



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

ISADORA ALVES LOVO ISMAIL

PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO

RIBEIRÃO PRETO – SP
2020

ISADORA ALVES LOVO ISMAIL

**PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires

**RIBEIRÃO PRETO – SP
2020**

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico da
Biblioteca Central da UNAERP
- Universidade de Ribeirão Preto -

Ismail, Isadora Alves Lovo 1991-
I83p Plano de segurança da água de lavagem de filtros de estações de
tratamento de água de ciclo completo / Isadora Alves Lovo Ismail.
- - Ribeirão Preto, 2020.
170 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires.

Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP,
Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2020.

1. Água de lavagem de Filtros. 2. Tratamento de resíduos.
3. Estações de tratamento de água. 4. Microrganismos. I. Título.

CDD 628

ISADORA ALVES LOVO ISMAIL

**“PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO”**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 14 de agosto de 2020

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA



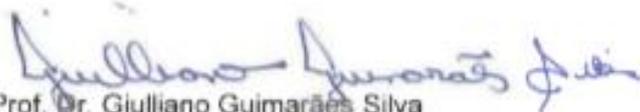
Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires
Presidente/UNAERP



Dr. Paulo Eduardo Nogueira Voltan
PROJETAE Ltda.



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de
Oliveira
UNAERP



Prof. Dr. Giuliano Guimarães Silva
IFTO



Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes
UNAERP

**RIBEIRÃO PRETO
2020**

DEDICATÓRIA

Ao amor da minha vida, Rodrigo, aos meus pais, Izidoro e Sarita, e a minha irmã Sabrina, por todo apoio nos momentos de dificuldade e pela motivação ao longo dessa trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por guiar e iluminar meus passos.

Ao amor da minha vida, meu marido Rodrigo Gutierrez Lovo Ismail, por estar sempre ao meu lado, me ajudar em todos os momentos, sempre me incentivar e torcer por mim. Aos meus pais Izidoro Lovo e Sarita Aparecida Alves Lovo, e à minha irmã Sabrina Alves Lovo, por me apoiarem e me incentivarem ao longo do caminho. Às pessoas especiais que já partiram e me deixaram um exemplo a ser seguido.

Aos Professores Dr. Eduardo Cleto Pires e Dr^a. Angela Di Bernardo Dantas por todo aprendizado, orientação, paciência e confiança depositada em mim. À Prof^a. Dr^a. Luciana Rezende Alves de Oliveira por todo apoio e amizade.

À minha grande amiga Marília Vasconcellos Agnesini por estar sempre ao meu lado e torcer sempre por mim e pelo meu melhor. Ao amigo Fernando Afonso Marrengula por sempre ajudar nos experimentos realizados durante todo o projeto.

À Prof^a. Dr^a. Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato pelos ensinamentos e experimentos realizados. Aos amigos e colaboradores do Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, que tanto auxiliaram na execução desse projeto: Fábio Ricciardi Avelino Santos, Junia Babone Saraiva, Letícia Rosseto de Paula, Mateus Ancheschi Roveda Guimarães e Thais Prado.

Aos membros da banca examinadora, pelas orientações e sugestões realizadas: Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires, Prof. Dr. Giulliano Guimarães Silva, Prof^a. Dr^a. Luciana Rezende Alves de Oliveira, Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes, Prof^a. Dr^a. Maristela Silva Martinez, Dr. Paulo Eduardo Nogueira Voltan.

À todos os amigos e colegas que estiveram junto a mim nessa caminhada e torceram pela minha conquista.

À UNAERP pela disponibilização do laboratório e recursos utilizados para realização da pesquisa. Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP) pelo auxílio durante todo esse trajeto, uma vez que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O tratamento de água para abastecimento público ocasiona a geração de resíduos, destacando-se o proveniente da lavagem de filtros (Água de Lavagem de Filtros – ALF). Por compreenderem um grande volume, muitas Estações de Tratamento de Água (ETAs) lançam esses resíduos em corpos d'água próximos, encaminham para Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) ou recirculam para o início do processo, sem tratamento adequado, podendo comprometer o bom funcionamento da estação. Por outro lado, é crescente o interesse e implantação dessa prática, uma vez que proporciona economia de energia elétrica e de água. Para que isso seja possível, é necessário tratamentos adequados para a ALF, bem como a regulamentação para sua recirculação. O presente trabalho estudou duas ETAs convencionais (ciclo completo) com ênfase na ALF e seu tratamento por meio da clarificação com a adição de polímeros catiônicos, em diferentes dosagens e velocidades de sedimentação distintas, tendo como objetivo a elaboração de um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros para cada ETA, baseado em todo sistema de abastecimento. Foram coletadas amostras de água bruta, coagulada, decantada, tratada e de lavagem de filtros, em duas épocas do ano (período chuvoso e de estiagem) em cada ETA. O tratamento da ALF com adição de polímero catiônico foi satisfatório em ambas as ETAs, tanto para o período chuvoso como para o período de estiagem, com remoção entre 97,5 a 99,8% da turbidez, atingindo valores abaixo do valor da água bruta, assim como remoção de até 100% de *Escherichia coli* e metais (ferro e manganês). Em contrapartida, o uso de polímeros ocasionou um aumento do carbono orgânico total (COT) na água clarificada. Com os resultados obtidos, fica evidente a necessidade de implantação e implementação de um Plano de Segurança da Água (PSA) do sistema de abastecimento como um todo, englobando os resíduos das ETAs, como a água de lavagem de filtros, abrangendo sua caracterização, tratamento adequado e destino final. Ressalta-se que a prática da recirculação da ALF, mesmo após tratamento adequado, reinsere no sistema determinados microrganismos, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, sólidos, metais, dentre outros parâmetros, ocasionando efeito cumulativo no processo. Sendo assim, os resultados obtidos na caracterização físico-química e microbiológica, bem como nos ensaios de clarificação com a ALF, evidenciaram a necessidade de tratamento adequado e implantação de regulamentação específica, devendo ser contemplada nos Planos de Segurança da Água das Estações de Tratamento de Água. Após análises dos dados das duas ETAs, concluiu-se que, independente da qualidade da água bruta, a recirculação não pode ser realizada sem o tratamento adequado devido ao elevado grau de patogenicidade e presença de sólidos e metais e a elaboração e implementação de um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros é fundamental.

Palavras-chave: Água de lavagem de filtros. Recirculação da água de lavagem de filtros. Tratamento de resíduos. Clarificação da água de lavagem de filtros. Polímeros. Microrganismos. Estações de tratamento de água. Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros.

ABSTRACT

The treatment of water for public supply causes the generation of waste, with emphasis on filter washing (Filter Wash Water - ALF). Because they comprise a large volume, many Water Treatment Stations (ETAs) throw this waste into nearby water bodies, forward to Effluent Treatment Stations (ETEs) or recirculate to the beginning of the process, without proper treatment, which may compromise the smooth running of the station. On the other hand, there is growing interest and implementation of this practice, since it saves electricity and water. For this to be possible, appropriate treatments for ALF are required, as well as regulations for their recirculation. The present study studied two conventional WTPs (full cycle) with an emphasis on ALF and its treatment through clarification with the addition of cationic polymers, in different dosages and different sedimentation speeds, aiming at the elaboration of a Water Safety Plan Filters for each ETA, based on the entire supply system. Samples of raw, coagulated, decanted, treated and filter-washed water were collected at two times of the year (rainy and dry season) at each ETA. The treatment of ALF with the addition of cationic polymer was satisfactory in both ETAs, both for the rainy season and for the dry season, with removal between 97.5 to 99.8% of the turbidity, reaching values below the value of raw water, as well as removal of up to 100% of *Escherichia coli* and metals (iron and manganese). In contrast, the use of polymers caused an increase in total organic carbon (TOC) in clarified water. With the results obtained, it is evident the need to implement and implement a Water Safety Plan (PSA) for the supply system as a whole, encompassing the waste from ETAs, such as filter washing water, covering its characterization, treatment appropriate and final destination. It is noteworthy that the practice of recirculating ALF, even after adequate treatment, reinserts certain microorganisms, such as *Giardia* and *Cryptosporidium*, solids, metals, among other parameters, into the system, causing a cumulative effect in the process. Thus, the results obtained in the physical-chemical and microbiological characterization, as well as in the clarification tests with the ALF, showed the need for adequate treatment and implementation of specific regulations, which must be included in the Water Safety Plans of the Treatment Plants of Water. After analyzing the data from the two ETAs, it was concluded that, regardless of the quality of raw water, recirculation cannot be performed without adequate treatment due to the high degree of pathogenicity and the presence of solids and metals and the elaboration and implementation of a Plan Safety of Filter Washing Water is critical.

Keywords: Filter wash water. Filter wash water recirculation. Waste treatment. Clarification of filter washing water. Polymers. Microorganisms. Water treatment plants. Filter Wash Water Safety Plan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de uma ETA de ciclo completo com decantação / sedimentação.....	4
Figura 2: Água de lavagem dos filtros	7
Figura 3: Esquema de decantador, filtro e reservatórios de água filtrada e ALF	10
Figura 4: Recirculação da água de lavagem dos filtros	10
Figura 5: Protozoários <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>	12
Figura 6: Etapas de desenvolvimento do Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros	32
Figura 7: Coleta da água de lavagem de filtros na ETA 1.....	35
Figura 8: Coleta de água coagulada na ETA 2	36
Figura 9: Coleta de água decantada na ETA 2	37
Figura 10: Coleta de água decantada na ETA 2	37
Figura 11: Coleta da água de lavagem de filtros na ETA 2.....	39
Figura 12: Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	44
Figura 13: Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (22 unidades)	46
Figura 14: Municípios da bacia hidrográfica Tietê-Jacaré	46
Figura 15: Divisões das principais sub-bacias da bacia do Tietê-Jacaré.....	47
Figura 16: Uso e ocupação do solo da Bacia Tietê-Jacaré	48
Figura 17: Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento (ETA 1) ..	50
Figura 18: Ribeirão do Feijão	51
Figura 19: Ribeirão do Feijão com mata ripária.....	51
Figura 20: Mapa de uso e cobertura do solo da BHRF	53
Figura 21: Mapa pedológico da BHRF	54
Figura 22: Mapa de uso e ocupação do solo da BHRF	55
Figura 23: Ribeirão Monjolinho	56
Figura 24: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolinho	57
Figura 25: Caracterização do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Monjolinho à montante da estação de captação do Espraiado	58
Figura 26: Vista aérea da Estação de Tratamento de Água 1 - ETA 1	59
Figura 27: Entrada de água bruta na ETA 1	60
Figura 28: Adição de coagulante sulfato de alumínio e cal na ETA 1	61
Figura 29: Floculadores mecanizados da ETA 1	62

Figura 30: Decantadores convencionais da ETA 1	63
Figura 31: Saída de água decantada para os filtros da ETA 1	63
Figura 32: Vista dos filtros da ETA 1	64
Figura 33: Filtro descendente da ETA 1	65
Figura 34: Filtro descendente em reforma da ETA 1	65
Figura 35: Saída subterrânea de água filtrada da ETA 1	66
Figura 36: Gerador de hipoclorito de sódio para desinfecção da ETA 1	67
Figura 37: Filtro descendente em operação da ETA 1	68
Figura 38: Fechamento da entrada de água decantada para iniciar lavagem do filtro da ETA 1	69
Figura 39: Esgotamento de água para iniciar a lavagem do filtro da ETA 1	69
Figura 40: Filtro da ETA 1 parado para iniciar a lavagem	70
Figura 41: Início da lavagem de uma câmara do filtro descendente da ETA 1	70
Figura 42: Amostras coletadas durante uma das lavagens dos filtros para leitura da turbidez da ETA 1	79
Figura 43: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)	80
Figura 44: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 2 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)	81
Figura 45: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem)	81
Figura 46: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 2 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem)	82
Figura 47: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 1 – 1ª coleta (período chuvoso)	87
Figura 48: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 1 – 2ª coleta (período de estiagem)	88
Figura 49: Preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1	89
Figura 50: Início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1	90
Figura 51: Formação de flocos durante os ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1	90
Figura 52: Fim dos ensaios de clarificação da ETA 1 com sedimentação dos flocos	91

Figura 53: Turbidez da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	95
Figura 54: Concentração de <i>Escherichia coli</i> da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	96
Figura 55: Concentração de carbono orgânico total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	98
Figura 56: Concentração de ferro total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	99
Figura 57: Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento (ETA 2)	106
Figura 58: Ribeirão das Cruzes	107
Figura 59: Ribeirão das Cruzes (represado)	108
Figura 60: Nascente do Ribeirão das Cruzes.....	108
Figura 61: Entulho e lixo na margem do Ribeirão das Anhumas.....	109
Figura 62: Vista aérea da Estação de Tratamento de Água 2 - ETA 2.....	110
Figura 63: Entrada de água bruta na ETA 2	111
Figura 64: Adição de coagulante tanino na ETA 2	112
Figura 65: <i>Calha parshall</i> e ponto alternativo de adição de coagulante na ETA 2.....	112
Figura 66: Divisão de vazão dos módulos da ETA 2	113
Figura 67: Floculadores hidráulicos tipo chicana da ETA 2	114
Figura 68: Floculadores mecanizados da ETA 2.....	114
Figura 69: Decantadores de alta taxa da ETA 2 (módulo 1)	115
Figura 70: Decantadores de alta taxa da ETA 2 (módulo 2)	116
Figura 71: Saída de água decantada dos decantadores de alta taxa da ETA 2	116
Figura 72: Representação do meio filtrante: pedregulhos, areia e antracito (ETA 2).....	117
Figura 73: Filtro rápido descendente da ETA 2	118
Figura 74: Filtro rápido descendente da ETA 2 em operação	120
Figura 75: Início da lavagem do filtro da ETA 2 com ar	120
Figura 76: Início da lavagem do filtro da ETA 2 com água.....	121
Figura 77: Água de lavagem do filtro da ETA 2	121

Figura 78: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 2 (1ª coleta – chuvoso).....	129
Figura 79: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 2 (2ª coleta – estiagem).....	130
Figura 80: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 2 – 1ª coleta (período chuvoso).....	134
Figura 81: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 2 – 1ª coleta (período chuvoso).....	135
Figura 82: Preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2	137
Figura 83: Início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2 e formação dos flocos..	137
Figura 84: Fim dos ensaios de clarificação da ETA 2 com sedimentação dos flocos.....	138
Figura 85: Turbidez da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	141
Figura 86: Concentração de <i>Escherichia coli</i> da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	143
Figura 87: Concentração de carbono orgânico total da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	144
Figura 88: Concentração de ferro total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem).....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção.	41
Tabela 2: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1 (1ª e 2ª coletas)	72
Tabela 3: Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 1 comparada com a caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta e tratada da ETA 1 (1ª e 2ª coletas)	84
Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1	92
Tabela 5: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1	93
Tabela 6: Perigos / riscos relacionados à água bruta da ETA 1	102
Tabela 7: Perigos / riscos relacionados à coagulação da ETA 1	102
Tabela 8: Perigos / riscos relacionados à floculação / decantação da ETA 1	103
Tabela 9: Perigos / riscos relacionados à filtração da ETA 1	104
Tabela 10: Perigos / riscos relacionados à desinfecção da ETA 1	105
Tabela 11: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2 (1ª e 2ª coletas)	123
Tabela 12: Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 1 comparada com a caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta e tratada da ETA 2 (1ª e 2ª coletas)	132
Tabela 13: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2	139
Tabela 14: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2	140
Tabela 15: Perigos / riscos relacionados à água bruta da ETA 2	149
Tabela 16: Perigos / riscos relacionados à coagulação da ETA 2	150
Tabela 17: Perigos / riscos relacionados à floculação / decantação da ETA 2	150
Tabela 18: Perigos / riscos relacionados à filtração da ETA 2	151
Tabela 19: Perigos / riscos relacionados à desinfecção da ETA 2	152
Tabela 20: Tabela nº 1 de solução de Sulfato de Alumínio à 5%	163
Tabela 21: Tabela nº 1 de solução de Sulfato de Alumínio à 10%	164
Tabela 22: Tabela nº 2 de dosagem de solução de Sulfato de Alumínio à 10%	165
Tabela 23: Dosagem de tanino (mL x 10 s).	166
Tabela 24: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem dos filtros 1 e 2 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)	168

Tabela 25: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem dos filtros 1 e 2 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem).....	169
Tabela 26: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem do filtro 1 da ETA 2	170
Tabela 27: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem do filtro 1 da ETA 2	170

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais métodos de lavagem dos filtros	8
Quadro 2: Exemplos de informação a compilar para caracterização do sistema de abastecimento de água.....	27
Quadro 3: Esquema adotado para o desenvolvimento do Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros	33
Quadro 4: Produtos químicos utilizados na pesquisa	40
Quadro 5: Equipamentos utilizados na pesquisa	42
Quadro 6: Características Gerais da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AE	Ambiente Externo
ALF	Água de Lavagem dos Filtros
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
APREM	Lei de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município
B	Riscos Biológicos
BHRF	Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBP	Produtos da Desinfecção
DFC	Delineamento de Faces Centradas
DOC	Carbono Orgânico Dissolvido
E. Coli	<i>Escherichia Coli</i>
EE	Estação Ecológica
EP	Estação Piloto
EPA	Agência de Proteção Ambiental
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
F	Riscos Físicos
FBRR	Filter Backwash Recycling Rule
FE	Floresta Estadual
IE	Infraestrutura
IWA	Associação Internacional da Água
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Processos
PROSAB	Programa de Saneamento Básico
PSA	Plano de Segurança da Água
PSALF	Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros
Q	Riscos Químicos
RETAs	Resíduos de Estação de Tratamento de Água

RH	Recursos Humanos
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Nacional
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TOC	Carbono Orgânico Total
UGRHIs	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
UHE	Usinas Hidrelétricas
UKWIR	Instituto de Pesquisa sobre a água no Reino Unido
UNAERP	Universidade de Ribeirão Preto
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UV254	Índice Ultravioleta de Comprimento de Onda de 254 nm
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	Organização Mundial da Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	porcentagem
°C	graus Celsius
$\mu\text{s.cm}^{-1}$	microsiemens por centímetro
cm.min^{-1}	centímetros por minuto
g	grama
g.L^{-1}	gramas por litro
h	hora
km	quilômetros
km^2	quilômetros quadrados
L	litro
$\text{L.min}^{-1}\text{m}^{-2}$	litros por minuto por metro quadrado
L.s^{-1}	litros por segundo
m	metro
m.min^{-1}	metros por minuto
m^2	metros quadrados
m^3	metros cúbicos
mg.L^{-1}	miligramas por litro
min	minutos
mL	mililitro
rpm	rotações por minuto
s	segundo
$\text{ton.hectare}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	toneladas por hectare por ano
UFC/100 mL	unidades formadoras de colônia por cem mililitros
UFC.mL ⁻¹	unidades formadoras de colônia por mililitro
uH	unidade Hazen
uT	unidade de turbidez
Vs	velocidade de sedimentação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO	4
3.2. RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO – RETAs	5
3.3. ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS – ALF	7
3.4. TRATAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS POR SEDIMENTAÇÃO	21
3.5. POLÍMEROS SINTÉTICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA	24
3.5.1. Polímeros Catiônicos	25
3.6. PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA 1 – ETA 1	34
4.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA 2 – ETA 2	35
4.3. ENSAIOS DE CLARIFICAÇÃO – TRATAMENTO E PRODUTOS	39
4.4. MÉTODOS ANALÍTICOS E EQUIPAMENTOS	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	43
5.1.1. Caracterização da Bacia Hidrográfica e Uso e Ocupação do Solo dos Mananciais que abastecem as Estações de Tratamento de Água	44
5.1.2. Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – PSALF ETA 1	50
5.1.2.1. Caracterização das Águas Superficiais – Mananciais de Abastecimento da Estação de Tratamento de Água 1	50
5.1.2.1.1. Ribeirão do Feijão	50
5.1.2.1.2. Ribeirão Monjolinho	56
5.1.2.2. Descrição Geral da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1	59

5.1.2.2.1.	Etapas de Coagulação e Mistura Rápida.....	60
5.1.2.2.2.	Etapa de Floculação	61
5.1.2.2.3.	Etapa de Decantação	62
5.1.2.2.4.	Etapa de Filtração.....	64
5.1.2.2.5.	Etapa de Desinfecção	66
5.1.2.2.6.	Processo de Lavagem dos Filtros	67
5.1.2.3.	Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1.....	71
5.1.2.3.1.	Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1.....	71
5.1.2.3.2.	Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem de filtros da ETA 1	79
5.1.2.3.3.	Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1.....	86
5.1.2.4.	Ensaio de Clarificação com a Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1.....	89
5.1.2.4.1.	Turbidez da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1	94
5.1.2.4.2.	Concentração de <i>Escherichia coli</i> da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1	96
5.1.2.4.3.	Concentração de Carbono Orgânico Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1	97
5.1.2.4.4.	Concentração de Ferro Total e Manganês Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1	99
5.1.2.5.	Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados à Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1.....	100

5.1.2.6.	Medidas de Controle Recomendadas para os Perigos e Riscos Identificados da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1.....	105
5.1.3.	Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – PSALF ETA 2	106
5.1.3.1.	Caracterização das Águas Superficiais – Mananciais de Abastecimento da Estação de Tratamento de Água 2	106
5.1.3.1.1.	Ribeirão das Cruzes.....	107
5.1.3.1.2.	Ribeirão das Anhumas	109
5.1.3.2.	Descrição Geral da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2	110
5.1.3.2.1.	Etapas de Coagulação e Mistura Rápida.....	111
5.1.3.2.2.	Etapa de Floculação	113
5.1.3.2.3.	Etapa de Decantação	115
5.1.3.2.4.	Etapa de Filtração.....	117
5.1.3.2.5.	Etapa de Desinfecção	118
5.1.3.2.6.	Processo de Lavagem dos Filtros	118
5.1.3.3.	Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2.....	122
5.1.3.3.1.	Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2.....	122
5.1.3.3.2.	Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem de filtros da ETA 2	129
5.1.3.3.3.	Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2.....	133
5.1.3.4.	Ensaio de Clarificação com a Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2.....	136
5.1.3.4.1.	Turbidez da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 2.....	141

5.1.3.4.2. Concentração de <i>Escherichia coli</i> da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 2	142
5.1.3.4.3. Concentração de Carbono Orgânico Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 2	144
5.1.3.4.4. Concentração de Ferro Total e Manganês Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 2	145
5.1.3.5. Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados à Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2.....	147
5.1.3.6. Medidas de Controle Recomendadas para os Perigos e Riscos Identificados da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2.....	152
6. CONCLUSÕES	154
7. RECOMENDAÇÕES	155
REFERÊNCIAS	156
APÊNDICES	162

1. INTRODUÇÃO

A água destinada ao consumo humano deve passar por tratamento adequado para se tornar potável. A tecnologia de tratamento utilizada em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) depende de inúmeros fatores, principalmente relacionados à qualidade da água bruta. Para cada tipo de tecnologia utilizada, há a geração de resíduos de ETA, ou lodos de ETA, com características diferentes (LOVO, 2016).

Uma das tecnologias de tratamento mais utilizadas no Brasil é a de ciclo completo, também conhecida como convencional, que contempla as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

Existem muitas fontes de resíduos provenientes das ETAs (Estações de Tratamento de Água) de ciclo completo, destacando-se o proveniente da lavagem de filtros, o qual normalmente é lançado em corpos d'água mais próximos, sem o devido tratamento, representando um dos impactos mais significativos das ETAs. Além do mais, a água utilizada para lavagem dos filtros pode compreender até 10% da vazão da estação, gerando grandes volumes de resíduos em curtos espaços de tempo (FREITAS, 2017).

Devido a isso, para evitar o lançamento inadequado em corpos d'água e, conseqüentemente, provocar alterações prejudiciais ao meio ambiente e tendo em vista a necessidade de redução de perdas no tratamento, muitas ETAs recirculam a água de lavagem dos filtros (ALF) para o início do tratamento, tornando-se uma prática cada vez mais frequente. No entanto, esta prática pode comprometer o funcionamento das estações de tratamento e prejudicar a qualidade da água tratada. Isso porque a recirculação da ALF reinsere no tratamento: sólidos suspensos totais, metais, carbono orgânico total, além de microrganismos patogênicos como cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Em virtude do elevado grau de patogenicidade, os protozoários são de grande relevância. A giardíase é uma doença reconhecidamente associada com águas de abastecimento para consumo humano, bem como a criptosporidiose. A presença de reduzidas densidades desses protozoários em águas tratadas oferece riscos reais de saúde, fazendo com que seja necessário um estudo aprofundado sobre as fontes de contaminação, distribuição desses microrganismos nos mananciais de abastecimento e a eficiência de remoção desses organismos pelos processos de tratamento (HELLER *et al.*, 2004).

Portanto, a prática de recirculação da ALF pode constituir introdução de perigos no processo de tratamento de água e ocasionar riscos à saúde da população consumidora, principalmente se há a presença de protozoários. Isso acontece porque os filtros são a principal barreira para remoção de protozoários, que são resistentes a certos desinfetantes e, devido a isso, muitas vezes a ALF possui concentrações elevadas de cistos e oocistos. Se a última barreira (filtros) não é eficiente, a remoção de protozoários na água filtrada é significativamente prejudicada, sendo agravada quando há a recirculação da ALF para o início da ETA sem o devido tratamento. Além do mais, a maior parte das ETAs no Brasil realiza a desinfecção final com cloro, que possui baixo poder de inativação desses microrganismos, acentuando o risco microbiológico da água produzida na ETA.

No Brasil não existem normas técnicas ou legislação específica para o tratamento e recirculação de ALF, mas, por outro lado, é crescente o interesse e a implantação dessa prática, tornando-se necessário a realização de estudos, incluindo os potenciais riscos à saúde (FREITAS, *et al.*, 2010).

Nos Estados Unidos a prática da recirculação da ALF é objeto de regulamentação específica (USEPA, 2002), recomendando-se, em termos gerais, que a recirculação da ALF seja realizada com os devidos cuidados, dentre os quais se destacam a clarificação e o controle da razão de recirculação, tendo como objetivo o menor impacto possível na água tratada (FREITAS, *et al.*, 2010).

É necessário um conhecimento profundo de todo o tratamento para garantir a segurança para consumo humano, definindo-se padrões de qualidade, que devem ser implementados e fiscalizados (COSTA, 2010; IWA, 2004).

Um dos métodos para adquirir esse conhecimento é através da elaboração e implementação do Plano de Segurança da Água, abrangendo todas as etapas do sistema de abastecimento de água (WHO, 2004).

Sendo assim, tendo em vista todo o risco à saúde humana e a ausência de uma legislação específica a respeito do tratamento e recirculação da água de lavagem de filtros, propôs-se a realização de um estudo que venha acrescentar conhecimento sobre o Plano de Segurança de Estações de Tratamento de Água, com ênfase no resíduo Água de Lavagem de Filtros, utilizando tratamento prévio e avaliando o potencial de introdução de microrganismos patogênicos na ETA.

2. OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa foi elaborar um plano de segurança da água de lavagem de filtros baseado no sistema de abastecimento de duas estações de tratamento de água convencionais (ciclo completo), bem como nas características das estações, nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de lavagem de filtros e nos ensaios de clarificação, identificando os perigos e riscos associados a esses sistemas.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- elaboração de um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros para as Estações de Tratamento de Água estudadas que contemple:
 - caracterização da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo dos mananciais que abastecem as estações de tratamento de água, baseadas na literatura;
 - caracterização dos mananciais que abastecem as estações do tratamento de água, baseada na literatura;
 - descrição geral do tratamento de água realizado em cada estação;
 - caracterização físico-química e microbiológica das amostras de água bruta, água coagulada, água decantada, água de lavagem de filtros e água tratada em duas épocas do ano (estiagem e chuvas) das estações de tratamento de água;
 - caracterização físico-química e microbiológica da água clarificada proveniente dos ensaios de clarificação com água de lavagem de filtros;
 - análise da qualidade da água de lavagem de filtros com e sem clarificação e possibilidade de recirculação ao início da ETA sem a reintrodução de perigos ao sistema;
 - identificação, caracterização e análise dos principais perigos e riscos associados aos sistemas de abastecimento de água;
 - avaliação e proposta de medidas de controle para os perigos e riscos identificados associados aos sistemas de abastecimento de água.

3. REVISÃO DE LITERATURA

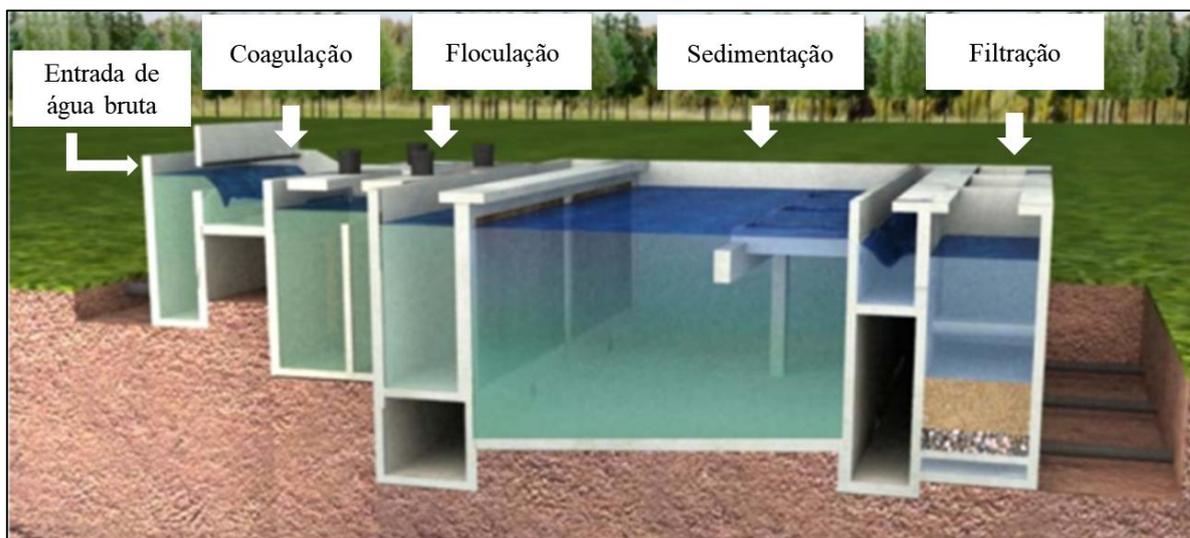
A revisão de literatura está apresentada a seguir e contemplou a tecnologia de tratamento utilizada pelas estações de tratamento de água analisadas, bem como os tipos de resíduos gerados nessas unidades e seu tratamento adequado, e a importância de um plano de segurança da água.

3.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) tem como objetivo remover os riscos presentes nas águas de abastecimento por meio de processos e operações unitárias (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Na tecnologia de ciclo completo (Figura 1), também conhecida como convencional, a água passa pelos seguintes processos e operações de tratamento: coagulação, floculação, sedimentação ou flotação, filtração e desinfecção.

Figura 1: Esquema de uma ETA de ciclo completo com decantação / sedimentação



Fonte: PROSAB, 2008, adaptado pela autora, 2019.

Segundo Di Bernardo *et al.* (2017), na tecnologia de ciclo completo (Figura 1), a água bruta é coagulada, geralmente, com um sal de alumínio ou de ferro no mecanismo de varredura, ocorrendo a formação de precipitados do metal do coagulante, aprisionando as impurezas. A coagulação ocorre na unidade de mistura rápida, podendo ser hidráulica, mecanizada ou

especial. Em seguida, a água coagulada é submetida à agitação lenta durante o tempo necessário para que os flocos alcancem o tamanho e a massa específica suficientes para que sejam removidos por sedimentação (nos decantadores) ou por flotação (nos flotadores).

A etapa de floculação é caracterizada pelo agrupamento das partículas desestabilizadas, podendo ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas, onde há a formação de aglomerados maiores denominados flocos, os quais serão removidos nas unidades subsequentes (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

A sedimentação é o fenômeno físico em que as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, ocasionando a clarificação do meio líquido. A etapa de sedimentação ocorre nos decantadores, os quais podem ser convencionais (grandes tanques, de escoamento horizontal ou vertical) ou de alta taxa (unidades menores que empregam módulos de plástico, placas planas paralelas ou lonas de plástico para ampliar a área de contato e reduzir a altura destinada à sedimentação, facilitando o deslizamento dos flocos para o fundo do decantador). No caso da flotação, geralmente utiliza-se o método por ar dissolvido (com pressurização da recirculação), sendo as microbolhas produzidas pela redução de pressão da água saturada com ar (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Saindo dos decantadores ou flotadores, a água clarificada é encaminhada para a etapa de filtração em unidades com escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, geralmente areia ou antracito e areia.

A filtração é necessária para remoção de partículas suspensas e coloidais, e de microrganismos presentes na água, através de um meio poroso. Nas estações convencionais de ciclo completo, a filtração é a última barreira para a remoção física das impurezas.

Após todas as etapas do tratamento de água, a água passa pelo processo de desinfecção onde receberá um desinfetante (geralmente cloro) para eliminação dos organismos patogênicos que ainda possam existir.

3.2. RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO – RETAS

Os resíduos gerados em estações de tratamento de água, também chamados de RETAs, são considerados um grande problema ambiental, no Brasil e em todo mundo, sendo que cada país procura uma alternativa de tratamento diferente. A legislação brasileira exige que tais

resíduos sejam tratados antes de serem lançados em cursos d'água ou no solo (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Existe a necessidade de se preocupar não somente com a qualidade da água tratada, mas também com a da água bruta, produtos químicos utilizados, tecnologia de tratamento, disposição de resíduos, dentre outras informações. Tudo interfere na quantidade e na qualidade do resíduo gerado (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

No entanto, muitas ETAs lançam seus resíduos diretamente nos corpos d'água mais próximos, pensando apenas no tratamento da água bruta para produzir água potável, se esquecendo que, para isso, há a geração desses resíduos (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Esses lançamentos indiscriminados causam impactos ambientais acentuados nos corpos d'água, como: aumento da quantidade e da diversidade de organismos patogênicos, acréscimo da concentração de compostos orgânicos tóxicos, incremento da concentração de metais tóxicos no sedimento e no meio líquido, limitação da luminosidade do meio líquido devido ao aumento da concentração de sólidos suspensos totais (SST), limitação ou até mesmo impedimento do uso do corpo receptor como fonte de dessedentação de animais ou como manancial para abastecimento de novas ETAs à jusante (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

A quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos em uma ETA dependem de inúmeros fatores como a qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento, mecanismos da coagulação, uso de auxiliar de coagulação, de oxidante, carvão ativado, método de limpeza dos decantadores (ou flotores), método de lavagem dos filtros, habilidade dos operadores, automação de processos e operações na ETA e reuso da água recuperada no sistema de tratamento (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

Em estações de tratamento de água de ciclo completo, os resíduos são gerados nos decantadores (ou flotores) e nos filtros.

Os resíduos são gerados nos decantadores (ou flotores) devido à sedimentação (ou flotação) das partículas provenientes da etapa de floculação e, em determinados intervalos de tempo, necessitam de limpeza, conhecida como descarga dos decantadores (ou flotores).

Os filtros, por serem uma barreira física para as impurezas ainda existentes na água clarificada proveniente da etapa de decantação ou flotação, também necessitam de limpeza. Para isso é necessário a lavagem do meio filtrante, gerando o resíduo da lavagem dos filtros.

Sendo assim, faz-se necessário o tratamento desses resíduos para sua posterior disposição final, conforme previsto na legislação brasileira.

Atualmente, existem algumas tecnologias que possuem como objetivo reduzir o impacto ambiental causado pelos RETAs. Essas tecnologias variam de região para região e levam em consideração fatores como clima, área, composição do resíduo gerado, mão-de-obra disponível no local, nível da tecnologia, dentre outros (LOVO, 2016).

É fundamental que se conheça as características desses resíduos para definição de qual tecnologia de tratamento deve ser utilizada. A caracterização desses resíduos é feita com base em diversos parâmetros, dentre eles: sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), turbidez, pH, alcalinidade, carbono orgânico total, concentração de íons metálicos, etc. Ressalta-se que, como a maior parte das partículas desses resíduos estão em suspensão, os sólidos suspensos totais tendem a ser próximos dos sólidos totais e quanto maior a concentração de sólidos, mais resistentes são esses resíduos (GUIMARÃES, 2007).

3.3. ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS – ALF

A água de lavagem de filtros é considerada uma água residuária que representa até 10% de toda a água produzida em uma ETA (FREITAS, 2010). Ela é gerada devido à limpeza dos filtros (Figura 2) e contém impurezas que não foram removidas nos decantadores (ou flotores), que são retiradas do meio filtrante durante a lavagem.

Figura 2: Água de lavagem dos filtros



Fonte: Prefeitura Municipal de Itabira, 2014.

Existem diferentes métodos de lavagem dos filtros, influenciando na quantidade e na qualidade da água de lavagem dos filtros. A lavagem inadequada dos filtros pode ocasionar aparecimento de bolas de lodo no interior do meio filtrante, menor volume de água produzido por carreira de filtração, água filtrada de pior qualidade no reinício da filtração e aumento da perda de carga do meio filtrante (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

O Quadro 1 apresenta os principais métodos de lavagem dos filtros, de acordo com Di Bernardo *et al.* (2017).

Quadro 1: Principais métodos de lavagem dos filtros

	MÉTODO DE LAVAGEM	MEIO FILTRANTE
1	Lavagem somente com água, no sentido ascensional	Areia convencional e em estações pequenas
2	Lavagem auxiliar superficial com tubulação fixa ou com torniquetes hidráulicos e lavagem simultânea (ou não) com água no sentido ascensional	Areia convencional em estações com operação qualificada
3	Lavagem auxiliar subsuperficial com tubulação fixa ou com torniquetes hidráulicos e lavagem simultânea (ou não) com água no sentido ascensional	Antracito e areia em estações com operação qualificada
4	Insuflação de ar, seguida de lavagem com água no sentido ascensional	Antracito e areia ou areia praticamente uniforme em estações com operação qualificada
5	Insuflação de ar e introdução simultânea de água no sentido ascensional	Antracito e areia ou areia praticamente uniforme em estações com operação qualificada

Fonte: Di Bernardo, *et al.*, 2017, adaptado pela autora, 2019.

A lavagem dos filtros no sentido ascensional apenas com água foi, durante muito tempo, o método mais utilizado. A quantidade de água de lavagem dos filtros gerada é elevada, pois o meio filtrante tem uma expansão de 30 a 50%. A velocidade ascensional é fixada de acordo com o material granular e dura entre 7 e 10 minutos. Com a velocidade ascensional fixada, é possível calcular a vazão de água para lavagem, permitindo determinar as perdas de carga (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

As lavagens superficial e subsuperficial podem ser feitas por meio de tubulações fixa com orifícios, situadas acima do topo do meio filtrante ou através de torniquetes hidráulicos. A lavagem superficial inicia-se após o nível de água no interior do filtro se aproximar à crista das calhas de coleta de água de lavagem, por um período de 2 a 4 minutos; após o encerramento

dessa lavagem, inicia-se a lavagem com água no sentido ascensional, com expansão de 25 a 35% do meio filtrante, durante 7 a 10 minutos. A lavagem subsuperficial é acionada cerca de 1 a 2 minutos após o início da lavagem com água no sentido ascensional, com o meio filtrante já expandido, com taxa de 30 a 50 L/min/m² (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

A lavagem com ar e água pode ser feita de duas formas: lavagem com ar seguida da lavagem com água no sentido ascensional ou lavagem com ar e água simultaneamente. A literatura ressalta que a lavagem com ar e água é mais indicada, pois diminui o volume de água utilizado para lavagem, mantém o meio filtrante sem bolas de lodo e reduz picos de turbidez e sua duração durante o período inicial de filtração. Comumente adota-se a lavagem com ar seguida da lavagem com água no sentido ascensional por não concorrer para a perda de material filtrante decorrente de projetos ou operações inadequados, embora a lavagem simultânea com ar e água seja mais eficiente (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

A água que é utilizada para lavagem no sentido ascensional pode ser proveniente de bombeamento direto, reservatório elevado ou dos demais filtros em operação. Geralmente essa água ainda não recebeu os produtos químicos finais, como cloro, flúor, cal, dentre outros (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

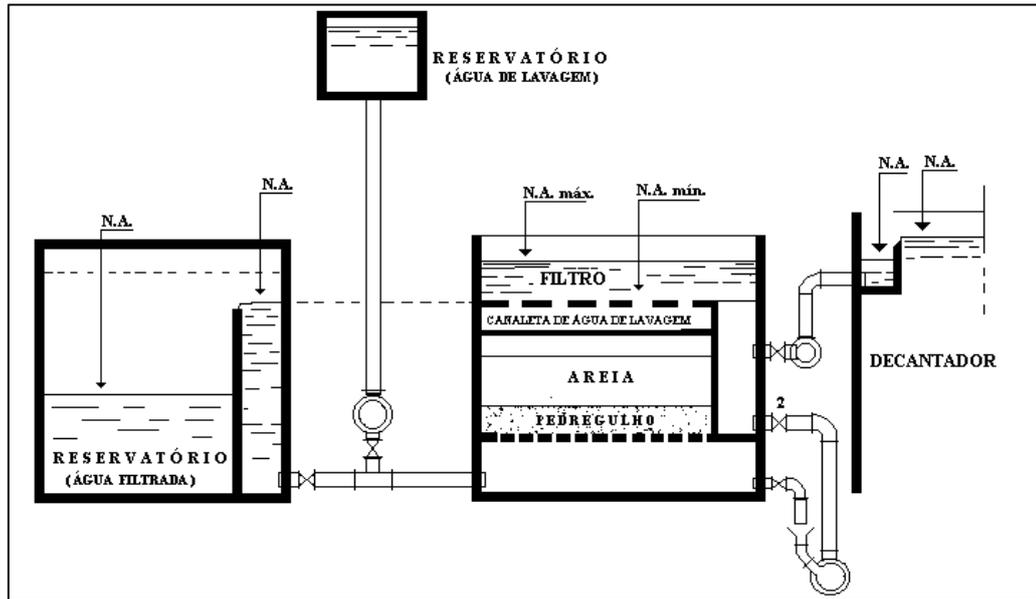
Na maioria das ETAs, a água de lavagem dos filtros é coletada em calhas, que descarregam em um único canal (frontal, lateral ou central), onde está localizada a comporta de descarga. As calhas coletoras podem ser de concreto ou resina e devem escoar livremente a água de lavagem dos filtros no canal receptor. A comporta de descarga deve ser devidamente dimensionada para que não ocorra seu afogamento (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Na Figura 3 são apresentados o decantador, o filtros, o reservatório de água filtrada e o reservatório de água de lavagem dos filtros.

Devido ao seu percentual elevado em relação ao volume total da água tratada (grandes volumes de resíduos em curtos espaços de tempo), há o interesse pela sua recirculação, uma vez que minimiza impactos ambientais por não ser lançada *in natura* em corpos d'água e proporciona economia de água (FREITAS *et al.*, 2010; FREITAS, 2017).

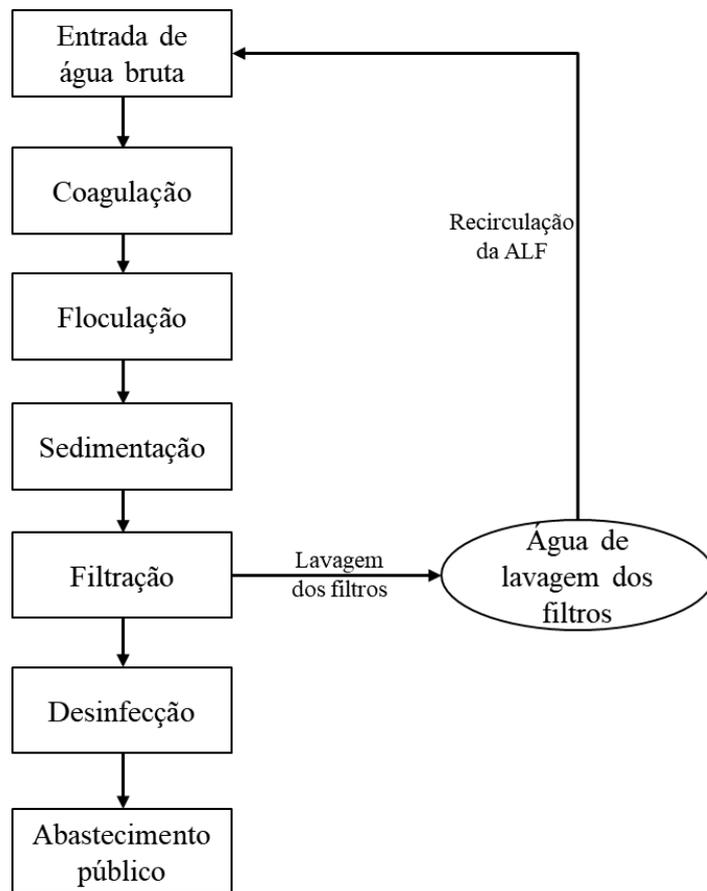
A prática de recirculação da água de lavagem dos filtros (ALF) (Figura 4) e de outros efluentes recuperados no tratamento dos resíduos gerados em ETAs ao início da estação está se tornando cada vez mais frequente e tem com objetivo reduzir as perdas no tratamento e minimizar os impactos que o lançamento indevido em corpos d'água pode ocasionar, tanto ao meio ambiente, como aos animais e à saúde humana (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Figura 3: Esquema de decantador, filtro e reservatórios de água filtrada e ALF



Fonte: Tratamento de Água, 2019.

Figura 4: Recirculação da água de lavagem dos filtros



Fonte: Autora, 2019.

No entanto, a prática de recirculação da ALF reintroduz no tratamento: metais, carbono orgânico total e sólidos totais, além de microrganismos patogênicos como cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Em ETAs convencionais (ciclo completo), as etapas de decantação e filtração são as principais barreiras para a remoção de cistos e oocistos de protozoários, que são resistentes a certos desinfetantes, especialmente cloro e cloraminas. No entanto, a eficiência da etapa de filtração depende das etapas de coagulação e floculação. A ineficiência da última barreira (filtros) prejudica a remoção de protozoários na água filtrada, caso existam na água bruta. Sendo o filtro a última barreira para remoção desses protozoários, a situação é agravada quando há o retorno da ALF sem o tratamento adequado (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Nos Estados Unidos, a prática de recirculação da água de lavagem de filtros é objeto de regulamentação específica, recomendando-se que a recirculação seja realizada com os devidos cuidados, destacando-se a clarificação e o controle da razão de recirculação, com o objetivo de causar o mínimo de impacto possível na qualidade da água tratada (USEPA, 2002). Já no Brasil não existem normas técnicas ou legislações específicas para o tratamento e a recirculação da ALF, fazendo com que inúmeras ETAs realizem tal prática sem nenhum controle ou embasamento científico, independente da qualidade da água bruta ou tecnologia de tratamento utilizada pela estação.

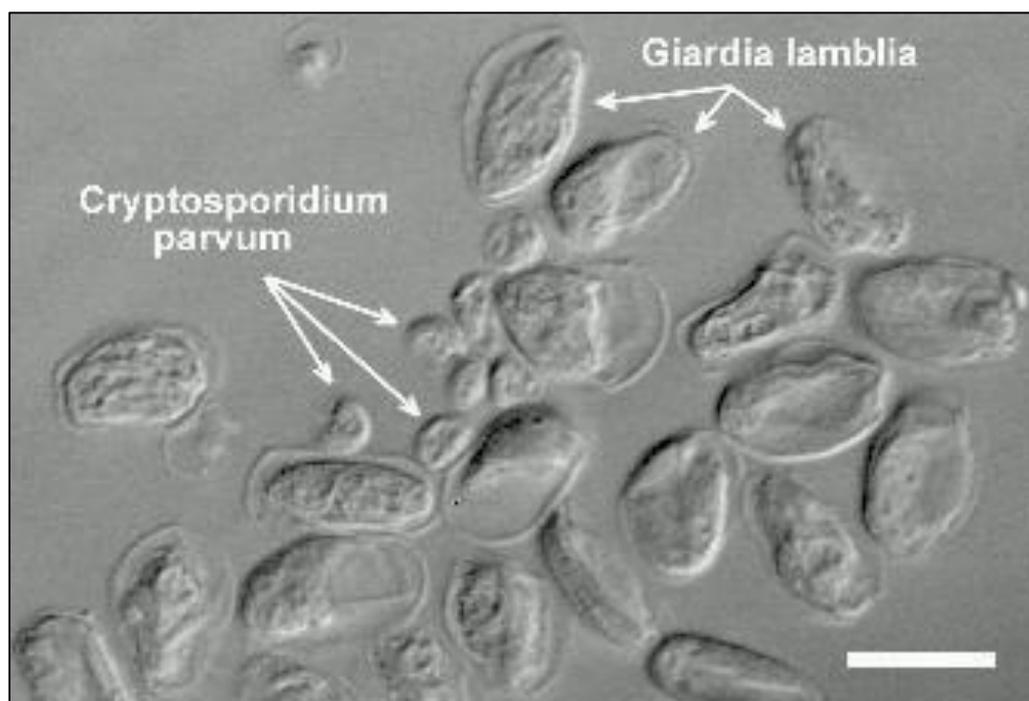
Muitos trabalhos têm apresentado a presença de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (Figura 5) em águas tratadas, mesmo que a maioria encontre-se em formas não infectantes (HELLER *et al.*, 2004).

Devido ao elevado grau de patogenicidade, esses protozoários são de grande relevância. A giardíase é uma doença reconhecidamente associada com águas de abastecimento para consumo humano, bem como surtos de criptosporidiose (HELLER *et al.*, 2004).

O registro de surtos de doenças transmitidas pela água devido a presença de protozoários têm aumentado nos Estados Unidos, mesmo com toda regulamentação restrita e restritiva (HELLER *et al.*, 2004).

A presença de reduzidas densidades de protozoários em águas tratadas pode infectar a população consumidora, ocasionando problemas de saúde, e seu nível de ocorrência nos sistemas de abastecimento pode oferecer riscos, sendo necessário um estudo aprofundado sobre as fontes de contaminação, a distribuição desses microrganismos em mananciais de abastecimento e a eficiência de remoção desses organismos pelos processos de tratamento (HELLER *et al.*, 2004).

Figura 5: Protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*



Fonte: Doménech, J., 2003.

Em decorrência das dimensões reduzidas e da forma encistada, os protozoários podem até passar pelos filtros, ocasionando grande dificuldade de sua quantificação na água. Em virtude disso, um dos parâmetros de controle utilizados para garantir a segurança da água produzida na ETA é a turbidez da água filtrada, mesmo que não seja um indicador direto de risco à saúde, mas estudos mostram correlação entre a remoção de turbidez e a remoção de protozoários (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Heller *et al.* (2004) propuseram um estudo sobre cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* associados à circulação no ambiente e riscos à saúde humana. A pesquisa analisou a presença dos protozoários em mananciais e em efluentes de instalações de tratamento de água em escala real, remoção de protozoários em instalações de tratamento em escala piloto, presença de protozoários nos esgotos sanitários, prevalência de protozoários em fezes humanas, presença de protozoários nas fezes de animais infectados e em hortaliças.

Após pesquisa, Heller *et al.* (2004) identificaram que as características de ocupação da bacia de captação, como bacias desprotegidas, com ocupação urbana e presença de atividades agropecuárias, influenciam na presença de protozoários. Para a ETA analisada que opera pela tecnologia convencional (ciclo completo), nota-se uma ineficiência do tratamento, podendo ser causada pela deterioração dos leitos dos filtros, inadequação da granulometria e obsolescência

de alguns equipamentos ocasionando a presença de protozoários no efluente filtrado. Isso mostra a necessidade de otimização dos processos unitários e rigoroso controle no tratamento.

Heller *et al.* (2004) concluíram que foram encontradas elevadas concentrações de protozoários nos mananciais estudados, bem como foi detectada sua presença na água filtrada em diferentes estações de tratamento; mesmo com elevado grau de eficiência, foi detectada a presença de protozoários no efluente de filtros lentos; foi identificada elevada densidade de protozoários nos esgotos sanitários e grande reprodução e eliminação dos cistos e oocistos em animais contaminados, aumentando o risco gerado pela presença desses animais nas bacias dos mananciais.

Por fim, Heller *et al.* (2004) recomendam o monitoramento da presença de protozoários nos diversos meios em nosso país, novas pesquisas para remoção de cistos e oocistos dos diversos processos de tratamento de águas de abastecimento, bem como a identificação de parâmetros marcadores da presença de protozoários em águas naturais e para consumo humano.

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) é necessário o atendimento de determinadas exigências para que ocorra a recirculação da água de lavagem de filtros em estações de tratamento de água do país. Para isso, foi criado um manual para recirculação da água de lavagem dos filtros (Filter Backwash Recycling Rule – FBRR) no ano de 2002 para atender a uma exigência estatutária das Emendas da Lei de Água Potável de 1996 para promulgar um regulamento que "governa" a recirculação da água de lavagem dos filtros em estações de tratamento de água de sistemas públicos (USEPA, 2002).

Segundo a USEPA (2002), o manual para recirculação da água de lavagem dos filtros estabelece disposições regulamentares que regem o modo como certas recirculações são tratadas nos processos de tratamento de água convencionais e de filtração direta, bem como requisitos de relatórios e manutenção de registros para práticas de recirculação que permitirão que os estados e a USEPA avaliem melhor o impacto das práticas de recirculação no desempenho geral das estações de tratamento.

O manual da USEPA (2002) se aplica aos sistemas públicos de água que atendem a todos os três critérios a seguir:

- A estação de tratamento de água utiliza água superficial ou subterrânea sob a influência direta da água da superfície;
- A estação de tratamento de água conta com processos convencionais ou de filtração direta; e,

- A estação de tratamento de água recircula um ou mais dos seguintes itens: água de lavagem de filtros, sobrenadante do lodo dos decantadores ou líquidos provenientes de processos de desidratação.

Para que seja possível a prática de algum dos itens descritos anteriormente, as estações de tratamento de água devem possuir três componentes distintos que são apresentados no manual da USEPA (2002): relatório, localização do retorno da recirculação e manutenção de registros.

Tal manual tem como objetivo melhorar o controle de patógenos, particularmente *Cryptosporidium*, em sistemas públicos de abastecimento de água, garantindo que as práticas de recirculação não comprometam a capacidade das estações de tratamento de água produzirem água potável segura e com boa qualidade. Isso porque a recirculação de determinadas águas contêm concentrações mais elevadas de oocistos de *Cryptosporidium*, *Giardia* e *Escherichia Coli*, aumentando o risco da presença desses patógenos na água potável distribuída e ameaçando a saúde pública. Tais microrganismos, em especial oocistos de *Cryptosporidium*, são preocupantes porque não são facilmente inativados pelos desinfetantes comumente utilizados, como o cloro, sendo a sedimentação e a filtração as principais barreiras para sua remoção (USEPA, 2002).

A recirculação dentro das estações de tratamento de água pode afetar o processo de tratamento devido a “picos de vazão” ou altas concentrações de contaminantes presentes nessas águas, como a água de lavagem dos filtros. Elas têm o potencial de impactar negativamente a qualidade da água potável porque podem ocorrer em volumes suficientes para criar picos hidráulicos incontrolláveis e conter concentrações elevadas de patógenos e outros contaminantes químicos (USEPA, 2002).

A água de lavagem dos filtros é gerada quando a água é forçada através do filtro, contrariando a direção do fluxo usada durante as operações de tratamento. Essa ação limpa o filtro, desalojando partículas acumuladas, incluindo microrganismos, capturados pelo meio filtrante. O tempo de lavagem dos filtros geralmente é de 10 a 25 minutos a uma taxa de, aproximadamente, 880 a 1170 m³/m².d e produz um volume significativo de água de lavagem dos filtros. De todos os processos residuais, a lavagem dos filtros normalmente produz o maior volume de água e a taxa mais alta.

Segundo McGuire (1997), a água de lavagem dos filtros normalmente corresponde a uma média de 3% a 6% da produção total da estação de tratamento de água. No entanto, em

uma base instantânea, a água de lavagem dos filtros pode chegar a 60% ou mais, em alguns casos, da produção total da estação de tratamento de água.

O manual da USEPA (2002) cita que, para garantir pelo menos 2-log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, é necessário que a água de lavagem de filtros seja reintroduzida em um local em que ela passe pelos processos de tratamento novamente. A remoção de 2-log de *Cryptosporidium* foi obtida em estudos apresentados pelo manual da USEPA quando:

- A água recirculada passou novamente pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração;
- Os limites de turbidez na água final foram atendidos.

Destaca-se que (USEPA, 2002):

- A recirculação da água de lavagem dos filtros após o ponto de adição do coagulante primário pode prejudicar a química do processo de tratamento, afetando seu desempenho;
- A remoção de 2-log de *Cryptosporidium* pode não ser obtida se a água recirculada não passar por todos os processos de tratamento.

Pela USEPA (2002), os sistemas de abastecimento que buscam a aprovação de um local para recirculação da água de lavagem dos filtros devem apresentar uma comparação da qualidade da água bruta que a estação de tratamento de água recebe com a água de lavagem dos filtros. Os dados para comparação incluem, mas não estão limitados a:

- Turbidez;
- Cistos e oocistos;
- Cistos e partículas do tamanho de oocistos;
- Ferro e/ou manganês;
- Níveis de subprodutos de desinfecção;
- Nível de matéria orgânica (TOC, DOC, UV254); e,
- pH.

Para recirculação da água de lavagem dos filtros, o manual da USEPA (2002) ressalta que é importante reconhecer que essa taxa de recirculação difere da taxa de geração desses resíduos, sendo necessários sua equalização e/ou tratamento.

Quando a água de lavagem dos filtros é direcionada para um tanque de equalização ou unidade de tratamento, é mais fácil ter o controle da taxa de recirculação. Os sistemas de abastecimento devem coletar informações relacionadas à lavagem dos filtros da ETA, no que se refere a (USEPA, 2002):

- Taxa média da água de lavagem dos filtros;
- Duração média da lavagem dos filtros;
- Taxa máxima da água de lavagem dos filtros; e,
- Duração máxima da lavagem dos filtros.

Os filtros tendem a ser lavados de maneira altamente regulada e monitorada. A ETA deve ser específica sobre o processo de lavagem dos filtros (USEPA, 2002).

Os sistemas de abastecimento público devem fornecer aos órgãos competentes informações como o tempo de carreira de filtração (tempo típico que um filtro é operado antes de ser lavado). Conforme a água passa, o meio filtrante do filtro vai sendo colmatado e, se não for lavado nos tempos previamente estabelecidos, pode ocorrer o transpasse de partículas e comprometer a qualidade da água final (USEPA, 2002).

Os filtros geralmente possuem entre 24 e 72 horas de carreira de filtração, mas variam de estação para estação. Os filtros são retirados do processo para lavagem com base no tempo de carreira de filtração, turbidez e /ou contagem de partículas no efluente do filtro, perda de carga no filtro ou outros métodos específicos do sistema (USEPA, 2002).

Pelo manual da USEPA (2002), os sistemas devem manter todos os registros para equalização e/ou tratamento da água de lavagem dos filtros, como:

- Tipo de tratamento utilizado;
- Dimensões físicas das unidades de equalização e/ou tratamento;
- Taxas de carga hidráulica média e máxima;
- Tipo de produto químico;
- Dosagem média do produto químico;
- Frequência de uso do produto químico;
- Frequência de remoção de sólidos.

A recirculação da água de lavagem direta ao processo de tratamento de água, sem tratamento ou equalização, é conhecida como recirculação direta. Essa recirculação pode

resultar em uma ETA excedendo sua capacidade operacional ou sofrendo rupturas hidráulicas se a vazão de água bruta não for gerenciada adequadamente durante a recirculação (USEPA, 2002).

A USEPA (2002) apresenta diversos estudos relacionados com a recirculação da água de lavagem dos filtros no que se refere à sua qualidade, a qual varia de ETA para ETA. Foram analisadas 25 estações de tratamento de água. Das 146 amostras de água bruta coletadas, *Giardia* e *Cryptosporidium* foram detectados em 30% e 11% das amostras, respectivamente. Os níveis médios de *Giardia* e *Cryptosporidium* observados nessas amostras foram de 89 e 108/100 L, respectivamente. Para as 148 amostras de água de lavagem dos filtros, 8% e 5% foram positivas para *Giardia* e *Cryptosporidium*, respectivamente. Os níveis médios de *Giardia* e *Cryptosporidium* observados nessas amostras foram 203 e 175/100 L, respectivamente. As análises foram realizadas pelo método de imunofluorescência. Sendo assim, as concentrações de *Giardia* e *Cryptosporidium* na água de lavagem dos filtros foram 16 e 21 vezes mais altas do que as correspondentes na água bruta, respectivamente.

As concentrações de carbono orgânico dissolvido e zinco apresentaram um aumento de três vezes e os trihalometanos tiveram um aumento de 92 vezes na concentração da água de lavagem dos filtros quando comparados com amostras de água bruta após adição química (USEPA, 2002).

Há uma variabilidade da turbidez da água de lavagem dos filtros, isso porque depende do volume de água utilizada para lavagem. Quanto mais água usada para lavar os filtros, mais diluída a água de lavagem dos filtros será (HDR, 1997).

Outros contaminantes contidos na água de lavagem dos filtros podem afetar o desempenho da ETA e a água potável. As concentrações de carbono orgânico total, alumínio, manganês e ferro na água de lavagem dos filtros podem ser maiores do que as encontradas tanto na água bruta quanto na água bruta após adição química (USEPA, 2002).

O manual da USEPA (2002) propõe várias opções para reduzir a quantidade de água de lavagem dos filtros, como:

- Utilizar lavagem com ar para complementar o processo de lavagem dos filtros;
- Determinar a duração mínima de lavagem dos filtros necessária para produzir água filtrada ideal;
- Aumentar a carreira de filtração (tempo) dos filtros e diminuir a frequência de lavagem.

No entanto, as ETAs devem ter cuidado ao modificar as práticas de lavagem dos filtros, monitorando o impacto resultante na qualidade da água filtrada (USEPA, 2002).

A USEPA (2002) reconhece que o tratamento dos resíduos de ETA, neste caso, da água de lavagem dos filtros, é apropriado para reduzir os riscos de contaminação por patógenos e otimizar o desempenho operacional da ETA.

Os processos de tratamento para água de lavagem dos filtros que são projetados e operados adequadamente podem reduzir os níveis de *Cryptosporidium* e *Giardia*, bem como outros contaminantes, como sólidos, partículas, trihalometanos, organoclorados, carbono orgânico total, alumínio, ferro e manganês. Tais contaminantes podem ocasionar problemas estéticos e de qualidade na água potável se não forem removidos da recirculação da água de lavagem dos filtros. No entanto, como em qualquer outra melhoria das ETAs, tais tratamentos para recirculação da água de lavagem dos filtros requerem mais equipamentos e, conseqüentemente, mais manutenção (USEPA, 2002).

O manual da USEPA (2002) apresenta os objetivos de desempenho recomendados para recirculação da água de lavagem dos filtros baseados em 25 estações analisadas.

Recomenda-se que a recirculação da água de lavagem dos filtros seja a uma taxa inferior a 10% da vazão de entrada de água bruta, não devendo ser recirculada quando a água bruta contiver algas em excesso, quando houver problemas de sabor e odor na água potável ou quando os níveis de trihalometano no sistema de distribuição excederem os níveis permitidos (USEPA, 2002; SPHEM, 1997).

Na Califórnia recomenda-se que as ETAs estabeleçam uma meta operacional de turbidez inferior a 2,0 uT para a recirculação da água de lavagem dos filtros. Se esse limite de turbidez não puder ser alcançado, a ETA deve tratar a água de lavagem dos filtros com uma qualidade igual à qualidade média da água bruta. Além disso, o tratamento da água de lavagem dos filtros deve remover 80% dos sólidos antes de sua recirculação e a vazão de recirculação deve ser inferior a 10% da vazão de entrada de água bruta na ETA (USEPA, 2002).

Em Maryland as ETAs devem tratar a água de lavagem dos filtros e somente podem recircular essa água sob as seguintes circunstâncias (USEPA, 2002):

- Taxa de recirculação da ALF inferior a 5% da vazão de entrada de água bruta na ETA;
- Mínimo de duas horas de sedimentação reforçada com polímero; e,
- A sedimentação deve ser realizada com vazões contínuas muito baixas ($17 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$).

Ohio também recomenda o tratamento da água de lavagem dos filtros antes de sua recirculação, com uma taxa inferior a 10% da vazão de entrada de água bruta na ETA (USEPA, 2002).

Com base em estudos realizados, Cornwell e Lee (1993) fizeram as seguintes observações que podem minimizar os impactos na qualidade da água potável:

- A equalização deve ser realizada de modo que a recirculação seja contínua e não intermitente;
- A água de lavagem dos filtros deve ser tratada adequadamente antes de sua recirculação para remoção de cistos com uma eficiência de tratamento de 80%.

O Instituto de Pesquisa sobre a água no Reino Unido (UKWIR) (1998) também reconheceu o risco sanitário contido nas águas de lavagem dos filtros devido às altas concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*. Em virtude disso, a UKWIR desenvolveu as seguintes diretrizes para evitar a passagem de oocistos para a água potável:

- A água de lavagem dos filtros deve passar por tratamento para remoção de mais de 90% de sólidos antes de sua recirculação;
- As taxas de recirculação devem ser inferiores a 10% da vazão de entrada de água bruta na ETA e contínuos, em vez de intermitentes;
- Deve ser realizado monitoramento contínuo da recirculação da água de lavagem dos filtros com turbidímetros on-line;
- Ensaio em jarteste devem ser conduzidos contendo ambas as vazões de água bruta e água de lavagem dos filtros para determinar adequadamente a demanda de coagulante;
- Polímeros devem ser considerados se houver cisalhamento de flocos ou má fixação;
- A recirculação da ALF deve ser minimizada, particularmente quando a qualidade é inadequada.

Os sistemas de abastecimento público devem avaliar o tratamento utilizado na água de lavagem dos filtros. Recomenda-se (USEPA, 2002):

- Comparar a qualidade da água potável durante os períodos de recirculação da água de lavagem dos filtros com os períodos em que essa recirculação não ocorre. Os contaminantes de interesse são: *Cryptosporidium*, *Giardia*, DBPs, precursores de DBP,

COT, ferro, alumínio e manganês. Outros parâmetros de qualidade da água que poderiam ser examinados são: pH, turbidez, contagem de partículas, sabor e odor;

- Executar um processo semelhante ao descrito anteriormente em cada etapa do tratamento da água para obter mais informações sobre como cada processo está sendo afetado individualmente durante os períodos de recirculação da água de lavagem dos filtros;
- Examinar as vazões e as taxas hidráulicas durante os períodos de recirculação da água de lavagem dos filtros. Certificar-se de que não esteja ocorrendo o surto hidráulico, que a capacidade da instalação e/ou taxas hidráulicas das unidades de tratamento não estejam ultrapassando as taxas de projeto;
- Estimar ou medir a quantidade de resíduos produzidos pela ETA;
- Considerar o benefício de adicionar equalização;
- Ao projetar qualquer processo de tratamento, permitir futuras modificações.

Existem casos em que as ETAs dispõem seus resíduos, como a água de lavagem de filtros e descarga de decantadores, em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). No entanto, alguns pontos devem ser levados em consideração, conforme apresentado por Di Bernardo, et al. (2017):

- O lançamento de lodo de ETA, seja água de lavagem de filtros como descarga dos decantadores, em ETE não é uma forma de disposição, pois o lodo de ETA é predominantemente inorgânico e não se degrada na ETE;
- O lodo de ETA é considerado resíduo sólido pela Norma NBR 10.004/04 (ABNT, 2004) e resíduo industrial pela Lei nº 12.300 de 2006 do Estado de São Paulo (BRASIL, 2006) e, portanto, nenhum resíduo sólido pode ser lançado no sistema de esgoto. Logo, legalmente, não é possível tal prática no Estado de São Paulo;
- Mesmo que fosse possível o lançamento de lodo de ETA em sistema de coleta de esgoto, este deveria ser contínuo e diluído, atendendo os limites estipulados pela NBR 9.800/87 (ABNT, 1987) e Portaria de Consolidação nº 05 do Estado de São Paulo (BRASIL, 2017). No entanto, esta prática não faria sentido, pois os resíduos sólidos são concentrados na ETA, diluídos no sistema de coleta de esgoto e concentrados novamente na ETE;

- Caso o lançamento do lodo de ETA em ETE seja possível, é necessário avaliar o efeito dessa descarga, que depende da quantidade de resíduo adicionada, suas características, tipo de tratamento de esgoto e forma de disposição do lodo da ETE.

Entretanto, legalmente não é possível o lançamento de lodo de ETA em ETE mas, na verdade, essa proibição está relacionada ao lançamento de resíduos de ETA na rede coletora de esgoto e não na ETE. Portanto, os resíduos poderiam ser dispostos em ETEs por meio de tubulação específica. No entanto, independentemente do tipo de disposição do lodo, é necessário seu tratamento.

3.4. TRATAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS POR SEDIMENTAÇÃO

Existem diferentes opções de tratamento para os resíduos de uma estação de tratamento de água, neste caso, da água de lavagem dos filtros. São semelhantes às opções de tratamento usadas para a água bruta em uma estação de tratamento de água. O tratamento pode consistir na remoção e/ou desinfecção de sólidos. Dentre as opções pode-se citar: sedimentação, filtração em leito granular e filtração por membranas. A desinfecção também pode ser empregada para o tratamento da ALF para fornecer inativação de patógenos (USEPA, 2002).

No geral, o tratamento comumente utilizado e que requer menor investimento é a sedimentação, processo que consiste na remoção de sólidos dos líquidos, por gravidade ou por separação física. O uso da sedimentação em água de lavagem de filtros tem se mostrado eficaz na remoção de partículas e patógenos (USEPA, 2002).

A sedimentação pode ser realizada por batelada ou fluxo contínuo. O processo em batelada combina a equalização e tratamento em uma única unidade e, por esse motivo, é mais utilizado para tratar a ALF. Geralmente, os sistemas de batelada consistem em um ou mais tanques dimensionados para receber um grande volume de resíduos, como a água de lavagem dos filtros, em um curto período de tempo (USEPA, 2002).

O processo de sedimentação pode ser melhorado pela adição de produtos químicos. O uso de floculação antes da sedimentação é recomendado quando as características de decantação da água de lavagem dos filtros forem menores do que o desejado, a menos que a floculação convencional e a sedimentação sejam implementadas (Kawamura, 2000). O tipo de produto químico e a dosagem ideal devem ser determinados com base em ensaios de laboratório.

Segundo Di Bernardo, *et al.* (2012), a recepção da água de lavagem dos filtros pode ser realizada por meio de tanques que funcionem alternadamente, que podem ser dimensionados medindo-se o volume dessa água, tempo de retenção para ocorrer a clarificação dos resíduos e a velocidade de sedimentação dos sólidos. Para isso, são necessários ensaios com as amostras da ALF.

Scalze (1997) recomenda a adição de polímeros para diminuir o tempo de clarificação da água de lavagem dos filtros. Sua pesquisa relacionou a turbidez do sobrenadante e a concentração de SST do sedimento em função da velocidade de sedimentação dos sólidos (V_s), com e sem uso de polímero aniônico (dosagem 6 mg/L), para amostra composta da ALF com teor de SST de 232 mg/L de uma ETA que usava sulfato de alumínio como coagulante.

Em seus estudos, Scalze (1997) concluiu que o uso de polímero contribuiu consideravelmente para melhorar a qualidade do sobrenadante para diferentes valores de velocidade de sedimentação. Para o menor V_s (2,3 cm/min), a diferença na turbidez do sobrenadante foi significativa (de 70 para 8 uT), bem como melhorou a qualidade microbiológica do sobrenadante.

Scalze, *et al.* (2002) caracterizaram a água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e os sobrenadantes obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. De acordo com a pesquisa, foram obtidos sobrenadantes de melhor qualidade nos ensaios de clarificação com uso de polímero aniônico em comparação aos ensaios sem polímero e são necessários cuidados quanto ao reuso do sobrenadante, pois o mesmo apresentou coliformes, cistos, ovos e larvas de parasitas patogênicos.

Segundo Souza Filho (2008) é indispensável o tratamento prévio da ALF antes do seu retorno para o tratamento, visando minimizar o incremento de patógenos e substâncias perigosas na água a ser tratada. Além do mais, recomenda que a taxa de recirculação dessa ALF não ultrapasse 10% da vazão de água bruta afluente à ETA.

Freitas *et al.* (2010) realizaram estudo da recirculação de água de lavagem de filtros e os perigos associados a protozoários, no qual a ALF da ETA da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa (MG), foi caracterizada e, em seguida, clarificada em colunas de sedimentação para determinação de parâmetros operacionais para ensaios de recirculação de ALF em instalação piloto.

Neste estudo, Freitas *et al.* (2010) coletaram amostras compostas (ETA-UFV ALF1 e ALF 2; ETA piloto – EP) a cada 30 segundos durante a operação de lavagem, por cerca de 10 minutos, e analisaram turbidez, alcalinidade, alumínio, manganês, demanda química de

oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. Em seguida, as amostras foram colocadas em colunas de sedimentação sob agitação, onde foram testados três polímeros: não-iônico (N 3100L), catiônico (K 122L) e aniônico (A 3015L). Após selecionadas as melhores doses, concentrações de polímeros e tempos de mistura, foram realizados novos ensaios com ALF de 35 uT. Ao final, o sobrenadante foi coletado e caracterizado conforme as variáveis físicas, químicas e microbiológicas citadas anteriormente, além de pH, ferro, cor aparente, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Para realização dos ensaios de recirculação da água de lavagem de filtros, Freitas *et al.* (2010) instalaram uma ETA piloto (EP). Para avaliar os efeitos da recirculação da ALF, foram testadas as seguintes situações: I-) recirculação sem promover a clarificação da ALF; II-) recirculação com clarificação e adição de polímero; e III-) recirculação com clarificação sem adição de polímero. Ensaios em jarreste também foram realizados para definição das condições ótimas de coagulação, bem como ensaios sem recirculação da ALF para verificar eventuais impactos. Os parâmetros de controle para todos os ensaios foram turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.

Ao final dos ensaios, Freitas *et al.* (2010) concluíram que a ALF “apresenta potencial poluidor e de contaminação microbiológica e deve ser tratado antes de seu lançamento em corpos receptores ou de sua recirculação ao processo de tratamento”. Com os resultados obtidos não é possível estabelecer limites de turbidez e de vazão de recirculação recomendáveis da ALF. No entanto, foi possível a diminuição dos riscos sanitários associados à recirculação da ALF quando houve a clarificação por sedimentação e adição de polímeros.

Freitas *et al.* (2010) recomendam que novos estudos sejam realizados com o objetivo de verificar o efeito cumulativo de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* com a recirculação da ALF.

Molina (2010) estudou a ALF de filtros rápidos da ETA do município de Rebouças – PR, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante. Após caracterização da ALF, foram realizados ensaios de tratabilidade com três polímeros, sendo dois aniônicos e um natural, o amido de batata. O sobrenadante dos melhores resultados foi caracterizado e conclui-se que, *in natura*, a ALF possui características que impossibilitam seu lançamento em corpos d’água e o tratamento com o uso de polímeros tornaria possível a recirculação dessa água para o processo da ETA.

Lustosa *et al.* (2017) realizaram estudo sobre o tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtros em estação de tratamento de água, na qual a ETA da cidade de Colmeia (TO) foi reestruturada para que pudesse receber a ALF. Inicialmente a ETA operava pela tecnologia de dupla filtração, sendo um filtro de pedregulho e outro de areia, gerando dois problemas operacionais: a destinação da ALF e o desaguamento do lodo presente nesta água. Os pesquisadores propuseram uma nova configuração para a ETA com a inserção de um tanque de sedimentação e um leito de drenagem. Com essa configuração, as ALF de ambos os filtros eram direcionadas para o tanque de sedimentação e posteriormente para o leito de drenagem. As águas clarificadas geradas em ambas etapas eram recirculadas para o tratamento, após o filtro de pedregulho e antes do filtro de areia.

Segundo Lustosa *et al.* (2017), a implantação do tanque de sedimentação proporcionou a recirculação de, aproximadamente, 75% do volume de lavagem de filtros. Em relação às características da água recirculada, os valores obtidos foram próximos ao da água bruta, com exceção do alumínio, da dureza e condutividade, apresentando-se superiores. Destacam, ainda, que se deve tomar os devidos cuidados com a prática de recirculação da ALF, uma vez que tal prática pode oferecer riscos à saúde da população, principalmente quando há a presença de cistos e oocistos de protozoários.

Para Lustosa *et al.* (2017) tal pesquisa atestou a eficiência do sistema proposto, tanto no reaproveitamento da ALF quanto no desaguamento do lodo, propiciando redução dos custos operacionais da unidade e um ganho ambiental apreciável. No entanto, sugerem que novos estudos sejam realizados para avaliar a viabilidade técnica-econômica da utilização de polímeros no tratamento da ALF e que a qualidade microbiológica da água seja verificada, uma vez que tais parâmetros (cistos e oocistos de protozoários) não foram analisados.

No entanto, os estudos envolvendo a recirculação da ALF e quais os riscos microbiológicos associados a tal prática ainda são escassos. Destaca-se a necessidade de estudos envolvendo quais critérios devem ser adotados em tal prática, tipo de tratamento, influência da qualidade da água bruta, razão de recirculação, adição ou não de polímeros, dentre outros.

3.5. POLÍMEROS SINTÉTICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Os polímeros sintéticos utilizados em estações de tratamento de água podem ser utilizados como auxiliares de coagulação e coagulantes primários. Podem ser classificados de

acordo com a carga elétrica que possuem em solução aquosa (catiônicos, aniônicos ou não-iônicos), sua densidade de carga elétrica (baixa, média ou alta) e seu peso molecular (baixo, médio, alto ou muito alto). São utilizados para remoção de partículas das águas e no condicionamento de lodos para otimizar o processo de remoção da água (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Segundo Barreto (2010), o polímero de poliácridamida é essencialmente linear e solúvel em água com pesos moleculares elevados. Tais polímeros sintéticos são os polímeros mais utilizados no tratamento de água e tratamento de águas residuárias.

3.5.1. Polímeros Catiônicos

Os polímeros sintéticos catiônicos podem funcionar como coagulantes por neutralização de cargas ou adsorção e formação de pontes, ou ainda uma combinação dos dois mecanismos. Usualmente podem ser preparados através da co-polimerização de acrilamida com um monômero catiônico apropriado, resultando polímeros catiônicos de massa molecular relativamente alta. No entanto, seu uso requer atenção especial devido à sua toxicidade, uma vez que a presença de residual desses polímeros na água tratada representa risco à saúde (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

De acordo com Barreto (2010), os polímeros catiônicos são caracterizados pela sua carga positiva que irá se ligar a cargas negativas. É usado como aditivo de floculação e faz a ponte de floculação das partículas em suspensão. Também é utilizado no tratamento de resíduos de ETAs, reduzindo custos na disposição do lodo (menor volume).

3.6. PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA

Para se garantir um sistema de abastecimento de água seguro e eficaz, é necessário a aplicação de um plano integrado de avaliação e gestão dos riscos, abrangendo todas as fases desse sistema, desde a captação até a distribuição de água (WHO, 2004).

De acordo com IWA (2004), é necessário se conhecer profundamente os riscos de contaminação associados ao sistema de abastecimento de água e como deve ser feito o controle efetivo desses riscos.

Atualmente estão sendo desenvolvidos muitos trabalhos com o objetivo de proporcionar água realmente potável para a população brasileira, como o Plano de Segurança da Água (HESPANHOL, 2017).

O Plano de Segurança da Água (PSA) tem como objetivo utilizar boas práticas no sistema de abastecimento para garantir a qualidade da água destinada para consumo humano. Estão inclusas: minimizar a contaminação nas origens de água, reduzir ou eliminar a contaminação durante o processo de tratamento e prevenir a recontaminação durante o armazenamento e distribuição da água (COSTA, 2010; WHO, 2004).

Para Ventura *et al.*, (2019), para que se possa implantar um Plano de Segurança da Água em um Estação de Tratamento de Água, é necessário conhecer as todas práticas operacionais do sistema de abastecimento, para que as variáveis de controle, de identificação de perigos e de caracterização de riscos sejam eficazes. Desta maneira, pode-se reduzir ou até eliminar a presença de determinadas substâncias que possam interferir no controle dos aspectos sanitários, estéticos e econômicos.

Segundo Hespanhol (2017), o Programa de Saneamento Básico (PROSAB) propôs normas e regulamentações com o objetivo de estabelecer procedimento e definir variáveis de qualidade e seus respectivos valores numéricos para que a população brasileira seja abastecida de forma realmente segura.

O objetivo básico de produzir normas regulamentadoras é o de estabelecer limites relativos ao abastecimento público e reuso de água, por exemplo, para minimizar efeitos prejudiciais sem afetar os benefícios correspondentes. Tais limites variam em função do desenvolvimento científico e tecnológico, bem como de condições econômicas (HESPANHOL, 2017).

Costa (2010) apresenta as etapas preliminares de um PSA em sua pesquisa. É necessária a descrição do sistema de abastecimento de água, desde a fonte até o consumidor, apresentando o tipo de captação (superficial ou subterrânea) e o esquema de tratamento de água, bem como a planta do sistema de distribuição. Apresenta, também, como deve ser realizada a construção e validação do diagrama de fluxo, o que facilita a análise e avaliação de um sistema de abastecimento de água para consumo humano.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) apresenta um esquema com os exemplos de informações que podem ser compiladas para caracterização de um sistema de abastecimento de água, conforme Quadro 2 (WHO, 2004).

Quadro 2: Exemplos de informação a compilar para caracterização do sistema de abastecimento de água

COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	INFORMAÇÃO A CONSIDERAR
Bacia Hidrográfica	Geologia e Hidrologia Condições meteorológicas e climáticas Saúde da bacia hidrográfica e do rio Fauna e flora Usos da água Usos do solo Outras atividades realizadas na bacia hidrográfica que possam potencialmente contaminar a água Atividades futuras previstas
Águas superficiais	Descrição do tipo de massa (rio, lago, etc.) Características físicas (tamanho, profundidade, estratificação térmica, altitude, etc.) Caudal e fiabilidade da origem da água Tempos de retenção Constituintes da água (físicos, químicos, microbiológicos) Proteções (cercas, vedações, acessos, etc.) Atividade recreativas e outras atividades humanas Transporte de água
Esquemas de tratamento	Operação de tratamento (incluindo as opcionais) Características dos equipamentos Equipamentos de monitorização e automação Produtos químicos utilizados Eficiência do tratamento Eliminação de agentes patogênicos através da desinfecção Residual de desinfetante / tempo de contato
Reservatórios de Serviço e Sistema de Distribuição	Características dos reservatórios Tempos de retenção Variações sazonais Proteção (coberturas, acessos, vedações, etc.) Características do sistema de distribuição Condições hidráulicas (caudais, pressão, etc.) Proteções contra retorno Residual de desinfetante e subprodutos da desinfecção

Fonte: WHO, 2004; Costa, 2010; adaptado pela autora, 2019.

Dentro de um Plano de Segurança da Água é necessário a avaliação do sistema, pois ela varia ao longo do mesmo. Essa avaliação tem como objetivo determinar se a qualidade da água distribuída ao consumidor cumpre as metas de proteção de saúde estabelecidas (COSTA, 2010; WHO, 2004).

Para avaliar o sistema, é necessário identificar quais perigos estão presentes no sistema de abastecimento, o que pode causar danos à saúde da população. Dentre esses perigos, encontram-se (COSTA, 2010; VEIRA, *et al.*, 2005):

- Perigos biológicos: associados a microrganismos patogênicos presentes na água (bactérias, vírus, protozoários, algas tóxicas);
- Perigos químicos: associados à presença de substâncias químicas que podem ser nocivas para a saúde;
- Perigos físicos: associados às características estéticas da água (cor, turvação, cheiro, sabor);
- Perigos radiológicos: associados à possibilidade de contaminação da água a partir de fontes de radiação.

Após identificação dos perigos, é necessária a caracterização dos riscos. Os eventos perigosos com maior severidade de consequências e maior probabilidade de ocorrência devem ser priorizados (COSTA, 2010; VEIRA, *et al.*, 2005).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece as diretrizes para a qualidade da água potável através de dois procedimentos distintos (HESPANHOL, 2017):

- Avaliação de Riscos;
- Gestão de Riscos.

A Avaliação de Riscos deve incluir (HESPANHOL, 2017):

- Identificação de contaminantes potencialmente perigosos (microbiológicos, químicos e radiológicos), em nível mundial;
- Avaliação quantitativa da relação doses-efeitos sobre seres humanos; e,
- Avaliação dos níveis potenciais de exposição que podem ocorrer sobre seres humanos.

Com a fase da Avaliação de Riscos é possível estabelecer padrões nacionais da qualidade da água (HESPANHOL, 2017).

Já o procedimento de Gestão de Riscos é desenvolvido em nível nacional por países interessados em estabelecer seus próprios padrões de qualidade e respectivos códigos de prática (HESPANHOL, 2017).

É necessário um monitoramento operacional de cada uma das etapas do sistema de abastecimento, bem como um plano de gestão para documentar o plano de monitorização, os programas complementares e a estratégia de comunicação necessários para garantir o seguro funcionamento do sistema de abastecimento (COSTA, 2010; VIEIRA, *et al.*, 2005; WHO, 2004).

No entanto, as normas brasileiras associadas à saúde pública são praticamente copiadas de normas estrangeiras, ou adotadas sem a devida adaptação das diretrizes propostas pela OMS, podendo não exercer a proteção que delas se espera. Além do mais, não é efetuada uma avaliação prévia de quais variáveis devem ser regulamentadas (HESPANHOL, 2017).

Tem-se, como exemplo, os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011), onde todos os parâmetros foram adotados diretamente das diretrizes da OMS sem a devida adaptação às condições sociais, técnicas e, principalmente, de saúde públicas brasileiras. Logo, os padrões de qualidade dessa portaria não garantem a distribuição de água potável aos consumidores dos sistemas brasileiros de abastecimento (HESPANHOL, 2017).

No trabalho desenvolvido por Ventura, *et al.* (2019), onde foi elaborado um Plano de Segurança da Água de determinada ETA, constatou-se que o PSA contribui com as diretrizes dos planos de bacia hidrográfica, pois apresentou a previsão dos riscos, a probabilidade de ocorrência e suas consequências. Ressalta-se que o PSA é um plano instituído pelo gestor do serviço de saneamento e depende da atualização de várias informações. No entanto, ainda há falta de estudos científicos e manuais práticos que tratem da elaboração, implantação e monitoramento do PSA. (VENTURA, *et al.*, 2019)

Um dos itens destacados por Hespanhol (2017) em sua pesquisa diz respeito à recirculação de águas de lavagem dos filtros. Ele menciona que, na maioria das ETAs do Brasil, os resíduos gerados no tratamento de água, principalmente águas de lavagem dos filtros, são recirculados ao início da ETA sem qualquer tipo de tratamento, levando à um acúmulo de poluentes nos afluentes das estações, incluindo oocistos de *Cryptosporidium*, cistos de *Giardia*, material particulado, precursores de subprodutos da desinfecção, metais, etc., diminuindo a eficiência do tratamento.

Segundo Hespanhol (2017), os critérios mais importantes para permitir a recirculação da água de lavagem dos filtros são:

- Vazão máxima de recirculação de 10% da vazão da ETA;
- Tanque de equalização para permitir recirculação contínua;
- Tratamento mínimo através da sedimentação prévia (com ou sem coagulantes/polímeros) para permitir remoção de 90% de sólidos suspensos totais e turbidez máxima de 2,0 uT; e,
- Remoção de duas ordens de magnitude de oocistos de *Cryptosporidium* e de cistos de *Giardia*.

Hespanhol (2017) cita que países que dão real importância à qualidade da água distribuída ao público, não permitem a recirculação da água de lavagem dos filtros sem tratamento adequado.

Nota-se a relevância da recirculação da água de lavagem dos filtros, sendo objeto de estudo e regulamentação específica, não podendo ser copiada de outros países, pois cada região possui suas características específicas.

Ao final de seu trabalho, Hespanhol (2017) diz que, para que os planos de segurança da qualidade da água existentes tornem-se efetivos, é necessário:

- Produzir normas adaptadas às condições brasileiras;
- Utilizar melhores tecnologias ou, pelo menos, complementar os sistemas de tratamento de água atuais com membranas de ultrafiltração para toda a vazão de água tratada na ETA;
- Proibir a recirculação da água de lavagem dos filtros sem tratamento adequado; e,
- Proibir as ETAs de praticar distribuição intermitente e de reduzir a pressão interna de redes de abastecimento público.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho foram estudadas duas Estações de Tratamento de Água distintas, denominadas ETA 1 e ETA 2, ambas operando com tecnologia convencional (ciclo completo), situadas em diferentes municípios, mas na mesma bacia hidrográfica.

Foram escolhidas essas duas ETAs por estarem localizadas na mesma região e terem características semelhantes, permitindo, assim, verificar se mesmo ETAs semelhantes apresentam comportamento muito diferente em relação ao resíduo Água de Lavagem de Filtros.

As etapas realizadas no trabalho estão apresentadas no fluxograma da Figura 6.

As coletas foram realizadas duas vezes para cada ETA, sendo uma vez no período chuvoso e outra no período de estiagem.

Estudou-se a bacia hidrográfica a qual pertencem os mananciais que abastecem as estações de tratamento de água, bem como caracterização do uso e ocupação do solo, por meio da coleta de dados secundários disponíveis na literatura.

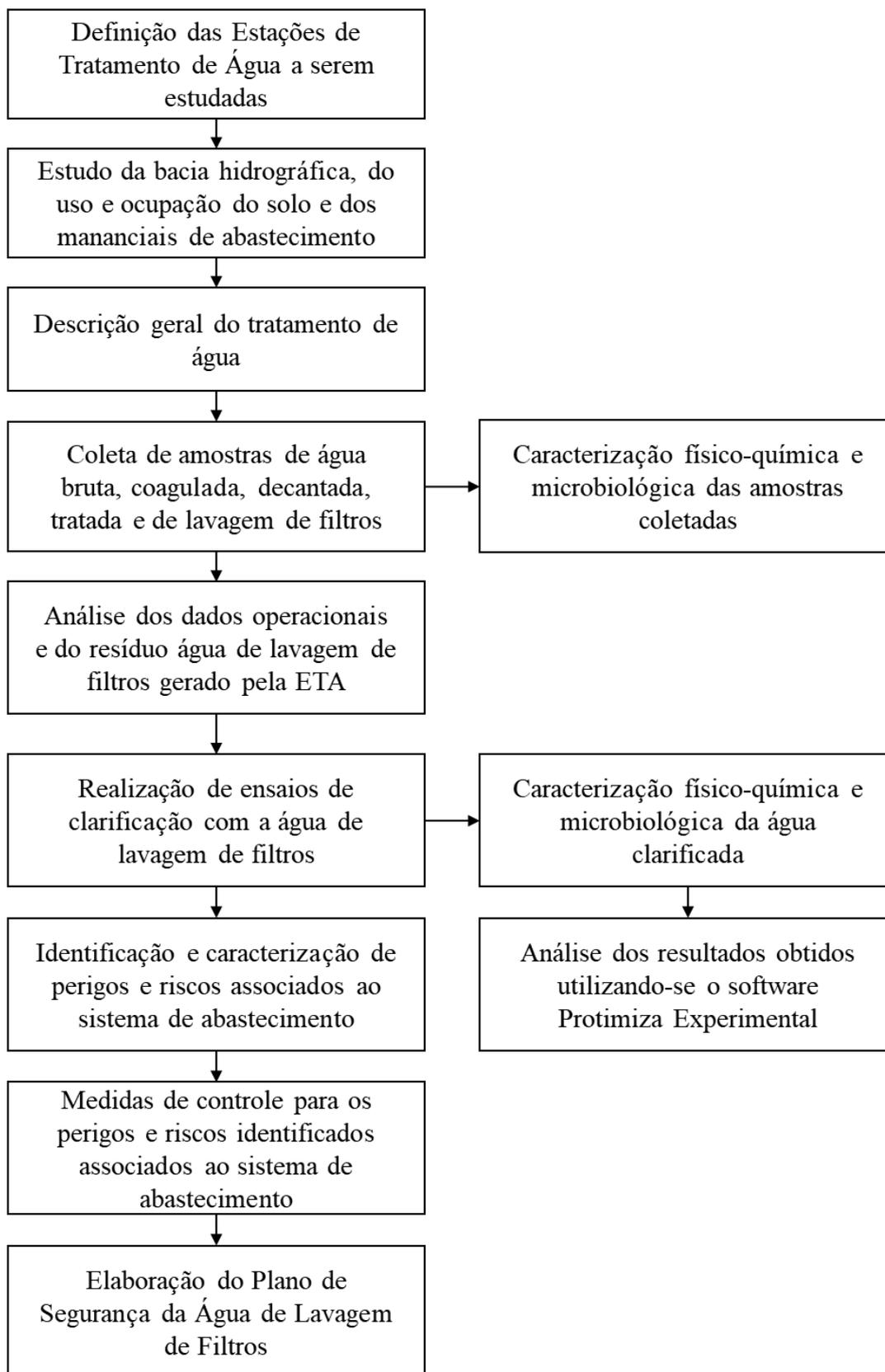
Realizou-se o diagnóstico do tratamento de água realizado nas duas estações e coletou-se água em diferentes pontos do processo para caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada, de lavagem de filtros e tratada em duas épocas do ano (período chuvoso e de estiagem).

Identificaram-se e analisaram-se os principais perigos na captação e no tratamento de água, bem como propôs-se medidas de controle para os perigos encontrados.

Conduziram-se ensaios de clarificação com a água de lavagem dos filtros provenientes das duas estações de tratamento de água com diferentes dosagens de polímeros e distintas velocidades de sedimentação e, em seguida, foi feita a caracterização físico-química e microbiológica dessa água clarificada.

Utilizou-se o software online Protimiza Experimental para análise dos resultados obtidos nos ensaios de clarificação e verificou-se o tipo e dosagem de polímero ideal para tratamento do resíduo água de lavagem de filtros, e possibilidade de recirculação ao início da ETA sem a reintrodução de perigos ao sistema.

Figura 6: Etapas de desenvolvimento do Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros



Fonte: Autora, 2020.

O software Protimiza Experimental utilizou como metodologia de planejamento o Delineamento de Faces Centradas (DFC), em que o número de experimentos seguiu a equação 1:

$$r \cdot (2^k + 2 \cdot k) + cp = 1 \cdot (2^2 + 2 \cdot 2) + 3 = 11$$

(Equação 1)

em que:

r: repetições genuínas;

k: número de fatores em estudo;

cp: pontos centrais.

Com os resultados obtidos, elaborou-se um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros das Estações de Tratamento de Água estudadas, contemplando as etapas fundamentais para o desenvolvimento de um PSA, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Esquema adotado para o desenvolvimento do Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros

	ETAPAS FUNDAMENTAIS	OBJETIVOS	INFORMAÇÕES
AVALIAÇÃO DO SISTEMA	Processo de análise e avaliação de riscos, compreendendo todo o sistema de abastecimento, verificando se a água está a cumprir as metas de proteção da saúde e ambientais.	<p>Assegurar que o sistema de abastecimento de água, como um todo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fornece água com uma qualidade que garante os objetivos de saúde estabelecidos; - atende às legislações ambientais; - realiza o tratamento adequado de seus resíduos. 	<p>Componentes do Sistema de Abastecimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bacia Hidrográfica e Uso e Ocupação do Solo; - Águas Superficiais (Mananciais); - Descrição Geral do Tratamento; - Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros Gerado da ETA. <p>Apresentação de Tratamento do Resíduo Água de Lavagem de Filtros.</p> <p>Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento.</p> <p>Medidas de Controle para os Perigos e Riscos identificados associados ao Sistema de Abastecimento.</p>

Fonte: WHO, 2004; Costa, 2010; adaptado pela autora, 2020.

4.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA 1 – ETA 1

As coletas das amostras de água na ETA 1 foram realizadas nos meses de março (chuvas) e junho (estiagem) de 2019, no período noturno, horário em que os operadores lavam os filtros (meia-noite), para que não ocorra prejuízo no abastecimento público de água.

A ETA 1 possui canalização que direciona as águas bruta, coagulada, decantada e tratada para a sala dos operadores, onde eles podem realizar a coleta diretamente das torneiras e analisar os parâmetros necessários, sem ter que percorrerem a ETA para efetuarem as coletas em diferentes locais. Isso agiliza o processo de análises, principalmente para ajustar parâmetros, caso seja necessário.

As coletas das águas bruta, coagulada, decantada e tratada foram realizadas nas próprias torneiras da sala dos operadores, conforme mencionado no parágrafo anterior. Foram coletados, aproximadamente, 10 litros de cada uma das águas (bruta, coagulada, decantada e tratada), no mesmo dia e horário da coleta da água de lavagem de filtros.

Para limpeza dos filtros, primeiramente, inicia-se a lavagem da câmara 1, com duração de, aproximadamente, 5 minutos e, em seguida, a lavagem da câmara 2, com duração também de, aproximadamente, 5 minutos. O tempo total de lavagem de cada um dos filtros é de, em média, 10 minutos. O tempo de lavagem é determinado visualmente pelo operador. Quando ele “acha” que já lavou o suficiente porque a água de lavagem está saindo mais “limpa”, ele inicia a lavagem da câmara 2, prosseguindo da mesma forma. Os filtros são lavados a cada 24 horas, ou seja, possuem 24 horas de carreira de filtração. Os filtros são descendentes, com duas câmaras de filtração.

A coleta da água de lavagem de filtros (ALF) foi realizada nas duas câmaras, a cada 30 segundos, aproximadamente, durante o tempo de lavagem dos filtros. O volume a cada coleta foi de, aproximadamente, 15 litros a cada 30 segundos. Coletou-se água de dois filtros diferentes, denominados Filtro 1 e Filtro 2. Em cada coleta foi feita a leitura de turbidez para posterior elaboração da curva de turbidez da água de lavagem de filtros, em ambos os filtros.

A Figura 7 apresenta a coleta da água de lavagem de filtros na ETA 1.

Para realização da coleta utilizou-se um recipiente (balde) amarrado à uma corda, pois os filtros estão localizados em um nível mais baixo em relação ao restante da ETA. A água de lavagem de filtros coletada foi armazenada em dois galões do tipo bombonas, transportada para o laboratório e descarregada em um recipiente maior, de forma que fosse possível a homogeneização do resíduo contido nos dois galões. Em seguida, deu-se início caracterização

físico-química e microbiológica e realização dos ensaios de clarificação com a água de lavagem de filtros.

Figura 7: Coleta da água de lavagem de filtros na ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Nas duas coletas realizadas na ETA 1 a lavagem foi feita pelo mesmo operador.

4.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA 2 – ETA 2

As coletas das amostras de água na ETA 2 foram realizadas nos meses de abril (chuvas) e junho (estiagem) de 2019, no período matutino, horário em que os operadores lavam os filtros (09h00).

A ETA 2 não possui canalização que direciona as águas bruta, coagulada e decantada para a sala dos operadores, apenas de água tratada proveniente dos três reservatórios da cidade. Sendo assim, foi necessário percorrer a ETA 2 para realização das coletas das amostras de água

bruta, coagulada e decantada, nas próprias operações. Foram coletados, aproximadamente, 10 litros de cada uma das águas (bruta, coagulada, decantada e tratada), no mesmo dia e horário da coleta da água de lavagem dos filtros.

A Figura 8 apresenta o ponto em que foi realizada a coleta de água coagulada no presente trabalho.

Figura 8: Coleta de água coagulada na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

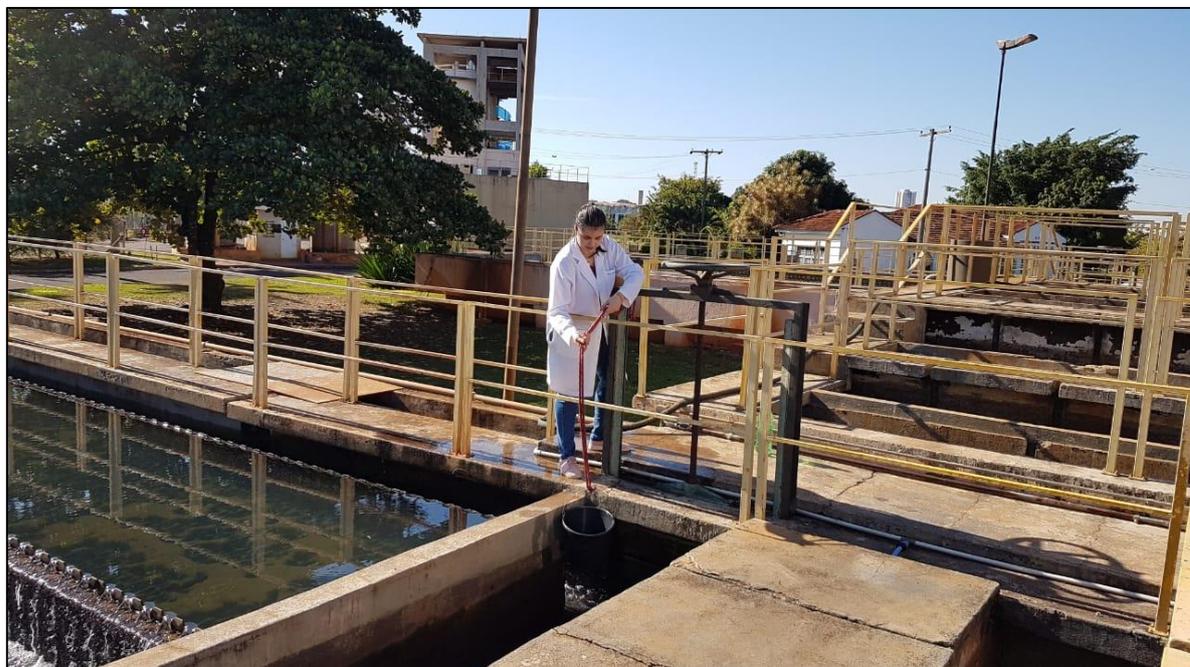
As Figuras 9 e 10 apresentam a coleta de água decantada.

Figura 9: Coleta de água decantada na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

Figura 10: Coleta de água decantada na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

Os filtros são lavados com base em diferentes critérios, variando de operador para operador. Alguns lavam os filtros por tempo de carreira de filtração, outros baseados na carga hidráulica e, também, por transpasse.

O tempo de lavagem é determinado visualmente pelo operador e varia de operador para operador. Quando ele “acha” que já lavou o suficiente porque a água de lavagem está saindo mais “limpa”, ele finaliza a etapa de lavagem do filtro. O tempo de lavagem com ar dura, aproximadamente, 2 minutos e, com água, 5 minutos.

A coleta da água de lavagem de filtros (ALF) foi realizada a cada 30 segundos, aproximadamente. Coletou-se água de dois filtros diferentes, denominados Filtro 1 e Filtro 2. Em cada coleta foi feita a leitura de turbidez para posterior elaboração da curva de turbidez da água de lavagem dos filtros, apenas no filtro 1 (após início da lavagem com água).

A lavagem dos filtros foi realizada por operadores diferentes. Na data da primeira coleta a lavagem durou em torno de 4 minutos, apenas, sendo 2 minutos com ar e 2 minutos com água, proporcionando apenas 03 (três) coletas para leitura de turbidez. Já na segunda coleta a lavagem durou cerca de 7 minutos, sendo 2 minutos com ar e 5 minutos com água, proporcionando a coleta de 10 (dez) amostras para leitura de turbidez.

Para realização da coleta utilizou-se um recipiente (balde) amarrado à uma corda, pois os filtros estão localizados em um nível mais baixo em relação ao restante da ETA. A água de lavagem de filtros coletada foi armazenada em dois galões do tipo bombonas, transportada para o laboratório e descarregada em um recipiente maior, de forma que fosse possível a homogeneização do resíduo contido nos dois galões. Em seguida, deu-se início caracterização físico-química e microbiológica e realização dos ensaios de clarificação com a água de lavagem de filtros.

A Figura 11 apresenta a coleta da água de lavagem dos filtros na ETA 2.

Figura 11: Coleta da água de lavagem de filtros na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

4.3. ENSAIOS DE CLARIFICAÇÃO – TRATAMENTO E PRODUTOS

Foram realizados ensaios clarificação com água de lavagem de filtros, com e sem a adição de polímeros catiônicos de duas empresas diferentes, em equipamento de jarteste, visando à construção de diagramas no software Protimiza Experimental, para que seja possível o tratamento desse resíduo.

Os produtos químicos utilizados nos ensaios estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4: Produtos químicos utilizados na pesquisa

PRODUTO QUÍMICO	NOME COMERCIAL	EMPRESA FORNECEDORA	ASPECTO
Polímero Sintético Catiônico	Artfloc 3530	Aratrop Industrial	Emulsão branco leitoso
Polímero Sintético Catiônico	Rapfloc C2030	Produquímica	Emulsão branco leitoso

Fonte: Autora, 2018.

As condições dos ensaios foram:

- Mistura rápida: gradiente de velocidade médio de 180 rpm (300 s^{-1}) e tempo de mistura de 30 s;
- Sedimentação: velocidades de sedimentação de $V_{s1} = 5,0 \text{ cm/min}$; $V_{s2} = 3,0 \text{ cm/min}$; $V_{s3} = 1,0 \text{ cm/min}$.

Os parâmetros avaliados foram:

- Água clarificada: turbidez, *Escherichia coli*, carbono orgânico total, ferro e manganês.

As soluções de polímeros utilizadas no condicionamento da ALF foram preparadas adicionando-se 1,0 g de produto concentrado em 1,0 litro de água, obtendo-se uma concentração de 1,0 g/L e agitando-se por 30 minutos até “abrir a cadeia”. O procedimento foi repetido para cada um dos dois polímeros utilizados no trabalho.

As dosagens de polímero utilizadas foram de 2,0, 4,0 e 6,0 mg/L, baseadas na literatura, em artigos científicos relacionados e em ensaios previamente realizados.

As amostras coletadas foram analisadas e os resultados obtidos foram inseridos no software de análise de dados (Protimiza Experimental) para que fosse possível relacionar as dosagens de polímeros com os parâmetros pré-estabelecidos para a água clarificada (turbidez, carbono orgânico total, *Escherichia coli*, ferro e manganês)..

4.4. MÉTODOS ANALÍTICOS E EQUIPAMENTOS

Os parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção que foram utilizados na pesquisa estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção

PARÂMETRO	UNIDADE	METODOLOGIA	LIMITE DE DETECÇÃO (LDM)
Alcalinidade Total	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico(*)	1
Amônia	mg/L	Espectrofotométrico – NESLER (*)	0,01
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	Plaqueamento (*)	1
Carbono Orgânico Total	mg/L C	Espectrofotométrico Infravermelho não Dispersivo – NPOC (*)	0,01
Coliformes Totais	UFC/100 mL	Membrana Filtrante (*)	1
Condutividade Elétrica	µS/cm	Potenciométrico (*)	0,1
Cor Aparente	uH	Espectrofotométrico (*)	1
Cor Verdadeira	uH	Espectrofotométrico (*), com membrana 0,45 µm	1
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	Membrana Filtrante (*)	1
Fósforo	mg/L P	Espectrofotométrico (*)	0,001
Alumínio	mg/L Al	Espectrofotométrico (*)	0,001
Chumbo	mg/L Pb	EAA-Chama (*)	0,001
Cobre	mg/L Cu	EAA-Chama (*)	0,01
Ferro	mg/L Fe	EAA-Chama (*)	0,001
Manganês	mg/L Mn	EAA-Chama (*)	0,01
Níquel	mg/L Ni	EAA-Chama (*)	0,001
Zinco	mg/L Zn	EAA-Chama (*)	0,01
Nitrato	mg/L	Espectrofotométrico – UV (*)	0,001
Nitrito	mg/L	Espectrofotométrico (*)	0,001
NTK	mg/L	Titrimétrico (*)	0,01
pH	Adimensional	Potenciométrico (*)	0,01
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	Gravimétrico	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	Gravimétrico	0,1
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico	
Turbidez	uT	Nefelométrico (*)	0,1

*Segundo APHA (2005) – Standard Methods

Os equipamentos utilizados nos ensaios e as respectivas finalidades estão indicados no Quadro 5.

Quadro 5: Equipamentos utilizados na pesquisa

EQUIPAMENTOS	FINALIDADE
Analisador de Carbono Orgânico Total TOC-L – marca SHIMADZU	Análise de carbono orgânico total
Balança Eletrônica BL 210 S – marca Sartorius	Pesagem de produtos químicos
Condutivímetro	Leitura da condutividade elétrica
Espectrofotômetro, modelo DR/3900	Leitura de cor, alumínio, fósforo, amônia, nitrito
Espectrofotômetro, modelo CARY	Análise de nitrato
Espectrofotômetro de absorção atômica, modelo AA – Analyst 700 - marca Perkin Elmer	Análises de metais
pHmetro (potenciômetro), modelo 230 - marca Orion	Leitura de pH
Turbidímetro nefelométrico, modelo 2100P - marca Hach	Leitura da turbidez

Fonte: Autora, 2019; Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho estão apresentados a seguir, juntamente com sua respectiva discussão.

5.1. PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A maneira mais eficaz de garantir a segurança de um sistema de abastecimento de água potável é a implantação e implementação de um Plano de Segurança da Água. Para o presente trabalho foi proposto um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros, com o objetivo de aplicar um plano integrado do sistema como um todo, focando não somente na produção de água potável mas, também, no tratamento adequado da água de lavagem de filtros.

Os componentes dos sistemas de abastecimento das Estações de Tratamento de Água, o tratamento proposto para o resíduo da água de lavagem de filtros, bem como a identificação e caracterização de perigos e riscos associados aos sistemas de abastecimento, juntamente com suas medidas de controle, foram analisados para a elaboração dos Planos de Segurança da Água de Lavagem de Filtros (PSALF) das ETAs 1 e 2 de forma individual, subdividindo-se em:

- Caracterização da Bacia Hidrográfica e Uso e Ocupação do Solo dos Mananciais que abastecem a Estação de Tratamento de Água;
- Caracterização das Águas Superficiais – Mananciais de Abastecimento da Estação de Tratamento de Água;
- Descrição Geral da Estação de Tratamento de Água;
- Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água;
- Ensaio de Clarificação com a Água de Lavagem de Filtros;
- Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento de Água;
- Medidas de Controle Recomendadas para os Perigos e Riscos identificados no Sistema de Abastecimento de Água.

No entanto, como ambas as Estações de Tratamento de Água estão localizadas na mesma bacia hidrográfica, elas possuem informações idênticas referentes ao item

“Caracterização da Bacia Hidrográfica e Uso e Ocupação do Solo dos Mananciais que abastecem a Estação de Tratamento de Água”. Em virtude disso, esse item foi apresentado inicialmente.

5.1.1. Caracterização da Bacia Hidrográfica e Uso e Ocupação do Solo dos Mananciais que abastecem as Estações de Tratamento de Água

As Estações de Tratamento de Água estudadas neste trabalho estão situadas no estado de São Paulo, na Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (Figura 12). As características gerais da Bacia Hidrográfica estão apresentadas no Quadro 6, segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

Figura 12: Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré



Fonte: SigRH, 2019.

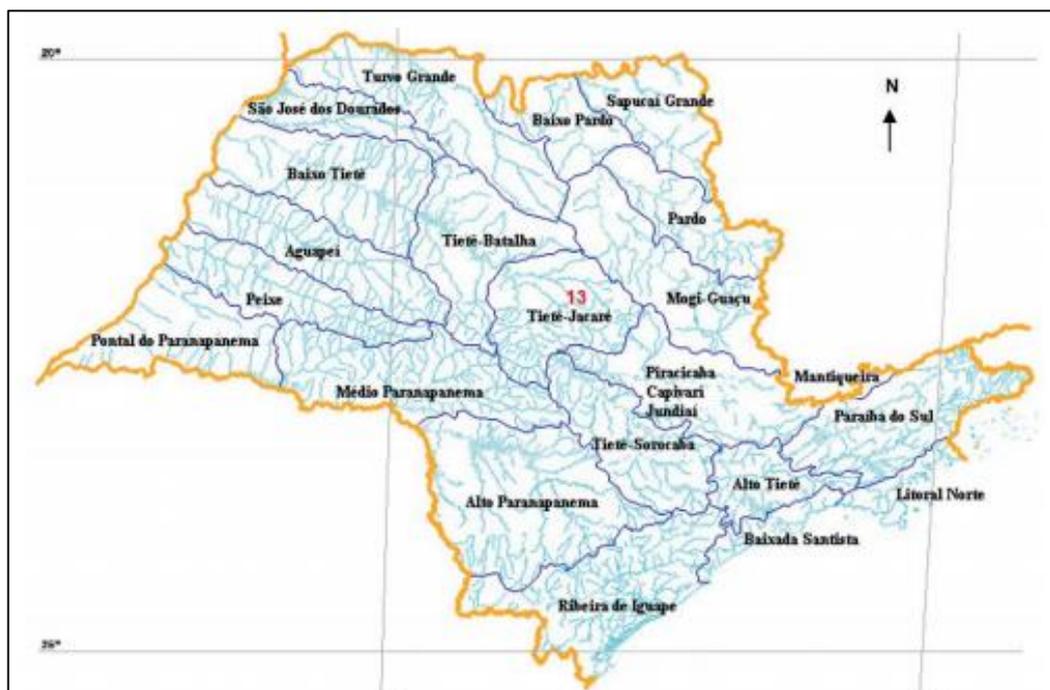
Quadro 6: Características Gerais da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré

ITEM	DESCRIÇÃO
Área de drenagem	11.779 km ²
População	1.462.855 habitantes
Principais rios	Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira
Reservatórios	Bariri, Ibitinga e Lobo
Principais atividades econômicas	Estão ligadas principalmente à agroindústria (açúcar, álcool, processamento de cítricos). Nos maiores municípios como Bauru, São Carlos, Araraquara e Jaú outros setores da indústria como papel, bebidas, calçados e metal mecânica também se destacam.
Vegetação remanescente	Apresenta 1.106 km ² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 9% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana.
Unidades de Conservação	APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá, APA Ibitinga, EE Sebastião Aleixo da Silva (Bauru), EE de Itirapina, EE de São Carlos, FE de Pederneiras, RPPN Reserva Ecológica Amadeu Botelho e RPPN Olavo Egydio Setubal
Municípios	Agudos, Araraquara, Arealva, Areiópolis, Bariri, Barra Bonita, Bauru, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Borebi, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Iacanga, Ibaté, Ibitinga, Igarçu do Tietê, Itaju, Itapuí, Itirapina, Jaú, Lençóis Paulistas, Macatuba, Mineiros do Tietê, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Manuel, Tabatinga, Torrinha, Trabiju

Fonte: SigRH, 2019.

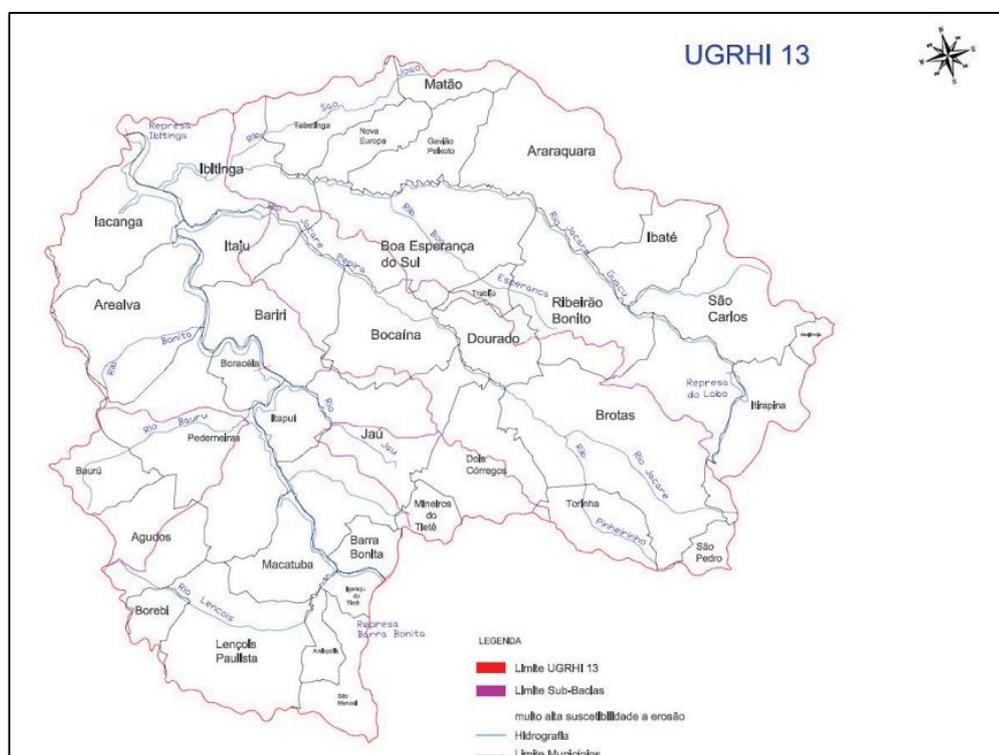
O Estado de São Paulo tem atualmente 22 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHIs). A Figura 13 mostra essas unidades de gestão e sua distribuição espacial no Estado de São Paulo, destacando-se a unidade de gestão nº 13 que é a bacia do Tietê/Jacaré, localizada no centro do Estado. A Figura 14 delinea as características principais da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré com seus municípios (TUNDISI *et al.*, 2008).

Figura 13: Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (22 unidades)



Fonte: TUNDISI *et al.*, 2008.

Figura 14: Municípios da bacia hidrográfica Tietê-Jacaré

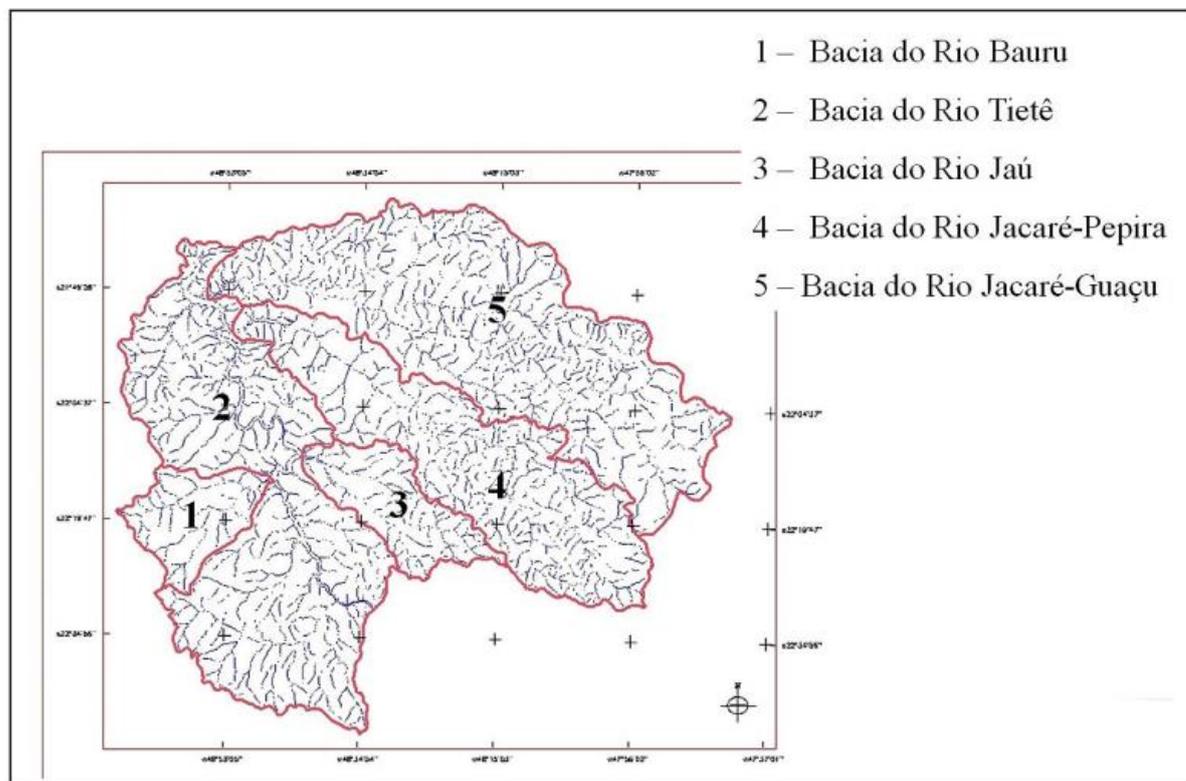


Fonte: TUNDISI *et al.*, 2008.

De acordo com Tundisi *et al.* (2008), “essa bacia hidrográfica, localizada no centro do Estado de São Paulo (entre 49°32’ - 47°30’ longitude e 21°37’ - 22°51’ de latitude), engloba três rios principais, o Rio Tietê (em um total de 150 km da barragem de Barra Bonita até a barragem da Ibitinga), o Rio Jacaré-Guaçu e o Rio Jacaré Pepira. A essa unidade pertencem três reservatórios: Bariri, Ibitinga e UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). A área de drenagem da bacia é de 11.749 km². O clima dessa unidade de gestão, pela classificação de Koppen, situa-se entre clima tropical úmido (de outubro a março) e inverno seco (de abril a setembro). O relevo é variável com o ponto máximo de altitude a 800 m na região de São Carlos onde se encontram as numerosas nascentes que alimentam a bacia hidrográfica. A unidade Tietê/Jacaré está na Depressão Periférica do Estado de São Paulo e onde se encontram os aquíferos Bauru/Serra Geral/Botucatu. Em sua maioria, a bacia é formada por solos de areias quartzosas profundas a moderadas e em menores quantidades ocorre latossolo roxo eutrófico”.

A Figura 15 mostra as principais sub-bacias da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré.

Figura 15: Divisões das principais sub-bacias da bacia do Tietê-Jacaré



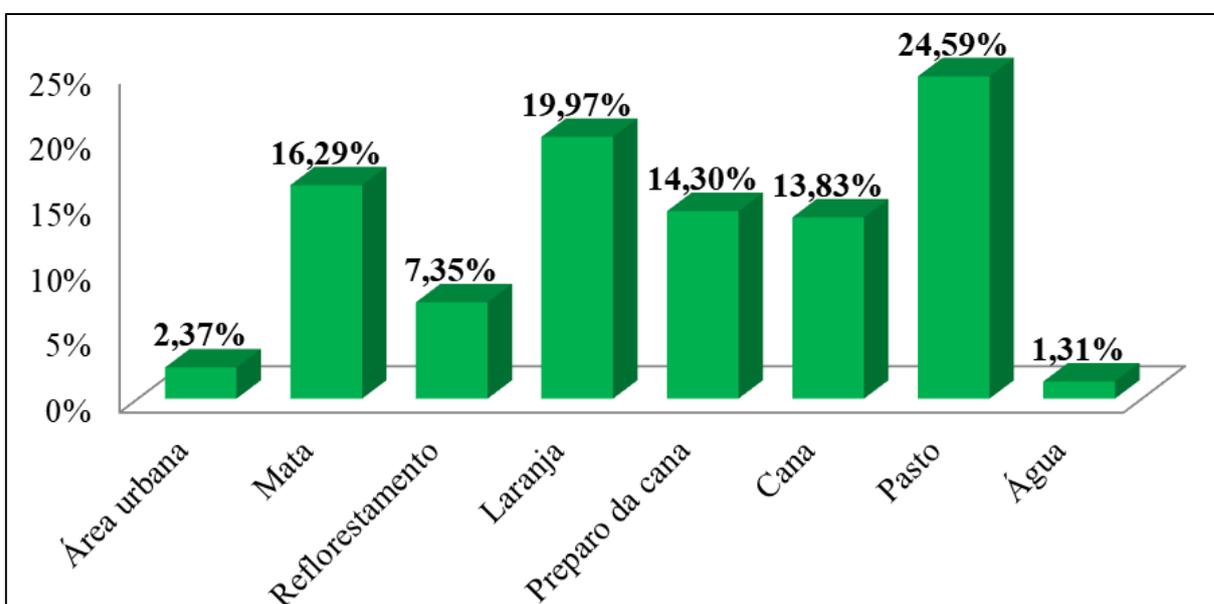
Fonte: TUNDISI, *et al.*, 2008.

As principais atividades econômicas dos municípios pertencentes à bacia do Tietê-Jacaré são o agronegócio (usinas de açúcar e álcool, mineração, curtumes e fundições). Portanto, o uso do solo é caracterizado por atividade agroindustrial (TUNDISI *et al.*, 2008).

Na zona rural encontram-se cultivos de cana-de-açúcar, laranja, pastagens e área de reflorestamento (*Eucaliptus sp* e *Pinus sp*), restando cerca de 11,3% de área de vegetação nativa na bacia do Tietê-Jacaré (TUNDISI *et al.*, 2008).

A Figura 16 apresenta os usos do solo na bacia Tietê-Jacaré.

Figura 16: Uso e ocupação do solo da Bacia Tietê-Jacaré



Fonte: Adaptado. Baseado em imagem Landsat (2004) *apud* Tundisi, *et al.* (2008).

Em razão do uso e ocupação do solo, atividades econômicas e das áreas urbanas, a bacia do Tietê-Jacaré está suscetível a algumas vulnerabilidades, como:

- Lançamento de resíduos domésticos (esgotos) sem tratamento na maioria dos municípios da bacia hidrográfica, agravando as condições de contaminação e eutrofização de rios e represas (PAMOLARE, 2001).
- Extensas áreas de ocupação do solo com culturas, produzindo grandes quantidades de matéria em suspensão, o que causa perda de 20 ton x hectare⁻¹ x ano⁻¹ do solo, colmatando rios e represas e comprometendo a qualidade da água. A aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo aumenta a vulnerabilidade dos corpos de água a estes contaminantes e aumenta os custos do tratamento das águas (TUNDISI *et al.*, 2008).

- Aumento das fontes não-pontuais de nitrogênio e fósforo (TUNDISI *et al.*, 2008).
- A ausência de vegetação em grande área da bacia compromete o efeito tampão desta vegetação, aumentando a drenagem e carreando substâncias e elementos para os corpos de água (TUNDISI *et al.*, 2006).
- As áreas alagadas que também podem ter um efeito-tampão importante na bacia hidrográfica (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008) ficam comprometidas pelo avanço das áreas agrícolas. A redução dessas áreas é uma das grandes vulnerabilidades da bacia hidrográfica (TUNDISI *et al.*, 2008).
- Comprometimento dos rios urbanos em razão da degradação das áreas urbanas e da má gestão ambiental nos municípios. Esse comprometimento dos rios urbanos na maioria dos municípios atinge toda a bacia, despejando água contaminada nos rios principais (TUNDISI *et al.*, 2008).
- Aumento da demanda da água nas regiões urbanas e aumento dos usos da água para irrigação, especialmente durante os períodos de seca e inverno, agravando o déficit hídrico natural existente nesse período (TUNDISI *et al.*, 2008).
- Comprometimento dos aquíferos pelo uso desordenado do solo, despejo de resíduos. Comprometimento da recarga pela deficiência da vegetação e aumento da contaminação dos aquíferos (TUNDISI *et al.*, 2008).
- Perda de espécies nativas terrestres e aquáticas pela ausência da vegetação, poluição das águas e introdução de espécies exóticas de peixes nos reservatórios (ROCHA *et al.*, 2005).
- Uma das vulnerabilidades recentes na bacia hidrográfica é a presença do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), espécie invasora que tem produzido inúmeros danos aos sistemas aquáticos, e alterando canais, tubulações e estruturas com prejuízos para a sua manutenção. Essa espécie invasora já causou danos extensos em represas e estruturas da bacia da Prata (PENCHASZADEH, 2005).
- Os usos múltiplos da água na bacia hidrográfica são diversificados: abastecimento público; transporte e navegação nos reservatórios; pesca e aquicultura; irrigação; turismo e recreação nos rios e reservatórios; usos industriais; curtumes e mineração. O conjunto desses usos gera resíduos que contribuem para o aumento das vulnerabilidades da bacia hidrográfica (TUNDISI *et al.*, 2008).

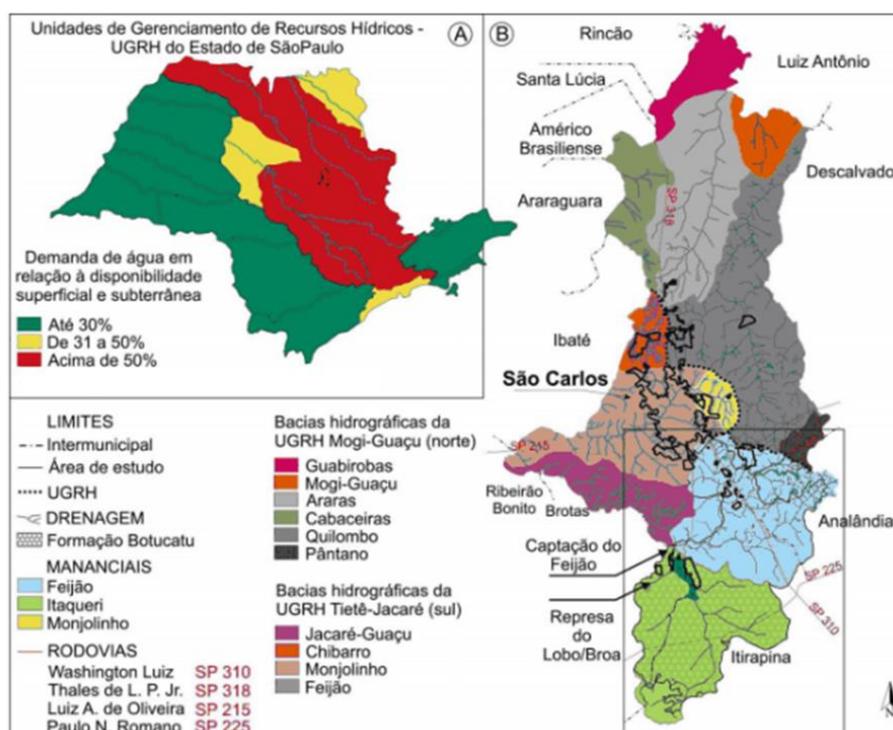
5.1.2. Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – PSALF ETA 1

As informações referentes ao Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 estão apresentadas a seguir.

5.1.2.1. Caracterização das Águas Superficiais – Mananciais de Abastecimento da Estação de Tratamento de Água 1

A Estação de Tratamento de Água 1 (ETA 1) é abastecida por dois rios: Ribeirão do Feijão e Monjolinho, os quais são apresentados no mapa da Figura 17.

Figura 17: Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento (ETA 1)



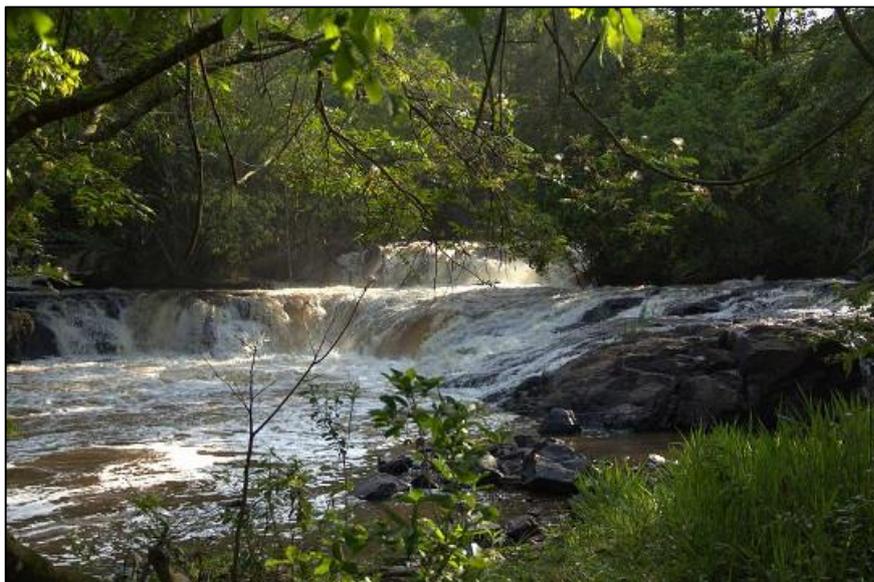
Fonte: Adaptado de (A) São Paulo (2009) e (B) Tundisi *et al.* (2007) *apud* Neves, J. A. (2015).

5.1.2.1.1. Ribeirão do Feijão

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (BHRF), sub-bacia do Tietê-Jacaré, drena uma área de, aproximadamente, 22,8 km² e é cortada ao meio pela Rodovia Washington Luís.

O Ribeirão do Feijão (Figuras 18 e 19) é um rio de classe 2, possui 13 km de comprimento, suas primeiras nascentes ficam no alto da Serra do Cuscuzeiro em Analândia e sua foz no Rio Jacaré-Guaçu (HIDRO – UFSCAR, 2010).

Figura 18: Ribeirão do Feijão



Fonte: UFSCAR, 2017.

Figura 19: Ribeirão do Feijão com mata ripária



Fonte: Dias, *et al.*, 2014.

A bacia do Ribeirão do Feijão está inserida na Área de Proteção Ambiental Corumbataí (APA) e na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), maior reservatório de água doce do mundo. É protegida pelas leis nº 13.691/2005, que institui o Plano Diretor Municipal e nº 13.944/2006, que dispõe sobre a criação da Lei de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município (APREM). No entanto, há uma gestão desintegrada do solo e da água, o que mostra a existência de falhas no cumprimento da legislação devido a concessões de usos do solo para fins urbanos e industriais em áreas de mananciais e, também, nota-se a ausência de monitoramento de áreas suscetíveis à erosão (NEVES, 2015).

Os sistemas de produção agrícola na região sudeste são caracterizados por monocultivos em grandes áreas, os quais utilizam maquinários e insumos químicos. Tais práticas favorecem o surgimento de processos erosivos no solo, sedimentação e contaminação dos corpos d'água. Nota-se a perda da biodiversidade e desequilíbrios cumulativos nessas regiões devido à compactação do solo pelo uso de máquinas agrícolas, uso de pesticidas e desmatamento da vegetação (NEVES, 2015).

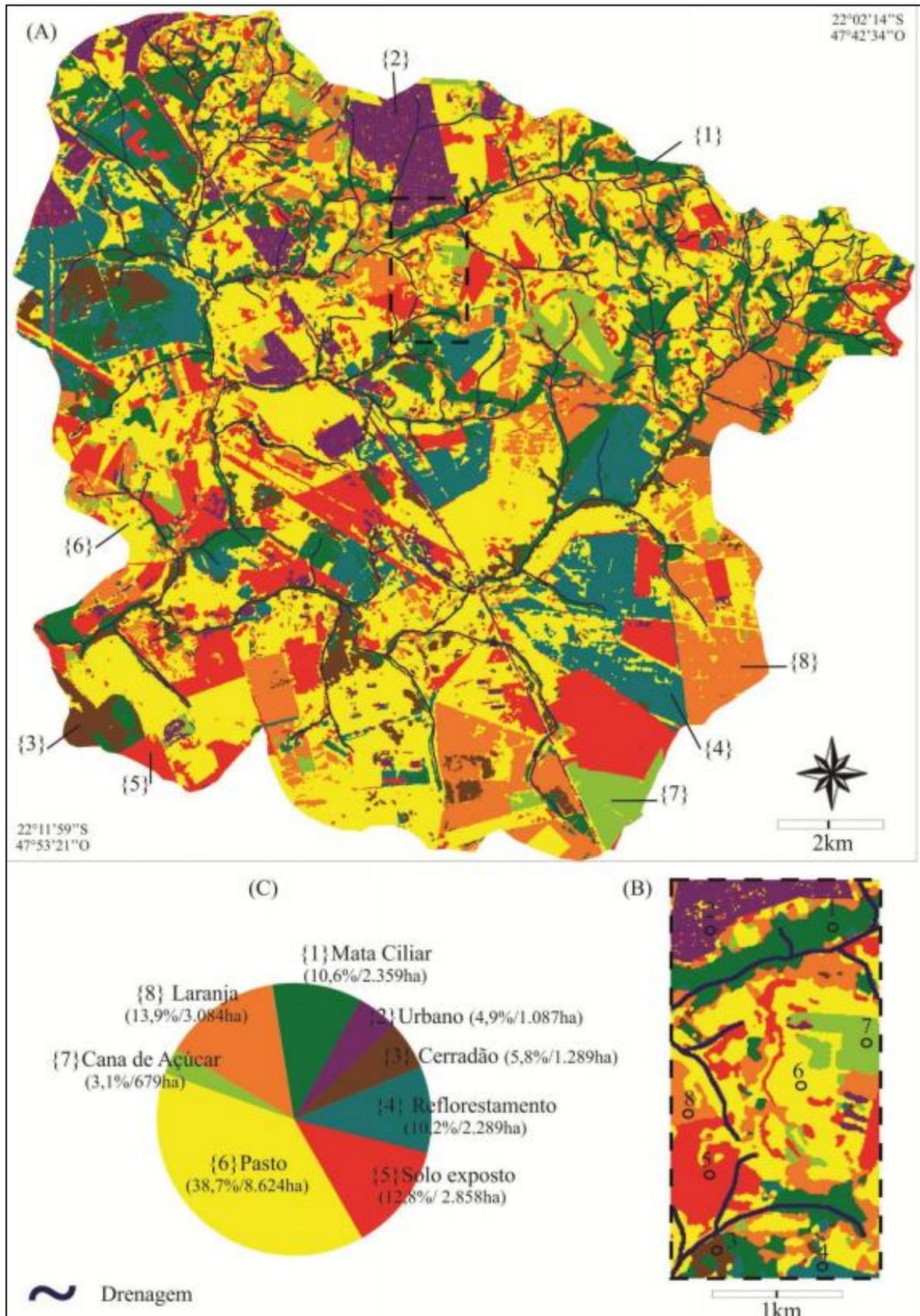
O artigo 4 da Lei nº 13.944/2006 (SÃO CARLOS, 2006) incentiva a proteção e recuperação dos mananciais. No entanto, segundo Neves (2015), o mapeamento da bacia, neste mesmo ano de promulgação da lei, indicou a presença de atividades potencialmente degradantes em nascentes, declives superiores à 45° e nas margem dos rios (Figura 20).

De acordo com Neves (2015), o mapa pedológico (Figura 21), da área de estudo, indicou o predomínio de areia quartzosa profunda em 42% e latossolo vermelho amarelo em 33% da bacia. A areia quartzosa profunda não possui argila em sua composição, portanto possui raso poder de agregação do solo. Localizada na região mais plana da bacia, favorece a sedimentação da bacia visto que há baixa retenção do solo. Já o latossolo vermelho-amarelo é encontrado nas partes altiplanas da bacia, onde localizam-se várias nascentes dos rios. Devido suas condições físicas favorecerem o agregamento do solo, é um tipo de solo receptivo à mecanização, portanto além dos cultivos é necessária a proteção das APPs.

Após seus estudos, Neves (2015) elaborou o Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, apresentado na Figura 22.

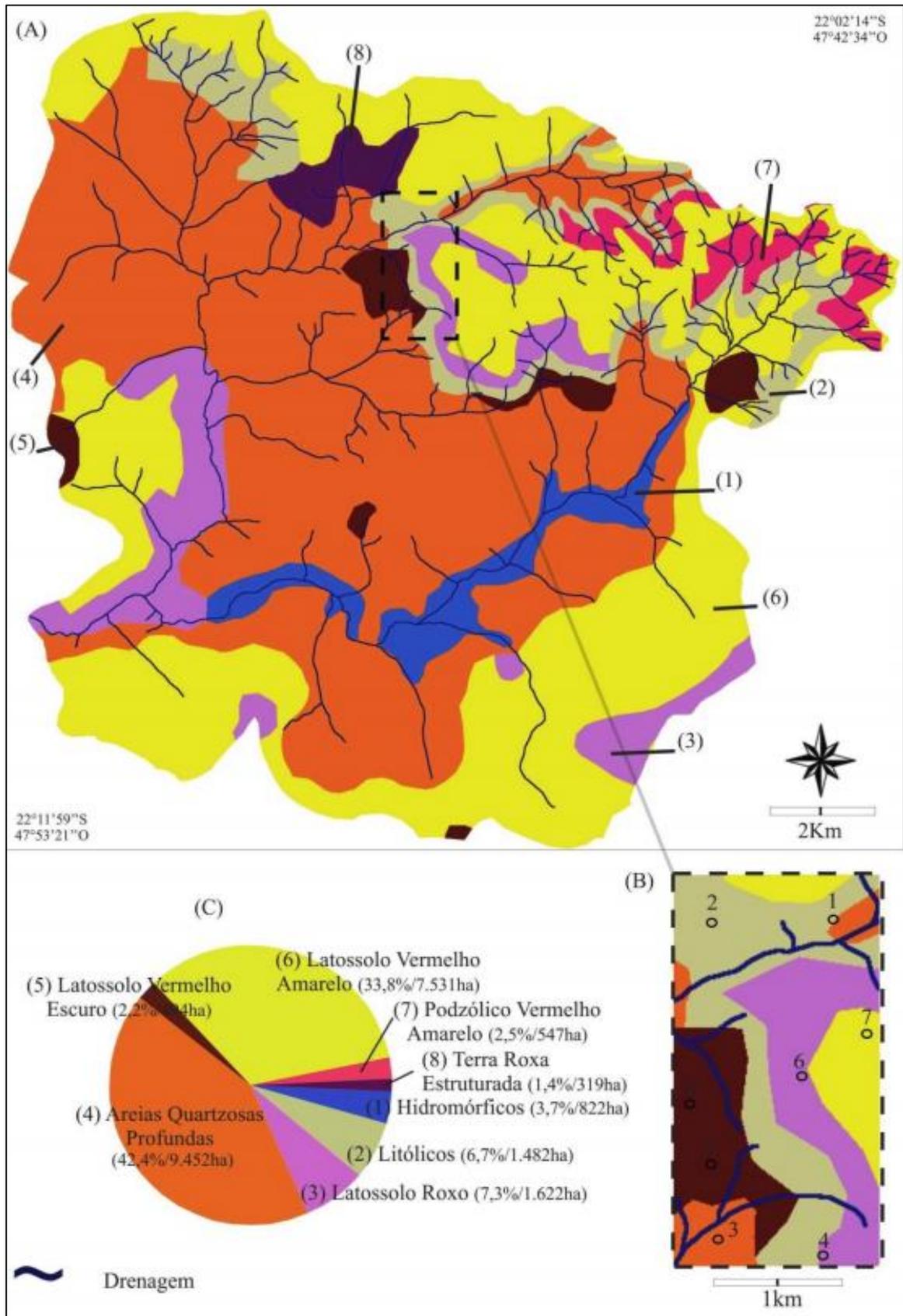
Segundo dados fornecidos pela ETA 1, os parâmetros analisados na água do Ribeirão do Feijão estão de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005 – Art. 15 (BRASIL, 2005).

Figura 20: Mapa de uso e cobertura do solo da BHRF



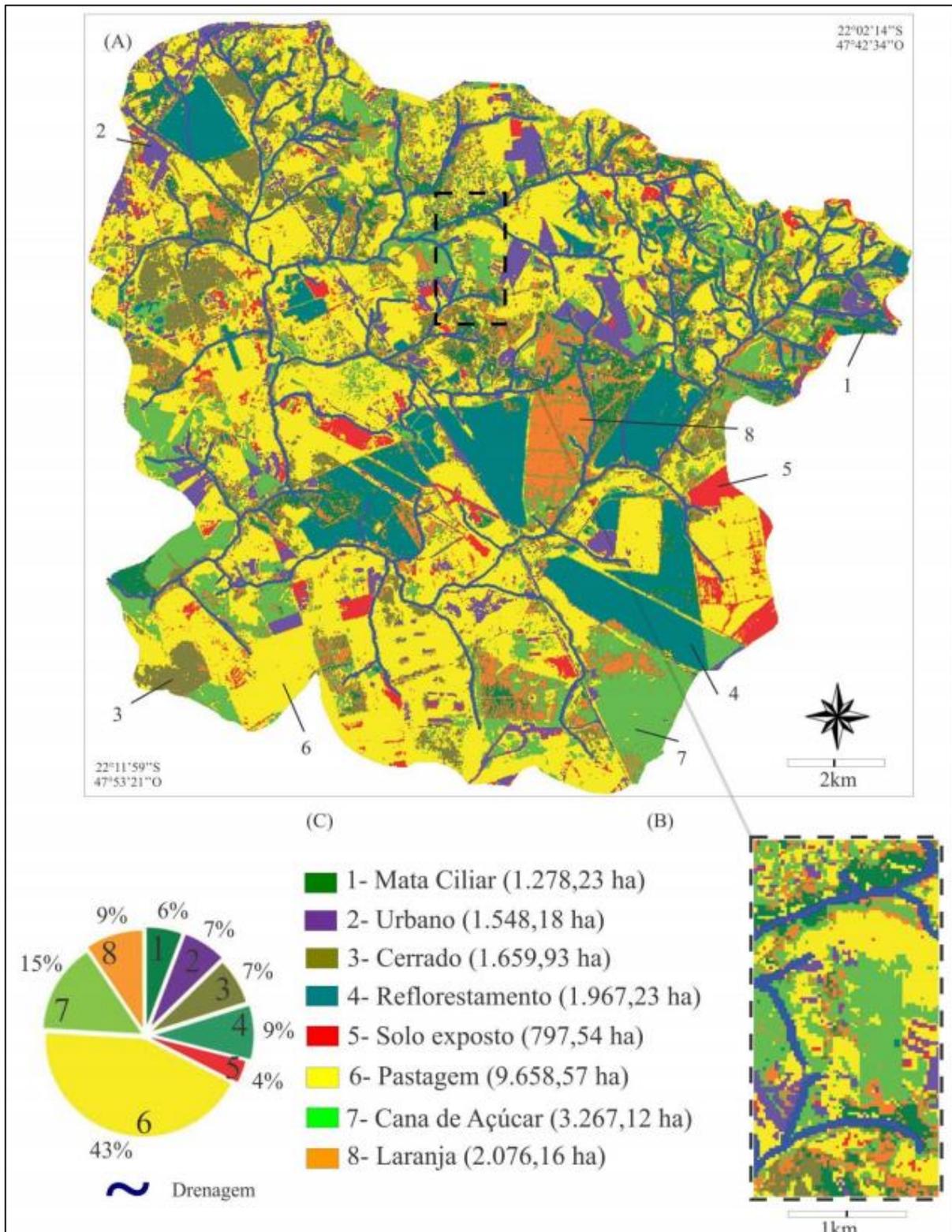
Fonte: Cunha (2011) *apud* Neves, J. A. (2015).

Figura 21: Mapa pedológico da BHRF



Fonte: Adaptado de Oliveira e Prado (1984) *apud* Neves (2015).

Figura 22: Mapa de uso e ocupação do solo da BHRF



Fonte: Neves, 2015.

5.1.2.1.2. Ribeirão Monjolinho

O Ribeirão Monjolinho (Figura 23) integrado à Bacia Hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu (Figura 24), é um rio classe 2, sendo um dos principais afluentes do rio Tietê. Tem um área de drenagem de 274 km² e se encontra quase totalmente em São Carlos (SP), município este que tem a economia fundamentada em atividades industriais e agropecuárias (REZENDE, 2011).

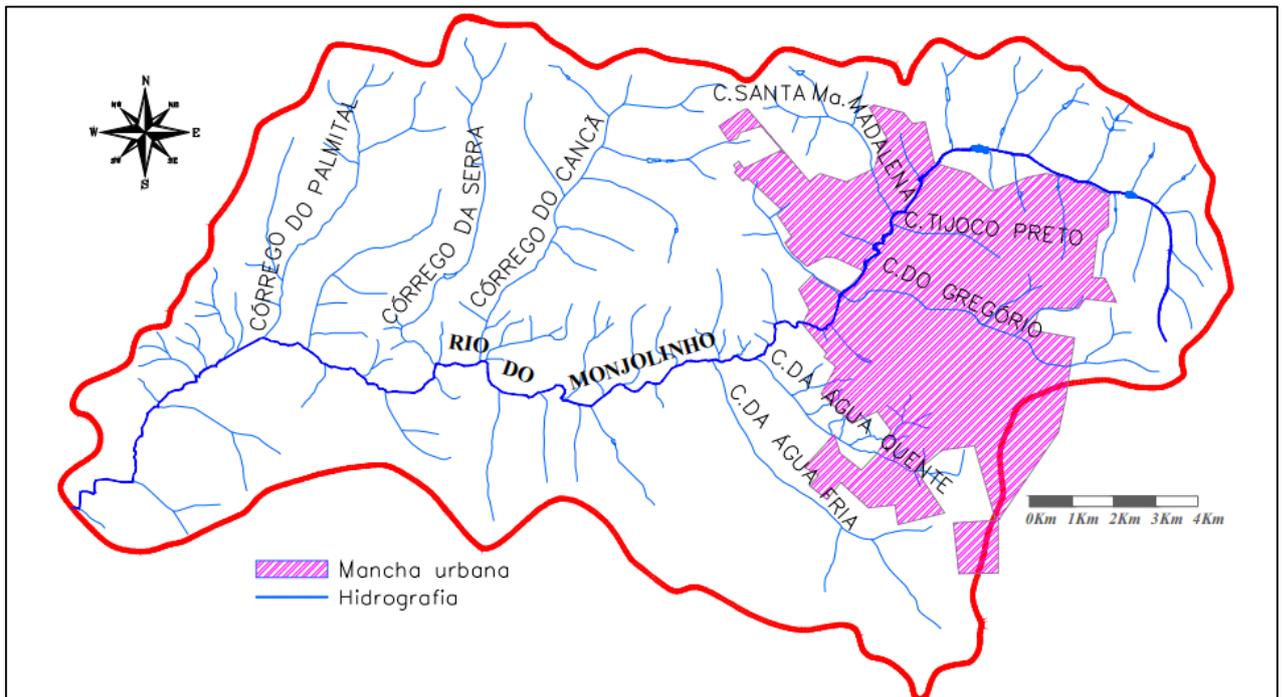
Na área urbanizada o Ribeirão Monjolinho recebe grandes contribuições de águas residuárias e efluentes industriais (curtumes, papel, tinta, matadouros, alimentos entre outros). Estes chegam ao corpo d' água através do lançamento em seus afluentes que são: o Tijuco Preto, o córrego do Gregório e o Santa Maria Madalena (BARRETTO, 1999).

Figura 23: Ribeirão Monjolinho



Fonte: São Carlos Cidade das Águas, 2011.

Figura 24: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolinho



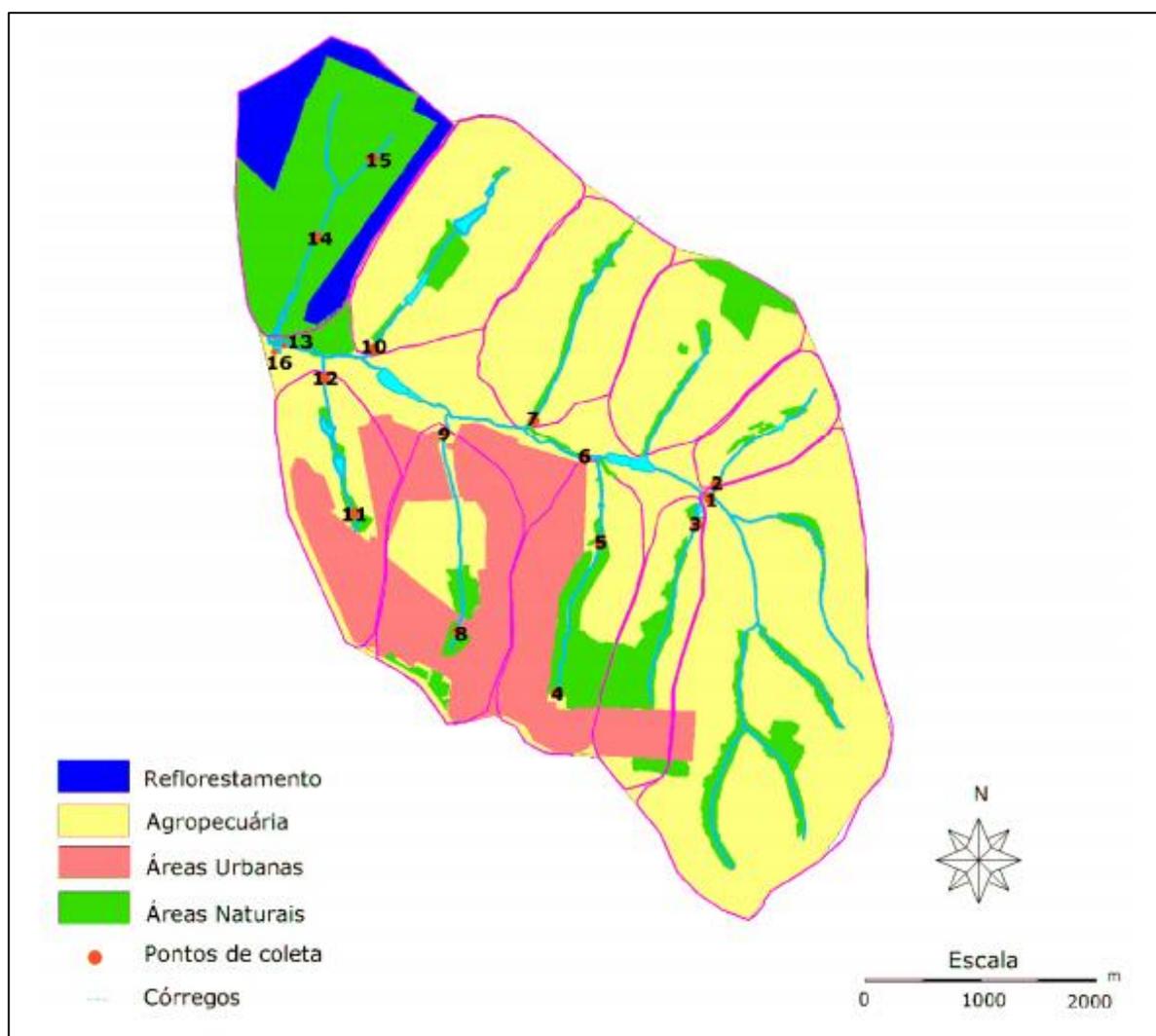
Fonte: CDCC – NIBH – SHS/EESC/USP *apud* Garavello, J. P., 2009.

A cidade de São Carlos fica próxima dos mananciais da sub-bacia do Monjolinho. Como consequência, as áreas urbanas estão se expandindo ao longo desses corpos hídricos, principalmente dos afluentes localizados na margem esquerda do rio. Para controlar esse problema, a prefeitura instituiu a Lei Municipal nº 13.944, de 12/12/2006, que determina a criação de Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais (APREMs) (SÃO CARLOS, 2006).

Na região à montante da estação de captação de água do Espraiado, o Ribeirão Monjolinho recebe nove afluentes, sendo: Jatobá, Dois Portões, Cascavel, Martinha, Espraiado, Douradinho, São Rafael, Ponte de Tábua e Belvedere (SOUZA, 2011).

Após seus estudos, Souza (2011) apresentou que a parte superior da bacia hidrográfica do Monjolinho à montante da estação de captação de água do Espraiado tem uma área total de 26.467.740 m², da qual 60,1% é destinada à agropecuária (Figura 25). Destaca, também, que na margem direita do Ribeirão Monjolinho há várias fazendas, cujas atividades envolvem plantações de cana-de-açúcar, pecuária, hortas comerciais e criação de frangos de corte. Já na margem esquerda apresenta ocupação urbana devido à expansão da cidade de São Carlos, que está muito próxima aos córregos afluentes.

Figura 25: Caracterização do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Monjolinho à montante da estação de captação do Espreado



Fonte: Souza, 2011.

De acordo com Souza (2011), a área urbana corresponde a 17,6% da ocupação do solo na parte estudada da sub-bacia do Rio Monjolinho e as áreas preservadas ocupam 18,8%, principalmente nas margens dos córregos.

Em seus estudos, Souza (2011) concluiu que 67% das áreas da sub-bacia do Ribeirão Monjolinho são ocupadas por agropecuária.

Segundo dados fornecidos pela ETA 1, os parâmetros fósforo total (ambiente lântico) e pH analisados na água do Ribeirão Monjolinho estão em desacordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005 – Art. 15 – Tabelas 1 e 2 – Classe 2 (BRASIL, 2005).

5.1.2.2. Descrição Geral da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

A Estação de Tratamento de Água 1 está localizada em um município no interior do estado de São Paulo. Foi construída na década de 1950 e já passou por várias reformas. Utiliza a tecnologia de ciclo completo – coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção – com captação de água do Ribeirão do Feijão e Ribeirão Monjolinho, com uma vazão média de 480 L/s (mínima de 370 L/s e máxima de 550 L/s), sendo em torno de 200 L/s proveniente do primeiro manancial e 280 L/s do segundo.

A Estação de Tratamento de Água 1 abastece 48% da população do município em que está localizada e os outros 52% são abastecidos por poços de águas subterrâneas e uma ETA de dupla filtração.

A Figura 26 apresenta uma vista geral da Estação de Tratamento de Água 1.

Figura 26: Vista aérea da Estação de Tratamento de Água 1 - ETA 1



Fonte: SAAE, 2020.

A ETA 1 possui uma unidade para coagulação e mistura rápida (*calha parshall*), dois floculadores mecanizados com quatro câmaras em série em cada floculador, três decantadores convencionais em paralelo, sete filtros em paralelo com escoamento descendente de taxa constante e desinfecção com cloro.

A descrição das etapas da ETA 1 estão apresentadas a seguir.

5.1.2.2.1. Etapas de Coagulação e Mistura Rápida

A água que entra na Estação de Tratamento de Água 1 é proveniente do Ribeirão do Feijão e Monjolino, conforme descrito anteriormente. Assim que entra na ETA 1, a água recebe uma dosagem do coagulante sulfato de alumínio, para que ocorra a coagulação no mecanismo de varredura, e cal, para ajuste de pH. Essa dosagem é definida em função das características da água bruta.

As Figuras 27 e 28 mostram a entrada da água bruta na ETA 1 e a adição dos produtos químicos (coagulante sulfato de alumínio e cal), respectivamente.

Figura 27: Entrada de água bruta na ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

Figura 28: Adição de coagulante sulfato de alumínio e cal na ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

Para dosar o coagulante, os operadores seguem três tabelas distintas, sendo que duas apresentam a solução de Sulfato de Alumínio (5% e 10%) e outra se refere à dosagem desse coagulante. As tabelas ficam expostas na sala dos operadores e estão apresentadas nas Tabelas 20, 21 e 22, nos Apêndices.

Na ETA em questão, a coagulação ocorre na unidade de mistura rápida do tipo hidráulica (*calha parshall*), com 0,61 m de garganta, que também é utilizada para medir vazão.

5.1.2.2.2. Etapa de Floculação

A água coagulada é direcionada para a etapa de floculação por meio da divisão do canal de água coagulada, onde é submetida à agitação lenta durante o tempo necessário para que os

flocos alcancem o tamanho e a massa específica suficiente para que sejam removidos por sedimentação (nos decantadores).

A ETA 1 possui dois flocladores com quatro câmaras em série em cada floclador, com paletas verticais para agitação, e são escalonadas, ou seja, os primeiros flocladores possuem um gradiente de velocidade maior e vai diminuindo até o último. Isso acontece para proporcionar aumento de tamanho nos flocos e para evitar sua ruptura.

As câmaras de floclação (flocladores mecanizados) estão apresentadas na Figura 29.

Figura 29: Flocladores mecanizados da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

5.1.2.2.3. Etapa de Decantação

A ETA 1 possui três decantadores convencionais em paralelo (Figura 30). Há a junção da água floclada proveniente dos dois flocladores e, em seguida, é dividida igualmente entre os decantadores através de um único canal e permanece por duas horas para que ocorra a sedimentação dos flocos.

Na saída dos flocladores, a água é dividida para os três decantadores. Como a tendência de direcionamento da água é ir em linha reta, existem cortinas submersas de madeiras com orifícios utilizadas para aumentar a velocidade da água, ocasionando perda de carga, e para que ela possa ser distribuída para todos os decantadores de maneira mais uniforme.

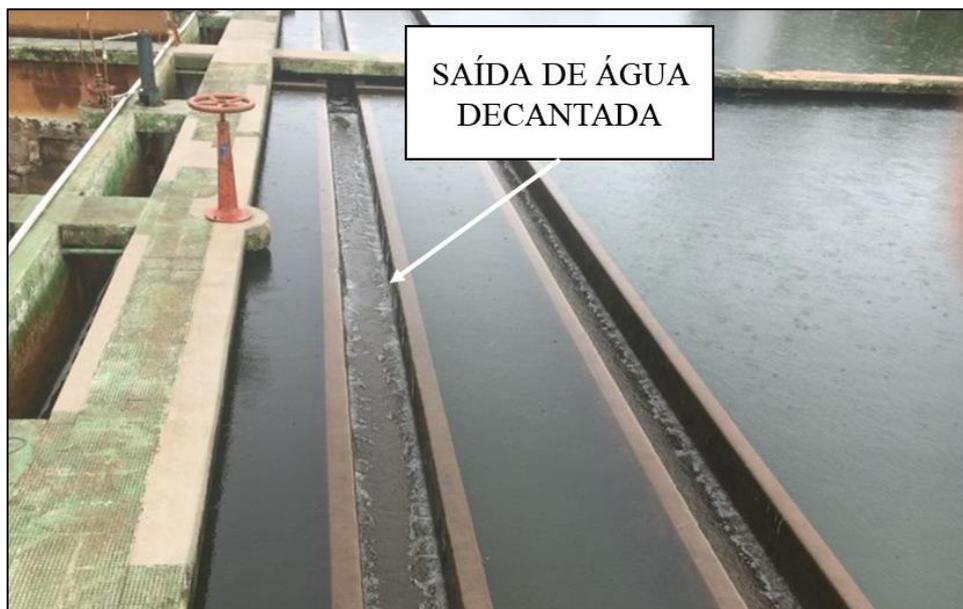
Figura 30: Decantadores convencionais da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

A Figura 31 apresenta a saída de água decantada para os filtros.

Figura 31: Saída de água decantada para os filtros da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

Os decantadores da ETA 1 são limpos a cada três meses, manualmente, gastando em torno de 3,6 dias para serem lavados, ou seja, a remoção do lodo é feita periodicamente.

5.1.2.2.4. Etapa de Filtração

Na ETA 1, a água clarificada é encaminhada para a etapa de filtração em unidades com escoamento descendente, contendo materiais granulares, neste caso, areia.

Possui sete filtros com escoamento descendente de taxa constante (Figuras 32 e 33), sendo que um deles está parado para reforma e manutenção (Figura 34). Cada carreira de filtração dura vinte e quatro horas. Cada filtro possui duas câmaras de filtração, com 8,0 m de comprimento e 2,6 m de largura cada, com seis calhas de coleta de água de lavagem por câmara.

A área filtrante de cada filtro é de 41,6 m², sendo 20,8 m² de cada câmara.

Operando com seis filtros e vazão de 550 L/s, a taxa média de filtração é de 190 m³/m²/d.

Figura 32: Vista dos filtros da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

Figura 33: Filtro descendente da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

Figura 34: Filtro descendente em reforma da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

A saída de água filtrada fica na galeria inferior da ETA, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35: Saída subterrânea de água filtrada da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

5.1.2.2.5. Etapa de Desinfecção

A água filtrada é encaminhada para um reservatório com capacidade de 1.600 m³, onde receberá a dosagem de cloro para desinfecção, flúor (fluorssilicato de sódio) e ajuste de pH.

A água tratada é distribuída por gravidade e por bombeamento para o abastecimento público.

Atualmente, a ETA produz cloro ao invés do gás cloro através de um gerador de hipoclorito de sódio gerado a partir de cloreto de sódio, apresentado na Figura 36.

Figura 36: Gerador de hipoclorito de sódio para desinfecção da ETA 1



Fonte: Autora, 2017.

5.1.2.2.6. Processo de Lavagem dos Filtros

Na ETA 1, a lavagem dos filtros ocorre diariamente, de forma ascendente (velocidade ascensional média de 0,72 m/min), somente com água, com uma carreira de filtração de 24 h, uma câmara de cada vez.

A água utilizada para lavagem dos filtros é proveniente do poço de sucção de água tratada, o qual recebe água do reservatório da ETA.

Os filtros são lavados no período noturno, à meia-noite, devido a utilização de água proveniente do reservatório de água tratada que abastece a rede de distribuição. Caso fossem lavados durante o dia, poderiam prejudicar o abastecimento público de água.

O operador realiza as seguintes etapas para lavagem de cada um dos filtros:

- Fechar a entrada de água decantada no filtro;

- Abrir descarga da ALF (esgotar água filtrada);
- Ao final da descarga, iniciar lavagem apenas com água;
- Lavar a câmara de filtração 1 (esquerda);
- Tempo de lavagem depende da turbidez “visual” da ALF;
- Lavar a câmara de filtração 2 (direita);
- Tempo de lavagem depende da turbidez “visual” da ALF;
- Ao final da lavagem, fechar a válvula de descarga da ALF;
- Abrir entrada de água decantada;
- Fim da lavagem.

A seguir são apresentadas as etapas da lavagem dos filtros.

A Figura 37 apresenta um dos filtros em operação, seguida da Figura 38, onde ocorreu o fechamento da entrada de água decantada. A Figura 39 mostra o esgotamento da água dos filtros para iniciar a lavagem.

Figura 37: Filtro descendente em operação da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Figura 38: Fechamento da entrada de água decantada para iniciar lavagem do filtro da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Figura 39: Esgotamento de água para iniciar a lavagem do filtro da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Na Figura 40 o filtro está parado, aguardando o início da lavagem ascensional. O início da lavagem da câmara de um dos filtros pode ser observado na Figura 41.

Figura 40: Filtro da ETA 1 parado para iniciar a lavagem



Fonte: Autora, 2019.

Figura 41: Início da lavagem de uma câmara do filtro descendente da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Nota-se, pela Figura 41, que a água proveniente desse processo, denominada água de lavagem de filtros, possui uma turbidez elevada, ocasionando um grande impacto visual.

A quantidade de água utilizada para lavagem dos seis filtros é de, aproximadamente, 900 m³ por dia, o que resulta uma vazão de água de lavagem dos filtros em torno de 250 L/s durante os dez minutos de lavagem, a qual não recebe nenhum tipo de tratamento.

5.1.2.3. Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

Os resultados da caracterização físico-química e microbiológica das águas coletadas na Estação de Tratamento de Água 1 para os períodos chuvoso e de estiagem estão apresentadas a seguir.

5.1.2.3.1. Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1

A água bruta afluyente à ETA 1 é o resultado da mistura das águas brutas provenientes de dois mananciais classe 2, Ribeirão do Feijão e Monjolinho. A Tabela 2 apresenta o resultado da caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1.

Nota-se, pela Tabela 2, que o pH da água bruta sofreu pouca variação entre os períodos analisados, podendo ser explicado por alterações nas características da água, como, por exemplo, proliferação de alguns tipos de algas que podem causar a elevação do pH da água.

Os valores de pH de coagulação diferem entre si quando comparados entre as coletas. O recomendado para o tratamento em ciclo completo para que se ocorra a coagulação no mecanismo da varredura é que o pH esteja na faixa de 6,0 a 7,0. Nota-se que, na 2^a coleta, o pH resultou um valor abaixo de 6,0, podendo prejudicar a eficiência da etapa da coagulação. A água decantada sofreu influência dos valores do pH de coagulação, uma vez que a 2^a coleta também apresentou um pH inferior ao da 1^a coleta.

Tabela 2: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1 (1ª e 2ª coletas)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)				2ª COLETA (ESTIAGEM)			
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA	ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA
pH	-	6,28	6,23	6,54	6,96	6,53	5,77	5,82	6,21
turbidez	uT	35,3	36,9	3,6	0,9	7,69	8,04	1,11	0,3
cor aparente	uH	381	421	60	6	35	55	15	3
cor verdadeira	uH	162	4	7	3	8	3	2	2
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	11	13	13	18	11	12	11	16
condutividade elétrica	µs/cm	20,1	43,5	44,2	67,8	22,5	41,1	41	65,6
Sólidos Totais	mg/L	75,3	94,3	46,7	41,3	55,3	83	60,3	49,3
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	26,7	38,3	4,7	0,7	10	11,5	2,5	1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	48,6	56	42	40,6	45,3	71,5	57,8	48,3
Carbono Orgânico Total	mg/L C	6,68	7,58	5,37	3,98	2,5	2,31	6	2,04

*A tabela continua na próxima página.

Tabela 2: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 1 (1ª e 2ª coletas)

(continuação)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)				2ª COLETA (ESTIAGEM)			
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA	ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	220	350	33	ausentes	6	4	1	ausentes
Coliformes Totais	UFC/100 mL	950	870	51	ausentes	50	40	23	ausentes
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	140	130	8	ausentes	11	6	2	ausentes
Ferro Total	mg/L Fe	5,348	5,375	0,474	0,071	0,524	0,770	0,189	<0,001
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0,348	0,074	0,129	0,039	0,154	<0,001	<0,001	<0,001
Manganês Total	mg/L Mn	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Alumínio Dissolvido	mg/L Al	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinco Total	mg/L Zn	0,21	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Níquel Total	mg/L Ni	0,050	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fósforo Total	mg/L P	0,006	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002

Fonte: Autora, 2020.

No entanto, mesmo com um pH de coagulação inferior na 2ª coleta quando comparado com a 1ª coleta, o pH da água tratada se manteve, em ambas as coletas, dentro do recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5, Anexo XX (BRASIL, 2017), na faixa de 6,0 a 9,0.

A turbidez da água bruta no período chuvoso é maior que na estiagem, uma vez que há uma maior quantidade de sólidos que são arrastados das margens pelas chuvas. Valores de turbidez elevados requerem uma maior dosagem de coagulante, resultando maior volume de resíduos de ETA (lodo dos decantadores e ALF). Entretanto, em ambas as coletas, a turbidez não ultrapassou o valor máximo permitido para rios de classe 2, de 100 uT.

A turbidez da água coagulada está diretamente relacionada com a turbidez da água bruta pois, quanto mais elevado o valor da água bruta, maior será da água coagulada. Nota-se que a diferença entre a turbidez da água bruta e da coagulada é mínima, sendo ocasionada pela adição de coagulante e início da formação dos flocos.

Observa-se que o valor da turbidez da água decantada foi menor no período de estiagem. Valores de turbidez elevados na água decantada podem influenciar negativamente a turbidez da água filtrada e ocasionar a presença de microrganismos, como protozoários.

A turbidez da água tratada é um parâmetro importante no que se refere à segurança da água, uma vez que pode ser considerada um indicador indireto da presença ou ausência de microrganismos patogênicos de difícil detecção e quantificação, como os protozoários. Quanto menor a turbidez, menor a probabilidade da presença de patogênicos. O valor de turbidez para a 1ª coleta se apresentou maior do que o obtido na 2ª coleta. Isso pode ter sido ocasionado porque a 1ª coleta da água decantada apresentou turbidez um pouco elevada, interferindo negativamente na turbidez da água filtrada e, conseqüentemente, na água tratada.

A Portaria de Consolidação nº 5, no Anexo XX (BRASIL, 2017), estabelece que o valor máximo permitido de turbidez para a água tratada é 5,0 uT. Porém, esse valor diz respeito à água de distribuição. A legislação (BRASIL, 2017) estabelece que, para água pós-filtração em unidades de tratamento completo, o limite de turbidez seja de 0,5 uT em 95% das amostras, sendo que os outros 5% não podem ser superiores a 1,0 uT. De acordo com a Tabela 2, esse valor foi atendido nas duas coletas.

A cor aparente da água bruta, bem como a cor verdadeira, estão diretamente ligadas à turbidez, sendo que os maiores valores ocorreram no período em que houve chuvas. No entanto, mesmo no período de estiagem, o valor da cor aparente se apresentou relativamente elevado quando comparado com a turbidez, indicando a presença de matéria orgânica na água bruta afluyente à ETA.

Assim como a turbidez, os resultados para cor aparente da água coagulada são um pouco mais elevados do que na água bruta. No entanto, a cor verdadeira sofreu alteração significativa em relação à da água bruta, principalmente na 1ª coleta. Isso se deve ao fato da adição do coagulante na água bruta (quanto maior a turbidez, mais coagulante), o que forma um aglomerado de flocos, e está diretamente relacionado com a quantidade de sólidos suspensos na água.

Os valores de cor aparente e verdadeira da água decantada são condizentes com os valores de turbidez. Adota-se, como critério operacional, que a cor aparente da água decantada resulte valores inferiores a 20 uH e, na 1ª coleta, resultou um valor de 60 uH. No entanto, a cor verdadeira resultou um valor relativamente baixo, mostrando que as moléculas de substâncias húmicas e fúlvicas foram convenientemente coaguladas .

Na água tratada, os valores para cor aparente ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (15 uH) (BRASIL, 2017). Observa-se que no período chuvoso a cor aparente e a cor verdadeira continuam sendo maiores do que no período de estiagem.

A alcalinidade da água bruta não sofreu alteração de uma coleta para a outra, estando entre os valores comuns de alcalinidade para mananciais no Brasil (10 a 100 mg/L CaCO₃), sendo considerada uma medida total de substâncias presentes na água capazes de neutralizar ácidos. Para a faixa de pH da água bruta (entre 4,4 e 8,3), a alcalinidade é dada somente em função da presença de bicarbonatos. A análise desse parâmetro é importante porque pode influenciar na dosagem de alcalinizante para ajuste do pH de coagulação e na eficiência do processo.

A alcalinidade das águas coagulada, decantada e tratada possuem valores bem próximos nas duas coletas. No geral, resultaram valores um pouco mais elevados quando comparados à alcalinidade da água bruta devido à adição de alcalinizante na água para ajuste do pH de coagulação.

A alcalinidade da água tratada resultou um valor mais elevado do que na água decantada devido a aplicação de produtos químicos para que ela seja distribuída de maneira adequada. Nota-se que a 2ª coleta apresentou menor pH e, conseqüentemente, menor alcalinidade. Tal parâmetro não está estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5.

A condutividade sofreu pouca alteração entre as duas coletas e está relacionada com a quantidade de sólidos dissolvidos totais presentes na água. Se há sólidos dissolvidos, haverá condutividade elétrica.

Devido à grande quantidade de sólidos dissolvidos ser muito mais elevada do que a de sólidos suspensos, a água tratada apresenta, dentre todas, o maior valor para a condutividade elétrica. No entanto, esse parâmetro também não faz parte da Portaria de Consolidação nº 5.

Os valores de sólidos totais, tanto na água bruta como na água coagulada, são maiores no período chuvoso, justificando-se pelo arraste de sólidos presentes nas margens dos rios pela água da chuva. Nota-se que os sólidos suspensos correspondem a 35,5% dos sólidos totais no período chuvoso e a 18,1% no período de estiagem. A quantidade de sólidos dissolvidos totais atende ao máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 2 (500 mg/L).

Os sólidos totais da água decantada se apresentaram em maior quantidade na 2ª coleta, mesmo que valores de turbidez e cor aparente tenham sido menores. No entanto, 96% se apresentam sob a forma dissolvida.

Como é de se esperar, a maior parte dos sólidos presentes na água tratada está sob a forma dissolvida e não suspensa, e os resultados obtidos não ultrapassaram o máximo permitido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 1000 mg/L (BRASIL, 2017).

O carbono orgânico total na água indica a presença de moléculas orgânicas, incluindo matéria orgânica natural, possíveis microcontaminantes e subprodutos organoclorados. Valores elevados de COT na água bruta podem influenciar negativamente na qualidade da água tratada, pois pode ocorrer uma reação com o cloro e a formação de subprodutos organoclorados, que são tóxicos e carcinogênicos. Nota-se que na 2ª coleta o valor do COT foi três vezes menor do que a 1ª coleta, podendo ser justificado, mais uma vez, pelas chuvas, que proporcionam um ambiente com maior concentração de matéria orgânica.

Da mesma forma como ocorreu com a água bruta, o resultado obtido para COT foi mais elevado na 1ª coleta. É possível observar valores um pouco mais elevados de COT na água coagulada em relação ao da água bruta. Muitas vezes isso acontece devido à adição do coagulante, que possui compostos orgânicos sintéticos em sua composição, podendo ser nocivo ao ser humano.

O valor do COT da água decantada se apresentou próximo entre as duas coletas. No entanto, o valor da 2ª coleta da água decantada foi bem maior do que o obtido na 2ª coleta da água coagulada. A água decantada da 2ª coleta pode ter sofrido alguma influência de aumento de matéria orgânica nos decantadores ou o valor de COT da água coagulada pode ter sofrido interferência, uma vez que os flocos se sedimentam e podem não ser totalmente quantificados pelo método de detecção, o que resultaria um valor mais elevado de COT na água coagulada.

Na água tratada, o valor obtido para o COT foi, mais uma vez, maior no período chuvoso. Entretanto, tanto na 1ª como na 2ª coleta, o resultado obtido para COT foi maior do que 2,0 mg/L. A Portaria de Consolidação nº 5 não contempla esse parâmetro, mas a USEPA recomenda que as ETAs que possuem desinfecção com cloro produzam água com valores de COT menores que 2,0 mg/L, a fim de que seja reduzida a probabilidade da formação de subprodutos organo-halogenados.

A quantidade de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* nas águas bruta, coagulada e decantada foi menor no período da estiagem quando comparada com o período chuvoso. Isso pode ser justificado pela facilidade de se multiplicarem no período chuvoso com elevadas temperaturas, facilitando o meio de proliferação. Ressalta-se que a presença de bactérias na água indica que também podem existir protozoários, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, principalmente porque os mananciais percorrem áreas urbanizadas e campos com agropecuária. Entretanto, os valores obtidos para coliformes totais não ultrapassaram o valor máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 2 de 1000 UFC/100 mL.

É notável a diminuição de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* na água decantada em relação à água coagulada, mostrando que os decantadores estão cumprindo sua função no processo de tratamento de água.

O valor máximo permitido de bactérias heterotróficas para a água tratada é de 500 UF/mL e coliformes totais e *Escherichia coli* devem estar ausentes em cada 100 mL. Pela Tabela 2 observa-se que a água tratada da ETA 1 atende tais parâmetros.

Os valores mais elevados dos metais no período chuvoso podem ser também justificado pelo arraste de sólidos do solo das margens dos rios, que contém metais em sua composição. No entanto, na 1ª coleta da água bruta, apresentou um valor um pouco maior de ferro dissolvido do que o estabelecido pelo CONAMA nº 357 para rios de classe 2 (VMP = 0,3 mg/L), bem como de zinco total (VMP = 0,18 mg/L) e de níquel total (VMP = 0,025 mg/L). Os resultados obtidos para os demais metais atendem aos valores máximos permitidos pelo CONAMA nº 357.

Assim como aconteceu na água bruta, a quantidade de metais presentes na água coagulada também foi maior no período chuvoso.

Os resultados obtidos para metais na água decantada foram menores quando comparados aos da água coagulada. Isso mostra que a maior parte dos metais presentes se aderiu aos flocos e se sedimentou, constituindo parte do lodo dos decantadores. A diminuição dos metais da água decantada condiz com a literatura (ABNT, 2004; DI BERNARDO, *et al.*, 2017),

mostrando que os resíduos de ETA possuem elevado teor de metais tóxicos e necessitam de tratamento adequado.

Todos os resultados obtidos para metais na água tratada atendem aos valores máximos permitidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017).

A presença de fósforo na água bruta e, conseqüentemente, nas demais amostras, pode ser devido a eutrofização dos corpos d'água, presença de agrotóxicos e fertilizantes ou lançamentos indevidos de efluentes domésticos, uma vez que os mananciais percorrem regiões urbanizadas. Os agrotóxicos e efluentes domésticos contaminam os mananciais que abastecem a ETA, comprometendo a qualidade da água bruta e, conseqüentemente, da água tratada. Nota-se como a quantidade de fósforo é mais elevada no período chuvoso, tornando mais provável que essa presença seja devido ao uso de agrotóxicos em lavouras próximas aos mananciais, uma vez que a água da chuva “arrastaria” esses produtos para os rios. No entanto, nas duas coletas, os valores obtidos não ultrapassaram o valor máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 2 de 0,020 mg/L.

Na água decantada, o fósforo da 1ª coleta resultou um valor menor do que a 1ª coleta da água coagulada, mostrando que foi removido juntamente com os flocos (lodo dos decantadores). No entanto, a 2ª coleta de água decantada resultou um valor maior do que o obtido na 2ª coleta de água coagulada, podendo estar relacionado com a proliferação de algas nos decantadores ou até mesmo interferência na análise do parâmetro, uma vez que é da ordem de três casas decimais.

Nota-se que o fósforo não foi eliminado pela etapa de filtração, possuindo o mesmo valor da água decantada. No entanto, esse parâmetro não faz parte do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017).

Sendo assim, a água bruta é considerada de boa qualidade, com características de rios classe 2. A presença de sólidos varia de acordo com a época do ano (chuvas e estiagem), estando abaixo dos valores máximos permitidos. Alguns metais ultrapassaram os valores máximos permitidos no período chuvoso, justificando-se pelo arraste de sólidos e, conseqüentemente, de metais do solo. No entanto, apresenta elevado teor de COT, evidenciando a presença de matéria orgânica.

É necessário se atentar para o pH de coagulação, uma vez que valores fora da faixa de 6,0 a 7,0 podem prejudicar a eficiência da etapa de coagulação, bem como a realização de ensaios em jarreste constantemente, com diferentes condições, para verificar a dosagem

adequada de coagulante e não seguir tabelas para dosagem que foram elaboradas proporcionalmente.

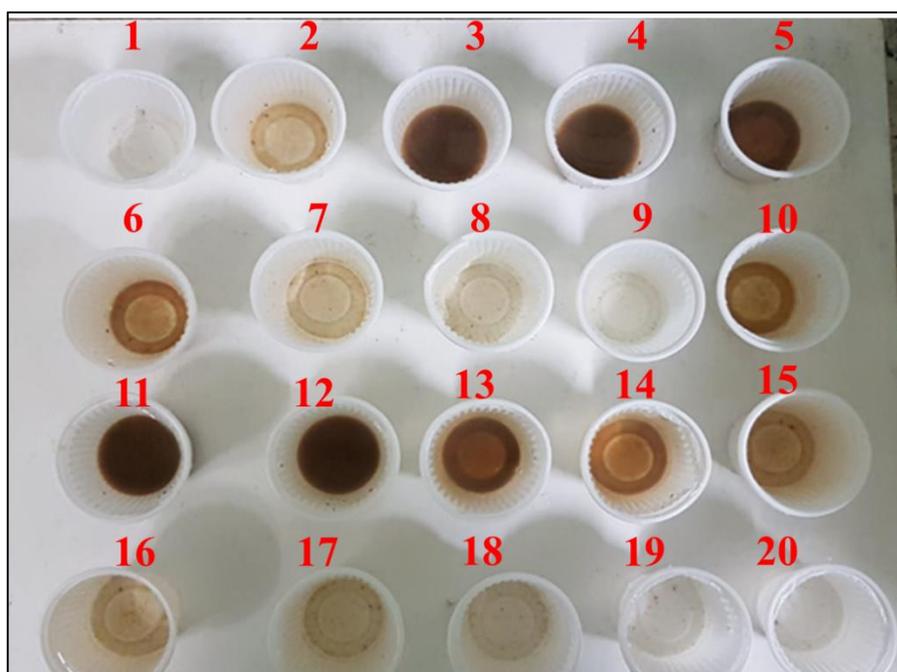
Recomenda-se que a turbidez da água decantada esteja abaixo de 3,0 uT para não influenciar negativamente na turbidez da água filtrada e, conseqüentemente, da água tratada, bem como manter a cor aparente abaixo de 20 uH.

A água tratada apresenta boa qualidade e atende aos padrões de potabilidade estabelecidos no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017). No entanto, destaca-se que apresenta um valor de COT acima de 2,0 mg/L, que mesmo sendo um parâmetro que não faz parte da Portaria de Consolidação nº 5, ultrapassa o recomendado pela USEPA.

5.1.2.3.2. Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem de filtros da ETA 1

A Figura 42 mostra as 20 (vinte) amostras que foram coletadas da ALF para leitura da turbidez do filtro 1 da ETA 1 no período chuvoso e posterior confecção do gráfico. Tal coleta foi realizada nos dois períodos (chuvoso e estiagem).

Figura 42: Amostras coletadas durante uma das lavagens dos filtros para leitura da turbidez da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Os gráficos das Figuras 43 e 44 apresentam a variação da turbidez da água de lavagem dos filtros em função do tempo durante a 1ª coleta (Tabela 24 dos Apêndices) e os gráficos das Figuras 45 e 46 apresentam a variação da turbidez da água de lavagem dos filtros em função do tempo durante a 2ª coleta (Tabela 25 dos Apêndices).

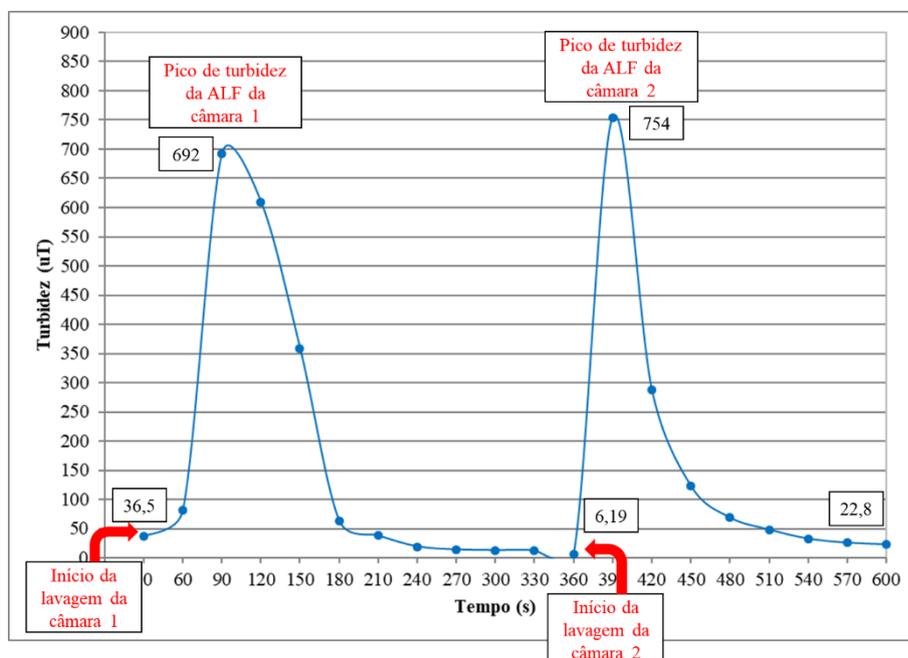
Cada um dos gráficos apresenta a lavagem da primeira e segunda câmaras. É evidente o início da lavagem de cada uma das câmaras, bem como seu pico de turbidez.

A lavagem dos filtros na ETA 1 é realizada exclusivamente com água, separadamente em cada câmara.

Comparando-se os gráficos das Figuras 43 e 44, nota-se que o filtro 2 apresenta maiores picos de turbidez da ALF durante a lavagem. Em ambos os filtros, a câmara 2 apresentou turbidez mais elevada.

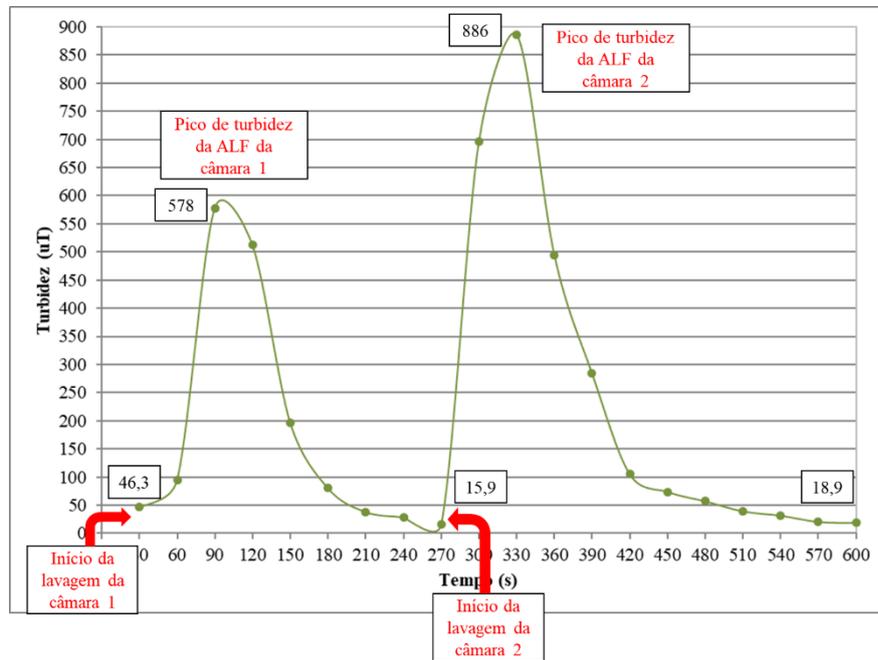
E, comparando-se os gráficos das Figuras 45 e 46, nota-se que a câmara 1 do filtro 1 apresentou pico de turbidez mais elevado do que o filtro 2, e o contrário aconteceu com a câmara 2, em que no filtro 2 apresentou turbidez mais elevada.

Figura 43: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)



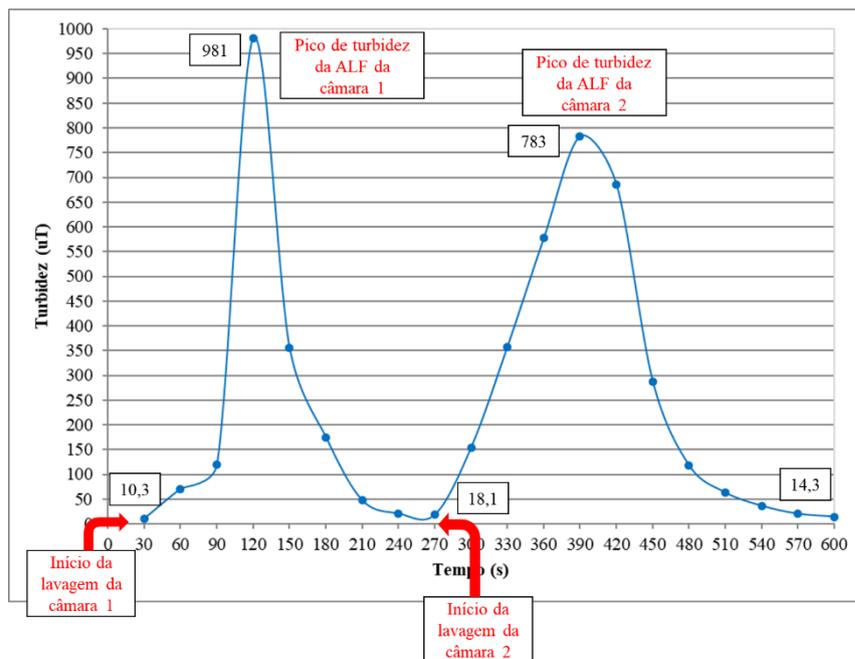
Fonte: Autora, 2020.

Figura 44: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 2 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)



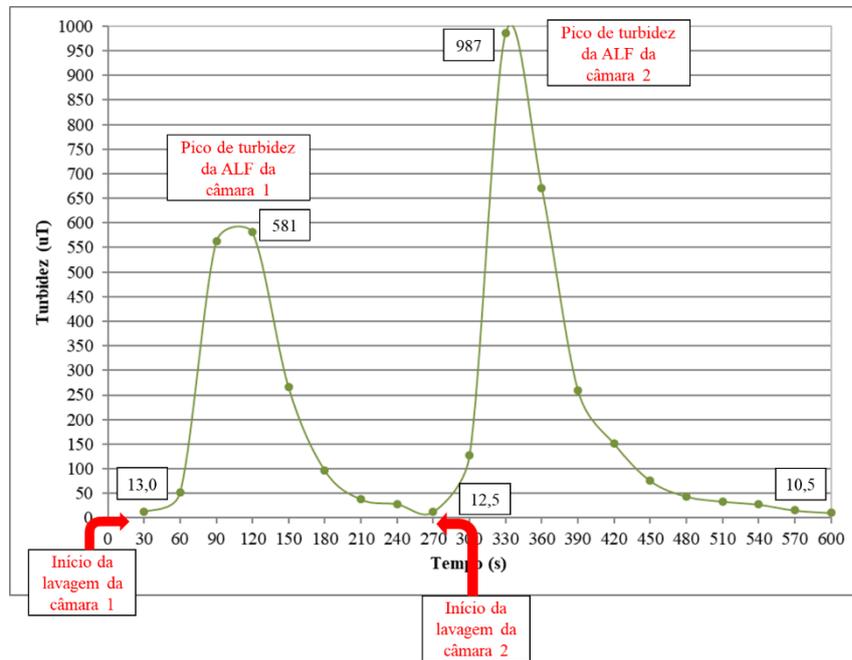
Fonte: Autora, 2020.

Figura 45: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 46: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 2 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

A diferença entre os picos de turbidez observados em cada um dos filtros para as câmaras 1 e 2 pode ter ocorrido devido à:

- maior taxa de filtração na câmara com maior pico de turbidez, que resultou maior acúmulo de partículas no meio filtrante; ou
- diferenças na vazão de água para lavagem, que pode ocorrer em função de válvulas não totalmente abertas, por exemplo; ou
- má distribuição da água para lavagem ao longo da câmara de filtração; ou
- vazão insuficiente de água para lavagem; ou
- lavagens malsucedidas; ou
- diferença dos meios filtrantes entre as câmaras 1 e 2.

Ressalta-se que picos elevados de turbidez podem indicar alta taxa de retenção de impurezas no meio filtrante, resultando melhor qualidade da água filtrada.

Entretanto, é recomendado que a lavagem dos filtros seja interrompida quando a água de lavagem apresentar turbidez menor ou igual a 5,0 uT. No entanto, em nenhuma das lavagens a turbidez resultou em valor igual ou inferior ao recomendado.

A lavagem inadequada dos filtros pode ocasionar diversos problemas, como o aparecimento de bolas de lodo no interior do meio filtrante, menor volume de água produzido por carreira de filtração, picos elevados de turbidez de água filtrada lodo após o reinício da operação e o aumento da perda de carga no meio filtrante.

Sendo assim, existe a necessidade de se executar ensaios para otimização da operação da lavagem dos filtros.

A caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 1 está apresentada a seguir, na Tabela 3.

De acordo com o que foi apresentado na Tabela 3, alguns itens merecem destaque.

Em relação aos valores obtidos para pH, todos são próximos aos valores obtidos para as demais águas da ETA 1.

Os resultados de turbidez foram mais elevados na 2ª coleta, mesmo que tenha sido realizada na estiagem e a água bruta contendo turbidez mais baixa, pois a maior parte dos sólidos se sedimenta nos decantadores no período chuvoso, resultando menor turbidez na ALF.

Os valores de turbidez são muito altos quando comparados com os da água bruta. Na 1ª coleta a água bruta apresentou um valor de turbidez de 35,3 uT e a ALF 238,6 uT, quase sete vezes maior. Já na 2ª coleta a água bruta apresentou turbidez de 7,69 uT e a ALF 441,8, cinquenta e sete vezes maior.

Os valores obtidos para cor aparente acompanharam os valores de turbidez. Esses valores indicam a presença de matéria orgânica na água de lavagem dos filtros.

Mesmo que a água bruta da 2ª coleta tenha apresentado menor quantidade de sólidos totais, o teor de sólidos totais em todas as ALF foi mais elevado na 2ª do que na 1ª coleta. Entretanto, nota-se que, apesar da maior quantidade de sólidos totais na 2ª coleta da ALF, a porcentagem de sólidos suspensos em relação aos sólidos totais foi maior na 1ª coleta (35% contra 18%), sendo proveniente do arraste dos sólidos das margens dos rios pelas chuvas. Logo, existe maior aglomeração de sólidos suspensos aos flocos para posterior sedimentação nos decantadores no período chuvoso. Sendo assim, há maior produção de lodo nos decantadores com maior teor de sólidos e ALF com menor teor de sólidos no período chuvoso, e o contrário acontece na estiagem, em que o teor maior de sólidos é na ALF.

Tabela 3: Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 1 comparada com a caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta e tratada da ETA 1 (1ª e 2ª coletas)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)			2ª COLETA (ESTIAGEM)		
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ALF	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ALF
pH	-	6,28	6,96	6,15	6,53	6,21	6,66
turbidez	uT	35,3	0,9	238,6	7,69	0,3	441,8
cor aparente	uH	381	6	1425	35	3	2250
cor verdadeira	uH	162	3	12	8	2	6
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	11	18	14	11	16	13
condutividade elétrica	µs/cm	20,1	67,8	57,5	22,5	65,6	48,2
Sólidos Totais	mg/L	75,3	41,3	253,0	55,3	49,3	510,5
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	26,7	0,7	192,5	10,0	1,0	101,0
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	48,6	40,6	60,5	45,3	48,3	409,5
Carbono Orgânico Total	mg/L C	6,68	3,98	8,25	2,50	2,04	1,86
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	220	0	550	6	ausentes	550
Coliformes Totais	UFC/100 mL	950	0	1250	50	ausentes	1230
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	140	0	240	11	ausentes	260
Ferro Total	mg/L Fe	5,348	0,071	24,800	0,524	<0,001	3,895
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0,348	0,039	1,357	0,154	<0,001	<0,001
Manganês Total	mg/L Mn	0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	0,44
Alumínio Dissolvido	mg/L Al	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinco Total	mg/L Zn	0,21	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,22
Níquel Total	mg/L Ni	0,050	<0,001	0,036	<0,001	<0,001	0,005
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fósforo Total	mg/L P	0,006	0,001	0,051	0,001	0,002	<0,001
Nitrato	mg/L	-	-	0,093	-	-	0,141
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	-	-	0,12	-	-	<0,01

Fonte: Autora, 2020.

O elevado teor de carbono orgânico total na água indica a presença de moléculas orgânicas, incluindo matéria orgânica natural, possíveis microcontaminantes e subprodutos organoclorados, merecendo destaque o resultado obtido no período chuvoso. Pode-se justificar tal valor devido ao ambiente propício para proliferação de matéria orgânica, sendo proveniente da água bruta, conforme apresentado na Tabela 3.

A presença de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* foi praticamente a mesma nas duas coletas, mostrando que, independentemente do período e da quantidade de sólidos, irão se proliferar e contaminar a água. No entanto, observam-se valores mais elevados na ALF quando comparados com a água bruta, principalmente na 2ª coleta.

Os metais que não são aderidos aos flocos para se sedimentarem nos decantadores são encaminhados para os filtros e resultaram, principalmente na 1ª coleta, valores muito elevados, com destaque para ferro total. A ALF não deve ser lançada em corpos d'água sem o devido tratamento. O elevado teor de metais tóxicos contamina todo o meio aquático, sendo prejudicial para fauna e flora e, também, para os próprios seres humanos.

Foram observados indícios de nitrato na ALF, que pode ser proveniente da água bruta, podendo ser de origem natural ou devido a contaminação por esgoto sanitário ou despejos industriais (tratados ou não). A presença de nitrato favorece o desenvolvimento de organismos fotossintéticos autotróficos.

No período chuvoso foi observada a presença de amônia. A existência de compostos amoniacais de origem orgânica pode dar origem à formação de cloraminas se entrarem em contato com o cloro que é usado como desinfetante.

Após análise de toda a caracterização físico-química e microbiológica da ALF, é evidente que não é recomendada sua recirculação *in natura* ao início da ETA. Uma água com essas características prejudicará todo o processo de tratamento de água. A ETA é projetada para operar sob determinadas condições e a ALF é uma água totalmente contaminada, com elevador teor de sólidos e metais tóxicos, ultrapassando limites do CONAMA nº 357 para rios classe 2. É necessário tratamento da ALF, independente se ela irá retornar para o início da ETA ou será encaminhada para outro destino. No entanto, mesmo tratada, deverá ser analisada para verificar sua influência na qualidade da água bruta.

É necessária a reforma dos filtros da ETA 1, visando adequá-los ao método de operação de taxa declinante para evitar a ocorrência de transpasse durante a carreira de filtração; aumentar o tempo das carreiras de filtração, diminuindo o número de lavagens e,

consequentemente, o volume de água para lavagem; aumentar a flexibilidade operacional e modernizar e automatizar os filtros.

5.1.2.3.3. Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

As etapas do tratamento de água realizado na ETA 1, bem como o balanço de massa de sólidos, estão apresentados a seguir, nas Figuras 47 e 48, para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Nota-se, pelo balanço de massa apresentado nas Figuras 47 e 48, que a quantidade de sólidos suspensos totais que entra na ETA é maior no período chuvoso quando comparada ao período de estiagem. Isso se deve ao fato do arraste dos sólidos das margens dos rios, como já mencionado anteriormente.

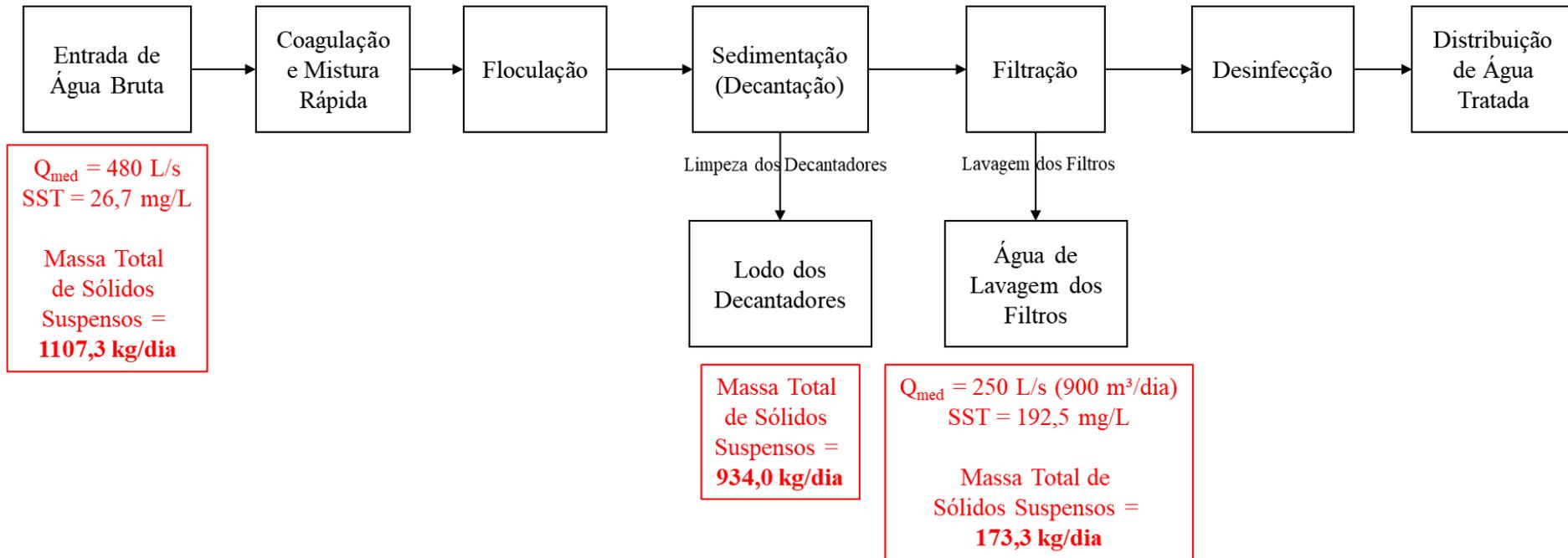
Tanto a água de lavagem de filtros como o lodo dos decantadores são compostos por um grande teor de sólidos, produzindo uma elevada quantidade de massa ao final do dia. Entretanto, é possível perceber que, no período chuvoso, a quantidade de sólidos presentes na ETA é maior e, na ALF, chega a ser o dobro do período de estiagem.

Assim como comentado, tanto a água de lavagem de filtros como o lodo proveniente das descargas dos decantadores, são considerados resíduos de ETA e, portanto, não podem ser dispostos em corpos d'água. Independentemente de qual seja a disposição e destinação final desses resíduos, como lançamento em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), aterro sanitário, dentre outras, é necessário seu tratamento.

Sendo assim, o gestor da ETA deve optar por qual tecnologia de tratamento é a ideal, adequada e possível dentro de suas características de processo e, também, em relação à sua localização.

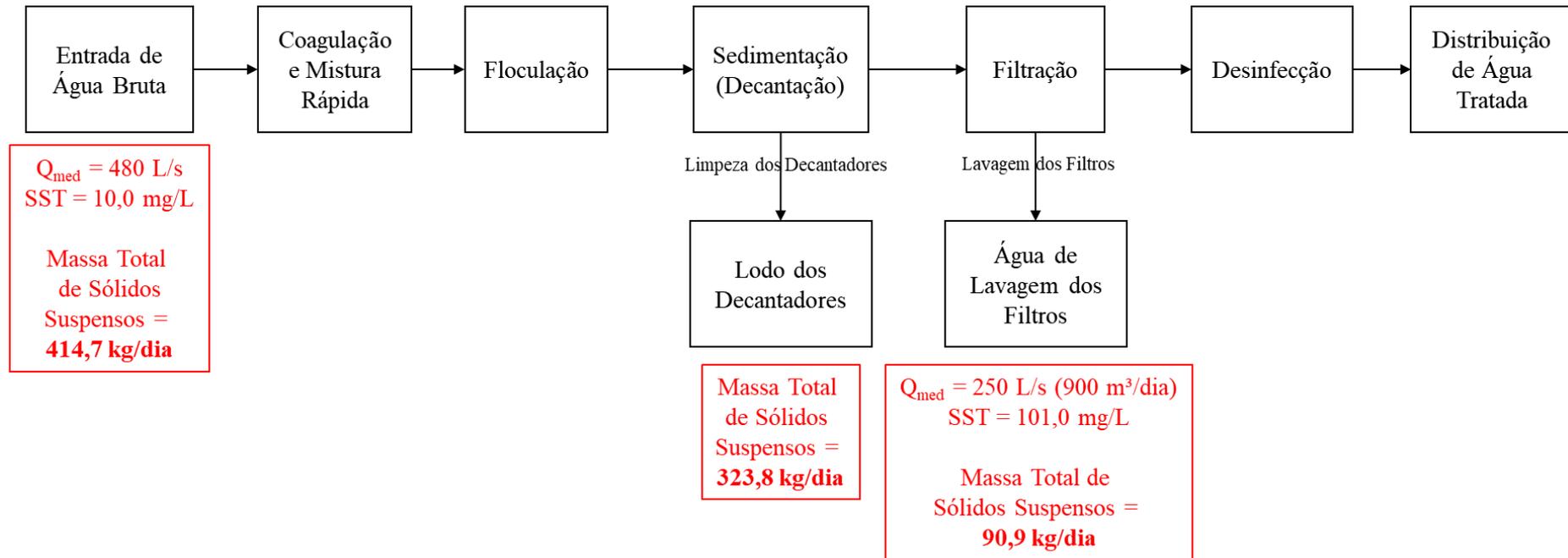
Para este trabalho, a sugestão foi a implementação da etapa de adensamento com adição de polímeros com dosagens distintas e diferentes velocidades de sedimentação.

Figura 47: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 1 – 1ª coleta (período chuvoso)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 48: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 1 – 2ª coleta (período de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

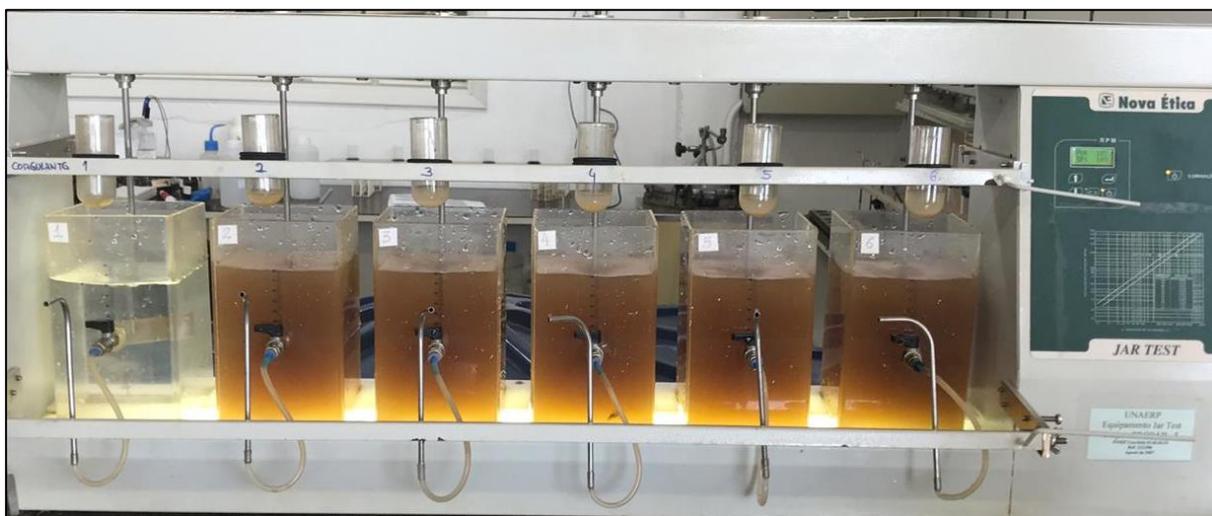
5.1.2.4. Ensaio de Clarificação com a Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

Os ensaios foram realizados para apresentação de uma proposta de tratamento desse resíduo.

As Figuras 49 a 52 mostram os ensaios de clarificação realizados com a água de lavagem dos filtros da ETA 1.

A Figura 49 apresenta a preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1. Na Figura 50 é possível observar o início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1, logo após a adição do polímero. Com a Figura 51 é possível observar a formação dos flocos nos jarros do equipamento jarreste. Ao final dos ensaios de clarificação, há a sedimentação dos flocos no fundo dos jarros, formados devido à adição de polímero, conforme é apresentado na Figura 52.

Figura 49: Preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1



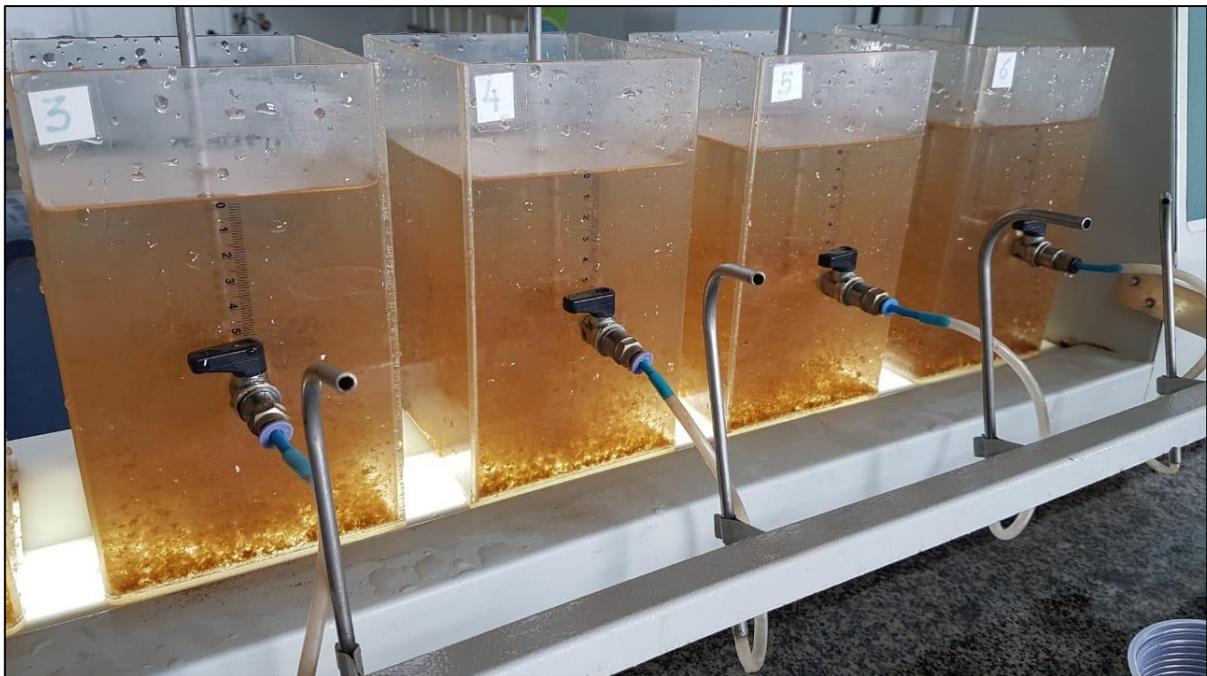
Fonte: Autora, 2019.

Figura 50: Início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1



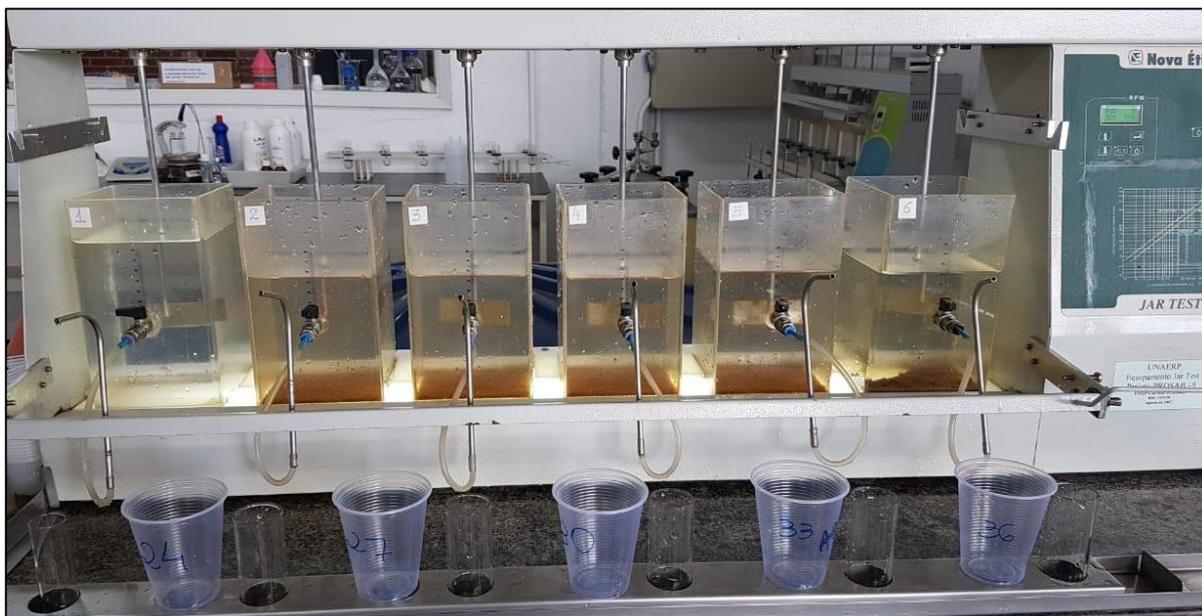
Fonte: Autora, 2019.

Figura 51: Formação de flocos durante os ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1



Fonte: Autora, 2019.

Figura 52: Fim dos ensaios de clarificação da ETA 1 com sedimentação dos flocos



Fonte: Autora, 2019.

As Tabelas 4 e 5 apresentam a caracterização da água clarificada proveniente dos ensaios de clarificação com a água de lavagem dos filtros da ETA 1 para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Os ensaios foram realizados com dois tipos de polímero catiônico, provenientes de duas empresas.

Os resultados obtidos variaram em função da dosagem de polímero e diferentes velocidades de sedimentação, conforme apresentado na metodologia.

Os resultados obtidos nas Tabelas 4 e 5 foram inseridos no software Protimiza Experimental para elaboração dos gráficos que relacionam a turbidez, concentração de *Escherichia coli*, carbono orgânico total e metais com a dosagem de polímero e diferentes velocidades de sedimentação, apresentados a seguir.

Para cada um dos gráficos elaborados foram analisados os valores obtidos para o R^2 , uma medida de ajuste do modelo estatístico, que representa a porcentagem de variação na resposta. Quanto mais alto o valor do R^2 , melhor o modelo ajusta os dados.

Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1

(1ª coleta – chuvoso)

Tipo de polímero	Dosagem de polímero (mg/L)	Velocidade de sedimentação (cm/min)	Turbidez (uT)	E. Coli (UFC/100 mL)	COT (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	
ARTFLOC	0	5	270,0	350	2,650	5,908	0,11	
	2	5	26,5	110	2,978	3,538	<0,01	
	4	5	11,9	88	3,932	0,992	<0,01	
	6	5	8,60	15	3,942	0,657	<0,01	
	0	3	269,0	315	2,699	4,978	0,10	
	2	3	14,6	96	3,204	1,874	<0,01	
	4	3	8,90	67	3,302	0,899	<0,01	
	6	3	6,90	10	5,078	0,535	<0,01	
	0	1	152,0	205	2,938	3,266	0,07	
	2	1	11,7	45	3,770	1,280	<0,01	
	4	1	6,90	34	3,606	0,613	<0,01	
	6	1	5,90	9	3,806	0,509	<0,01	
	RAPFLOC	0	5	270,0	350	2,650	5,908	0,11
		2	5	30,4	160	2,917	2,900	<0,01
		4	5	14,7	113	4,305	1,837	<0,01
		6	5	9,50	45	4,408	1,027	<0,01
0		3	269,0	315	2,699	4,978	0,10	
2		3	15,7	120	2,813	1,751	<0,01	
4		3	10,1	78	4,119	1,527	<0,01	
6		3	7,40	28	4,353	0,645	<0,01	
0		1	152,0	205	2,938	3,266	0,07	
2		1	10,2	65	3,263	0,637	<0,01	
4		1	6,90	31	3,359	0,613	<0,01	
6		1	6,10	10	4,894	0,606	<0,01	

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 5: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1
(2ª coleta – estiagem)

Tipo de polímero	Dosagem de polímero (mg/L)	Velocidade de sedimentação (cm/min)	Turbidez (uT)	E. Coli (UFC/100 mL)	COT (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	
ARTFLOC	0	5	305,0	20	1,358	0,574	0,33	
	2	5	5,70	7	1,454	0,396	<0,01	
	4	5	3,36	3	1,622	0,378	<0,01	
	6	5	1,96	2	1,738	0,331	<0,01	
	0	3	241,0	10	1,037	0,567	0,21	
	2	3	3,22	1	1,282	0,377	<0,01	
	4	3	2,22	0	1,542	0,321	<0,01	
	6	3	1,85	0	1,800	0,302	<0,01	
	0	1	59,0	15	0,981	0,373	0,15	
	2	1	1,90	2	1,346	0,358	<0,01	
	4	1	1,45	1	1,615	0,306	<0,01	
	6	1	1,19	0	1,806	0,288	<0,01	
	RAPFLOC	0	5	305,0	20	1,358	0,574	0,33
		2	5	2,22	9	1,862	0,403	<0,01
		4	5	1,90	1	2,456	0,392	<0,01
		6	5	1,55	2	2,197	0,371	<0,01
0		3	241,0	10	1,037	0,567	0,21	
2		3	1,49	3	1,477	0,399	<0,01	
4		3	1,19	2	1,980	0,376	<0,01	
6		3	1,03	1	1,787	0,353	<0,01	
0		1	59,0	15	0,981	0,387	0,15	
2		1	1,07	2	1,181	0,373	<0,01	
4		1	1,02	1	1,692	0,362	<0,01	
6		1	0,86	0	3,215	0,346	<0,01	

Fonte: Autora, 2020.

Ressalta-se que, sem a adição de polímeros, independente da velocidade de sedimentação, todos os parâmetros permaneceram relativamente altos, com exceção do carbono orgânico total (COT), que aumenta à medida em que a dosagem de polímero é maior. Os valores para turbidez, sem a dosagem de polímero, são mais elevados do que a turbidez da água bruta, independente da época do ano, ficando evidente a necessidade de sua remoção por meio de um tratamento adequado.

5.1.2.4.1. Turbidez da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1

Os gráficos obtidos para valores de turbidez da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para os períodos chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados nas Figuras 53.

Os gráficos da Figura 53 apresentaram R^2 de 94,36% (1ª coleta – ARTFLOC), 95,30% (1ª coleta – RAPFLOC), 97,50% (2ª coleta – ARTFLOC) e 99,08% (2ª coleta – RAPFLOC). São valores relativamente altos (acima de 80%), o que indica que o modelo se ajustou bem aos dados e pode ser usado para prever a dosagem de polímero a ser aplicada para obtenção da turbidez final desejada.

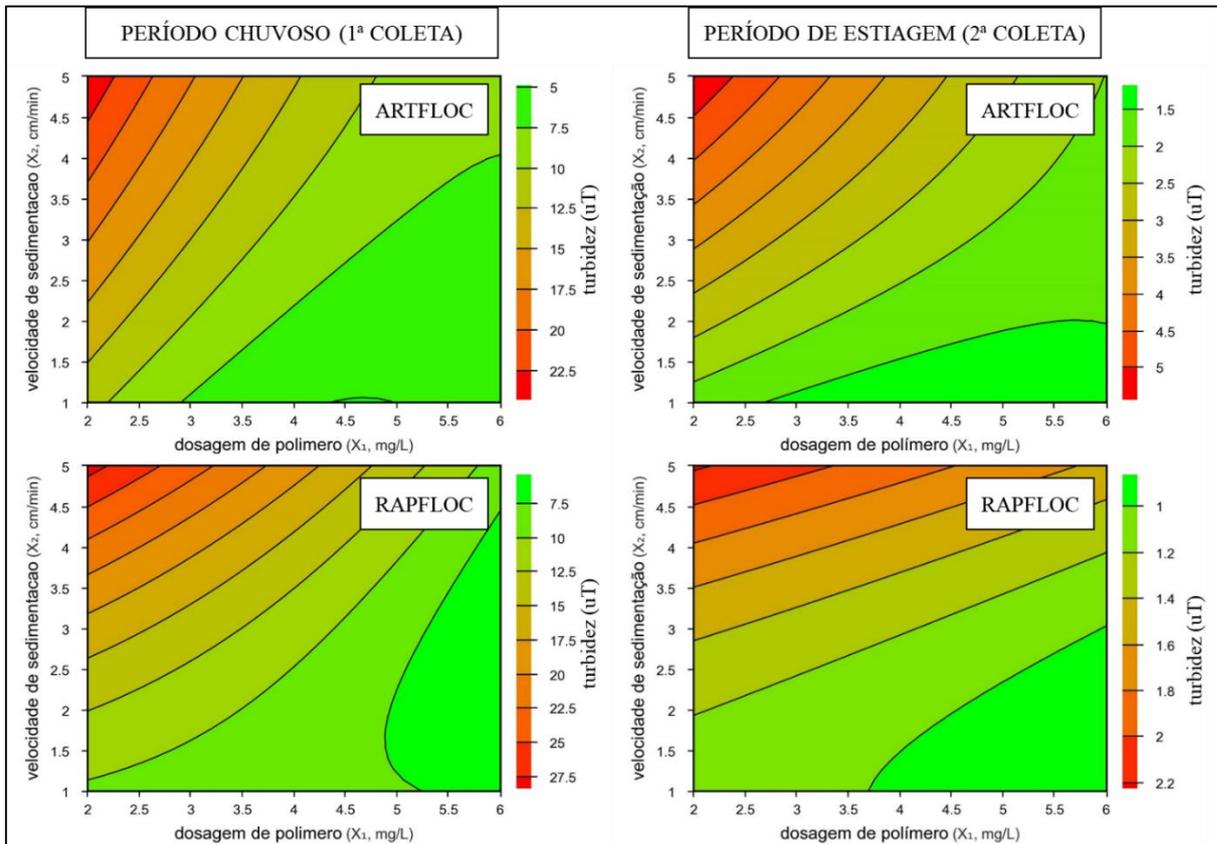
Após análise dos gráficos da Figura 53, observou-se que, no período chuvoso (1ª coleta), o polímero ARTFLOC foi mais eficiente pois apresentou uma faixa de valores para turbidez inferior a 7,5 uT maior do que a obtida com o polímero RAPFLOC. O polímero ARTFLOC permite obter valores de turbidez inferiores a 7,5 uT com dosagem a partir de 3,0 mg/L, aproximadamente, enquanto que o polímero RAPFLOC com dosagem em torno de 5,0 mg/L.

Para o período de estiagem (2ª coleta), o polímero que melhor se destacou foi o RAPFLOC, sendo possível a obtenção de valores de turbidez abaixo de 1,0 uT com dosagem a partir de 3,7 mg/L, aproximadamente. Ressalta-se que o polímero RAPFLOC proporcionou valores de turbidez inferiores aos valores obtidos com o polímero ARTFLOC.

Nota-se que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de turbidez da água clarificada para ambos os polímeros e períodos.

A ALF da 1ª coleta apresentou turbidez inferior ao obtido na 2ª coleta. No entanto, após os ensaios de clarificação, sua remoção foi maior para a ALF da 2ª coleta, sendo possível a obtenção de valores de turbidez inferiores a 1,0 uT.

Figura 53: Turbidez da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

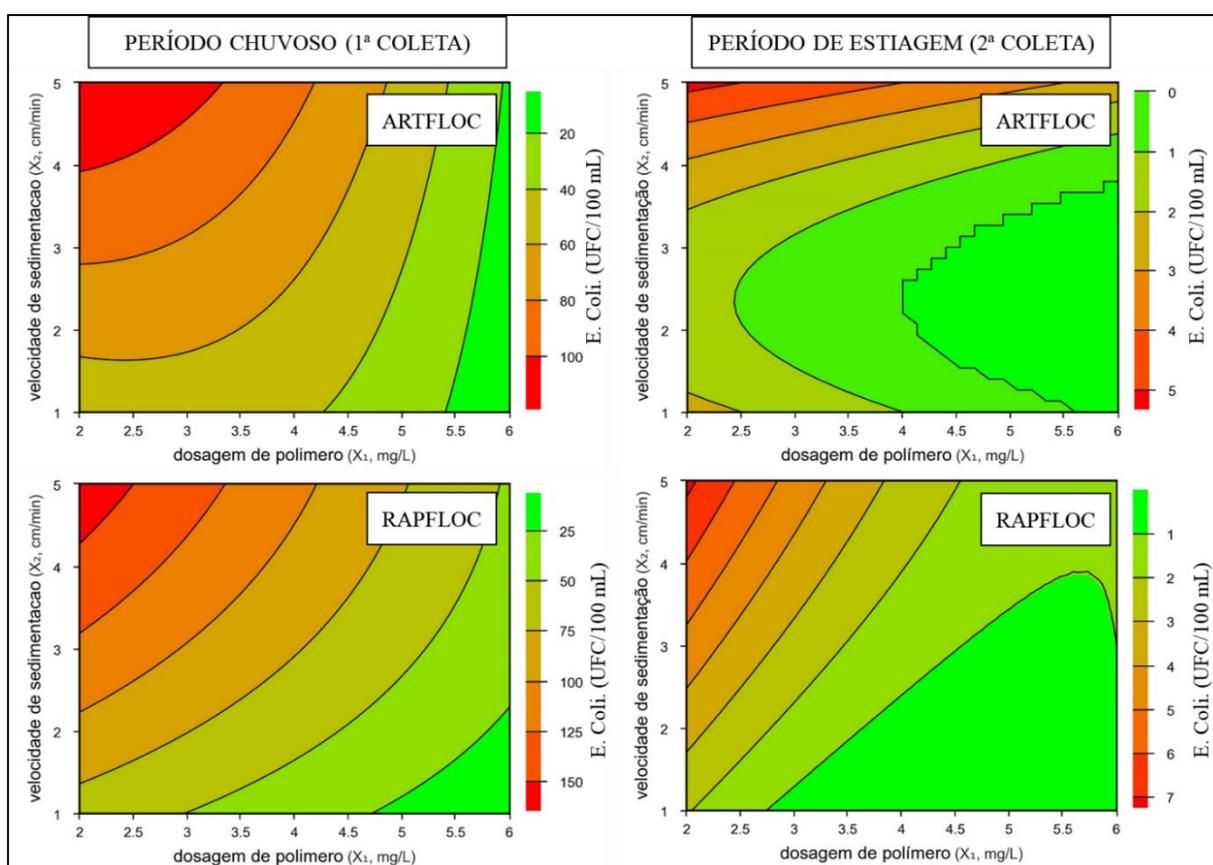
A remoção de turbidez foi de 97,5% e 99,8% nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente, com a maior dosagem de polímero (6,0 mg/L) e menor velocidade de sedimentação (1,0 cm/min).

Sendo assim, como esperado, a adição de polímeros diminui significativamente a turbidez da água de lavagem dos filtros.

5.1.2.4.2. Concentração de *Escherichia coli* da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1

Os gráficos obtidos para valores de concentração de *Escherichia coli* na água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para os períodos chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 54.

Figura 54: Concentração de *Escherichia coli* da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Os gráficos da Figura 54 apresentaram R² de 96,97% (1ª coleta – ARTFLOC), 99,28% (1ª coleta – RAPFLOC), 86,29% (2ª coleta – ARTFLOC) e 74,06% (2ª coleta – RAPFLOC). Valores de R² abaixo de 80% indicam que o modelo não se ajustou bem aos dados e, portanto, as observações quanto ao comportamento geral são apenas indicativas. Há a necessidade de

medições específicas para as condições desejadas, não sendo possível usar o modelo para determinação da dosagem a ser aplicada.

Após análise dos gráficos da Figura 54, observou-se que, tanto no período chuvoso (1ª coleta) como no período de estiagem, o polímero ARTFLOC foi mais eficiente na remoção de *Escherichia coli*.

Entretanto, nota-se que a *Escherichia coli* possui um comportamento diferente do observado para a turbidez, que quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de turbidez da água clarificada. Porém, verifica-se que a concentração de *Escherichia coli* foi menor na água clarificada quando comparada à ALF *in natura*.

Observando-se os valores obtidos nos gráficos da Figura 54 e os dados de concentração de *Escherichia coli*, é possível afirmar que maiores dosagens de polímero e menores velocidade de sedimentação removem de maneira mais eficaz a quantidade de *Escherichia coli* da ALF.

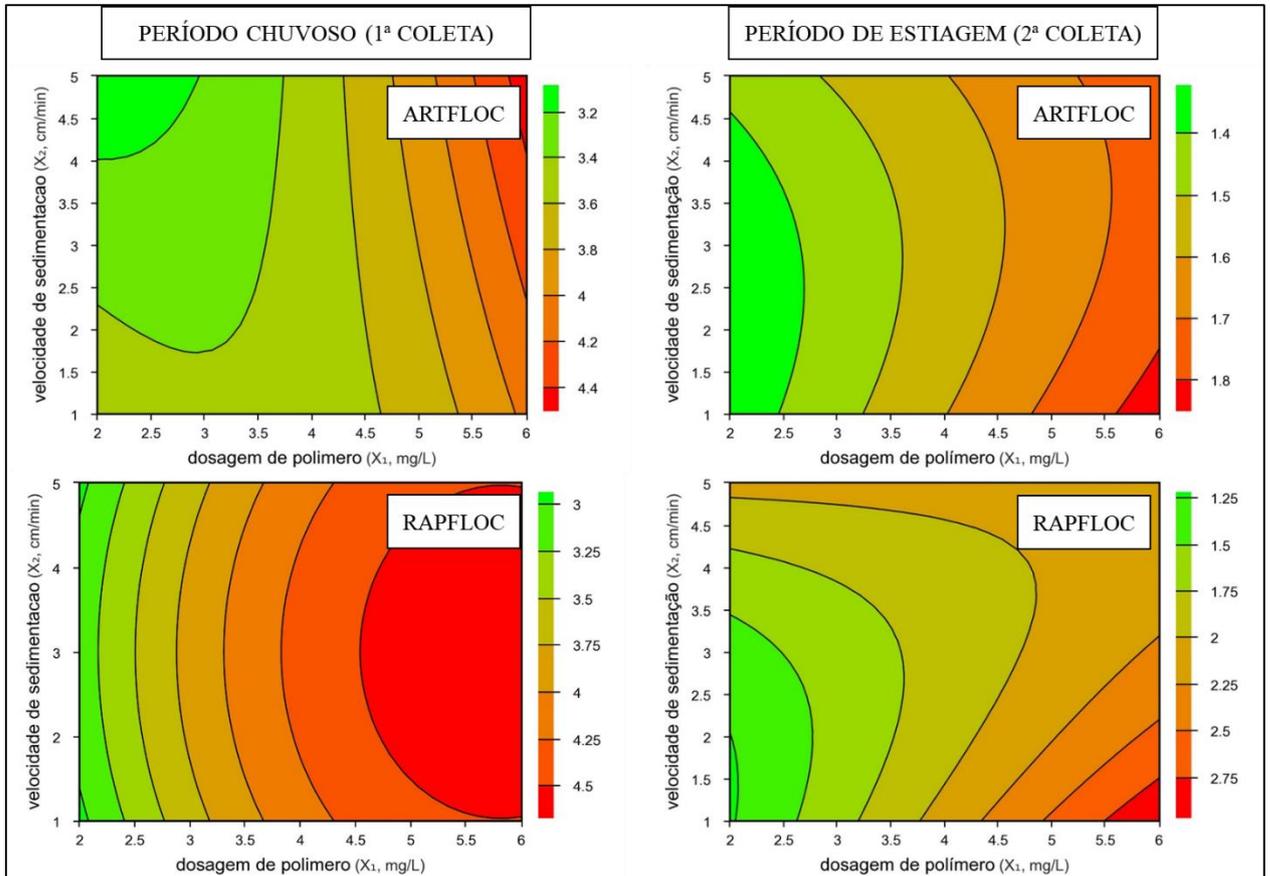
5.1.2.4.3. Concentração de Carbono Orgânico Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 1

Os gráficos obtidos para valores de carbono orgânico total da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 55.

Os gráficos da Figura 55 apresentaram R² de 55,52% (1ª coleta – ARTFLOC), 69,11% (1ª coleta – RAPFLOC), 83,80% (2ª coleta – ARTFLOC) e 68,47% (2ª coleta – RAPFLOC). Como já mencionado, valores abaixo de 80% indicam que o modelo não se ajustou bem aos dados e, portanto, as observações quanto ao comportamento geral são apenas indicativas. Há a necessidade de medições específicas para as condições desejadas, não sendo possível usar o modelo para determinação da dosagem a ser aplicada.

Após análise dos gráficos da Figuras 55, observou-se que o polímero ARTFLOC proporcionou a obtenção de menores valores de COT na água clarificada, com uma faixa mais ampla, fazendo com que maiores dosagens resultem valores mais elevados de COT, pois possuem carbono orgânico de origem sintética em sua composição.

Figura 55: Concentração de carbono orgânico total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

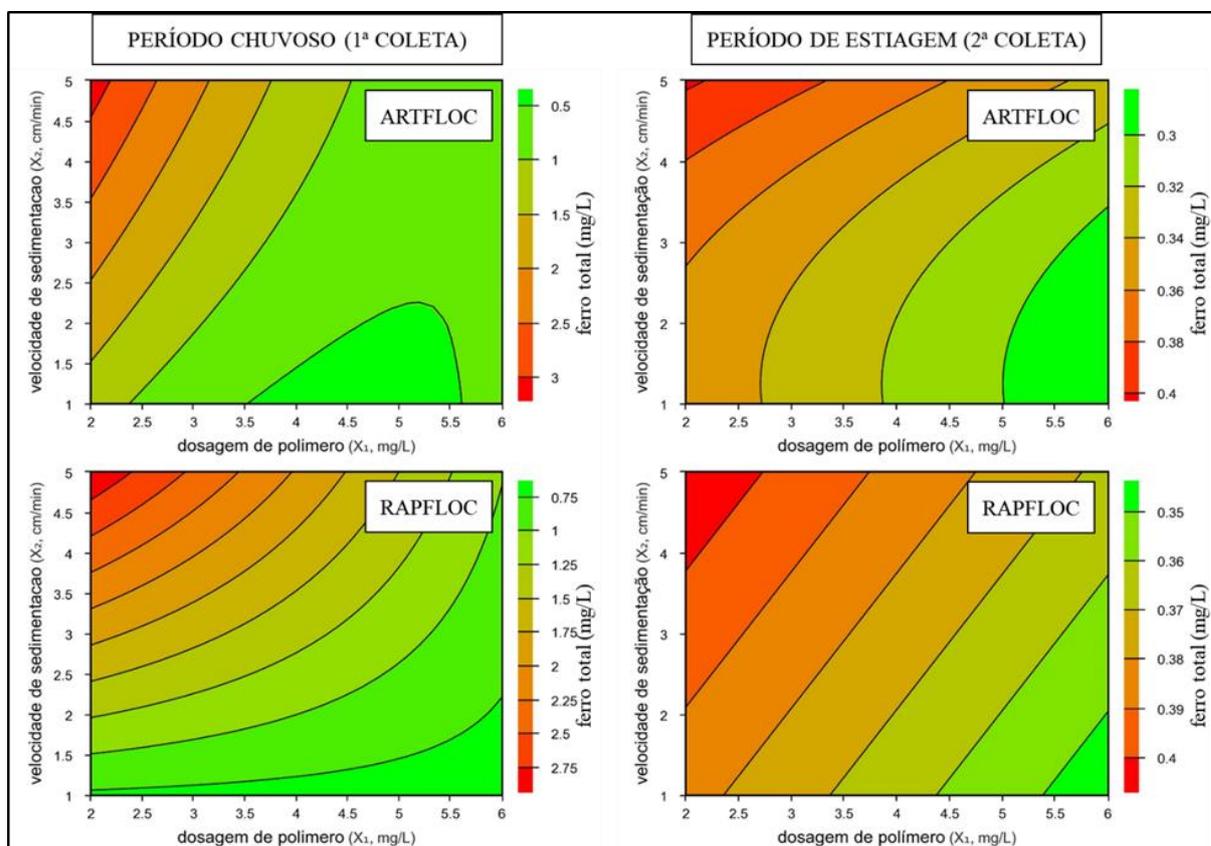
Portanto, é possível observar que, quanto maior a dosagem de polímeros e maior a velocidade de sedimentação, mais elevado é o teor de COT presente na água clarificada. No entanto, o método de detecção para o COT neste caso deve ser levado em consideração, uma vez que a amostra não pode ser digerida e a quantidade de flocos presentes na água pode influenciar nos resultados obtidos.

5.1.2.4.4. Concentração de Ferro Total e Manganês Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 1

Os gráficos obtidos para valores de ferro total da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 56.

Os gráficos da Figura 56 apresentaram R^2 de 92,63% (1ª coleta – ARTFLOC), 90,23% (1ª coleta – RAPFLOC), 93,82% (2ª coleta – ARTFLOC) e 95,97% (2ª coleta – RAPFLOC). São valores acima de 80%, indicando que o modelo se ajustou bem aos dados e que, portanto, é possível usar esse modelo para determinação da dosagem a ser aplicada para obtenção da concentração de ferro total desejada.

Figura 56: Concentração de ferro total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Através dos gráficos da Figura 56 é possível concluir que maiores dosagens de polímeros combinadas com menores velocidades de sedimentação eliminam, de forma mais eficaz, o ferro total presente na água de lavagem de filtros. Isso mostra que o ferro total eliminado está presente nos flocos que se sedimentaram.

Nota-se que, em ambos os períodos, o polímero ARTFLOC se destacou, obtendo menores concentrações de ferro total para maiores dosagens de polímeros e menores velocidades de sedimentação.

Não foi possível a inserção dos dados obtidos para o metal manganês pois ele foi eliminado totalmente da água de lavagem de filtros nos ensaios de clarificação, independente da dosagem de polímero ou velocidade de sedimentação adotadas.

Portanto, conclui-se que é possível a remoção de metais da água de lavagem de filtros por meio da aplicação de polímeros, sendo considerado mais um parâmetro importante no tratamento desses resíduos.

A análise conjunta dos resultados de remoção de turbidez, *Escherichia coli*, concentração de COT e de metais na água clarificada indicam que, entre os dois polímeros avaliados, deve ser escolhido o polímero ARTFLOC para a ETA 1, com dosagem entre 2,0 e 6,0 mg/L, de acordo com o objetivo desejado.

5.1.2.5. Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados à Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

A ETA 1 é uma estação de tratamento de água que opera pela tecnologia convencional de ciclo completo.

A água bruta é proveniente do Ribeirão do Feijão e do Monjolinho. Não existe aplicação de carvão ativado na água bruta para eliminação de compostos orgânicos, mas deveria ter, tendo em vista a poluição dispersa causada pelo arraste de produtos químicos aplicados na lavoura, uma vez que a água é proveniente de rios que estão localizados em áreas de agricultura e pecuária.

A dosagem de coagulante aplicada na unidade de mistura rápida segue as Tabelas 20, 21 e 22 dos Apêndices. No entanto, nota-se que essa tabela foi elaborada com valores proporcionais, e não com a realização de ensaios em jarreste.

O coagulante utilizado na ETA 1, sulfato de alumínio, gera um resíduo (lodo dos decantadores e água de lavagem dos filtros) com elevada concentração de alumínio, aumentando sua toxicidade.

Os filtros são descendentes de taxa constante, composto por materiais granulares (areia). Não se tem informações de quanto tempo não se repõe areia.

O critério estabelecido para retirada do filtro para lavagem é a carreira de filtração de 24 horas, lavados no período noturno para não prejudicar o abastecimento público de água. Isso merece atenção pois, mesmo que o critério estabelecido para lavagem dos filtros seja o tempo de carreira de filtração, é necessário analisar se não existe transpasse antes desse encerramento. Quando ocorre transpasse, uma quantidade elevada de água filtrada já pode ter sido encaminhada para distribuição e alguns protozoários, como o *Cryptosporidium*, não são facilmente inativados e, se estiverem presentes na água de abastecimento, podem ocasionar doenças como a criptosporidiose, podendo ser fatal.

A lavagem é realizada apenas com água, sem a utilização de ar. A lavagem com água não possui a mesma eficiência do que a lavagem com ar e água, sem contar que há maior consumo de água para lavagem dos filtros. O tempo de lavagem dos filtros é em torno de 5 min para cada câmara, mas é definido visualmente pelo operador. O tempo de lavagem com água deve ser determinado experimentalmente ou com base em informações de medidores de turbidez de fluxo contínuo na ALF. Sendo assim, o tempo de lavagem dos filtros deve ser mais bem definido, bem como os critérios de encerramento da carreira de filtração e de lavagem dos filtros.

Foi observado, ao longo de todo tratamento de água, que a ETA 1 é muito antiga e muitos equipamentos, instrumentos e instalações estão em estado crítico, podendo vir a influenciar na qualidade da água tratada.

Após todas observações realizadas, foram identificados potenciais riscos (Biológicos, Físicos e Químicos) para o sistema de abastecimento de água da ETA 1, relacionados com o ambiente externo (AE), infraestrutura (IE), processos (P) e recursos humanos (pessoas) (RH).

Conforme mencionado, a água bruta é proveniente de rios que passam por áreas urbanizadas, com presença de agricultura e pecuária, podendo apresentar contaminantes orgânicos, como agrotóxicos, e uma estação de tratamento de água convencional de ciclo completo não remove tais contaminantes da água, produzindo água tratada com a presença de contaminantes orgânicos, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Perigos / riscos relacionados à água bruta da ETA 1

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Contaminantes orgânicos (agrotóxicos)	Não aplicação de carvão ativado. ETA convencional de ciclo completo não remove contaminantes orgânicos	X	X	X	X			X	Riscos à saúde da população.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A etapa de coagulação é afetada pela dosagem inadequada de coagulante e ausência de ensaios em jarreste. Essa coagulação inadequada irá influenciar negativamente no processo de desinfecção da água filtrada, proporcionando insuficiência de inativação de vírus e bactérias, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Perigos / riscos relacionados à coagulação da ETA 1

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Vírus e bactérias	Coagulação inadequada	X	X	X	X	X			Influenciar negativamente no processo de desinfecção da água filtrada.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A Tabela 8 apresenta os perigos e riscos relacionados às etapas de floculação e decantação da ETA 1.

Tabela 8: Perigos / riscos relacionados à floculação / decantação da ETA 1

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Protozoários	Turbidez da água decantada acima de 3,0 uT	X	X	X	X	X			Influenciar negativamente a turbidez da água filtrada.
Metais tóxicos	Presença de alumínio no lodo dos decantadores devido ao coagulante sulfato de alumínio		X	X	X			X	Geração de resíduos tóxicos.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A turbidez da água decantada da ETA 1 estava um pouco acima de 3,0 uT, o que pode, de acordo com critérios técnicos, afetar negativamente a turbidez da água filtrada e a presença de microrganismos, como os protozoários. Devido à aplicação do coagulante sulfato de alumínio, o lodo dos decantadores possuem uma elevada concentração de metais tóxicos, como o próprio alumínio.

O critério de lavagem dos filtros foi o tempo da carreira de filtração, conforme apresentado anteriormente. Deve-se analisar se não ocorre o transpasse de microrganismos para a água filtrada antes do encerramento da carreira de filtração. A lavagem dos filtros deve ser realizada de forma adequada e padronizada, pois a lavagem inadequada pode ocasionar ineficiência no processo de filtração, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Perigos / riscos relacionados à filtração da ETA 1

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Protozoários	Transpasse antes do encerramento da carreira de filtração		X	X	X	X			Transpasse de microrganismos para a água filtrada.
Protozoários	Lavagem inadequada dos filtros		X	X	X	X			Reduzir a eficiência dos filtros e duração da carreira de filtração, além de influenciar negativamente na qualidade da água filtrada
Metais tóxicos	Presença de alumínio na ALF devido ao coagulante sulfato de alumínio		X	X	X			X	Geração de resíduos tóxicos.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

Os compostos orgânicos presentes na água bruta podem reagir com o cloro aplicado no processo de desinfecção, formando compostos organoclorados tóxicos ao homem, conforme Tabela 10.

Tabela 10: Perigos / riscos relacionados à desinfecção da ETA 1

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Subprodutos organoclorados	Formação de subprodutos organoclorados devido à presença de contaminantes orgânicos presentes na água bruta que reagem com o cloro no processo de desinfecção		X	X	X			X	Presença de compostos orgânicos tóxicos e carcinogênicos na água distribuída à população.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

5.1.2.6. Medidas de Controle Recomendadas para os Perigos e Riscos Identificados da Estação de Tratamento de Água 1 – ETA 1

As medidas de controle para os perigos e riscos identificados na ETA 1 são:

- Implementação de carvão ativado no processo de tratamento para eliminação de contaminantes orgânicos que possam estar presentes na água bruta;
- Realização rotineira de ensaios em jarreste para definição de dosagens adequadas de coagulante;
- Análise do critério para encerramento da carreira de filtração dos filtros;
- Padronização no método de lavagem dos filtros, seguindo o proposto pela literatura, juntamente com a realização de ensaios;
- Tratar adequadamente os resíduos gerados no processo de tratamento de água, principalmente devido à presença de metais tóxicos.

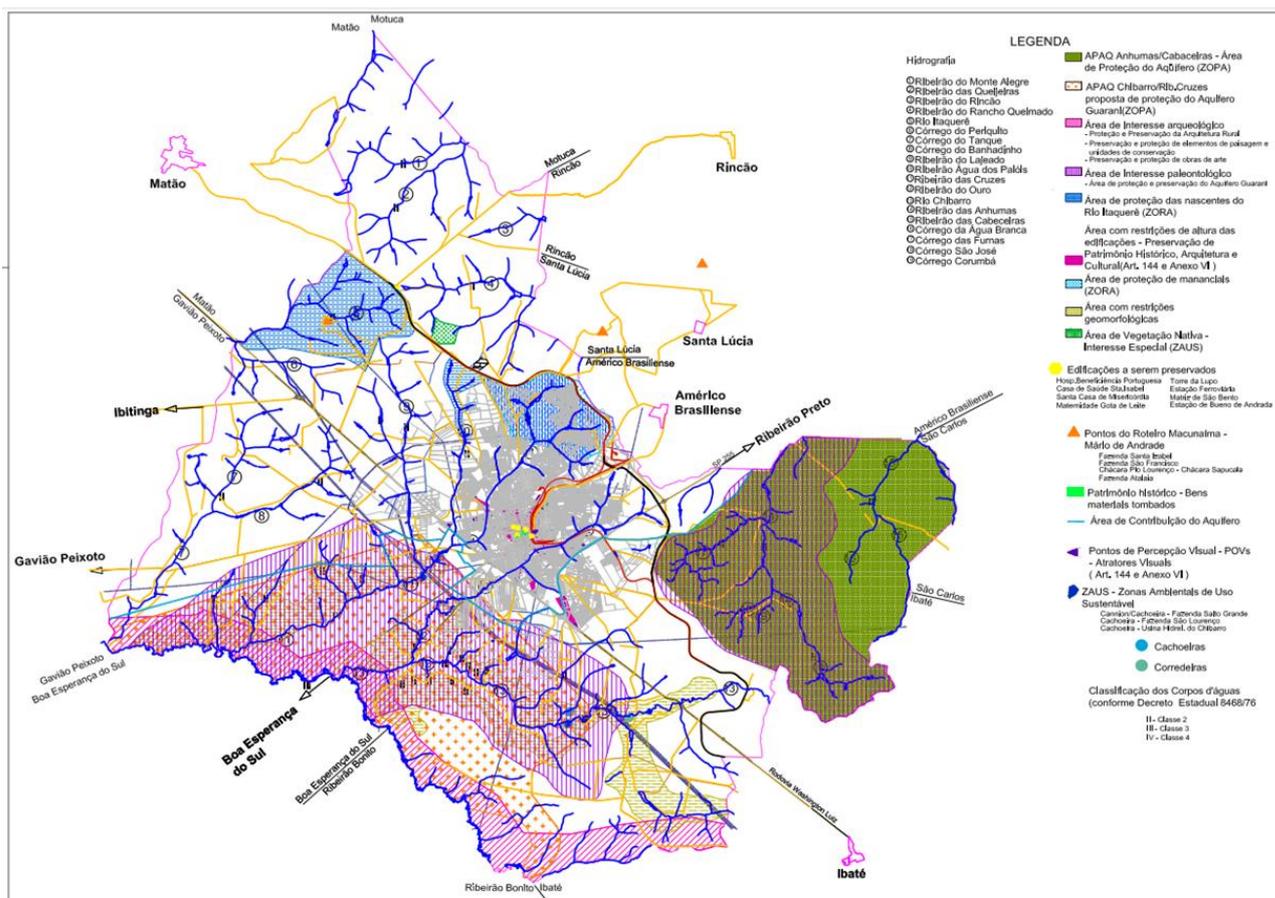
5.1.3. Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – PSALF ETA 2

As informações referentes ao Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 estão apresentadas a seguir.

5.1.3.1. Caracterização das Águas Superficiais – Mananciais de Abastecimento da Estação de Tratamento de Água 2

A segunda Estações de Tratamento de Água estudadas neste trabalho, denominada ETA 2, é abastecida por dois rios: Ribeirão das Cruzes e Ribeirão das Anhumas. O mapa da Figura 57 apresenta a hidrografia da região, inclusive o Ribeirão das Cruzes e o Ribeirão das Anhumas

Figura 57: Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento (ETA 2)



Fonte: Prefeitura Municipal de Araraquara, 2012.

5.1.3.1.1. Ribeirão das Cruzes

A sub-bacia do Ribeirão das Cruzes (Figuras 58 e 59) é um rio classe 2 até a represa de captação para abastecimento público e classe 4 desta seção em diante, que pertence ao município de Araraquara – SP, cidade onde encontra-se vegetação nativa cercada pelas culturas da cana-de-açúcar e de laranja (SANTOS, *et al.* 2010; FRANCO, 2013).

Além do cultivo de cana-de-açúcar e laranja, é uma região muito promissora em outros segmentos agroindustriais, como cultura de soja, milho e cítricos (tangerina e limão) (MACEDO, 2007).

O Ribeirão das Cruzes tem sua nascente (Figura 60) dentro da área urbana de Araraquara, cortando todo o município até sua foz no rio Jacaré-Guaçú (FRANCO, 2013). O fato do rio nascer e atravessar toda a cidade faz com que o nível de contaminação do mesmo seja muito elevado. Na própria Figura 60 é possível visualizar sinais de poluição.

Figura 58: Ribeirão das Cruzes



Fonte: Franco, 2013.

Figura 59: Ribeirão das Cruzes (represado)



Fonte: Franco, 2013.

Figura 60: Nascente do Ribeirão das Cruzes



Fonte: Macedo, 2007.

5.1.3.1.2. Ribeirão das Anhumas

A nascente do Ribeirão das Anhumas está localizada na fazenda Fortaleza, entre os municípios de Araraquara e Ibaté, no estado de São Paulo. Nas áreas da nascente existem florestas de eucaliptos destinadas para a produção de papel e celulose, com uma área de preservação permanente (2%), com solo arenoso na maior parte da propriedade (SAULINO, *et al.*, 2011).

De acordo com estudos realizados por Saulino, *et al.* (2011), a água da nascente do Ribeirão das Anhumas mantém as áreas de preservação permanente em bom estado de conservação.

No entanto, ao decorrer de seu percurso, o rio corta diversas cidades, como a cidade de Araraquara e, infelizmente, possui rastros de poluição e ocupação urbana, prejudicando a qualidade da água, como mostra a Figura 61. Isso faz com que seu enquadramento seja classe 3, segundo o Decreto nº 10.755, de 22/11/1977 (BRASIL, 1977) e Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005 – Art. 15 – Tabela 3 – Classe 3 (BRASIL, 2005).

Figura 61: Entulho e lixo na margem do Ribeirão das Anhumas



Fonte: Atlas Socioambiental da Bacia do Ribeirão das Anhumas, 2003.

5.1.3.2. Descrição Geral da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

A Estação de Tratamento de Água 2 está localizada em um município no interior do estado de São Paulo. Foi construída na década de 1940 e já passou por várias reformas. Utiliza a tecnologia de ciclo completo com captação de água do Ribeirão das Cruzes e Ribeirão das Anhumas, com uma vazão média de 365 L/s (mínima de 120 L/s e máxima de 500 L/s).

A tecnologia de ciclo completo, conhecida como convencional, é a mais comumente utilizada no Brasil e consiste as etapas de: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

A Figura 62 apresenta uma vista geral da Estação de Tratamento de Água 2.

A ETA 2 possui uma unidade para coagulação e mistura rápida (*calha parshall*) e é dividida em dois módulos paralelos compostos, cada um, por floculadores hidráulicos tipo chicana, quatro floculadores mecanizados, dois módulos de decantadores de alta taxa de fluxo ascendente, três filtros rápidos descendentes e desinfecção com cloro.

Figura 62: Vista aérea da Estação de Tratamento de Água 2 - ETA 2



Fonte: Pascoal, 2011.

A descrição das etapas da ETA 2 estão apresentadas a seguir.

5.1.3.2.1. Etapas de Coagulação e Mistura Rápida

A água que entra na Estação de Tratamento de Água 2 é proveniente do Ribeirão das Cruzes e das Anhumas, conforme descrito anteriormente. Assim que entra na ETA 2, a água recebe uma dosagem do coagulante tanino vegetal (Tanino da Acácia Negra), um coagulante orgânico, e não é necessário o ajuste de pH. Essa dosagem é definida em função das características da água bruta.

A Figura 63 mostra a entrada de água bruta na ETA.

Figura 63: Entrada de água bruta na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

A adição do coagulante é realizada antes da *calha parshall* (Figura 64), assim que entra na ETA, mesmo sendo indicado que essa aplicação ocorra na unidade de mistura rápida. No entanto, a água atravessa uma caixa até chegar na unidade de mistura rápida (Figura 65), podendo receber, esporadicamente, aplicação e mistura do alcalinizante e onde se encontra um ponto alternativo para dosagem de coagulante, utilizado quando há falha ou quebra nas bombas dosadoras de tanino na entrada da estação.

Figura 64: Adição de coagulante tanino na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

Figura 65: Calha parshall e ponto alternativo de adição de coagulante na ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

Para dosar o coagulante, os operadores seguem tabela de Dosagem de Tanino. A tabela fica arquivada na sala dos operadores e está apresentadas na Tabela 23, nos Apêndices.

Após passar pela caixa de entrada e pelo segundo ponto alternativo de aplicação de coagulante, existe uma estrutura de concreto que divide a vazão da água coagulada entre os dois módulos (Figura 66). No entanto, pela ausência de monitoramento de vazão, não é possível afirmar a quantidade de água coagulada que é encaminhada para cada módulo.

Figura 66: Divisão de vazão dos módulos da ETA 2



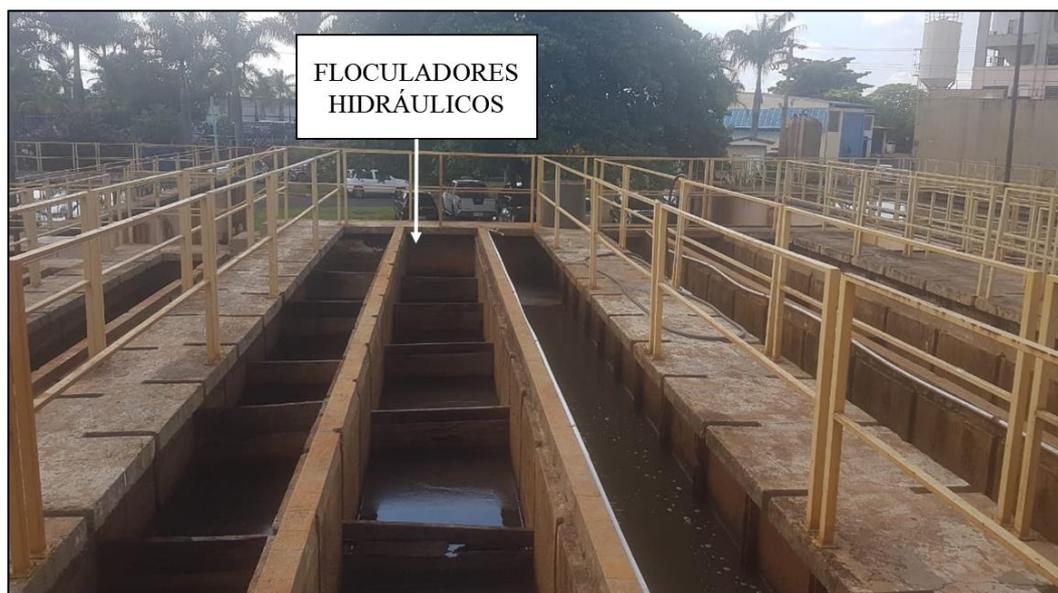
Fonte: Autora, 2019.

5.1.3.2.2. Etapa de Flocculação

A água coagulada é direcionada para a etapa de flocculação por meio da estrutura de divisão da vazão de água coagulada, conforme apresentado anteriormente. É, inicialmente, encaminhada para câmaras de pré-flocculação tipo chicanas, seguida de flocculadores mecanizados com paletas. A água é submetida à agitação lenta durante o tempo necessário para que os flocos alcancem o tamanho e a massa específica suficiente para que sejam removidos nos decantadores.

Os flocculadores hidráulicos de escoamento vertical estão apresentados na Figura 67 e são constituídos de chicanas de madeira com passagens superiores e inferiores para a água.

Figura 67: Floculadores hidráulicos tipo chicana da ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

Após passagem pelos floculadores hidráulicos, a água é direcionada para os floculadores mecanizados, apresentados na Figura 68, que possuem paletas giratórias paralelas ao eixo vertical.

Em seguida, a água floculada é encaminhada para unidade de decantação.

Figura 68: Floculadores mecanizados da ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

5.1.3.2.3. Etapa de Decantação

A ETA 2 possui duas unidades de decantação de alta taxa com módulos tubulares e estão apresentados nas Figuras 69, 70 e 71.

A água floculada proveniente de cada módulo é direcionada à sua unidade de decantação através de um canal de água floculada. Cada módulo de decantação possui três decantadores com 36,5 m² de área superficial cada.

Saindo dos decantadores, a água decantada é encaminhada ao canal de coleta, no centro dos decantadores, conforme pode ser visto, também, nas Figuras 69, 70 e 71.

Figura 69: Decantadores de alta taxa da ETA 2 (módulo 1)



Fonte: Autora, 2019.

Figura 70: Decantadores de alta taxa da ETA 2 (módulo 2)



Fonte: Autora, 2019.

Figura 71: Saída de água decantada dos decantadores de alta taxa da ETA 2

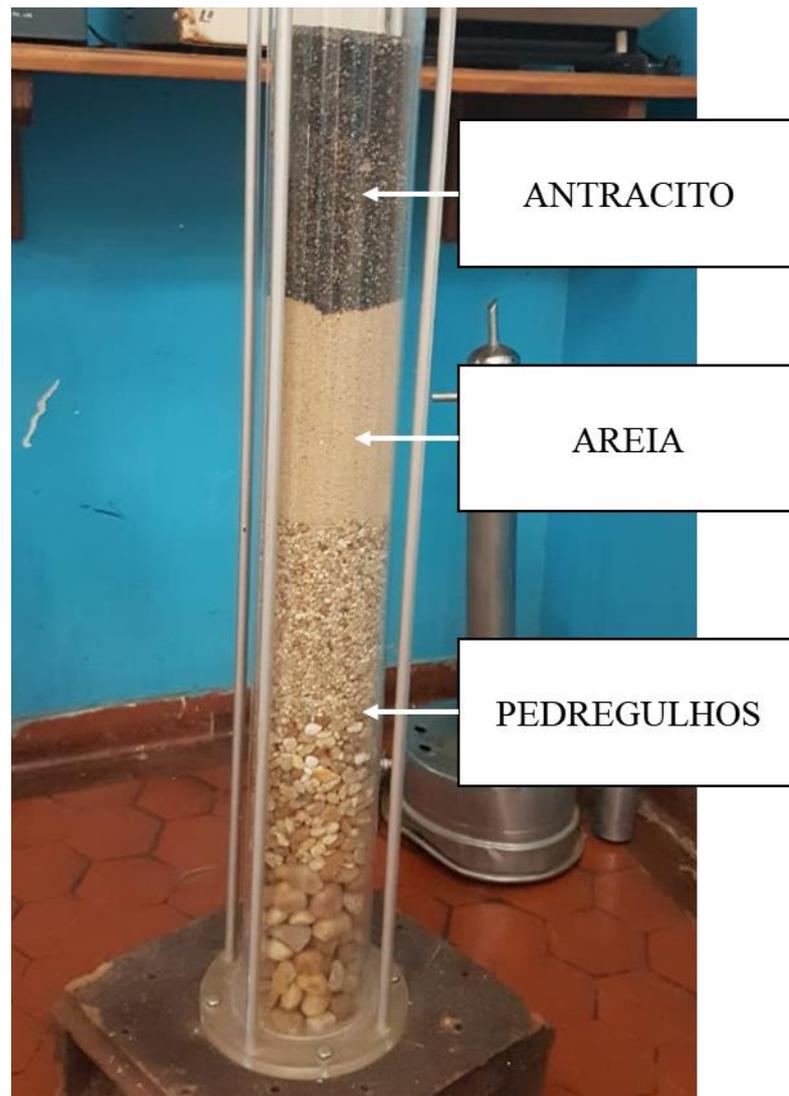


Fonte: Autora, 2019.

5.1.3.2.4. Etapa de Filtração

Na ETA 2, a água clarificada é encaminhada para filtros rápidos com escoamento descendente, com taxa declinante variável, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, neste caso, antracito, areia e pedregulhos, conforme apresentado na Figura 72.

Figura 72: Representação do meio filtrante: pedregulhos, areia e antracito (ETA 2)



Fonte: Autora, 2019.

A ETA 2 possui seis filtros com 35,15 m² de área superficial cada, totalizando 210,9 m² de área filtrante total. A taxa média máxima de filtração é 204,84 m³/m²/d.

A Figura 73 apresenta um filtro rápido com escoamento descendente e taxa declinante variável da ETA 2.

Figura 73: Filtro rápido descendente da ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

5.1.3.2.5. Etapa de Desinfecção

A água filtrada recebe hipoclorito de sódio na etapa de desinfecção e ácido fluossilícico para fluoração.

Para prevenção de encrustamento das tubulações, é aplicado ortopolifosfato de sódio na tubulação que encaminha a água tratada aos reservatórios.

5.1.3.2.6. Processo de Lavagem dos Filtros

Na ETA 2, a lavagem dos filtros ocorre diariamente, de forma ascendente (velocidade ascensional média de 0,80 m/min), com ar e água, separadamente.

Os filtros devem ser lavados sempre que o resultado da turbidez da água filtrada individual do filtro for igual ou superior a 0,2 uT. No entanto, os filtros são lavados com base em diferentes critérios, variando de operador para operador. Alguns lavam os filtros por tempo de carreira de filtração, outros baseados na carga hidráulica e, também, por transpasse.

Existem sopradores de ar para auxiliar na lavagem e a água utilizada nessa operação é proveniente do reservatório elevado de água tratada.

O tempo de lavagem dos filtros varia de operador para operador, sendo recomendado 3 minutos de lavagem com ar e 3 a 5 minutos com água.

O operador realiza as seguintes etapas para lavagem de cada um dos filtros:

- Abrir válvula geral de tubo de ar;
- Abrir válvula individual de tubo de ar;
- Travar comportas (às vezes falta energia e elas não fecham sozinhas, por isso tem que travar a comporta);
- Fechar entrada de água no filtro;
- Fechar filtração;
- Abrir descarga;
- Aguardar a água baixar (até canos de dentro do filtro);
- Fechar comportas;
- Ligar o ar. 1 – 2 min;
- Desligar o ar;
- Abrir comporta;
- Lavar com água até subir 1 m a régua do nível d'água do reservatório (equivalente a 135 m³);
- Fechar descarga (continua enchendo o filtro);
- Fechar água da caixa d'água;
- Abrir comportas;
- Abrir descargas (“para arrastar toda a sujeira de cima”) até aparecer a válvula de descarga;
- Fechar descarga;
- Abrir entrada de água para os filtros;
- Fim da lavagem.

A seguir são apresentadas as etapas da lavagem dos filtros.

A Figura 74 apresenta um dos filtros em operação, seguida da Figura 75, onde se deu início à lavagem com ar.

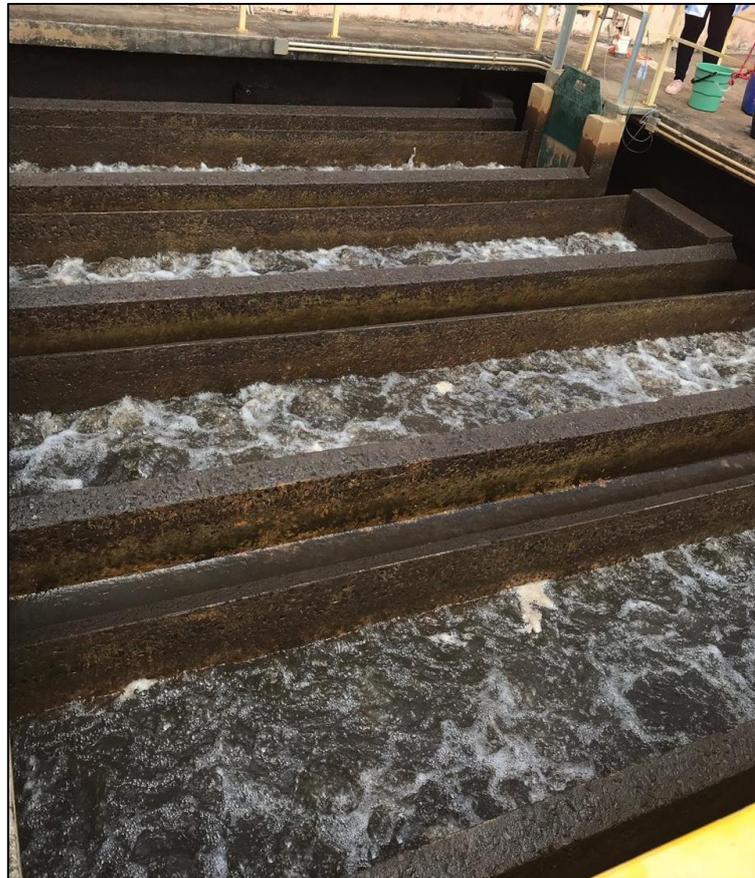
A Figura 76 apresenta o início da lavagem ascensional com água. Na Figura 77 observa-se que a água proveniente desse processo, denominada água de lavagem dos filtros, possui uma turbidez elevada, ocasionando um grande impacto visual.

Figura 74: Filtro rápido descendente da ETA 2 em operação



Fonte: Autora, 2019.

Figura 75: Início da lavagem do filtro da ETA 2 com ar



Fonte: Autora, 2019.

Figura 76: Início da lavagem do filtro da ETA 2 com água



Fonte: Autora, 2019.

Figura 77: Água de lavagem do filtro da ETA 2



Fonte: Autora, 2019.

A água de lavagem dos filtros é encaminhada para um tanque de regularização e homogeneização, juntamente com a descarga dos decantadores, e posteriormente são direcionados para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do município.

A vazão de água de lavagem dos filtros não foi informada.

5.1.3.3. Análise dos Dados Operacionais e do Resíduo Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

Os resultados da caracterização físico-química e microbiológica das águas coletadas na Estação de Tratamento de Água 2 para os períodos chuvoso e de estiagem estão apresentadas a seguir.

5.1.3.3.1. Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2

A água bruta afluente à ETA 2 é o resultado da mistura das águas brutas provenientes de dois mananciais, Ribeirão das Cruzes e das Anhumas, classes 2 e 3, respectivamente. A Tabela 11 apresenta o resultado da caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2.

Nota-se, pela Tabela 11, que o pH da água bruta sofreu pouca variação entre os períodos analisados, podendo ser explicado por alterações nas características da água bruta, como, por exemplo, proliferação de alguns tipos de algas que podem causar a elevação do pH da água.

Os valores de pH de coagulação foram idênticos nas duas coletas. O recomendado para o tratamento em ciclo completo para que se ocorra a coagulação no mecanismo da varredura é que o pH esteja na faixa de 6,0 a 7,0. Nota-se que foi possível atender a recomendação. No entanto, é necessária a realização de ensaios em jarreste, com diferentes condições, para verificar a dosagem adequada de coagulante e não seguir tabelas para dosagem que foram elaboradas proporcionalmente.

O pH da água decantada apresentou valores próximos nas duas coletas, quase idênticos, assim como na água coagulada. O pH da água tratada se manteve, em ambas as coletas, dentro do recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5, Anexo XX, na faixa de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2017).

Tabela 11: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2 (1ª e 2ª coletas)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)				2ª COLETA (ESTIAGEM)			
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA	ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA
pH	-	6,68	6,74	6,53	6,00	6,11	6,74	6,57	6,80
turbidez	uT	22,6	24,5	57,0	0,8	6,99	9,14	3,44	0,3
cor aparente	uH	172	192	56	7	43	52	22	3
cor verdadeira	uH	15	8	15	6	4	7	5	3
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	35	36	35	34	20	21	23	26
condutividade elétrica	µs/cm	61,9	63,1	64,0	73,6	55	55,8	61,2	73,8
Sólidos Totais	mg/L	82,3	67,0	119,3	132,0	60,3	60,0	57,5	54,5
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	28,7	30,3	9,0	0,7	5,5	7	2,0	2
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	53,6	36,7	110,3	131,3	54,8	53	55,5	52,5
Carbono Orgânico Total	mg/L C	2,62	3,19	5,82	2,29	2,73	3,37	1,06	2,66

*A tabela continua na próxima página.

Tabela 11: Caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta, coagulada, decantada e tratada da ETA 2 (1ª e 2ª coletas)

(continuação)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)				2ª COLETA (ESTIAGEM)			
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA	ÁGUA BRUTA	ÁGUA COAGULADA	ÁGUA DECANTADA	ÁGUA TRATADA
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	150	230	1200	ausentes	4	1	1	ausentes
Coliformes Totais	UFC/100 mL	930	560	40	ausentes	400	60	2	ausentes
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	470	120	1	ausentes	4	24	1	ausentes
Ferro Total	mg/L Fe	1,715	3,225	0,877	0,094	0,066	0,534	0,067	<0,001
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0,126	0,058	0,179	0,090	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manganês Total	mg/L Mn	0,03	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Alumínio Dissolvido	mg/L Al	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinco Total	mg/L Zn	<0,01	0,04	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Níquel Total	mg/L Ni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fósforo Total	mg/L P	0,004	0,005	0,004	0,04	0,001	0,003	0,001	0,007

Fonte: Autora, 2020.

A turbidez da água bruta no período chuvoso é cerca de 70% maior que o período de estiagem, uma vez que há uma maior quantidade de sólidos que são arrastados das margens pelas chuvas. Valores de turbidez elevados requerem uma maior dosagem de coagulante, resultando maior volume de resíduos de ETA (lodo dos decantadores e ALF). Entretanto, em ambas as coletas, a turbidez não ultrapassou o valor máximo permitido para rios de classe 3, de 100 uT.

Na água coagulada a turbidez está diretamente relacionada com a turbidez da água bruta pois, quanto mais elevado o valor da água bruta, maior será da água coagulada. Nota-se que a diferença entre a turbidez da água bruta e da coagulada é mínima, sendo ocasionada pela adição de coagulante e início da formação dos flocos.

Observa-se que o valor da turbidez da água decantada foi menor no período de estiagem. Valores de turbidez elevados na água decantada podem influenciar negativamente a turbidez da água filtrada e ocasionar a presença de microrganismos, como protozoários. O valor da turbidez obtido no período chuvoso foi muito elevado, sendo maior que o da própria água bruta. Nota-se claramente que o decantador não estava sendo operado de maneira adequada, não garantindo a eficiência do processo.

A turbidez da água tratada é um parâmetro importante no que se refere à segurança da água, uma vez que pode ser considerada um indicador indireto da presença ou ausência de microrganismos patogênicos de difícil detecção e quantificação, como os protozoários. Quanto menor a turbidez, menor a probabilidade da presença de patogênicos. O valor de turbidez para a 1ª coleta se apresentou maior do que o obtido na 2ª coleta. Isso pode ter sido ocasionado porque a 1ª coleta da água decantada apresentou turbidez elevada, interferindo negativamente na turbidez da água filtrada e, conseqüentemente, na água tratada.

A Portaria de Consolidação nº 5, no Anexo XX (BRASIL, 2017), estabelece que o valor máximo permitido de turbidez para a água tratada é 5,0 uT, como já visto para a ETA 1.

A cor aparente, bem como a cor verdadeira, estão diretamente ligadas à turbidez, sendo que os maiores valores ocorreram no período em que houve chuvas. No entanto, mesmo no período de estiagem, o valor da cor aparente se apresentou relativamente elevado quando comparado com a turbidez, indicando a presença de matéria orgânica na água bruta afluenta à ETA.

Assim como a turbidez, os resultados para cor aparente da água coagulada são um pouco mais elevados do que na água bruta. No entanto, a cor verdadeira sofreu alteração significativa em relação à da água bruta, principalmente na 1ª coleta. Isso se deve ao fato da adição do

coagulante na água bruta (quanto maior a turbidez, mais coagulante), o que forma um aglomerado de flocos, e está diretamente relacionado com a quantidade de sólidos suspensos na água.

Os valores de cor aparente e verdadeira para a água decantada são condizentes com os valores de turbidez. Como critério operacional, adota-se que a cor aparente da água decantada resulte valores inferiores a 20 uH. Porém, na 1ª coleta, resultou um valor de 56 uH e, na 2ª coleta, um valor de 22 uH, não atendendo ao recomendado em nenhuma das coletas. Entretanto, a cor verdadeira resultou um valor relativamente baixo, mostrando que as moléculas de substâncias húmicas e fúlvicas foram convenientemente coaguladas .

Na água tratada, os valores para cor aparente ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (15 uH) (BRASIL, 2017). Observa-se que no período chuvoso a cor aparente e a cor verdadeira continuam sendo maiores do que no período de estiagem.

A alcalinidade sofreu alteração significativa de uma coleta para a outra, mas se manteve entre os valores comuns de alcalinidade para mananciais no Brasil (10 a 100 mg/L CaCO₃), sendo considerada uma medida total de substâncias presentes na água capazes de neutralizar ácidos. Para a faixa de pH da água bruta (entre 4,4 e 8,3), a alcalinidade é dada somente em função da presença de bicarbonatos. A análise desse parâmetro é importante porque pode influenciar na dosagem de alcalinizante para ajuste do pH de coagulação e na eficiência do processo de tratamento de água.

Na água coagulada, a alcalinidade possui praticamente o mesmo valor do obtido na água bruta, uma vez que a ETA não estava utilizando alcalinizante nos dias da coleta, e foi um pouco menor na 2ª coleta.

Os resultados para alcalinidade na água decantada e tratada seguem os obtidos para a água coagulada, sofrendo variação entre a 1ª e 2ª coletas, como nas águas anteriores.

A condutividade sofreu alteração entre as duas coletas e está relacionada com a quantidade de sólidos dissolvidos totais presentes na água. Se há sólidos dissolvidos, haverá condutividade elétrica.

Devido à quantidade de sólidos dissolvidos ser muito mais elevada do que a de sólidos suspensos, a água tratada apresenta, dentre todas, o maior valor para a condutividade elétrica. No entanto, esse parâmetro também não faz parte da Portaria de Consolidação nº 5.

Os valores de sólidos totais são maiores no período chuvoso, justificando-se pelo arraste de sólidos presentes nas margens dos rios pela água da chuva. Nota-se que os sólidos suspensos

na água bruta correspondem a 34,9% dos sólidos totais no período chuvoso e a 9,1% no período de estiagem. A quantidade de sólidos dissolvidos totais atende ao máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 3 (500 mg/L).

Na água decantada, os sólidos totais se apresentaram em maior quantidade na 1ª coleta, acompanhando os valores elevados de turbidez e cor aparente. Nota-se que 92% se apresentam sob a forma dissolvida. Como é de se esperar, a maior parte dos sólidos presentes na água tratada está sob a forma dissolvida e não suspensa, e os resultados obtidos não ultrapassaram o máximo permitido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 1000 mg/L (BRASIL, 2017).

O carbono orgânico total na água indica a presença de moléculas orgânicas, assim como já mencionado anteriormente para a ETA 1. Nota-se que na 2ª coleta o valor do COT não sofreu alteração significativa em relação à 1ª coleta, mostrando que, neste caso, a época do ano não influenciou nesse parâmetro.

Da mesma forma como ocorreu com a água bruta, o resultado obtido para COT na água coagulada foi mais elevado na 1ª coleta, podendo ser justificado pelas chuvas, que proporcionam um ambiente com maior concentração de matéria orgânica. É possível observar valores um pouco mais elevados de COT na água coagulada em relação ao da água bruta. Neste caso o aumento aconteceu devido à adição do coagulante tanino vegetal, que possui compostos orgânicos naturais em sua composição.

O valor do COT na água decantada foi bem mais elevado na 1ª coleta, provavelmente pela ineficiência da etapa e/ou pelo período chuvoso, que propicia a formação de matéria orgânica. Já na água tratada, o valor para o COT foi próximo nas duas coletas. Entretanto, tanto na 1ª como na 2ª coleta, o resultado obtido para COT foi maior do que 2,0 mg/L. A Portaria de Consolidação nº 5 não contempla esse parâmetro, mas a USEPA recomenda que as ETAs que possuem desinfecção com cloro produza água com valores de COT menores que 2,0 mg/L, a fim de que seja reduzida a probabilidade da formação de subprodutos organo-halogenados.

A quantidade de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* foi muito menor no período da estiagem quando comparada com o período chuvoso, do mesmo modo como ocorreu na ETA 1. Entretanto, os valores obtidos para coliformes totais não ultrapassaram o valor máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 3 de 4000 UFC/100 mL.

É notável a diminuição de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* na água decantada em relação à água coagulada apenas na 2ª coleta. Na 1ª coleta aconteceu o

contrário, houve proliferação dos três tipos de microrganismos, mostrando novamente que a etapa de decantação não estava satisfatória.

O valor máximo permitido de bactérias heterotróficas para a água tratada é de 500 UFC/mL e coliformes totais e *Escherichia coli* devem estar ausentes em cada 100 mL. Pela Tabela 11 observa-se que a água tratada da ETA 2 atende tais parâmetros.

Os valores mais elevados dos metais na água bruta no período chuvoso pode ser também justificado pelo arraste de sólidos do solo das margens dos rios, que contém metais em sua composição. Os resultados obtidos para os metais atendem aos valores máximos permitidos pelo CONAMA nº 357.

Os resultados obtidos para os metais na água coagulada também sofreram variações entre as duas coletas, do mesmo modo que na água bruta. Os valores obtidos na água decantada foram menores quando comparados aos da água coagulada, com exceção para o ferro dissolvido. Isso mostra que a maior parte dos metais presentes se aderiu aos flocos e se sedimentou, constituindo parte do lodo dos decantadores, conforme já mencionado anteriormente na ETA 1.

Todos os resultados obtidos para metais atendem aos valores máximos permitidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 na água tratada (BRASIL, 2017).

A presença de fósforo na água bruta pode ser devido a eutrofização dos corpos d'água, agrotóxicos ou lançamentos indevidos de efluentes domésticos, assim como apresentado para a ETA 1. No entanto, nas duas coletas, os valores obtidos não ultrapassaram o valor máximo permitido pelo CONAMA nº 357 para rios classe 3 de 0,050 mg/L. Na água decantada, o fósforo das duas coletas resultou um valor menor do que as respectivas coletas de água coagulada, mostrando que foi removido juntamente com os flocos (lodo dos decantadores).

Nota-se o valor elevado de fósforo na água tratada, em ambas as coletas. Isso aconteceu devido à adição de ortopolifosfato de sódio, utilizado para prevenção de incrustações na tubulação. No entanto, esse parâmetro não faz parte do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017).

Deve ser realizada a dosagem adequada de cloro para eliminar a amônia presente na água devido ao coagulante e garantir o residual de cloro livre de, no mínimo, 2,0 mg/L.

Sendo assim, a água bruta é considerada de boa qualidade, mesmo sendo proveniente da mistura de rios classe 2 e 3. A presença de sólidos varia de acordo com a época do ano (chuvas e estiagem), estando abaixo dos valores máximos permitidos. Nenhum resultado para

metais ultrapassou os valores máximos permitidos. No entanto, apresenta teor de COT acima do recomendado, evidenciando a presença de matéria orgânica.

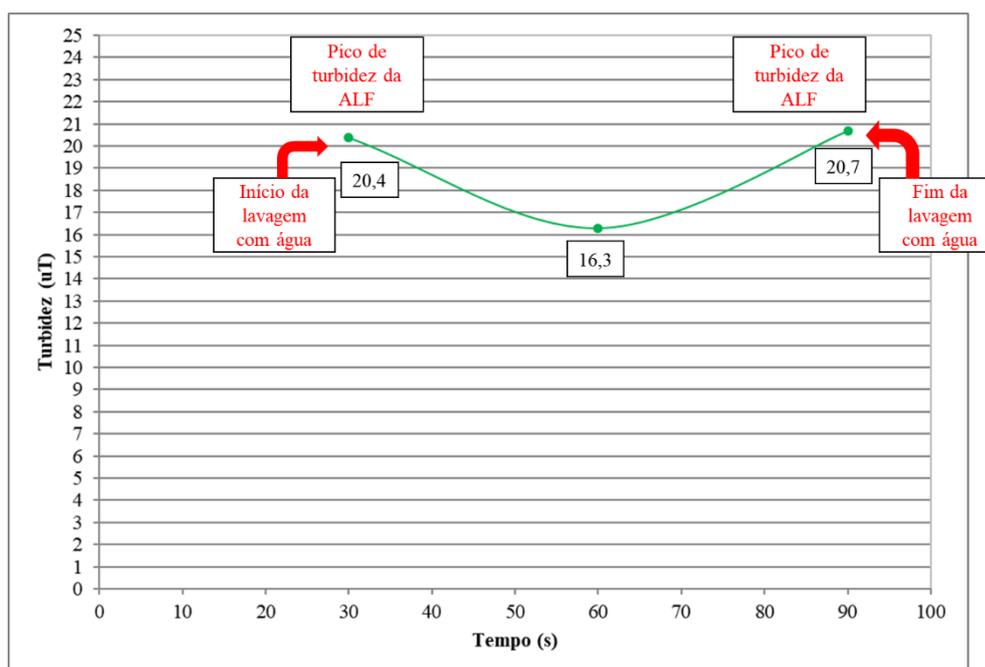
Recomenda-se que a turbidez da água decantada esteja abaixo de 3,0 uT para não influenciar negativamente na turbidez da água filtrada e, conseqüentemente, da água tratada, bem como manter a cor aparente abaixo de 20 uH.

A água tratada apresenta boa qualidade e atende aos padrões de potabilidade estabelecidos no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017). Entretanto, destaca-se que apresenta um valor de COT acima de 2,0 mg/L, que mesmo sendo um parâmetro que não faz parte da Portaria de Consolidação nº 5, ultrapassa o recomendado pela USEPA.

5.1.3.3.2. Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem de filtros da ETA 2

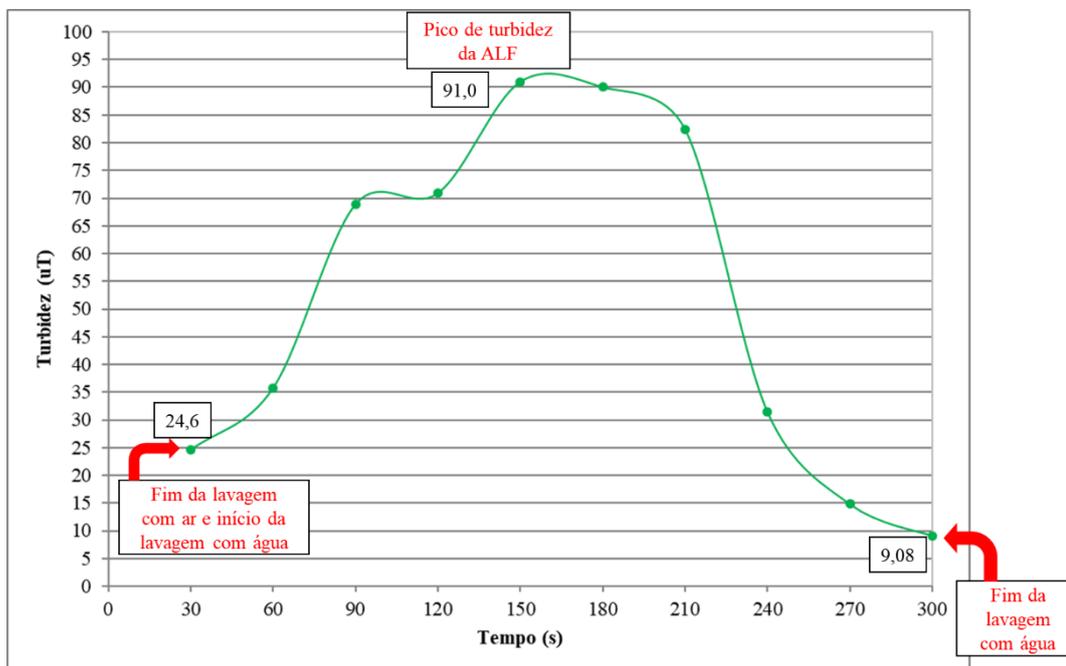
Os gráficos das Figuras 78 e 79 apresentam a variação da turbidez da água de lavagem dos filtros em função do tempo durante a 1ª e 2ª coletas, respectivamente (Tabelas 26 e 27 dos Apêndices).

Figura 78: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 2 (1ª coleta – chuvoso)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 79: Variação da turbidez da água de lavagem em função do tempo no filtro 1 da ETA 2 (2ª coleta – estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

A lavagem dos filtros na ETA 2 é realizada com ar e, em seguida, com água. As amostras foram coletadas durante a lavagem com água, conforme apresentado na metodologia.

Não foi possível coletar as amostras referentes à turbidez da ALF do filtro 2 durante a lavagem.

É visível o quanto a lavagem do filtro 1 na 1ª coleta foi ineficiente. Após a lavagem com ar, que durou cerca de 2 min e 30 s, realizou-se a lavagem com água, com duração de, aproximadamente, 1 min e 30 s. Não foi possível elaborar uma curva de turbidez da ALF do filtro 1 por insuficiência de dados.

Já na 2ª coleta a lavagem foi realizada por outro operador. A lavagem com ar durou cerca de 2 min e com água 5 min, conforme apresentado no gráfico da Figura 79. No entanto, observa-se que a curva de turbidez não se comportou formando apenas um pico de turbidez.

A diferença entre os picos de turbidez observados no filtro 1 na 2ª coleta da ALF pode ter ocorrido devido à má distribuição da água para lavagem ao longo da câmara de filtração.

É recomendado que a lavagem dos filtros seja interrompida quando a água de lavagem apresentar turbidez menor ou igual a 5,0 uT. De acordo com os gráficos das Figuras 78 e 79, em nenhuma das lavagens a turbidez resultou em valor igual ou inferior ao recomendado.

A lavagem inadequada dos filtros pode ocasionar diversos problemas, como o aparecimento de bolas de lodo no interior do meio filtrante, menor volume de água produzido por carreira de filtração, picos elevados de turbidez de água filtrada lodo após o reinício da operação e o aumento da perda de carga no meio filtrante.

Existe a necessidade de se executar ensaios de otimização da lavagem dos filtros.

A Tabela 12 apresenta a caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 2.

Em relação aos valores obtidos para pH, a 2ª coleta obteve um valor mais elevado, assim como na água tratada.

Os resultados de turbidez foram mais elevados na 2ª coleta, mesmo que tenha sido realizada na estiagem e a água bruta contendo turbidez mais baixa, pois a maior parte dos sólidos se sedimenta nos decantadores no período chuvoso, resultando menor turbidez na ALF.

Os valores de turbidez são altos quando comparados com os da água bruta. Na 1ª coleta a água bruta apresentou um valor de turbidez de 22,6 uT e a ALF 31,7 uT, quase duas vezes maior. Já na 2ª coleta a água bruta apresentou turbidez de 6,99 uT e a ALF 85,5 uT, doze vezes maior.

Os valores obtidos para cor aparente acompanharam os valores de turbidez. Esses valores indicam a presença de matéria orgânica na água de lavagem dos filtros.

Mesmo que a água bruta da 2ª coleta tenha apresentado menor quantidade de sólidos totais, o teor de sólidos totais em todas as ALF foi mais elevado na 2ª do que na 1ª coleta. Entretanto, nota-se que, apesar da maior quantidade de sólidos totais na 2ª coleta da ALF, a porcentagem de sólidos suspensos em relação aos sólidos totais foi maior na 1ª coleta (35% contra 9%), sendo proveniente do arraste dos sólidos das margens dos rios pelas chuvas, da mesma forma como ocorreu na ETA 1.

A quantidade de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* foi elevada nas duas coletas, mostrando que, independentemente do período e da quantidade de sólidos, irão se proliferar e contaminar a água. No entanto, observam-se valores mais elevados na ALF quando comparados com a água bruta, principalmente na 2ª coleta.

Os metais que não são aderidos aos flocos para se sedimentarem nos decantadores são encaminhados para os filtros e resultaram, principalmente na 1ª coleta, valores elevados, com destaque para ferro total.

Tabela 12: Caracterização físico-química e microbiológica da água de lavagem dos filtros da ETA 1 comparada com a caracterização físico-química e microbiológica das águas bruta e tratada da ETA 2 (1ª e 2ª coletas)

PARÂMETRO	UNIDADE	1ª COLETA (CHUVOSO)			2ª COLETA (ESTIAGEM)		
		ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ALF	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ALF
pH	-	6,68	6,00	6,61	6,11	6,80	7,15
turbidez	uT	22,6	0,8	31,7	6,99	0,3	85,5
cor aparente	uH	172	7	166	43	3	522
cor verdadeira	uH	15	6	18	4	3	11
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	35	34	36	20	26	25
condutividade elétrica	µs/cm	61,9	73,6	65,6	55	73,8	64,1
Sólidos Totais	mg/L	82,3	132,0	78,5	60,3	54,5	114,6
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	28,7	0,7	69,3	5,5	2	55,3
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	53,6	131,3	9,2	54,8	52,5	59,3
Carbono Orgânico Total	mg/L C	2,62	2,29	2,66	2,73	2,66	1,78
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	150	0	380	4	ausentes	260
Coliformes Totais	UFC/100 mL	930	0	790	400	ausentes	880
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	470	0	640	4	ausentes	120
Ferro Total	mg/L Fe	1,715	0,094	2,87	0,066	<0,001	0,654
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0,126	0,090	0,051	<0,001	<0,001	<0,001
Manganês Total	mg/L Mn	0,03	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	0,42
Alumínio Dissolvido	mg/L Al	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinco Total	mg/L Zn	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,39
Níquel Total	mg/L Ni	<0,001	<0,001	0,189	<0,001	<0,001	0,149
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fósforo Total	mg/L P	0,004	0,04	0,001	0,001	0,007	<0,001
Nitrato	mg/L	-	-	1,025	-	-	0,063
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	-	-	<0,01	-	-	<0,01

Fonte: Autora, 2020.

Foram observados indícios de nitrato na ALF, que é proveniente da água bruta, podendo ser de origem natural ou devido a contaminação por esgoto sanitário ou despejos industriais (tratados ou não). A presença de nitrato favorece o desenvolvimento de organismos fotossintéticos autotróficos.

Após análise de toda a caracterização físico-química e microbiológica da ALF, é evidente que não é recomendada sua recirculação *in natura* ao início da ETA. Uma água com essas características prejudicará todo o processo de tratamento de água. A ETA é projetada para operar sob determinadas condições e a ALF é uma água totalmente contaminada, com elevador teor de sólidos e metais tóxicos, ultrapassando limites do CONAMA nº 357 para rios classe 3. É necessário tratamento da ALF, assim como mencionado para a ETA 1.

É necessária a reforma e dos filtros da ETA 2, visando adequá-los para evitar a ocorrência de transpasse durante a carreira de filtração; aumentar o tempo das carreiras de filtração, diminuindo o número de lavagens e, conseqüentemente, o volume de água para lavagem; aumentar a flexibilidade operacional e modernizar e automatizar os filtros.

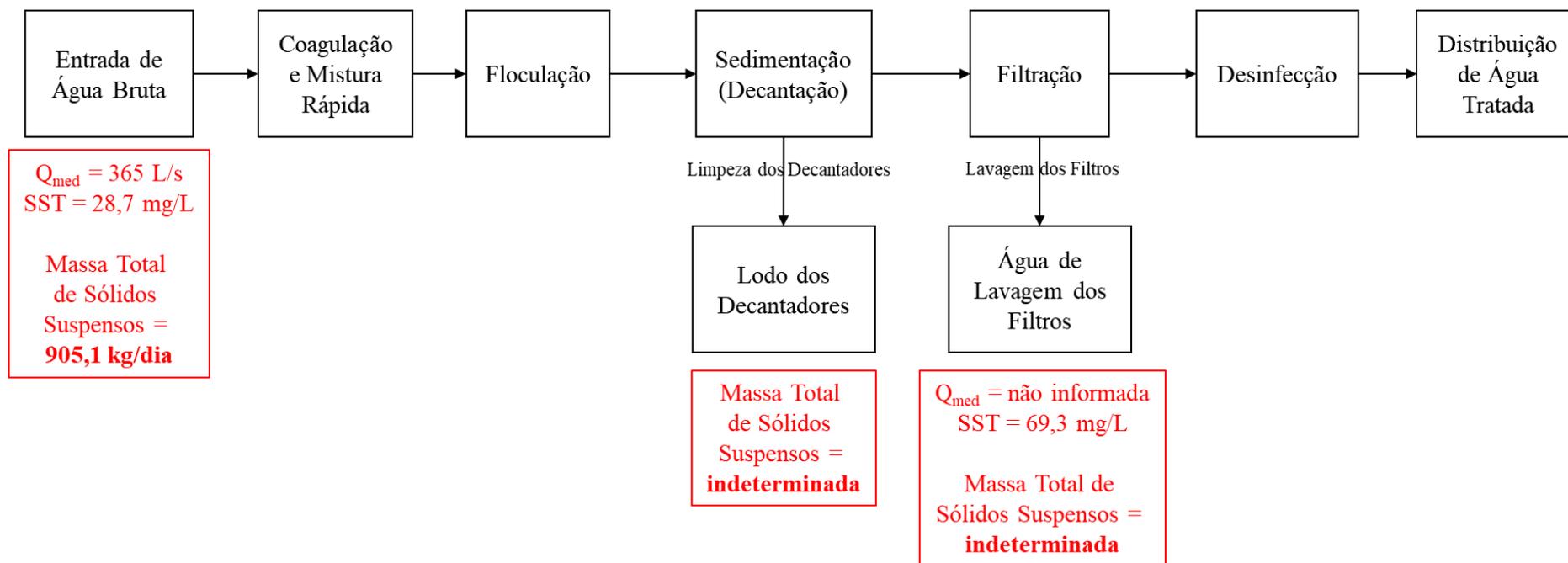
5.1.3.3.3. Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

As etapas do tratamento de água realizado na ETA 2, bem como o balanço de massa de sólidos, estão apresentados a seguir, nas Figuras 80 e 81, para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Nota-se, pelo balanço de massa apresentado nas Figuras 80 e 81, que a quantidade de sólidos suspensos totais que entra na ETA é maior no período chuvoso quando comparada ao período de estiagem. Isso se deve ao fato do arraste dos sólidos das margens dos rios, como já mencionado anteriormente.

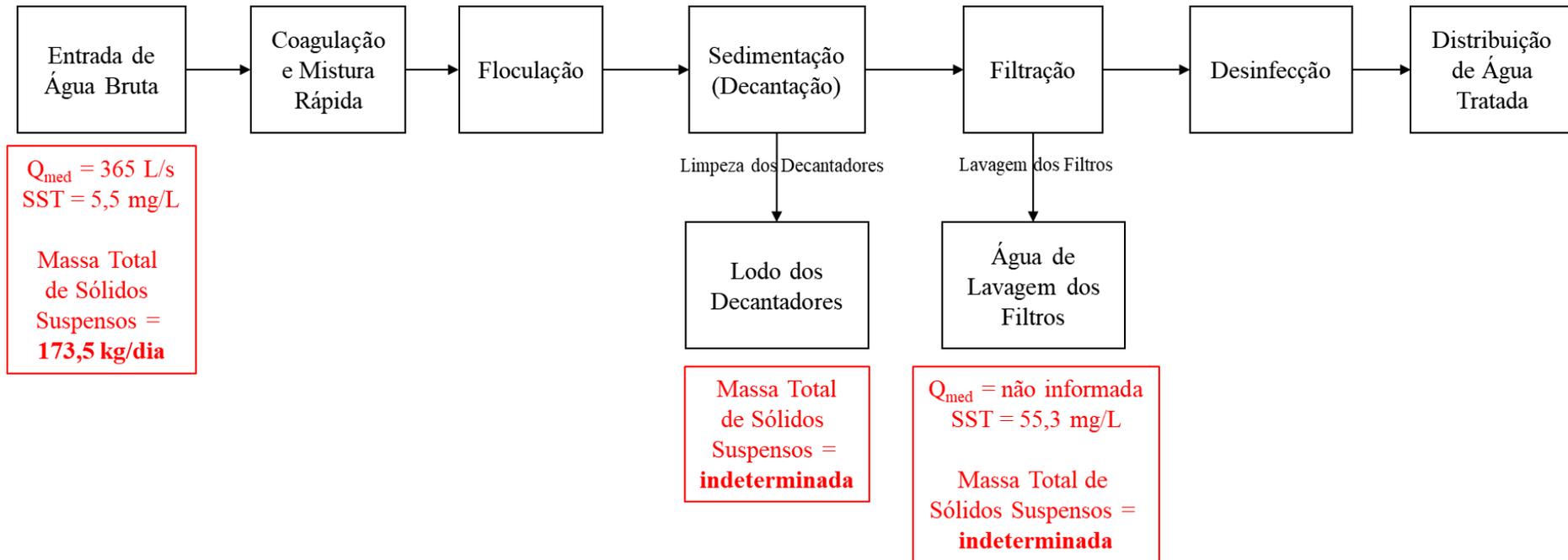
Tanto a água de lavagem de filtros como o lodo dos decantadores são compostos por um grande teor de sólidos, produzindo uma elevada quantidade de massa ao final do dia. No entanto, a ETA 2 não soube informar a vazão de água utilizada para lavagem dos filtros e, portanto, não foi possível a quantificação da massa de sólidos

Figura 80: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 2 – 1ª coleta (período chuvoso)



Fonte: Autora, 2020.

Figura 81: Etapas do Tratamento de Água e Balanço de Massa de Sólidos da ETA 2 – 1ª coleta (período chuvoso)



Fonte: Autora, 2020.

Assim como comentado, tanto a água de lavagem de filtros como o lodo proveniente das descargas dos decantadores, são considerados resíduos de ETA e, portanto, não podem ser dispostos em corpos d'água. Independentemente de qual seja a disposição e destinação final desses resíduos, como lançamento em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), aterro sanitário, dentre outras, é necessário seu tratamento.

Sendo assim, o gestor da ETA deve optar por qual tecnologia de tratamento é a ideal, adequada e possível dentro de suas características de processo e, também, em relação à sua localização.

Para este trabalho, a sugestão foi a implementação da etapa de adensamento com adição de polímeros com dosagens distintas e diferentes velocidades de sedimentação.

5.1.3.4. Ensaio de Clarificação com a Água de Lavagem de Filtros da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

Os ensaios foram realizados para apresentação de uma proposta de tratamento desse resíduo.

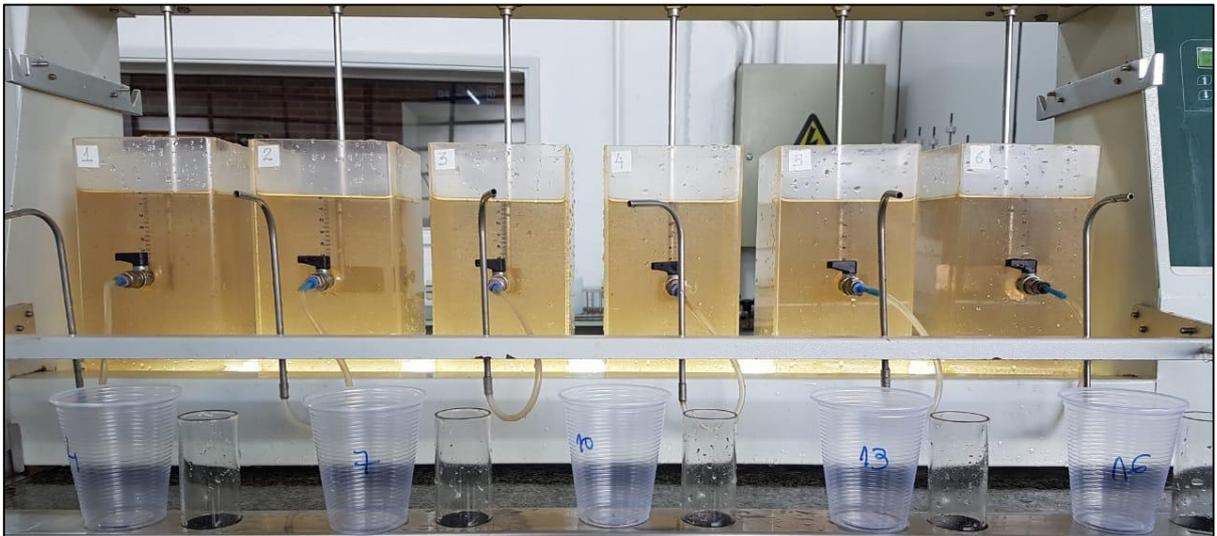
As Figuras 82 a 84 mostram os ensaios de clarificação realizados com a água de lavagem dos filtros da ETA 2.

A Figura 82 apresenta a preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2.

Na Figura 83 é possível observar o início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2, logo após a adição do polímero, bem como a formação dos flocos.

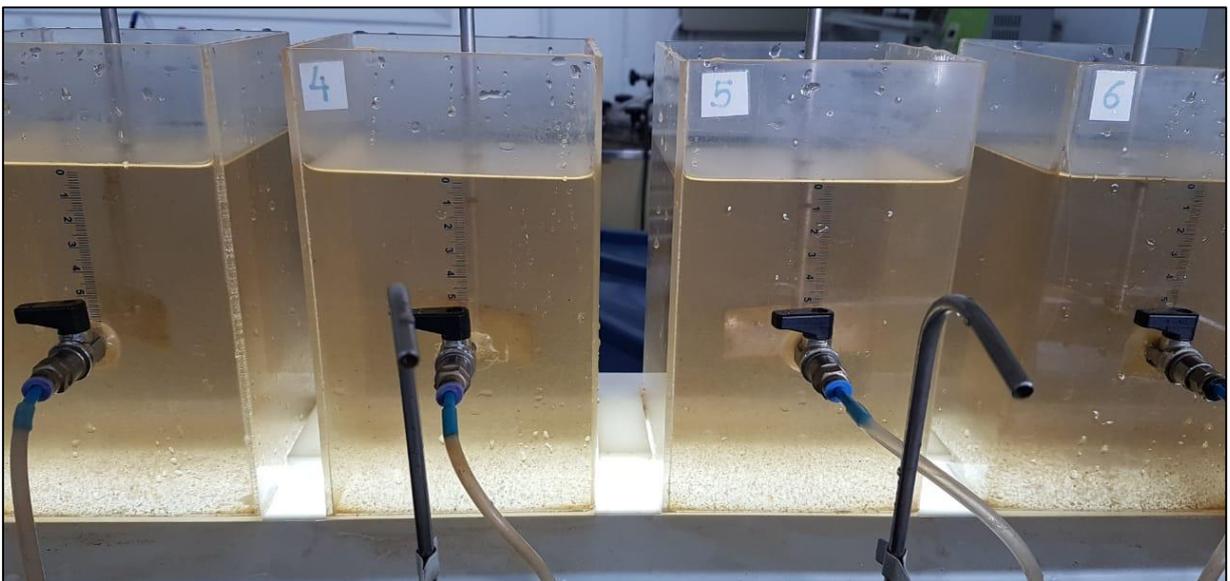
Ao final dos ensaios de clarificação, há a sedimentação dos flocos no fundo dos jarros, formados devido à adição de polímero, conforme é apresentado na Figura 84.

Figura 82: Preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2



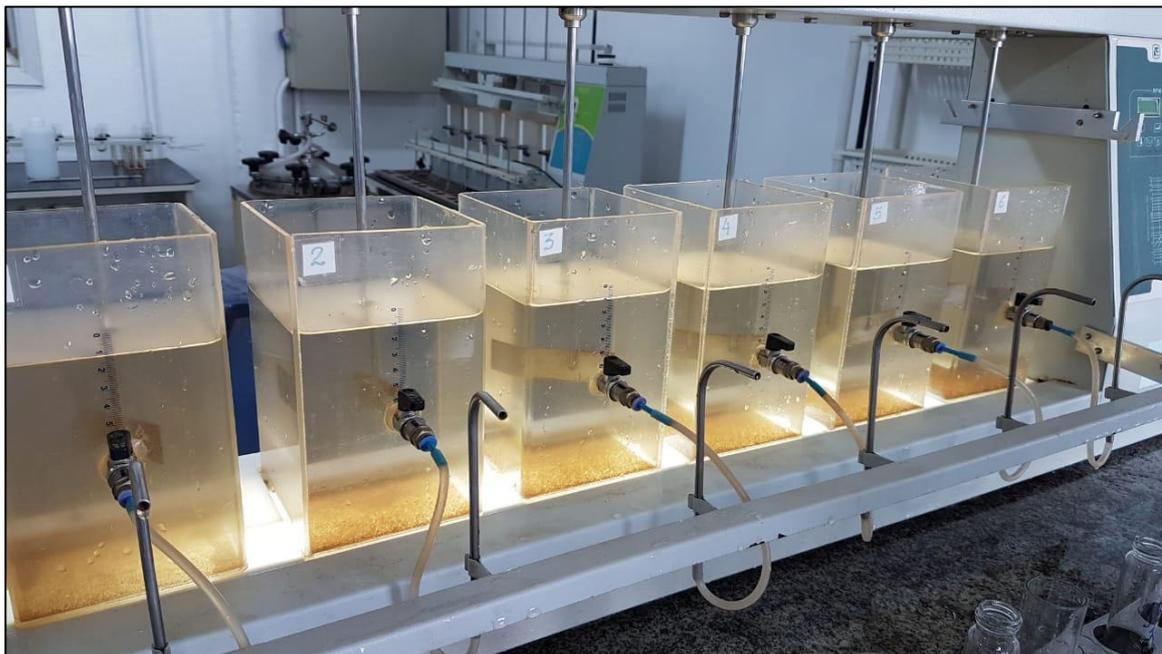
Fonte: Autora, 2019.

Figura 83: Início dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2 e formação dos flocos



Fonte: Autora, 2019.

Figura 84: Fim dos ensaios de clarificação da ETA 2 com sedimentação dos flocos



Fonte: Autora, 2019.

As Tabelas 13 e 14 apresentam a caracterização da água clarificada proveniente dos ensaios de clarificação com a água de lavagem dos filtros da ETA 2 para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Os ensaios foram realizados com dois tipos de polímero catiônico, provenientes de duas empresas.

Os resultados obtidos variam em função da dosagem de polímero e diferentes velocidades de sedimentação.

Os resultados obtidos nas Tabelas 13 e 14 foram inseridos no software Protimiza Experimental para elaboração dos gráficos que relacionam a turbidez, concentração de *Escherichia coli*, carbono orgânico total e metais com a dosagem de polímero e diferentes velocidades de sedimentação, apresentados a seguir.

Para cada um dos gráficos elaborados foram analisados os valores obtidos para o R^2 , uma medida de ajuste do modelo estatístico, que representa a porcentagem de variação na resposta. Quanto mais alto o valor do R^2 , melhor ajuste do modelo aos dados.

Ressalta-se que, sem a adição de polímeros, independente da velocidade de sedimentação, todos os parâmetros permaneceram relativamente altos, com exceção do carbono orgânico total (COT), que aumenta à medida em que a dosagem de polímero é maior, se comportando da mesma forma como na ETA 1.

Tabela 13: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2

(1ª coleta – chuvoso)

Tipo de polímero	Dosagem de polímero (mg/L)	Velocidade de sedimentação (cm/min)	Turbidez (uT)	E. Coli (UFC/100 mL)	COT (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)
ARTFLOC	0	5	82,0	400	2,794	0,928	0,09
	2	5	30,2	51	3,711	0,825	<0,01
	4	5	26,6	38	4,377	0,778	<0,01
	6	5	20,6	1	5,338	0,759	<0,01
	0	3	55,4	380	2,394	0,876	0,07
	2	3	19,7	100	4,151	0,768	<0,01
	4	3	14,8	49	5,369	0,693	<0,01
	6	3	13,5	2	5,585	0,681	<0,01
	0	1	43,6	190	3,958	0,725	0,03
	2	1	10,3	130	4,273	0,680	<0,01
	4	1	8,56	40	4,420	0,671	<0,01
	6	1	4,09	11	5,585	0,662	<0,01
RAPFLOC	0	5	82,0	400	2,794	0,928	0,09
	2	5	40,1	320	4,449	0,873	<0,01
	4	5	29,6	114	4,840	0,830	<0,01
	6	5	18,3	80	5,095	0,791	<0,01
	0	3	55,4	380	2,394	0,876	0,07
	2	3	34,4	150	4,529	0,779	<0,01
	4	3	15,3	84	5,164	0,702	<0,01
	6	3	11,3	50	9,393	0,689	<0,01
	0	1	43,6	190	3,958	0,725	0,03
	2	1	12,4	185	4,490	0,712	<0,01
	4	1	6,05	63	5,287	0,690	<0,01
	6	1	2,95	57	9,140	0,680	<0,01

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 14: Resultados obtidos nos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 2
(2ª coleta – estiagem)

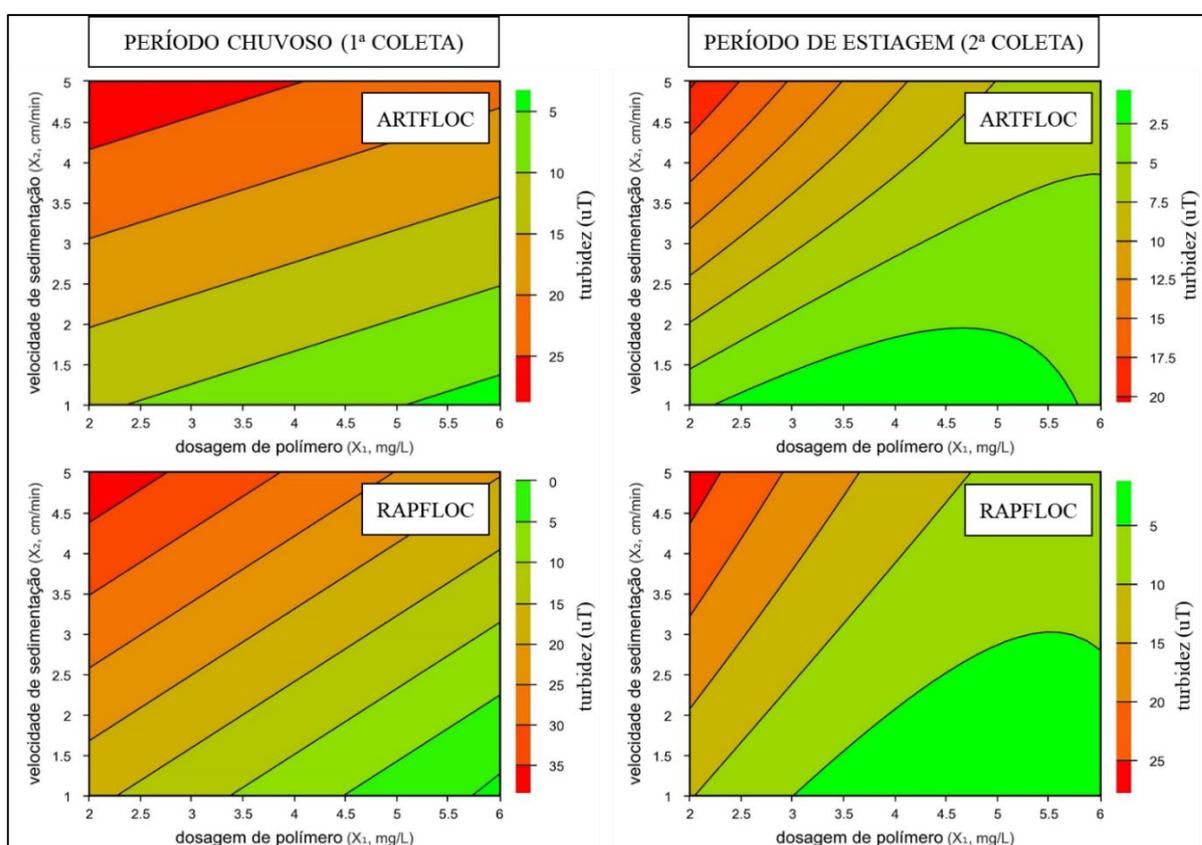
Tipo de polímero	Dosagem de polímero (mg/L)	Velocidade de sedimentação (cm/min)	Turbidez (uT)	E. Coli (UFC/100 mL)	COT (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	
ARTFLOC	0	5	71,1	20	1,330	0,404	0,31	
	2	5	22,6	10	1,640	0,360	<0,01	
	4	5	9,07	3	1,514	0,304	<0,01	
	6	5	6,75	1	1,669	0,289	<0,01	
	0	3	55,7	30	1,480	0,388	0,19	
	2	3	9,07	9	1,611	0,351	<0,01	
	4	3	5,11	2	1,865	0,298	<0,01	
	6	3	4,3	0	1,886	0,261	<0,01	
	0	1	19,1	15	1,395	0,362	0,10	
	2	1	3,52	5	1,349	0,333	<0,01	
	4	1	2,68	2	1,614	0,289	<0,01	
	6	1	2,2	0	1,676	0,210	<0,01	
	RAPFLOC	0	5	71,1	20	1,330	0,404	0,31
		2	5	29	8	1,677	0,372	<0,01
		4	5	12,3	7	1,673	0,334	<0,01
		6	5	9,13	1	1,699	0,296	<0,01
0		3	55,7	30	1,480	0,388	0,19	
2		3	18,2	5	1,586	0,361	<0,01	
4		3	6,99	4	1,716	0,321	<0,01	
6		3	3,76	2	2,183	0,284	<0,01	
0		1	19,1	15	1,395	0,362	0,10	
2		1	9,88	4	1,595	0,349	<0,01	
4		1	4,57	4	1,604	0,312	<0,01	
6		1	2,82	2	2,476	0,271	<0,01	

Fonte: Autora, 2020.

5.1.3.4.1. Turbidez da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 2

Os gráficos obtidos para valores de turbidez da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para os períodos chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 85.

Figura 85: Turbidez da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Os gráficos da Figura 85 apresentaram R² de 96,36% (1ª coleta – ARTFLOC), 90,35% (1ª coleta – RAPFLOC), 93,19% (2ª coleta – ARTFLOC) e 97,28% (2ª coleta – RAPFLOC). São valores relativamente altos (acima de 80%), o que faz com que o modelo se ajusta melhor aos dados e pode ser usado para prever a dosagem de polímero a ser aplicada para obtenção da turbidez final desejada

Após análise dos gráficos da Figura 85, observou-se que, no período chuvoso (1ª coleta), o polímero ARTFLOC foi mais eficiente pois apresentou uma faixa de valores para turbidez inferior a 5,0 uT maior do que para o polímero RAPFLOC. O polímero ARTFLOC permite obter valores de turbidez inferiores a 5,0 uT com dosagem a partir de 2,4 mg/L, aproximadamente, enquanto que o polímero RAPFLOC requer dosagem em torno de 4,5 mg/L.

Para o período de estiagem (2ª coleta), o polímero que melhor se destacou também foi o ARTFLOC, sendo possível a obtenção de valores de turbidez abaixo de 5,0 uT com dosagem a partir de 2,3 mg/L, aproximadamente. Ressalta-se que o polímero ARTFLOC proporcionou valores de turbidez inferiores aos valores obtidos com o polímero RAPFLOC.

Nota-se que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de turbidez da água clarificada para ambos os polímeros e períodos.

A ALF da 1ª coleta apresentou turbidez inferior ao obtido na 2ª coleta. No entanto, após os ensaios de clarificação, sua remoção foi maior para a ALF da 2ª coleta, sendo possível a obtenção de valores de turbidez inferiores a 5,0 uT com dosagens menores do que aquelas utilizadas para a ALF da 1ª coleta.

A remoção de turbidez foi de 98,0% e 99,6% nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente, com a maior dosagem de polímero (6,0 mg/L) e menor velocidade de sedimentação (1,0 cm/min).

Sendo assim, como esperado, a adição de polímeros diminuiu significativamente a turbidez da água de lavagem dos filtros.

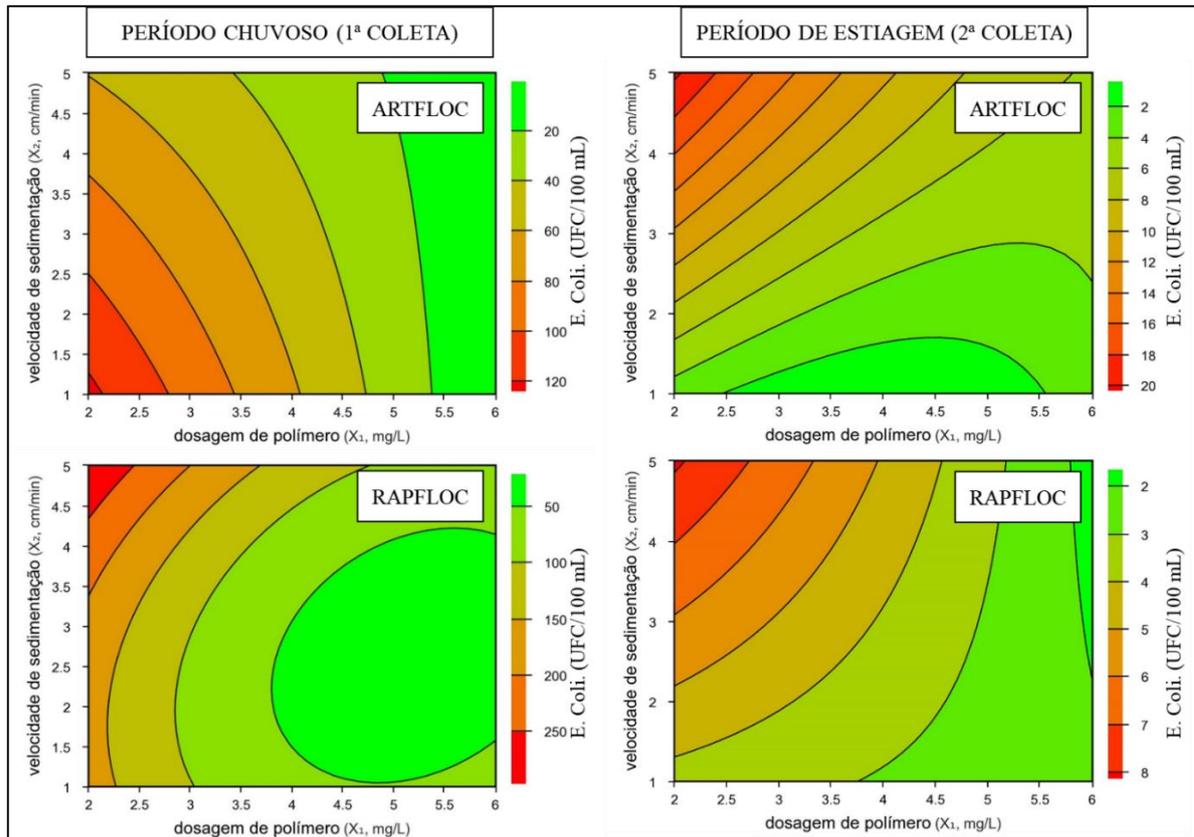
5.1.3.4.2. Concentração de *Escherichia coli* da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 2

Os gráficos obtidos para valores de concentração de *Escherichia coli* na água clarificada da ETA 2 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para os períodos chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 86.

Os gráficos da Figura 86 apresentaram R² de 76,88% (1ª coleta – ARTFLOC), 95,31% (1ª coleta – RAPFLOC), 85,47% (2ª coleta – ARTFLOC) e 80,72% (2ª coleta – RAPFLOC). Valores de R² abaixo de 80% indicam que o modelo não se ajustou bem aos dados e, portanto, as observações quanto ao comportamento geral são apenas indicativas. Há a necessidade de

medições específicas para as condições desejadas, não sendo possível usar o modelo para determinação da dosagem a ser aplicada.

Figura 86: Concentração de *Escherichia coli* da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Após análise dos gráficos da Figura 86, observou-se que, tanto no período chuvoso (1ª coleta) como no período de estiagem, o polímero ARTFLOC foi mais eficiente na remoção de *Escherichia coli*.

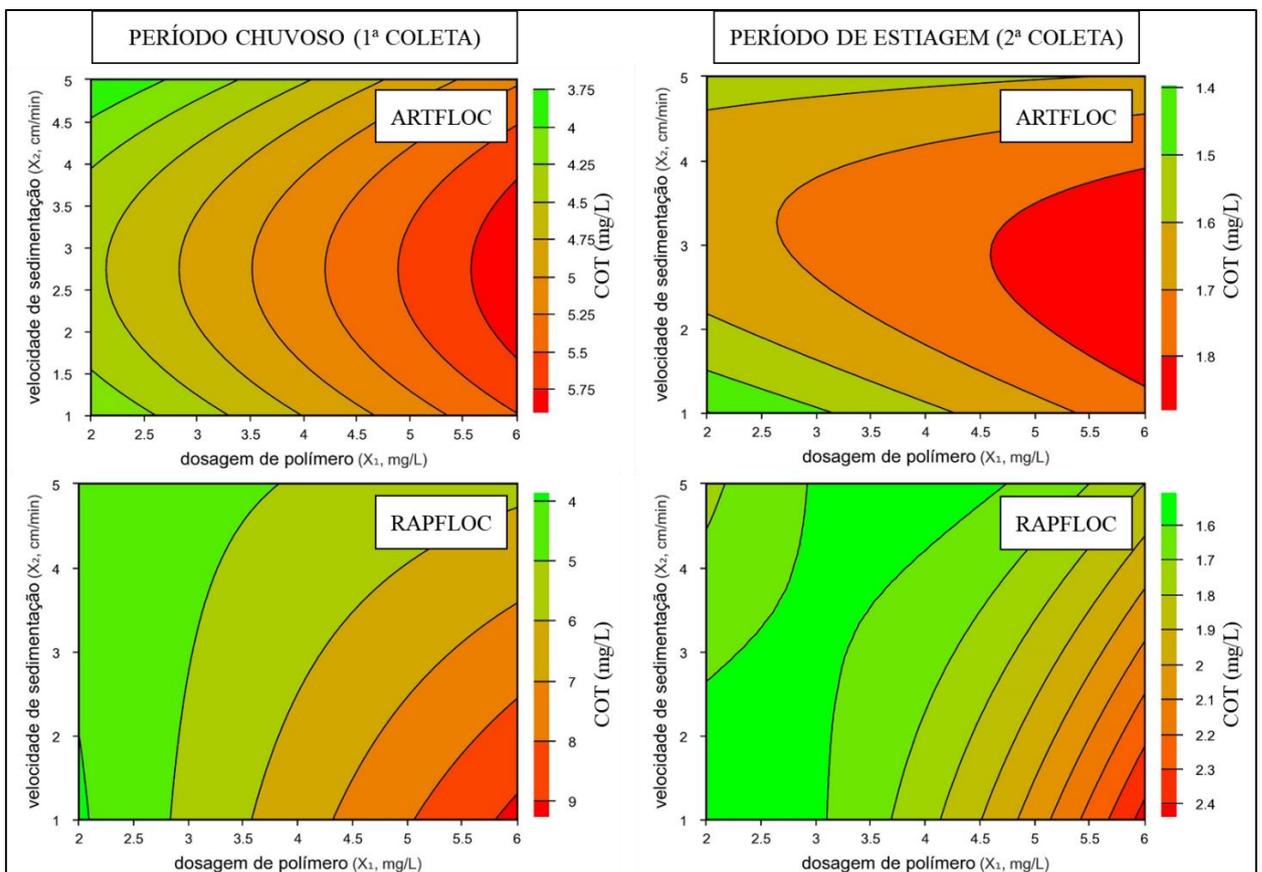
Entretanto, nota-se que a *Escherichia coli* possui um comportamento diferente do observado para a turbidez, que quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de turbidez da água clarificada. Porém, verifica-se que a concentração de *Escherichia coli* foi menor na água clarificada quando comparada à ALF *in natura*.

Observando-se os valores obtidos nos gráficos da Figura 86 e os dados de concentração de *Escherichia coli*, é possível afirmar que maiores dosagens de polímero e menores velocidade de sedimentação removem de maneira mais eficaz a quantidade de *Escherichia coli* da ALF.

5.1.3.4.3. Concentração de Carbono Orgânico Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaio de Clarificação da ETA 2

Os gráficos obtidos para valores de carbono orgânico total da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 87.

Figura 87: Concentração de carbono orgânico total da ETA 2 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Os gráficos da Figura 87 apresentaram R^2 de 82,58% (1ª coleta – ARTFLOC), 77,01% (1ª coleta – RAPFLOC), 81,65% (2ª coleta – ARTFLOC) e 90,81% (2ª coleta – RAPFLOC). O segundo gráfico resultou um valor relativamente baixo (abaixo de 80%), o que faz com que o modelo não ajuste os dados adequadamente.

Após análise dos gráficos da Figura 87, observou-se que o polímero ARTFLOC proporcionou a obtenção de menores valores de COT na água clarificada, fazendo com que maiores dosagens resultem valores mais elevados de COT, pois possuem carbono orgânico de origem sintética em sua composição.

Portanto, é possível observar que, quanto maior a dosagem de polímeros e maior a velocidade de sedimentação, mais elevado é o teor de COT presente na água clarificada. No entanto, o método de detecção para o COT neste caso deve ser levado em consideração, uma vez que a amostra não pode ser digerida e a quantidade de flocos presentes na água pode influenciar nos resultados obtidos.

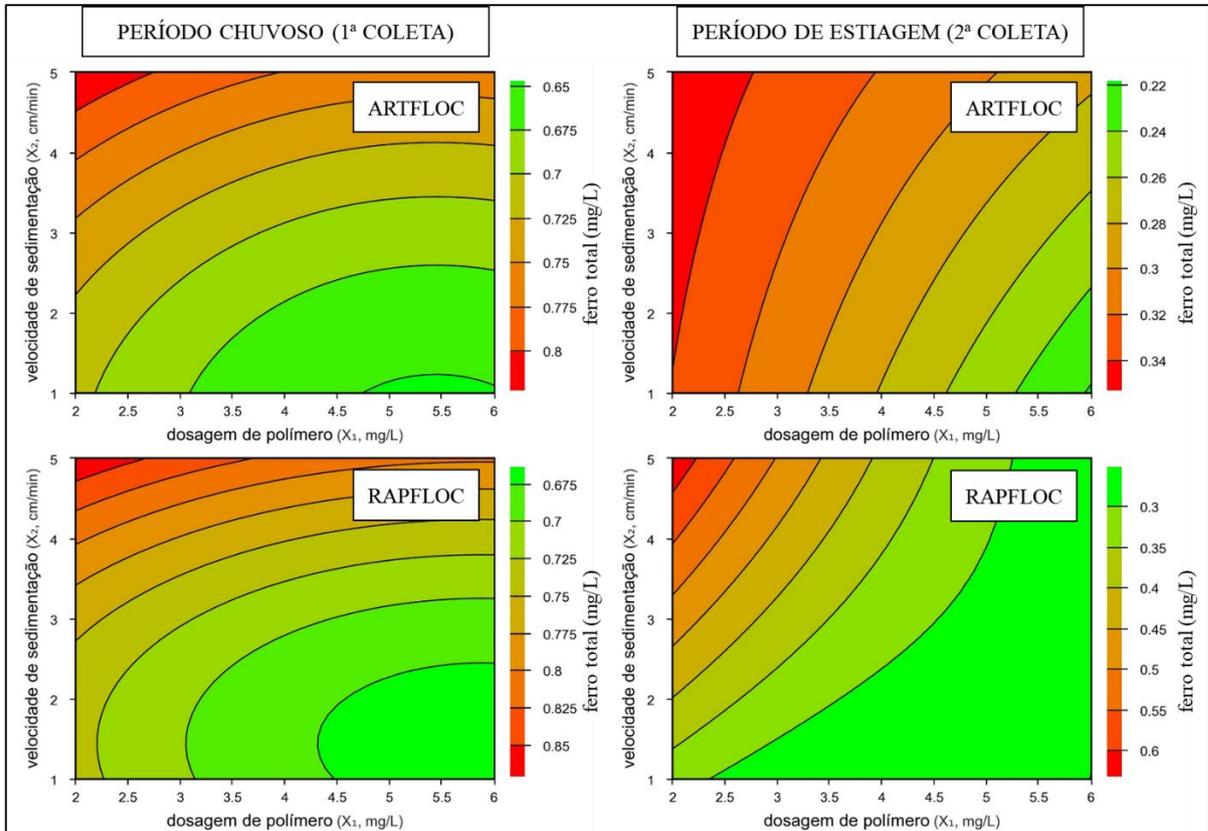
5.1.3.4.4. Concentração de Ferro Total e Manganês Total da Água Clarificada em Função da Dosagem de Polímero e Velocidade de Sedimentação nos Ensaios de Clarificação da ETA 2

Os gráficos obtidos para valores de ferro total da água clarificada da ETA 2 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso (1ª coleta) e de estiagem (2ª coleta) estão apresentados na Figura 88.

Os gráficos da Figura 88 apresentaram R^2 de 93,99% (1ª coleta – ARTFLOC), 96,48% (1ª coleta – RAPFLOC), 96,29% (2ª coleta – ARTFLOC) e 80,34% (2ª coleta – RAPFLOC). São valores acima de 80%, indicando que o modelo se ajustou bem aos dados e que, portanto, é possível usar esse modelo para determinação da dosagem a ser aplicada para obtenção da concentração de ferro total desejada.

Através dos gráficos da Figura 88 é possível concluir que maiores dosagens de polímeros combinadas com menores velocidades de sedimentação eliminam, de forma mais eficaz, o ferro total presente na água de lavagem de filtros. Isso mostra que o ferro total eliminado está presente nos flocos que se sedimentaram.

Figura 88: Concentração de ferro total da ETA 1 em função da dosagem dos polímeros ARTFLOC e RAPFLOC e diferentes velocidades de sedimentação (períodos chuvoso e de estiagem)



Fonte: Autora, 2020.

Nota-se que, em ambos os períodos, o polímero ARTFLOC se destacou, obtendo menores concentrações de ferro total para maiores dosagens de polímeros e menores velocidades de sedimentação.

Não foi possível a inserção dos dados obtidos para o metal manganês pois ele foi eliminado totalmente da água de lavagem de filtros nos ensaios de clarificação, independente da dosagem de polímero ou velocidade de sedimentação adotadas.

Portanto, conclui-se que é possível a remoção de metais da água de lavagem de filtros por meio da aplicação de polímeros, sendo considerado mais um parâmetro importante no tratamento desses resíduos.

A análise conjunta dos resultados de remoção de turbidez, *Escherichia coli*, concentração de COT e de metais na água clarificada indicam que, entre os dois polímeros

avaliados, deve ser escolhido o polímero ARTFLOC para a ETA 2, com dosagem entre 2,0 e 6,0 mg/L, de acordo com o objetivo desejado.

5.1.3.5. Identificação e Caracterização de Perigos e Riscos associados à Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

A ETA 2 é uma estação de tratamento de água que opera pela tecnologia convencional de ciclo completo, em dois módulos paralelos.

A chegada da água bruta é por meio de três adutoras de ferro, sendo duas do Ribeirão das Cruzes e uma do Ribeirão das Anhumas. Não existe aplicação de carvão ativado na água bruta para eliminação de compostos orgânicos, uma vez que a água é proveniente de rios que estão localizados em áreas de agricultura e pecuária.

A aplicação do coagulante tanino vegetal não é realizada na unidade de mistura rápida (*calha parshall*), mas na entrada da água bruta da ETA, diminuindo a eficiência desta etapa, pois a mistura rápida é mais eficiente quando a aplicação do coagulante é realizada na menor lâmina líquida de água (garganta do vertedor).

Para aplicação da dosagem de coagulante tanino vegetal, os operadores seguem a Tabela 23 dos Apêndices. No entanto, nota-se que essa tabela foi elaborada com valores proporcionais, e não com a realização de ensaios em jarreste, mesmo que a estação possua o equipamento.

Outro ponto que merece destaque é que o coagulante tanino vegetal possui radicais aminas em sua molécula, podendo interferir no processo de desinfecção se combinado com íons cloro presentes na água, não sendo suficiente para inativação de vírus e bactérias. Ou seja, há a formação de compostos clorados ativos, como as cloraminas, diminuindo a concentração de cloro residual livre na água tratada

A ETA 2 opera em dois módulos paralelos, mas não existe um medidor de vazão para verificar a quantidade de água que é encaminhada para cada um dos módulos, apenas um anteparo de concreto que funciona como divisor de água coagulada. Devido a isso, os floculadores podem receber uma vazão de água coagulada superior a de projeto, prejudicando a formação dos flocos e, conseqüentemente, as etapas de decantação (turbidez elevada) e filtração.

Os filtros rápidos descendentes são de taxa declinante variável, compostos por materiais granulares de diferentes granulometrias (pedregulhos, areia e antracito). No entanto, não houve reposição de área há mais de cinco anos, o que pode prejudicar a etapa de filtração.

Existe um critério estabelecido por uma Instrução de Trabalho informando que o filtro deve ser retirado para lavagem quando a turbidez da água filtrada individual do filtro for igual ou superior a 0,20 uT. Entretanto, foi observado que os operadores seguem diferentes critérios de encerramento de carreira de filtração, e não o que está descrito na Instrução de Trabalho. Alguns filtros são retirados para lavagem com base na carga hidráulica, outros por tempo de duração da carreira de filtração e outros por transpasse. Não podem existir diferentes critérios para uma mesma operação. Do modo como a ETA 2 opera os filtros atualmente, não há garantia de uma água filtrada de boa qualidade. Sem contar que, quando ocorre transpasse, uma quantidade elevada de água filtrada já pode ter sido encaminhada para distribuição e, como mencionado, as aminas do coagulante podem reagir com o cloro da desinfecção, formando cloraminas, fazendo com que não ocorra a eficiência total de inativação dos microrganismos. Isso é considerado um risco muito elevado, uma vez que alguns protozoários, como o *Cryptosporidium*, não são facilmente inativados e, se estiverem presentes na água de abastecimento, podem ocasionar doenças como a criptosporidiose, que pode ser fatal.

Os filtros também não são lavados do mesmo modo pelos operadores. Mesmo a lavagem com ar e água sendo considerada uma das mais eficientes, foi observado que essa lavagem não foi realizada de forma adequada. Em cada uma das visitas na ETA, o filtro foi lavado por operadores diferentes. Na primeira visita, a lavagem com ar durou em torno de 1 min e 30 s e com água 2 min e 30 s, totalizando uma lavagem com, aproximadamente, 4 min de duração. Já na segunda visita, a lavagem foi realizada com, aproximadamente, 2 min e 30 s com ar e 4 min e 30 s com água, totalizando cerca de 7 min de lavagem.

O tempo de lavagem do filtro varia de acordo com a duração da carreira de filtração, qualidade da água filtrada e carga hidráulica disponível. Entretanto, a lavagem dos filtros da ETA 2 com ar tem duração inferior à mínima recomendada pela literatura (Di Bernardo, *et al.* 2017), podendo reduzir a eficiência de lavagem, e o tempo de lavagem com água deve ser determinado experimentalmente ou com base em informações de medidores de turbidez de fluxo contínuo na ALF. Sendo assim, o tempo de lavagem dos filtros deve ser mais bem definido, bem como os critérios de encerramento da carreira de filtração e de lavagem dos filtros.

Foi observado, ao longo de todo tratamento de água, que a ETA 2 é muito antiga e muitos equipamentos, instrumentos e instalações estão em estado crítico, podendo influenciar na qualidade da água tratada.

Após todas observações realizadas, foram identificados potenciais riscos (biológicos, físicos e químicos) para o sistema de abastecimento de água da ETA 2, relacionados com o ambiente externo (AE), infraestrutura (IE), processos (P) e recursos humanos (pessoas) (RH).

Conforme mencionado, a água bruta é proveniente de rios que passam por áreas urbanizadas e rurais, com presença de agricultura e pecuária, podendo apresentar contaminantes orgânicos, como agrotóxicos, e uma estação de tratamento de água convencional de ciclo completo não remove tais contaminantes da água, produzindo água tratada com a presença de contaminantes orgânicos, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Perigos / riscos relacionados à água bruta da ETA 2

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Contaminantes orgânicos (agrotóxicos)	Não aplicação de carvão ativado. ETA convencional de ciclo completo não remove contaminantes orgânicos	X	X	X	X			X	Riscos à saúde da população.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A etapa de coagulação é afetada pela dosagem inadequada de coagulante e ausência de ensaios em jarteste. Essa coagulação inadequada irá influenciar negativamente no processo de desinfecção da água filtrada, proporcionando insuficiência de inativação de vírus e bactérias, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16: Perigos / riscos relacionados à coagulação da ETA 2

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Vírus e bactérias	Coagulação inadequada	X	X	X	X	X			Influenciar negativamente no processo de desinfecção da água filtrada.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A Tabela 17 apresenta os perigos e riscos relacionados às etapas de floculação e decantação da ETA 2.

Tabela 17: Perigos / riscos relacionados à floculação / decantação da ETA 2

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Protozoários	Turbidez da água decantada acima de 3,0 uT	X	X	X	X	X			Influenciar negativamente a turbidez da água filtrada.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

A turbidez da água decantada da ETA 2 estava acima de 3,0 uT, o que pode, de acordo com critérios técnicos, afetar negativamente a turbidez da água filtrada e a presença de microrganismos, como os protozoários, conforme apresentado na Tabela 17. Isso prova a ineficiência da etapa de floculação e decantação, uma vez que não há controle de vazão de água para cada um dos módulos operantes.

A Tabela 18 apresenta os perigos e riscos relacionados à etapa de filtração da ETA 2.

Tabela 18: Perigos / riscos relacionados à filtração da ETA 2

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Protozoários	Transpasse devido a critério adotado erroneamente para encerramento da carreira de filtração		X	X	X	X			Transpasse de microrganismos para a água filtrada.
Protozoários	Lavagem inadequada dos filtros		X	X	X	X			Reduzir a eficiência dos filtros e duração da carreira de filtração, além de influenciar negativamente na qualidade da água filtrada

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

Um dos critérios de lavagem dos filtros é o transpasse, conforme apresentado anteriormente. Esse critério não deve ser adotado, uma vez que pode ocorrer o transpasse de microrganismos para a água filtrada, como os protozoários.

A lavagem dos filtros deve ser realizada de forma adequada e padronizada, pois a lavagem inadequada pode ocasionar ineficiência no processo de filtração, conforme apresentado na Tabela 18.

A Tabela 19 apresenta os perigos e riscos relacionados à etapa de desinfecção da ETA 2.

Devido a aplicação do coagulante tanino vegetal, há a formação de cloraminas no processo de desinfecção, conforme mencionado anteriormente. Isso facilitada a presença e não inativação de microrganismos na água tratada, conforme Tabela 19.

Os compostos orgânicos presentes na água bruta podem reagir com o cloro aplicado no processo de desinfecção, formando compostos organoclorados tóxicos ao homem, conforme Tabela 19.

Tabela 19: Perigos / riscos relacionados à desinfecção da ETA 2

Descrição	Justificativa	Causa				Tipo			Consequências
		AE	IE	RH	P	B	F	Q	
Vírus e bactérias	Dosagem insuficiente de cloro para eliminar a amônia do coagulante, ocasionando cloro residual livre na água tratada em baixa concentração		X	X	X	X			Não inativação de vírus e bactérias que possam estar presentes na água tratada devido a insuficiência da concentração de cloro residual livre.
Subprodutos organoclorados	Formação de subprodutos organoclorados devido à presença de contaminantes orgânicos presentes na água bruta que reagem com o cloro no processo de desinfecção		X	X	X			X	Presença de compostos orgânicos tóxicos e carcinogênicos na água distribuída à população.

Fonte: Autora, 2020.

Legenda:

CAUSA DO PERIGO: AE: Ambiente Externo / IE: Infraestrutura / RH: Recursos Humanos (pessoas) / P: Processos

TIPO DE RISCO: B: Biológico / F: Físico / Q: Químico

5.1.3.6. Medidas de Controle Recomendadas para os Perigos e Riscos Identificados da Estação de Tratamento de Água 2 – ETA 2

As medidas de controle para os perigos e riscos identificados na ETA 2 são:

- Implementação de carvão ativado no processo de tratamento para eliminação de contaminantes orgânicos que possam estar presentes na água na água bruta;
- Realização rotineira de ensaios em jarreste para definição de dosagens adequadas de coagulante;

- Implantação de um medidor de vazão contínuo para que se tenha conhecimento da vazão de água coagulada encaminhada para cada módulo ou adequação do sistema de divisão de vazão, proporcionando uma maior eficiência do processo de tratamento;
- Definição de critérios para encerramento da carreira de filtração dos filtros;
- Padronização no método de lavagem dos filtros, seguindo o proposto pela literatura, juntamente com a realização de ensaios;
- Tratar adequadamente os resíduos gerados no processo de tratamento de água;
- Dosagem adequada de cloro para eliminar a amônia presente na água devido ao coagulante e garantir o residual de cloro livre de, no mínimo, 2,0 mg/L.

6. CONCLUSÕES

Após análise da bacia hidrográfica, do uso e ocupação do solo e dos mananciais que abastecem as ETAs 1 e 2 fica evidente que, por percorrerem áreas urbanizadas, tais rios recebem lançamentos clandestinos de esgotos sanitários, ocasionando níveis elevados de vírus, bactérias e protozoários, bem como a presença de outros compostos, como nitrato; e, por cruzarem áreas rurais, com presença de agricultura e dessedentação de animais, a água pode apresentar resíduos de agrotóxicos e microorganismos, como o *Cryptosporidium*.

A caracterização das amostras de águas das ETAs 1 e 2 e as análises de seus dados operacionais evidenciaram que a ALF possui características que impedem sua recirculação *in natura* ao início da estação, pois apresenta elevados valores para turbidez, cor, sólidos, COT, metais, bactérias e nitrato. São valores maiores que os encontrados na água bruta e muitos ultrapassam os valores máximos permitidos pelo CONAMA nº 357. Isso mostra que é indispensável seu tratamento, independentemente se será recirculada para o início da ETA ou se terá outro destino.

Os resultados obtidos nos ensaios de clarificação para o tratamento da ALF com adição de polímero mostraram que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, maior a remoção de turbidez (entre 97,5 a 99,8%), *Escherichia coli* e metais (até 100%), sendo parâmetros recomendados para avaliar a qualidade da ALF após clarificação, assim como realizado em órgãos estadunidenses. No geral, o polímero ARTFLOC se mostrou mais eficaz para diminuição dos parâmetros analisados nas duas ETAs, tanto no período chuvoso como no período de estiagem. Em contrapartida, o uso de polímeros ocasiona um aumento de COT na água clarificada, independente do condicionante químico utilizado.

Fica evidente que, assim como é necessário a implantação e implementação de um Plano de Segurança da Água do sistema de abastecimento como um todo, é importante estender tal plano para os resíduos da ETA, como um Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros, abrangendo a caracterização físico-química e microbiológica desse resíduo, tratamento adequado após realização de ensaios em laboratório, bem como apresentação de seu destino final (recirculação ao início da estação, aterro sanitário ou lançamento em ETEs).

Sendo assim, é possível o tratamento da ALF com adição de polímeros, sua recirculação ao início da estação é objeto de estudo e regulamentação específica e não deve ser copiada de outros países, devendo ser contemplada em Planos de Segurança da Água de Lavagem de Filtros de Estações de Tratamento de Água.

7. RECOMENDAÇÕES

Nos sistemas de tratamento de água como um todo, é necessária a realização de reformas em ambas as ETAs, implementar determinados procedimentos no processo, realizar ensaios em jarreste, reavaliar os critérios e o tempo utilizados para lavagem dos filtros e tratar adequadamente os resíduos gerados pelo tratamento da água. Nesse contexto, surge a necessidade e importância da implantação de um Plano de Segurança da Água nas duas estações.

Ressalta-se que a prática de recirculação da ALF, mesmo após o tratamento adequado, reinsere no sistema determinados microorganismos, sólidos, dentre outros parâmetros, ocasionando efeito cumulativo nas características da água bruta que abastece a ETA. Devido a isso, é necessário um estudo minucioso do impacto dessa recirculação ao início da estação e a quantidade a ser recirculada, sendo proposto a implantação de um tanque de equalização de vazão, e identificar períodos em que há a necessidade do descarte total adequado desse resíduo para não prejudicar o processo de tratamento da água.

Atualmente, o Plano de Segurança da Água se limita apenas na produção da água potável, não contemplando a geração dos resíduos das ETAs. Sendo assim, recomenda-se que todas as estações elaborem, também, um plano que contemple o sistema como um todo, sendo denominado Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros.

É necessário a realização de um estudo para abranger, além do resíduo água de lavagem de filtros, o resíduo proveniente dos decantadores.

Recomenda-se a realização de trabalhos que possam abordar uma série histórica maior, contemplando mais períodos para coleta das amostras e, conseqüentemente, de dados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005. Disponível em: < https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf>. Acesso em Jun 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9.800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário - Procedimento. 1987.

ATLAS SOCIOAMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS. Projeto Anhumas. 2003. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/atlasanhumas/galeria.php>>. Acesso em Jul 2019.

BARRETTO, A. DOS S. Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento e água. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BARRETO, V. B. G. Estudo de caso: utilização de polímero catiônico como auxiliar de coagulação no tratamento de água da Estação de Tratamento da Nova Marabá – Marabá – PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2010.

BRASIL. Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, alterada em 08 de setembro de 1994. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Publicada na Secretaria do Governo.

BRASIL. Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Publicada na Assessoria Técnico-Legislativa.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/portaria-no-2-914-de-12-de-dezembro-de-2011.pdf/view>>. Acesso em Jul 2019.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: < https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em Jul, 2019.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 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. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em Jul, 2019.

CORNWELL, D., LEE, R. *Recycle Stream Effects on Water Treatment*. AWWARF. Denver, CO, 1993.

COSTA, P. I. B. *Plano de Segurança da Água. Caso de Estudo: Sistemas de Abastecimento Público de Água de Castro Verde*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. *Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. 1ª Edição. São Carlos: Editora LDiBe, 454 páginas, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. 1ª Edição. São Carlos: Editora LDiBe, 540 páginas, 2012.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., VOLTAN, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 3ª Edição. São Carlos: Editora LDiBe, 1246 páginas, 2017.

DIAS, R. M., SALVADOR, N. N. B., BRANCO, M. B. C. *Identificação dos níveis de degradação de matas ripárias com o uso de SIG*. *Floresta e Ambiente*. vol.21 nº 02 Seropédica Abr/Jun 2014.

DOMÉNECH, J. *Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano*. Elsevier. Vol. 22, pág. 112-116, 2003.

FRANCO, S. *Alquilfenóis em água superficial: estudo analítico e determinação no Ribeirão das Cruzes (Araraquara, SP)*. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química. Araraquara, 2013. p. 146.

FREITAS, A. G., BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D., PÁDUA, V. L., PIMENTA, J. F., ANDRADE, R. C. *Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários*. *Engenharia Sanitária Ambiental*. Vol. 15 n. 1. Jan/mar de 2010. p. 37 – 46.

FREITAS, D. G. *Efeitos da recirculação de água de lavagem de filtros em um sistema de filtração direta em escala de bancada*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017. p. 58.

GARAVELLO, J. P. *Contribuição à educação ambiental: a construção da consciência ecológica em alunos do ensino fundamental*. Tese de Doutorado – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009. p. 240

GUIMARÃES, G. C. Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos Gerados na ETA-Brasília. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

HDR. Draft EPA Guidance Manual – Recycle of Spent Filter Backwash Water and Other Waste Streams, Filter-to-Waste, and Uncovered Finished Reservoirs. 1997.

HELLER, L., BASTOS, R. K. X., VIEIRA, M. B. C. M., BEVILACQUA, P. D., BRITO, L. L. A., MOTA, S. M. M., OLIVEIRA, A. A., MACHADO, P. M., SALVADOR, D. P., CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. Vol. 13. n. 2. Abr/jun de 2004. p. 79 – 92.

HESPANHOL, I. Os planos de segurança da água e um novo paradigma para normalização. *Conexão Água – Artigos Científicos*. Disponível em: <<http://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2017/04-os-planos-de-seguranca-da-agua-e-um-novo-paradigma-para-normalizacao.pdf>>. Acesso em Jul 2019.

HIDRO – UFSCAR, 2010. Disponível em: <<http://www.ufscar.br/hidro/site>>. Acesso em Jul, 2019.

IWA: INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. The Bonn Charter for Safe Drinking Water, 2004.

KAWAMURA, S. *Integrated Design and Operations of Water Treatment Facilities*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 2000.

LOVO, I. A. avaliação do adensamento por gravidade e do desaguamento por centrifugação do lodo gerado pelo tratamento de água. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2016.

LUSTOSA, J. B., BRACARENSE, D. C., DE CASTRO, F. M. 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*. Maio de 2017. p. 44 – 61.

MACEDO, M. F. Avaliação do sistema de monitoramento de recursos hídricos e da viabilidade técnica, legal e econômica da aplicação da resolução CONAMA 357/2005 para a sub-bacia do Ribeirão das Cruzes (Araraquara – SP). Dissertação de Mestrado – Centro Universitário de Araraquara. Araraquara, 2007. p. 96.

MCGUIRE, M. J. Issue paper on waste stream recycle and filter-to-waste in water treatment. Prepared for an American Water Works Association (AWWA). Technical Work Group. 1997.

MOLINA, T. Caracterização e tratamento da água de lavagem de filtros de ETA com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata. 5º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. 2010.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos (SP). Dissertação de Mestrado – Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2015.

PAMOLARE – Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização. Unesco, ANA, IIE, Unep, 2001. 385p.

PENCHASZADEH, P. E. (Coord.) Invasores: invertebrados exóticos en el rio de La Plata y región marina aleaña. Buenos Aires: Eudeba, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARARAQUARA. 2012. Disponível em: <<http://www.araraquara.sp.gov.br/governo/secretarias/desenvolvimento-urbano>>. Acesso em Mar 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA. Retirada de resíduos. 2014. Disponível em: <http://www.itabira.mg.gov.br/portal/?attachment_id=6123>. Acesso em Jun 2019.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). Rede de Tratamento de Água. DVD. 2008.

REZENDE, G. R. Estudo do sub-bacia hidrográfica do Rio Monjolinho, São Carlos - SP, utilizando o modelo matemático de qualidade da água Qual-2E. Periódico eletrônico: Fórum Ambiental da Alta Paulista. V.07. nº 02, 2011.

ROCHA, O. *et al.* Espécies invasoras em águas doces: estudos de caso e propostas de manejo em São Carlos. São Carlos: Editora da UFSCar, 2005.

SANTOS, V. R., COSTA, D. J. L., TEIXEIRA, D. Variação nictemeral de parâmetros físico-químicos e biológicos do Ribeirão das Cruzes, Araraquara – SP. Revista Uniara, v. 13, nº 02. Dez/2010.

SAULINO, H. H. L., CORBI, J. J., CARACCIOLI, L. C., Avaliação da qualidade da água da nascente do Ribeirão das Anhumas (Araraquara – SP) através do estudo dos macroinvertebrados aquáticos. Revista Uniara, v. 14, nº 01. Jul/2011.

SÃO CARLOS CIDADE DAS ÁGUAS. 2011. Disponível em: <<https://aguasdamemoria.wordpress.com/2011/07/02/monjolinho/>>. Acesso em Fev 2019.

SÃO CARLOS. Lei nº 13.944, de 12 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/SP/SAO.CARLOS/LEI-13944-2006-SAO-CARLOS-SP.pdf>>. Acesso em Jul, 2019.

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 de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997.

SCALIZE, P. S., DI BERNARDO, L. Caracterização da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH). Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso em Mar, 2019.

SOUZA, A. B. Avaliação da qualidade ambiental nas nascentes do Rio Monjolinho na porção à montante da estação de captação de água do Espraiado, São Carlos – SP. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011. p. 182.

SOUZA FILHO, A. G. Caracterização e clarificação por sedimentação da água e lavagem de filtros rápidos de estação de tratamento de água que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. p.245

SPHEM (Great Lakes- Upper Mississippi River Board State Public Health and Environment Managers). Recommended Standards for Water Works ("Ten State Standards"). Health Education Services. Albany, NY. 1997.

TRATAMENTO DE ÁGUA. 2019. Disponível em <<https://abolicaofm.com.br/blog/tratamento-de-agua-4/>>. Acesso em Mar 2019.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T., PARESCHI, D. C., LUZIA, A. P., VON HAELING, P. H., FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. Revista IEA – Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Julho de 2008. p. 159 – 172.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.) Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle. IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. p.337-52.

UFSCAR. Pesquisas da UFSCar avaliam as condições dos mananciais que fornecem água para São Carlos e região. 2017. Disponível em <https://www.saci.ufscar.br/servico_release?id=94559&pro=3>. Acesso em Fev 2019.

UNITED KINGDOM WATER INDUSTRY RESEARCH (UKWIR). Guidance Manual Supporting the Water Treatment Recommendations from the Badenoch Group of Experts on Cryptosporidium. 1ª Edição. Londres, 1998.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Filter backwash recycling rule. Technical guidance manual. Washington, DC: USEPA, Office of Ground Water and Drinking Water. 2002. p.166

VENTURA, K. S., VAZ FILHO, P., NASCIMENTO, S. G. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 24 n. 1, 2019. p. 109 – 119.

VIERA, J. M.; MORAIS, C. Plano de Segurança as Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimentos. Instituto Regulador de Água e Resíduos. Universidade do Minho, 2005.

WHO: WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-Water Quality. 3^a Edição. Volume 1. 2004.

APÊNDICES

Tabela 20: Tabela nº 1 de solução de Sulfato de Alumínio à 5%.

Turbidez / Vazão	530	490	460	430	400	290	230
0 a 5	6,0	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
10	6,0	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
11	6,0	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
12	6,0	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
13	7,2	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
14	7,2	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
15	7,2	6,0	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
16	8,4	7,2	6,0	6,0	4,8	3,6	3,6
17	8,4	7,2	6,0	6,0	4,8	3,6	3,6
18	8,4	7,2	6,0	6,0	6,0	4,8	3,6
19	9,6	7,2	6,0	6,0	6,0	4,8	4,8
20	9,6	8,4	7,2	6,0	6,0	4,8	4,8
21	9,6	8,4	7,2	7,2	6,0	4,8	4,8
22	10,8	8,4	7,2	7,2	6,0	4,8	4,8
23	10,8	9,6	7,2	7,2	7,2	4,8	4,8
24	10,8	9,6	8,4	7,2	7,2	6,0	4,8
25	10,8	9,6	8,4	8,4	7,2	6,0	4,8
26	12,0	9,6	8,4	8,4	7,2	6,0	6,0
27	12,0	10,8	8,4	8,4	8,4	6,0	6,0
28	12,0	10,8	9,6	8,4	8,4	6,0	6,0
29	12,0	10,8	9,6	9,6	8,4	7,2	6,0
30	12,0	10,8	9,6	9,6	8,4	7,2	7,2
31	13,2	10,8	9,6	9,6	9,6	7,2	7,2
32	13,2	12,0	9,6	9,6	9,6	8,4	7,2
33	13,2	12,0	10,8	9,6	9,6	8,4	7,2
34	13,2	12,0	10,8	10,8	9,6	8,4	7,2
35	14,4	12,0	10,8	10,8	10,8	8,4	8,4
36	14,4	13,2	10,8	10,8	10,8	9,6	8,4
37	14,4	13,2	12,0	10,8	10,8	9,6	8,4
40	19,2	15,6	12,0	12,0	10,8	9,6	8,4
50	20,4	16,8	13,2	12,0	12,0	9,6	8,4
60	22,8	19,2	15,6	13,2	12,0	10,8	9,6
70	24,0	20,4	16,8	15,6	13,2	10,8	9,6
80	24,0	21,6	19,2	16,8	15,6	12,0	10,8
90	26,4	22,8	20,4	19,2	16,8	13,2	12,0
100	26,4	22,8	21,6	20,4	19,2	16,8	13,2
150	28,8	24,0	22,8	21,6	20,4	19,2	16,8
200	28,8	24,0	24,0	22,8	21,6	20,4	18,0
300	31,2	28,8	26,4	24,0	22,8	21,6	19,2

Fonte: ETA 1, adaptada pela autora, 2019.

Tabela 21: Tabela nº 1 de solução de Sulfato de Alumínio à 10%.

Turbidez / Vazão	530	490	460	430	400	290	230
0 a 5	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
10	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
11	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
12	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
13	3,6	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
14	3,6	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
15	3,6	3,0	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8
16	4,2	3,6	3,0	3,0	2,4	1,8	1,8
17	4,2	3,6	3,0	3,0	2,4	1,8	1,8
18	4,2	3,6	3,0	3,0	3,0	2,4	1,8
19	4,8	3,6	3,0	3,0	3,0	2,4	2,4
20	4,8	4,2	3,6	3,0	3,0	2,4	2,4
21	4,8	4,2	3,6	3,6	3,0	2,4	2,4
22	5,4	4,2	3,6	3,6	3,0	2,4	2,4
23	5,4	4,8	3,6	3,6	3,6	2,4	2,4
24	5,4	4,8	4,2	3,6	3,6	3,0	2,4
25	5,4	4,8	4,2	4,2	3,6	3,0	2,4
26	6,0	4,8	4,2	4,2	3,6	3,0	3,0
27	6,0	5,4	4,2	4,2	4,2	3,0	3,0
28	6,0	5,4	4,8	4,2	4,2	3,0	3,0
29	6,0	5,4	4,8	4,8	4,2	3,6	3,0
30	6,0	5,4	4,8	4,8	4,2	3,6	3,6
31	6,6	5,4	4,8	4,8	4,8	3,6	3,6
32	6,6	6,0	4,8	4,8	4,8	4,2	3,6
33	6,6	6,0	5,4	4,8	4,8	4,2	3,6
34	6,6	6,0	5,4	5,4	4,8	4,2	3,6
35	7,2	6,0	5,4	5,4	5,4	4,2	4,2
36	7,2	6,6	5,4	5,4	5,4	4,8	4,2
37	7,2	6,6	6,0	5,4	5,4	4,8	4,2
40	9,6	7,8	6,0	6,0	5,4	4,8	4,2
50	10,2	8,4	6,6	6,0	6,0	4,8	4,2
60	11,4	9,6	7,8	6,6	6,0	5,4	4,8
70	12,0	10,2	8,4	7,8	6,6	5,4	4,8
80	12,0	10,8	9,6	8,4	7,8	6,0	5,4
90	13,2	11,4	10,2	9,6	8,4	6,6	6,0
100	13,2	11,4	10,8	10,2	9,6	8,4	6,6
150	14,4	12,0	11,4	10,8	10,2	9,6	8,4
200	14,4	12,0	12,0	11,4	10,8	10,2	9,0
300	15,6	14,4	13,2	12,0	11,4	10,8	9,6

Fonte: ETA 1, adaptada pela autora, 2019.

Tabela 22: Tabela nº 2 de dosagem de solução de Sulfato de Alumínio à 10%.

litros/minuto	quilos/hora	litros/5segundos	litros/hora
1,8	10,8	150 mL	108,0
2,4	14,4	200 mL	144,0
3,0	18,0	250 mL	180,0
3,6	21,6	300 mL	216,0
4,2	25,2	350 mL	252,0
4,8	28,8	400 mL	288,0
5,4	32,4	450 mL	324,0
6,0	36,0	500 mL	360,0
6,6	39,6	550 mL	396,0
7,2	43,2	600 mL	432,0
7,8	46,8	650 mL	468,0
8,4	50,4	700 mL	504,0
9,0	54,0	750 mL	540,0
9,6	57,6	800 mL	576,0
10,2	61,2	850 mL	612,0
10,8	64,8	900 mL	648,0
11,4	68,4	950 mL	684,0
12,0	72,0	1000 mL	720,0
13,2	79,2	1100 mL	792,0
14,4	86,4	1200 mL	864,0
15,6	93,6	1300 mL	936,0
16,8	100,8	1400 mL	1008,0
18,0	108,0	1500 mL	1080,0
19,2	115,2	1600 mL	1152,0
20,4	122,4	1700 mL	1224,0
21,6	129,6	1800 mL	1296,0
22,8	136,8	1900 mL	1368,0
24,0	144,0	2000 mL	1440,0
25,2	151,2	2100 mL	1512,0
26,4	158,4	2200 mL	1584,0
27,6	165,6	2300 mL	1656,0
28,8	172,8	2400 mL	1728,0
30,0	180,0	2500 mL	1800,0

Fonte: ETA 1, adaptada pela autora, 2019.

Tabela 23: Dosagem de tanino (mL x 10 s).

Vazão (L/s)	Dosagem (10 mg/L)	Dosagem (15 mg/L)	Dosagem (20 mg/L)	Dosagem (25 mg/L)	Dosagem (30 mg/L)	Dosagem (35 mg/L)	Dosagem (40 mg/L)
50	19,2	28,8	38,5	48,1	57,7	67,3	76,9
60	23,1	34,6	46,2	57,7	69,2	80,8	92,3
70	26,9	40,4	53,8	67,3	80,8	94,2	107,7
80	30,8	46,2	61,5	76,9	92,3	107,7	123,1
90	34,6	51,9	69,2	86,5	103,8	121,2	138,5
100	38,5	57,7	76,9	96,2	115,4	134,6	153,8
110	42,3	63,5	84,6	105,8	126,9	148,1	169,2
120	46,2	69,2	92,3	115,4	138,5	161,5	184,6
130	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0	175,0	200,0
140	53,8	80,8	107,7	134,6	161,5	188,5	215,4
150	57,7	86,5	115,4	144,2	173,1	201,9	230,8
160	61,5	92,3	123,1	153,8	184,6	215,4	246,2
170	65,4	98,1	130,8	163,5	196,2	228,8	261,5
180	69,2	103,8	138,5	173,1	207,7	242,3	276,9
190	73,1	109,6	146,2	182,7	219,2	255,8	292,3
200	76,9	115,4	153,8	192,3	230,8	269,2	307,7
210	80,8	121,2	161,5	201,9	242,3	282,7	323,1
220	84,6	126,9	169,2	211,5	253,8	296,2	338,5
230	88,5	132,7	176,9	221,2	265,4	309,6	353,8
240	92,3	138,5	184,6	230,8	276,9	323,1	369,2
250	96,2	144,2	192,3	240,4	288,5	336,5	384,6
260	100,0	150,0	200,0	250,0	300,0	350,0	400,0
270	103,8	155,8	207,7	259,6	311,5	363,5	415,4
280	107,7	161,5	215,4	269,2	323,1	376,9	430,8
290	111,5	167,3	223,1	278,8	334,6	390,4	446,2
300	115,4	173,1	230,8	288,5	346,2	403,8	461,5
310	119,2	178,8	238,5	298,1	357,7	417,3	476,9
320	123,1	184,6	246,2	307,7	369,2	430,8	492,3
330	126,9	190,4	253,8	317,3	380,8	444,2	507,7
340	130,8	196,2	261,5	326,9	392,3	457,7	523,1
350	134,6	201,9	269,2	336,5	403,8	471,2	538,5
360	138,5	207,7	276,9	346,2	415,4	484,6	553,8
370	142,3	213,5	284,6	355,8	426,9	498,1	569,2
380	146,2	219,2	292,3	365,4	438,5	511,5	584,6
390	150,0	225,0	300,0	375,0	450,0	525,0	600,0
400	153,8	230,8	307,7	384,6	461,5	538,5	615,4
410	157,7	236,5	315,4	394,2	473,1	551,9	630,8
420	161,5	242,3	323,1	403,8	484,6	565,4	646,2

*A tabela continua na próxima página

Tabela 23: Dosagem de tanino (mL x 10 s) (continuação).

430	165,4	248,1	330,8	413,5	496,2	578,8	661,5
440	169,2	253,8	338,5	423,1	507,7	592,3	676,9
450	173,1	259,6	346,2	432,7	519,2	605,8	692,3
460	176,9	265,4	353,8	442,3	530,8	619,2	707,7
470	180,8	271,2	361,5	451,9	542,3	632,7	723,1
480	184,6	276,9	369,2	461,5	553,8	646,2	738,5
490	188,5	282,7	376,9	471,2	565,4	659,6	753,8
500	192,3	288,5	384,6	480,8	576,9	673,1	769,2
510	196,2	294,2	392,3	490,4	588,5	686,5	784,6
520	200,0	300,0	400,0	500,0	600,0	700,0	800,0
530	203,8	305,8	407,7	509,6	611,5	713,5	815,4
540	207,7	311,5	415,4	519,2	623,1	726,9	830,8
550	211,5	317,3	423,1	528,8	634,6	740,4	846,2
560	215,4	323,1	430,8	538,5	646,2	753,8	861,5
570	219,2	328,8	438,5	548,1	657,7	767,3	876,9
580	223,1	334,6	446,2	557,7	669,2	780,8	892,3
590	226,9	340,4	453,8	567,3	680,8	794,2	907,7
600	230,8	346,2	461,5	576,9	692,3	807,7	923,1

Fonte: ETA 2, adaptado pela autora, 2019.

Tabela 24: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem dos filtros 1 e 2 da ETA 1 (1ª coleta – chuvoso)

Tempo (s)	Filtro 1	Filtro 2
	Turbidez (uT)	Turbidez (uT)
30	36,5	46,3
60	81,2	94,8
90	692	578
120	610	512
150	359	197
180	63,6	80,6
210	38,1	38,3
240	19,3	28,6
270	14,1	15,9
300	12,9	697
330	12,7	886
360	6,19	494
390	754	284
420	288	105
450	123	73,9
480	68,7	57,2
510	48,1	39,4
540	32,6	31,7
570	25,6	20,7
600	22,8	18,9

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 25: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem dos filtros 1 e 2 da ETA 1 (2ª coleta – estiagem)

Tempo (s)	Filtro 1	Filtro 2
	Turbidez (uT)	Turbidez (uT)
30	10,3	13,0
60	70,6	52,0
90	120	562
120	981	581
150	356	266
180	175	96,9
210	47,1	38,0
240	20,4	28,4
270	18,1	12,5
300	154	127
330	358	987
360	577	671
390	783	259
420	686	151
450	288	75,5
480	118	43,7
510	62,9	33,6
540	36,1	27,4
570	19,9	15,3
600	14,3	10,5

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 26: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem do filtro 1 da ETA 2

(1ª coleta – chuvoso)

Tempo (s)	Filtro 1
	Turbidez (uT)
30	20,4
60	16,3
90	20,7

Fonte: Autora, 2020.

Tabela 27: Resultados dos ensaios de turbidez da água de lavagem do filtro 1 da ETA 2

(2ª coleta – estiagem)

Tempo (s)	Filtro 1
	Turbidez (uT)
30	24,6
60	35,8
90	68,9
120	70,9
150	91,0
180	90,0
210	82,4
240	31,4
270	14,8
300	9,08

Fonte: Autora, 2020.