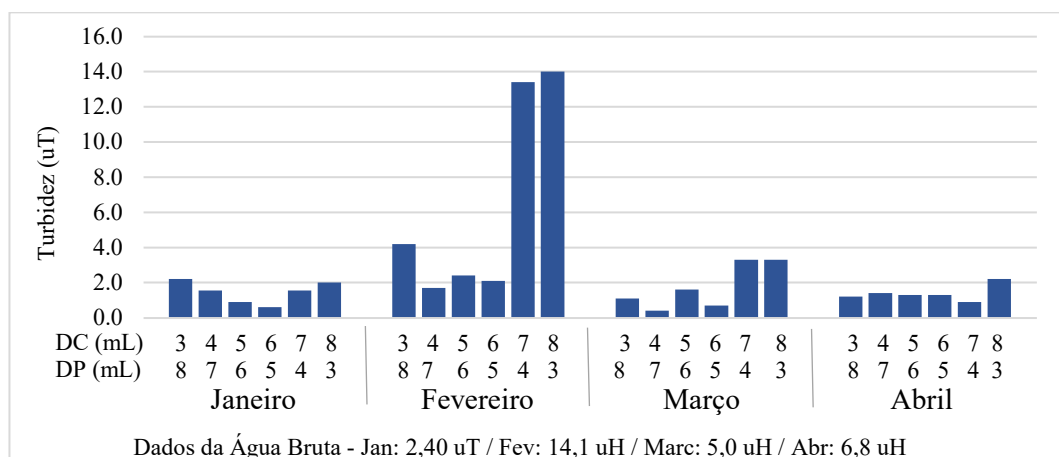


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

Para a turbidez, a recirculação de 5% (Figura 38) apresentou aumento em seus resultados quando comparado a mesma vazão, porém utilizando ALFb. Enquanto os menores valores para o resíduo sem qualquer tipo de tratamento apresentaram valores de até, no máximo, 0,90 uT nas dosagens ideais, já o experimento com ALFc registrou valores de 0,40 uT a 1,70 uT.

Freitas (2010) obteve em seus ensaios de bancada 7,8 uT na decantação e 1,9 uT na filtração com recirculação de 5% de ALFc. Mesmo utilizando o polímero catiônico em alguns experimentos para clarificar a ALFb, os resultados de turbidez na água decantada foram maiores que os valores do presente estudo. Esse fato revela que em alguns casos o uso do polímero como auxiliar de coagulação pode ser mais eficiente quando aplicados no sistema de tratamento do que tratar a própria ALFb.

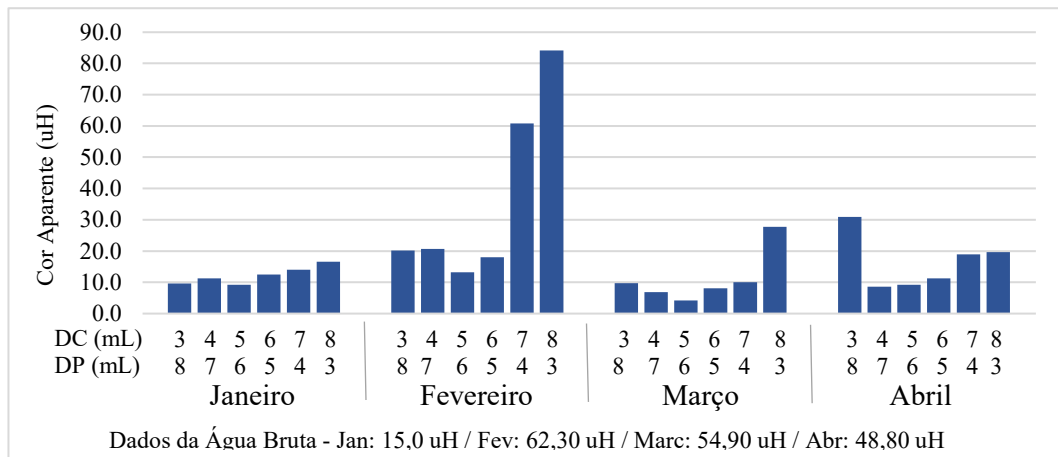
Figura 38 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

No percentual de 10% de vazão de ALFc, a cor esteve entre de 4,20 uH a 13,20 uH nas melhores dosagens para o tratamento. É possível verificar resultados mais satisfatórios em relação a razão de 5% de recirculação sob as mesmas condições. No entanto, a utilização da ALFb no cenário 1 foi mais satisfatória na remoção da cor nos ensaios do que ALFc. A Figura 39 exibe os resultados obtidos.

Figura 39 – Valores de cor em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

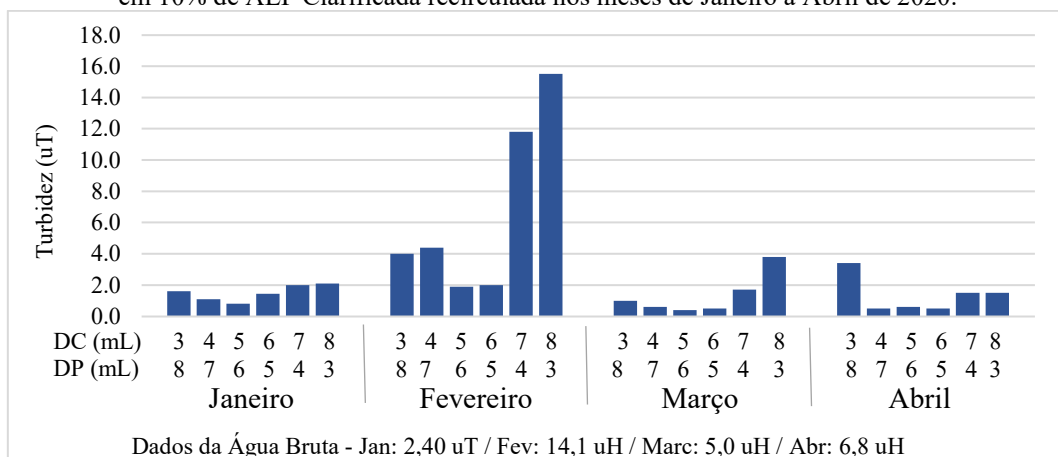


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez variou de 0,40 uT a 1,90 uT, sob as dosagens ideais do produto. Os resultados obtidos para esta taxa foram menores quando comparados a 5% sob as mesmas circunstâncias. Todavia, o uso da ALFb associada ao polímero aniônico foi mais satisfatório na remoção do parâmetro. É importante destacar que além das dosagens ótimas, essa condição de recirculação mostrou que outras dosagens também poderiam ser aplicadas na ETA para realizar o tratamento da água. A Figura 40 expressa valores encontrados nos ensaios.

Figura 40 – Valores de turbidez em função da dose do polímero aniônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

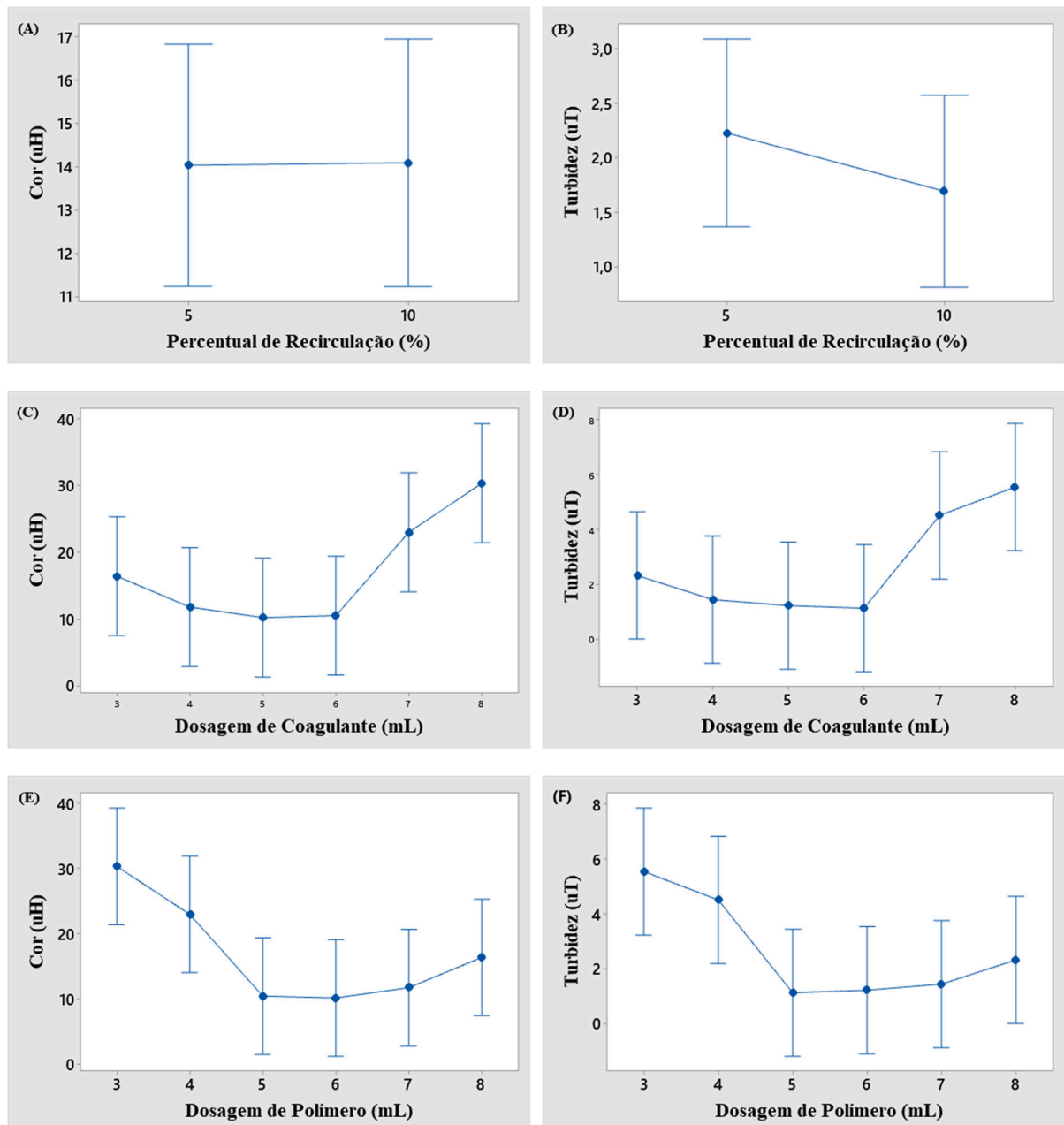


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Os gráficos apresentados na Figura 41 mostram que a variação das taxas de recirculação não teve influência significativa nas médias de cor dos experimentos, apenas para as médias de turbidez, onde houve um decaimento nos resultados obtidos a partir recirculação de 10% de ALFc. A melhor dosagem foi de 6 mL para coagulante e 5 mL para o polímero aniônico, mesmas concentrações encontradas nos experimentos utilizando ALF Bruta associada ao mesmo auxiliar de coagulação (cenário 1).

Figura 41 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.



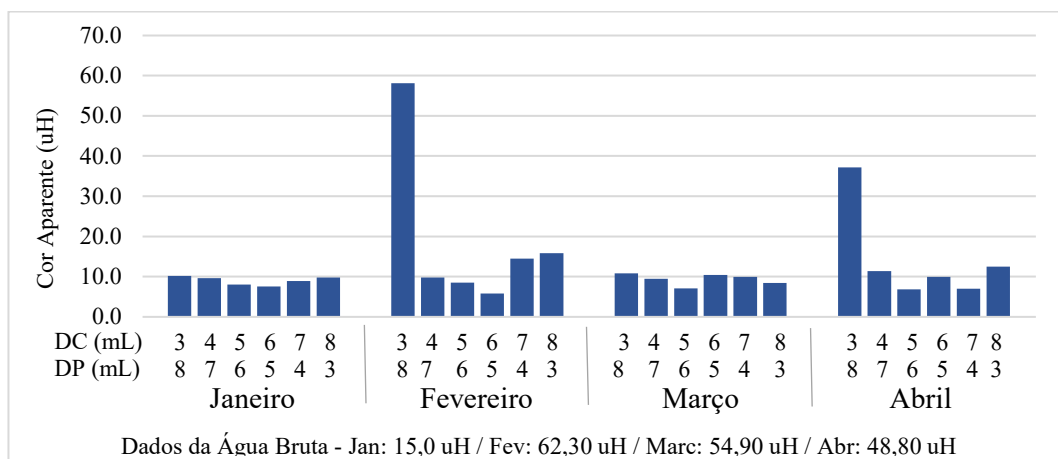
Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.5 Cenário 5: ALF Clarificada Com Uso Do Polímero Catiônico

O uso do polímero catiônico como auxiliar de coagulação na recirculação da ALFc atingiu percentuais de remoção da cor e turbidez de 74,49% e 90,75%, respectivamente, nas dosagens ótimas para tratamento. O ensaio com ALFc obteve maior êxito na remoção dos parâmetros, principalmente a turbidez, se comparado a ALFb utilizando os mesmos critérios.

Nos experimentos para recircular 5%, a cor obteve valores de 5,80 uH a 7,55 uH, dentro das concentrações ideais de coagulante e polímero. Os experimentos de Freitas (2017) registraram valores similares, sendo 7 uH para cor na dosagem de 8 mg/L de HCA, adotando o mesmo tipo de resíduo e vazão de ALFc, porém com pré-oxidação em filtração direta. A Figura 42 exibe os resultados encontrados nos ensaios realizados.

Figura 42 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

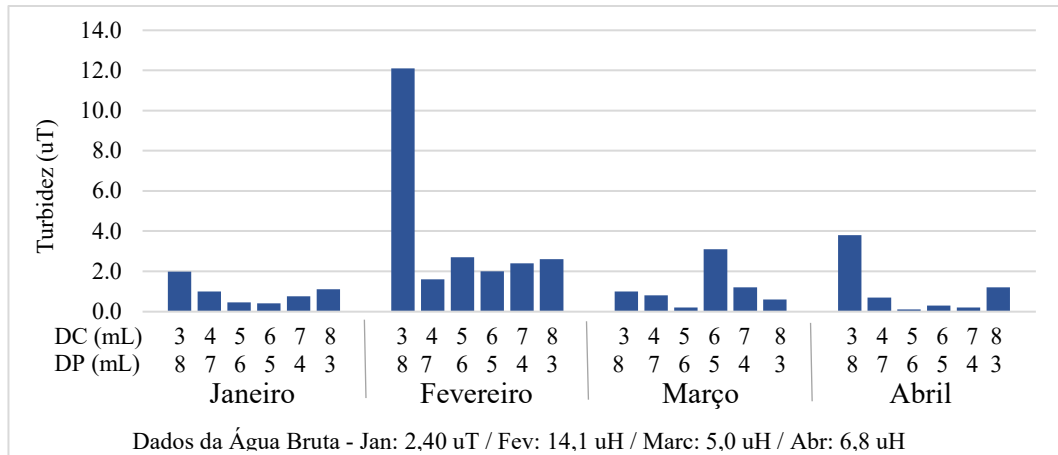


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez para 5% de incremento de ALFc no tratamento, obteve intervalos 0,10 uT a 1,60 uT nas dosagens ótimas de tratamento. Destaca-se que apenas o mês de Fevereiro registrou valores acima do permitido pelo Ministério da Saúde. Freitas (2017) também não atingiu os critérios de potabilidade ao recircular ALFc em filtração direta, atingindo 1,63 uH dosando 3 mg/L de HCA em 5% de vazão. A Figura 43 apresenta os valores obtidos nos meses de Janeiro a Abril dos experimentos desse estudo.

Figura 43 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

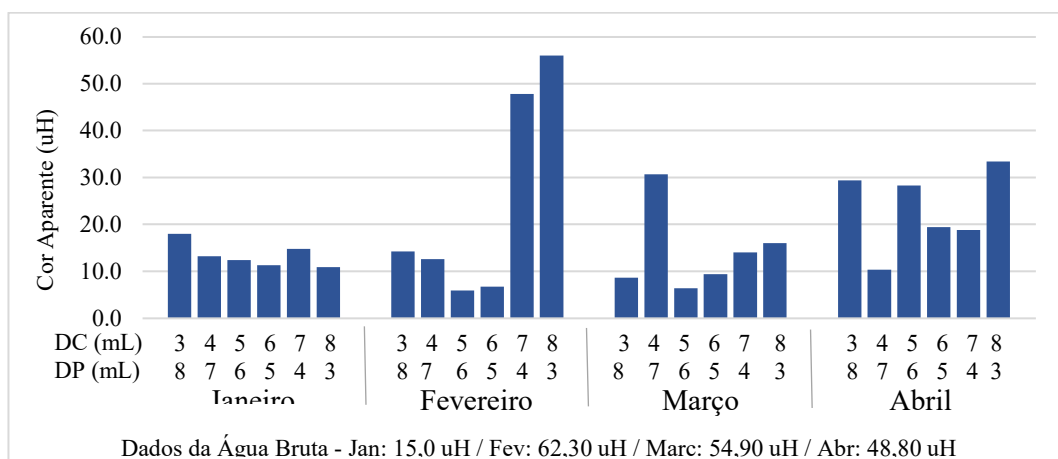


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Para recirculação em 10%, os valores de cor estiveram entre 5,90 uH e 11,30 uH, conforme a Figura 44, dentro das dosagens consideradas ideais para tratamento da água de mistura. Ao utilizar ALFc em ensaios em filtração direta, Freitas (2017) registrou 21uH a 24 uH, utilizando 8% da vazão e ao incluir a pré-oxidação nos experimentos, a cor apresentou valores menores, entre 9 uH a 12 uH.

Figura 44 – Valores de cor em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

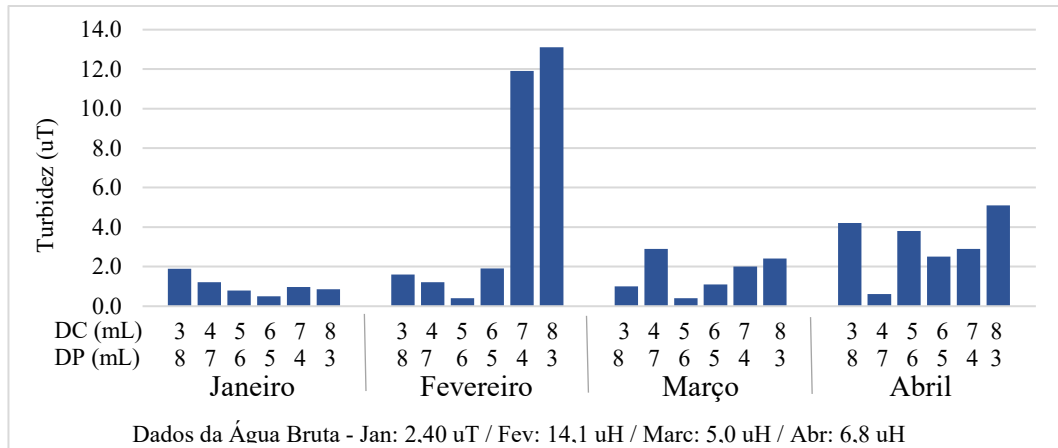


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez dos ensaios de 10%, expressos na Figura 45, esteve entre 0,40 uT a 0,60 uT, respectivamente, dentro das dosagens consideradas ótimas. É importante destacar que esta condição foi a mais favorável para obtenção dos melhores resultados para o parâmetro. Nos estudos realizados por Freitas (2010), mesmo utilizando o polímero catiônico para clarificar ALF, os resultados não foram satisfatórios ainda na decantação, registrando 7,4 uT.

Figura 45 – Valores de turbidez em função da dose do polímero catiônico (mL) e dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



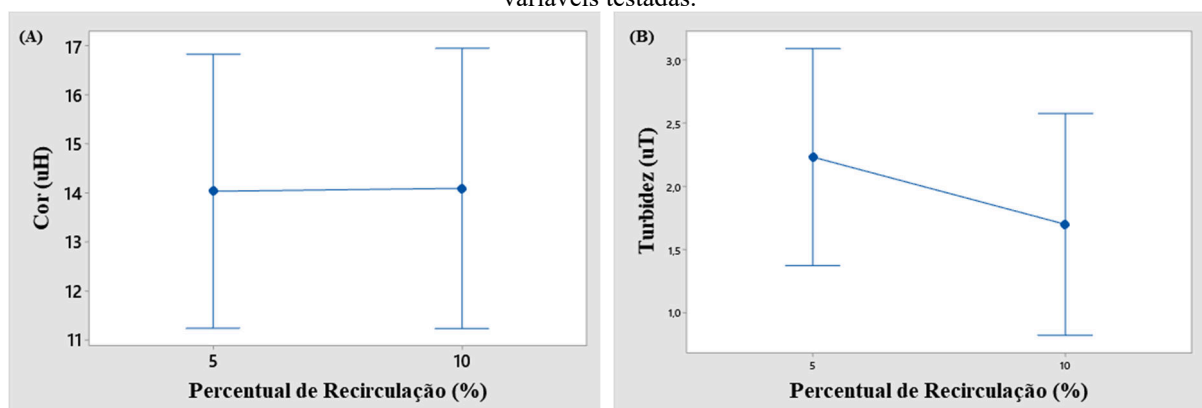
LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

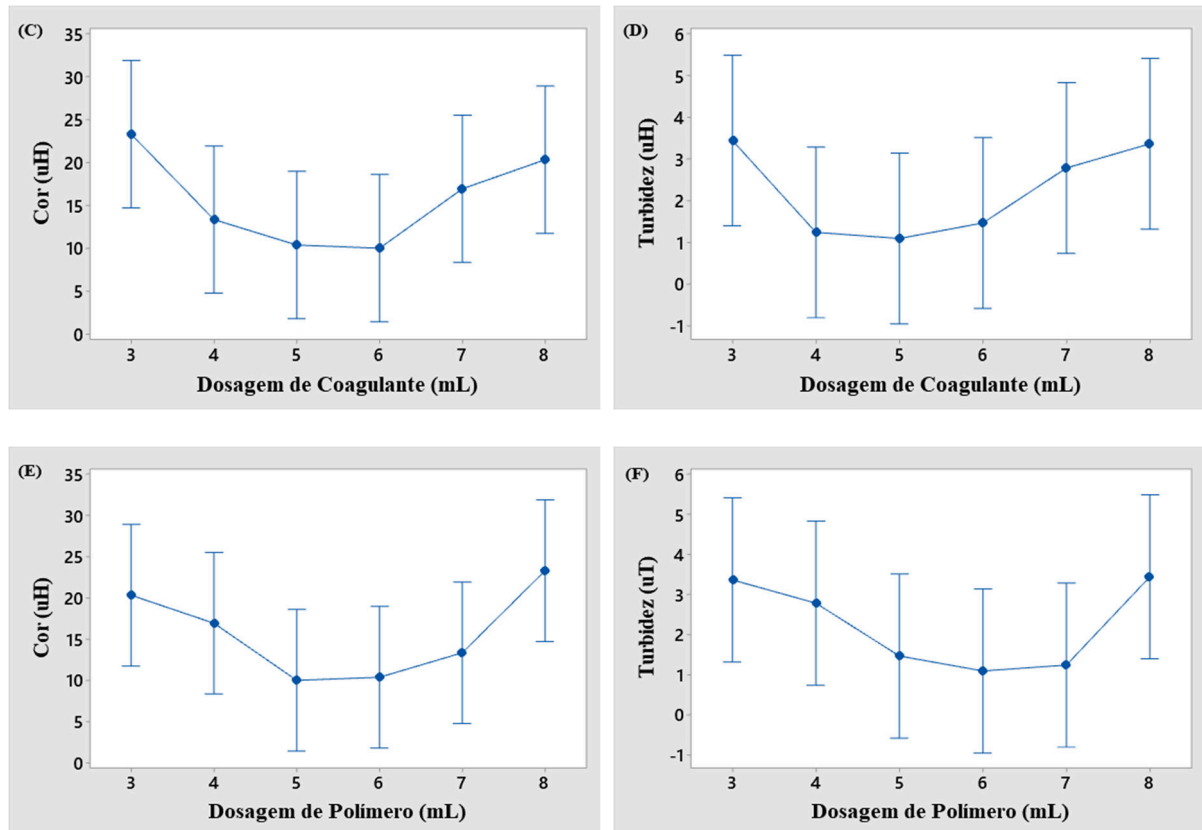
Fonte: Própria Autora, 2020.

Salienta-se a importância da remoção máxima dos parâmetros cor e turbidez ainda na decantação, uma vez que altos valores podem comprometer o funcionamento dos filtros, diminuindo a carreira de filtração e impactando na qualidade da ALF.

A Figura 46 apresenta os gráficos da análise ANOVA onde é possível perceber que no que se refere a cor não houve diferença significativa entre recircular 5% ou 10% da ALF. No entanto, a turbidez apresentou uma redução considerável entre as vazões incrementadas, tornando 10% a melhor taxa de recirculação. As dosagens que atingiram maior potencial de remoção de cor e turbidez foram, respectivamente, 5mL para o coagulante e 6mL para o polímero, mesmos resultados encontrados para o cenário 1 e 3.

Figura 46 – (A, B, C, D, E, F) – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.





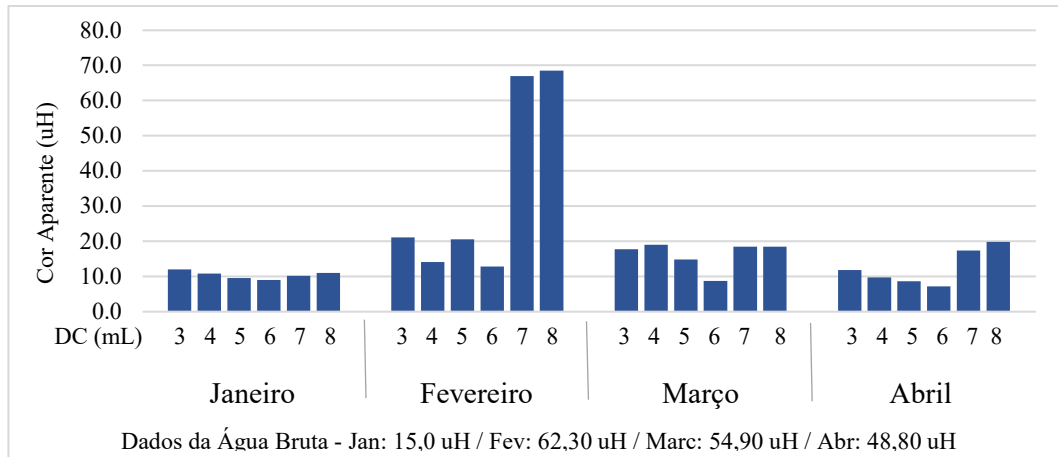
Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.6 Cenário 6: ALF Clarificada Sem Uso De Polímero

Empregando apenas o sulfato de alumínio como coagulante na ALFc, a cor e turbidez expressaram uma média percentual de remoção de 71,17% e 77,38%. Esta condição para recirculação não obteve os melhores resultados na redução dos parâmetros se comparado com os ensaios com a ALFc (cenário 3).

Adotando 5% de vazão da ALFc, a cor variou de 9,0 uH a 12,80 uH nas melhores dosagens para tratamento. Freitas (2017) encontrou variações similares ao recircular o mesmo percentual adotando a pré-oxidação em filtração direta nos ensaios de bancada, cerca de 7,0 uH a 15uH na ETA- Extremoz. A Figura 47 expressa os resultados obtidos durante o presente estudo.

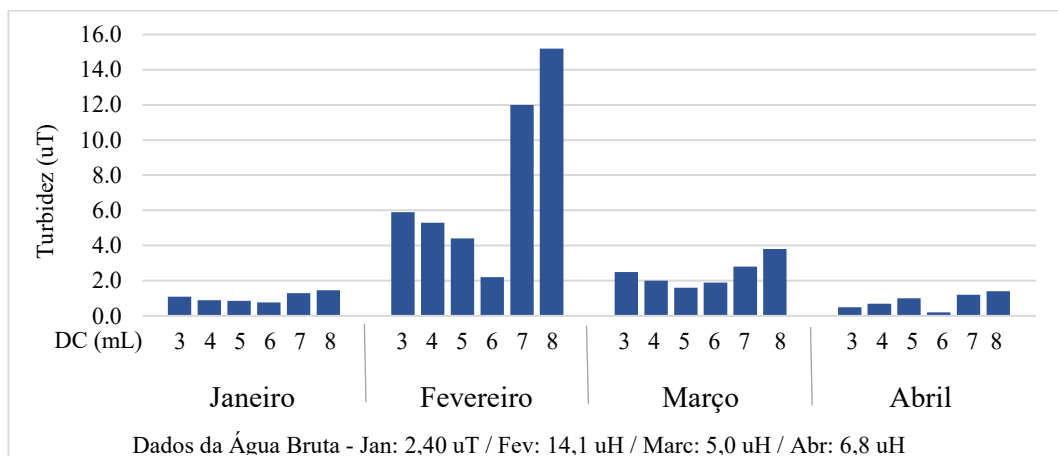
Figura 47 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.



LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez atingiu faixas de 0,20 uT a 1,60 uT recirculando 5% da ALFc em dosagens ótimas do produto. Neste experimento, apresentado na Figura 48, as variações de turbidez foram menores em relação a recirculação de ALFb a sob as mesmas condições. Tal fato pode ser explicado por Di Bernardo (2008) em seus estudos, onde a água com alta turbidez gera flocos pesados e, por consequência, sedimentam mais rapidamente se comparado a águas com turbidez mais baixas.

Figura 48 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 5% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

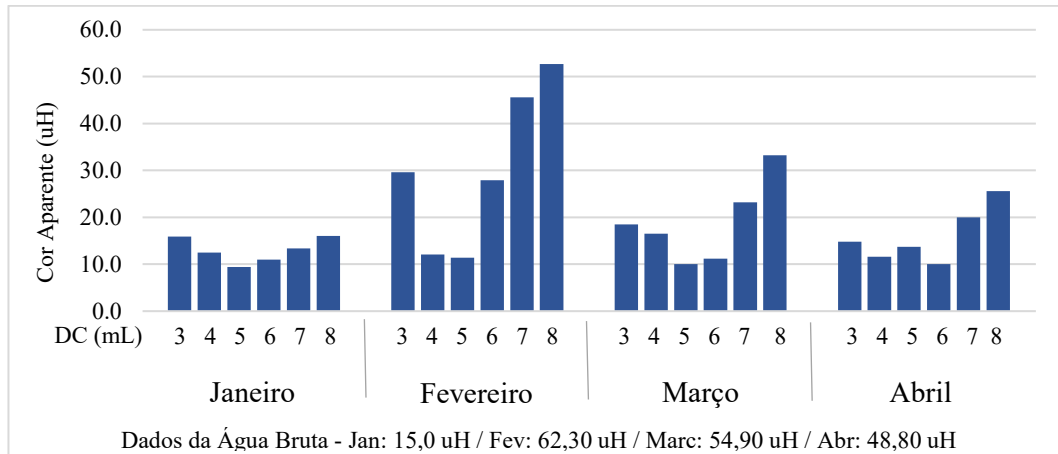


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.
Fonte: Própria Autora, 2020.

Os resultados obtidos na recirculação de 10% da vazão atingiram maior eficiência na remoção dos parâmetros se comparado ao percentual de 5%. A cor alcançou uma faixa de 9,40 uH a 11,40 uH, apresentando as maiores variações entre os cenários estudados utilizando a

mesma taxa de recirculação, ainda que os resultados estivessem dentro dos padrões de potabilidade requeridos pelo Ministério da Saúde. A Figura 49 exibe os resultados dos experimentos durante os meses analisados.

Figura 49 – Valores de cor em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

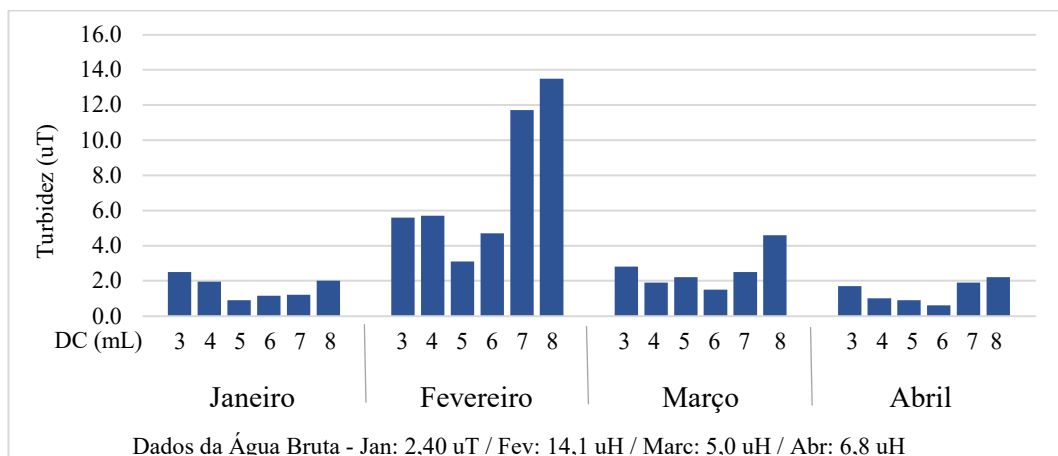


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

A turbidez atingiu, de acordo com a Figura 50, intervalos de 0,60 uT a 3,10 uT em dosagens ótimas. É possível constatar que no mês de Fevereiro, registrou-se o maior valor para turbidez, estando em desacordo com os critérios estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Embora o enquadramento do parâmetro seja pós filtração, a introdução da ALFc sob essas condições pode causar alguns inconvenientes operacionais no período de chuvas intensas na região e comprometer a qualidade da água tratada.

Figura 50 – Valores de turbidez em função da dosagem de coagulante (mL) em 10% de ALF Clarificada recirculada nos meses de Janeiro a Abril de 2020.

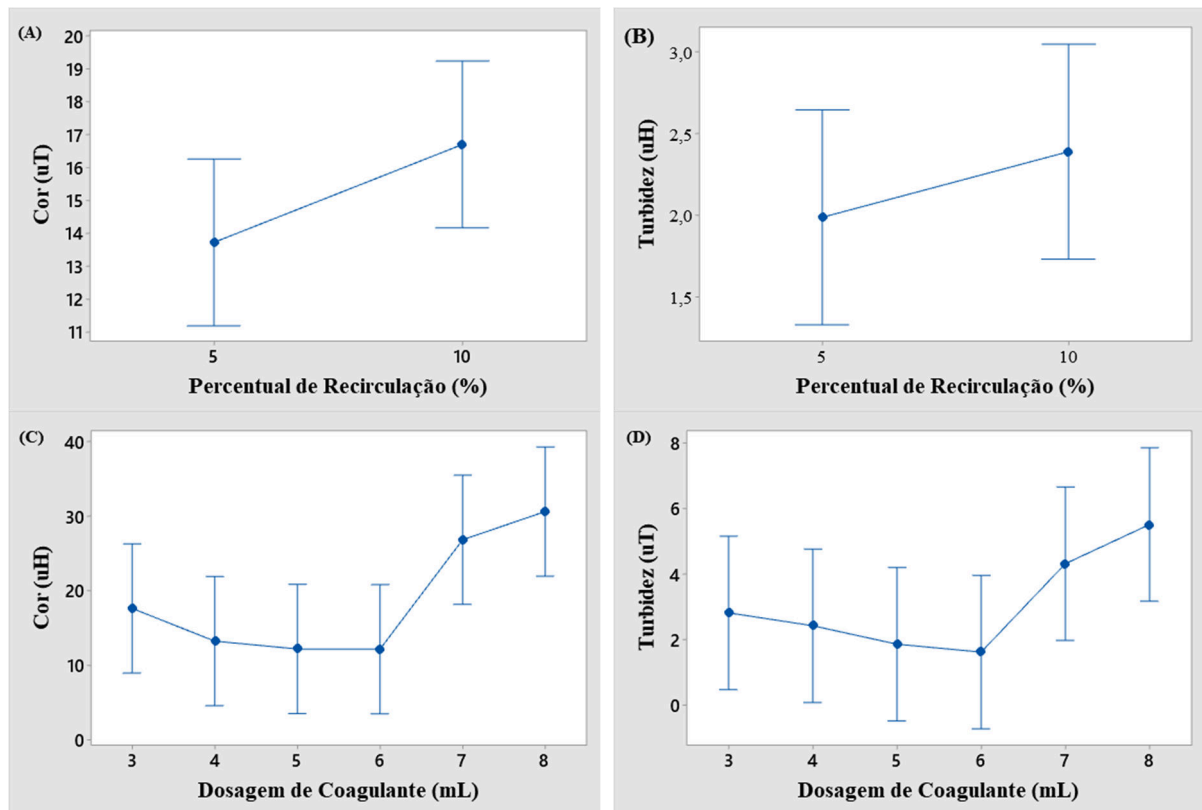


LEGENDA: DC = Dosagem de Coagulante. DC = Dosagem de Polímero.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Analisando as médias de cor e turbidez remanescentes a partir da variância ANOVA (Figura 51) para esse cenário, recircular apenas 5% da vazão de ALFc foi mais satisfatório remoção da cor e turbidez, ao contrário do cenário 3 que adotou ALFb nos experimentos e registrou valores mais satisfatório em 10%. Essa circunstância indica que o incremento de cor e turbidez na água bruta proporcionada pela ALFb pode auxiliar no processo de tratamento. A melhor dosagem de coagulante foi de 6 mL, mesma concentração encontrada nos ensaios do cenário 3.

Figura 51 – Comparação entre as médias de cor e turbidez remanescentes em funções das variáveis testadas.



Fonte: Própria Autora, 2020.

4.2.7 Análise dos Desempenho dos Cenários

Os resultados descritos no Quadro 6 mostram que os maiores percentuais de recirculação foram encontrados nos cenários 4 e 5 para cor e turbidez, respectivamente, e o menor percentual foi encontrado no cenário 6 para o parâmetro de cor, e 3 para o parâmetro de turbidez. Ambos cenários insatisfatórios não adotaram o uso do polímero, evidenciando a necessidade do uso de auxiliares de coagulação para obtenção de melhores resultados, principalmente nos meses de maiores índices pluviométricos, conforme a seguir.

Quadro 6 - Resultados Gerais das Condições de Recirculação de ALF.

| Cenários | PR* | | Dosagens Ideais (mL/2L) | | | | Considerações |
|----------|--------|----------|-------------------------|----------|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | Cor | Turbidez | Coagulante | | Polímero | | |
| | | | Cor | Turbidez | Cor | Turbidez | |
| 1 | 77,37% | 87,70% | 5 mL | 5 mL | 6 mL | 6 mL | A condição que obteve resultados mais satisfatórios foi 5% de vazão de recirculação. |
| 2 | 72,25% | 88,68% | 6 mL | 6 mL | 5 mL | 5 mL | A condição que obteve resultados mais satisfatórios foi 10% de vazão de recirculação. |
| 3 | 72,27% | 71,53% | 5 mL | 6 mL | - | | |
| 4 | 77,97% | 85,92% | 5 mL | 6 mL | 6 mL | 5 mL | |
| 5 | 74,49% | 90,75% | 5 mL | 6 mL | 5 mL | 6 mL | |
| 6 | 71,17% | 77,38% | 6 mL | 6 mL | - | | A condição que obteve resultados mais satisfatórios foi 5% de vazão de recirculação. |

LEGENDA: PR* - Percentual de remoção.

Fonte: Própria Autora, 2020.

Com relação a reintrodução de ALF, o parâmetro de turbidez foi o mais afetado em relação ao tipo de resíduo (bruto ou clarificado). Alguns cenários, mesmo apresentando um elevado percentual de remoção, não atingiram valores mínimos dentro do preconizado pelo Ministério da Saúde, isso pode estar relacionado aos outros fatores que devem ser levados em consideração, como a variação das características da água bruta nos meses analisados. A cor esteve dentro das faixas exigidas em todos os cenários.

O resultado mais satisfatório para cor e turbidez foi registrado nos cenários 1 e 4, respectivamente. As únicas condições em que ALF foi recirculada e que não seriam indicados para a ETA-Vila, são os cenários 3 e 6, devido a constatação de muitos parâmetros elevados mesmo após o tratamento (unidade de decantação). Os demais cenários, em alguns meses também apontaram desvios nos resultados acima do valor exigido na portaria de consolidação nº 05 do MS, no entanto, por serem pequenos desvios, podem ser corrigidos na filtração sem sobrecarregar a unidade.

As dosagens apresentaram variações de acordo com os meses estudados em virtude do período de chuvas na região, no entanto, as médias encontradas para todos os cenários aplicados de Janeiro a Abril de 2021 registraram as dosagens ideais entre 5 mL e 6 mL para coagulante e para o polímero nos parâmetros analisados. Contudo, é importante destacar a necessidade da constância dos ensaios de tratabilidade devido as variações da qualidade da água a ser tratada diante de eventos hidrológicos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Todas as condições nas quais ALF Clarificada e Bruta foram submetidas apresentaram potencial de recirculação, todavia algumas ressalvas devem ser consideradas para a escolha da condição a ser aplicada na ETA- Vila considerando suas especificidades. Acerca das interferências a respeito do percentual de vazão recirculada, seja de ALF bruta ou clarificada, a turbidez foi o parâmetro mais afetado por esse fator devido a turbidez adicional que contribuiu na formação da quantidade de flocos mais densos na etapa de floculação, o que conseqüentemente auxiliou o processo de decantação.

Com relação à recirculação da ALF sem o uso dos polímeros, os resultados evidenciam que nos meses com chuvas intensas na região, houve aumento dos parâmetros que poderia comprometer o tratamento da água. Para essa condição, a ETA-Vila poderia realizar testes com outros tipos de coagulantes que viessem a apresentar maior eficiência principalmente na remoção da turbidez para evitar complicações e prejuízos na qualidade do tratamento.

A clarificação da ALF não influenciou consideravelmente nos resultados, uma vez que os melhores resultados encontrados foram, em sua maioria, a partir da utilização da ALF Bruta devido a turbidez adicional na água bruta que auxilia no processo de tratamento. Nesse caso, a adoção de uma unidade de tratamento para ALF pode ser reconsiderada uma vez que a recirculação *in plant* sem qualquer tipo de tratamento já é satisfatória e, sob algumas circunstâncias, registra melhores resultados. No entanto, a realização de análises para verificar a presença de protozoários, parasitas e estruturas infectantes como cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp na ALF bruta se torna imprescindível antes de adotar o uso do resíduo bruto na ETA.

No que se refere ao uso dos polímeros aniônico e catiônico foi possível identificar a eficiência distinta dos auxiliares de coagulação em relação ao tratamento da água e remoção dos parâmetros analisados. O polímero aniônico alcançou melhores resultados para a cor, em contrapartida, o polímero catiônico foi mais eficiente na remoção da turbidez. Todavia, é importante ressaltar que todos os resultados de cor estiveram dentro do preconizado pelo MS, porém o mesmo não ocorreu com a turbidez e esse fator deve ser considerado no momento da escolha do produto que poderá ser adotado na ETA.

O comportamento mais satisfatório do polímero catiônico pode estar atrelado a necessidade de correção de pH e proporciona a possibilidade operacional de ajustar para pH ideal do coagulante também e, assim, obter melhores desempenhos na remoção dos parâmetros. Contudo, a utilização desse tipo de polímero implica num controle maior nas questões

operacionais da ETA, uma vez que se o pH estiver fora da sua faixa de trabalho o produto acaba por reproduzir o efeito reverso aumentando assim a cor e a turbidez, comprometendo o tratamento da água.

Apesar de apresentar maior eficiência na remoção da cor, o polímero aniônico também contribuiu para a redução da turbidez, registrando apenas alguns valores acima dos critérios estabelecidos pelo Ministério da Saúde. No entanto, por não se tratar de resultados muito excessivos, o enquadramento poderia ser realizado na unidade filtração. O uso desse tipo de polímero também oferece vantagens por possuir uma faixa de trabalho ampla em relação ao pH, sendo capaz de se adaptar as especificidades do coagulante aplicado, economia do uso de alcalinizantes para correção do pH, entre outros.

O uso de polímero pode implicar no aumento da carga de sólidos no decantador e, por esse motivo, recomenda-se a estimativa da quantidade de lodo gerada na ETA em estudos futuros. É importante ressaltar que o lodo proveniente das unidades de decantação é considerado um resíduo sólido e assim como ALF necessita de destinação adequada para não comprometer os corpos d'água da região.

O estudo comprova que a recirculação *in plant* de ALF não acarretou prejuízos para o tratamento da água, podendo ser uma alternativa viável para a ETA-Vila. Constitui, portanto, uma alternativa para reduzir o uso dos recursos hídricos, evitar o lançamento do resíduo nos corpos d'água e economizar no consumo de energia elétrica demandada tanto no processo de captação quanto no tratamento de água, promovendo dessa forma o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 122116**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ACHON C.L.; BARROSO M.M.; CORDEIRO J.S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18, n.2, Rio de Janeiro, Abril/Junho de 2013, p. 115-112.

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, 2001.

BRAGA, M. D.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; FREITAS, A. G. de; FERREIRA, G. M. **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, México, v. 1, n. 3, 2007.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. **Pedologia, mapa esquemático de solos**. Acessado em 31 de agosto de 2019.

BRASIL, Lei nº 12305 - **Política Nacional dos Resíduos Sólidos de 02 de agosto de 2010**.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357, De 17 De Março De 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CAMPOS, M. C. D. **Influência da Recirculação da Água de lavagem dos filtros na qualidade da água tratada para consumo humano**. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014. Acessado em 16 de setembro de 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A. **Relatório De Informação Ambiental Anual – Riaa, Estação De Tratamento De Água Da Vila Residencial Da UHE Tucuruí**. Eletronorte, 2018.

CHAVES, K. O. **Desenvolvimento e aplicação de sistema de floco-flotação por ar dissolvido para tratamento da água de lavagem do filtro da ETA Gavião**. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CIDRACK, D. S. OLIVEIRA, A. C. M.; MOREIRA, A. M. R.; LIMA, J. A. P. **Recirculação Das Águas De Lavagens Dos Filtros Da Estação De Tratamento De Água – Eta Gavião, Que Abastece Fortaleza – Ce E Região Metropolitana**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Congresso FENASAM, São Paulo, 2017. Acessado em 24 de janeiro de 2020.

CANALE, I. **Caracterização Microbiológica, Parasitológica e Físico-química da Água de Lavagem dos Filtros Recirculada em ETA de ciclo completo.** Dissertação. Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014. Acessado em: 7 de novembro de 2019.

CLIMATE-DATE.org. **Dados climatológicos de Tucuruí.** Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/tucuruui-880055/>. Acessado em 31 de agosto de 2019.

CORNWELL, D.; R. LEE. **Recycle stream effects on water treatment.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation. 153 p.,1994.

CORNWELL, D. A.; MACPHEE, M. J. **Effects Of Spent Filter Backwash Recycle On Cryptosporidium Removal.** Jornal AWWA – American Water Works Association, 2001.

DI BERNARDO, L. & SCALIZE, H. C. **Noções Gerais De Tratamento De Disposição Final De Lodos De Estações De Tratamento De Água.** Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, RJ:ABES (1999).

DI BERNARDO, Luiz; BOTARI, Alexandre; NICIURA, Cristiano Luchesi; et al. **Parâmetros de projeto de unidades de floculação de estações de tratamento de água a partir de ensaios em equipamentos de jarreste.** Anais. Joinville: ABES, 2003.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A.B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água – Volume 1.** 2ª Ed., São Carlos, RiMa Editora, 792 p., 2005.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** São Carlos, LDiBe 2012.

DI BERNARDO, L. DANTAS, A. B. VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** São Carlos, LDiBe 2012.

DI BERNARDO, L., & PAZ, L. S. (2008). **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água** (Vol. 1). São Carlos: LDiBe.

DI BERNARDO, L., & PAZ, L. S. (2008). **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água** (Vol. 2). São Carlos: LDiBe.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento – 1ª edição.** Rio de Janeiro, Elsevier 2017.

FREITAS, A. G.; BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; PÁDUA, V. L.; PIMENTA, J. F. P.; ANDRADE, R. C. de. **Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2010.

FREITAS, A. G. **Recirculação de Água de Lavagem de Filtros em Escala Piloto: Uma contribuição para avaliação dos perigos associados à presença de protozoários.** Universidade Federal de Viçosa, MG, 2007. Tese de Dissertação. Disponível em <http://locus.ufv.br/handle/123456789/3701>. Acessado em 24 de janeiro de 2020.

FREITAS, D. G. **Efeitos De Recirculação De Água De Lavagem De Filtros Em Um Sistema De Filtração Direta Em Escala De Bancada**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRN) – Biblioteca Central Zila Mamede, 2017. Acessado em 25 de dez de 2019.

HUERTAS, E. et al.. **Key objectives for water reuses concepts**. Desalination, n. 218, p. 120-131, 2008.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities – 2ª edition**. New York: John & Sons, 691 p. 2000.

LUSTOSA, J. B.; BRACARENSE, D. C.; CASTRO, F. B. S.; QUEIROZ, S. C. B.; SILVA, G. G. **Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água**. Revista DAE, 2017.

SRI LANKA. **Sludge Management Policy for Water Treatment Plants. Democratic socialist republic of Sri Lanka - Ministry of water supply & drainage**, 2012. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.

MENEZES, A. C. L. S. M.; GADELHA, C. L. M.; SILVA JUNIOR, W. R.; MACHADO, T. T. V.; ALMEIDA, T. M. V. **Caracterização de água de lavagem de uma estação de tratamento de água, com vistas ao reuso**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 191-196, 2005.

MOLINA, T. **Caracterização e Tratamento de Água de Lavagem de Filtros de ETA, com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata**. Revista de Engenharia e Tecnologia, vol. 2, n. 3, 2010.

OLIVEIRA, C. A. BARCELO, W. F. **Estudo Das Características Físico-Químicas Da Água De Lavagem De Filtro Em Uma Estação De Tratamento De Água Para Fins De Reaproveitamento**. Periódico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, 2013.

ONU-ÁGUA. **O Direito Humano à Água e Saneamento: Comunicado aos média**, 2011a. Disponível em: https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf. Acessado em 20 de abril de 2020.

PEREIRA, I. L. S. **Caracterização Do Efluente De Lavagem Dos Filtros Da Estação De Tratamento De Água Da Lagoa Do Jiqui/RN**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2014

SARTORI, M. P. L.; SILVA, M. F. **Jar Test E Tempo Ótimo De Lavagem De Filtros Como Subsídios Para Economia De Recursos Em Estação De Tratamento De Água**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Congresso FENASAM, São Paulo, 2017. Acessado em 27 de janeiro de 2020.

SAMAE, Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. **Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Blumenau (SC). Volume 02/07 – Abastecimento de Água Potável - Versão Preliminar**. Setembro, 2016. Acesso em: 15 de dezembro de 2019.

SILVA JUNIOR, I. C. S.; HARAGUCHI, M. T.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F.; KEMERICH, P. D. C. **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. 5, p. 3713-3717, 2014.

SOUZA, W. A. **Tratamento de água.** Natal: CEFET/RN, 2007. 152 p. Acessado em 28 de dezembro de 2019.

SOBRINHO, M. A. M. TAVARES, R. G. ARRUDA, V. C. M. CORREA, M. M. PEREIRA, L. J. R. **Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.24 n.4, p. 761-771. Jul/ago 2019.

SUMAN, S., SINGH, N. P., & SULEKH, C. (2012). **Effect of Filter Backwash Water when lends with Raw Water on Total Organic Carbon and Dissolve Organic Carbon Removal.** Research Journal of Chemical Sciences.

LECHEVALLIER, M. W. NORTON, W.D. **Giardia and Cryptosporidium in raw and finished water.** Journal American Water Works Association, v. 87, n. 9, p. 54-68, 1995.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009. 340p.

SCALIZE, P.S. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 265 p., 1997.

SILVA. R. L. C. **Caracterização Dos Lodos De Decantador E Água De Lavagem De Filtros Gerados Na Estação De Tratamento De Água Presidente Castello Branco.** Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal De Ciência E Tecnologia De Pernambuco, 2019. Acessado em 12 de maio de 2020.

SILVA JUNIOR, I. C. S.; HARAGUCHI, M. T.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F.; KEMERICH, P. D. C. **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. 5, p. 3713-3717, 2014.

TERTO, R. S. ARAUJO, A. L. C. DUARTE, M. A. C. **Caracterização dos resíduos da água de lavagem de filtros em ETA de filtração direta.** Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2018. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/1652>. Acessado em 25 de abril de 2020.

TOBIASON, J.E. et al. **oli.** Journal AWWA, v. 95, n. 7, p. 80-93, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Filter backwashrecycling rule. Technical guidance manual.** Washington, DC: USEPA, Office of Ground Waterand Drinking Water, (EPA 816-R-02-014), 178 p., December, 2002. Acesso em 03 de janeiro de 2020.

UNICEF; OMS. Progress on sanitation and drinking water. Update and MDG assessment. 2015.