

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO



MAÍRA CORREIA DE MENEZES

**INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS OPERACIONAIS DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO**

MACEIÓ  
2019

MAÍRA CORREIA DE MENEZES

**INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS OPERACIONAIS DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof(a). Dr.(a) Nélia Henriques Callado

Coorientadora: Prof. Dra. Elizabeth Regina Halfeld da Costa

Maceió  
2019

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 - 661

- M543i Menezes, Maíra Correia de.  
Investigação de processos operacionais de uma estação de tratamento de água de ciclo completo / Maíra Correia de Menezes. – 2019.  
130 f. : il. color.
- Orientadora: Nélia Henriques Callado.  
Co-orientadora: Elizabeth Regina Halfeld da Costa.  
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2019.
- Bibliografia: f. 112-117.  
Apêndices: f. 118-123.  
Anexos: f. 124-130.
1. Água – Estações de tratamento. 2. Sistema de abastecimento de água. 3. Água - Qualidade. 4. Resíduos. I. Título.



## Folha de Aprovação

MAÍRA CORREIA DE MENEZES

INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS OPERACIONAIS  
DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 28/02/2019

*Nélia Callado*

Prof.ª Dr.ª Nélia Henriques Callado  
(Orientadora- PPGRHS/ CTEC/UFAL)

*Elizabeth R. Halfeld da Costa*

Prof.ª Dr.ª Elizabeth Regina Halfeld da Costa  
(Coorientadora - CEFET-MG)

### Banca examinadora:

*João Inácio Soletti*

Prof. Dr. João Inácio Soletti  
(Examinador externo - PPGEQ/CTEC/UFAL)

*Paulo Sergio Scalize*

Prof. Dr. Paulo Sergio Scalize  
(Examinador externo - UFG)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela energia dada para a conclusão dessa jornada.

À minha família, minha mãe Marly, meu pai Humberto, tio Elke, Ziza, Olívia, Anna, e tia Nil, por serem minha base e minha força.

À minha tia Lourdes *in memoriam*, que com sua doçura no olhar me ensinou sobre como ser forte e resistir em momentos difíceis.

A minha orientadora, Profa. Dra. Nélia, pela amizade, pelo apoio e pelo punho forte. E minha coorientadora, Profa. Dra. Elizabeth, pela visão crítica, conhecimento e incentivo para que eu não desistisse.

Aos meus amigos Lucas Tardelly e Jokshan, pelas palavras de carinho, amor e motivação.

Aos amigos de pós-graduação, Dani, Paulo, Luiza, Geiza e Gedson, pela partilha dos momentos de dificuldades nesta caminhada sofrida.

Ao meu amigo Marcus, achado no meio do caos.

Aos professores deste e de outros programas de pós-graduação, pela dedicação em manter a qualidade do ensino em meio as dificuldades.

Aos operadores da ETA Pratagy, especialmente ao eng.º Domingos, pelo incentivo, ajuda e paciência.

A Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas - CASAL, FAPEAL, Programa de Recursos Hídricos e Saneamento - PPGRHS, Laboratório de Saneamento Ambiental a UFAL – LSA, por apoiar o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos que participaram de alguma forma na elaboração e desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada.

## RESUMO

No Brasil, as estações de tratamento de ciclo completo estão presentes na maioria dos municípios como alternativa de tratamento de água para diferentes tipos de água bruta. Todavia, a medida que a bacia se torna mais urbanizada os mananciais responsáveis pelo abastecimento sofrem com os impactos ambientais, têm a sua qualidade deteriorada e se torna um desafio para as empresas fornecedoras de água potável atenderem aos padrões de potabilidade. Sendo assim, é necessário que os processos operacionais das estações de tratamento de água (ETAs) se adequem a atual realidade para que os padrões estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 sejam satisfeitos e, também, para que os resíduos gerados no processo sejam tratados e lançados no ambiente com mínimos impactos. Diante deste contexto, o intuito deste estudo é realizar uma avaliação o desempenho de uma ETA ciclo completo, localizada na cidade de Maceió-AL, investigando desde a variação da qualidade da água bruta, suas operações unitárias, a qualidade da água tratada e dos resíduos gerados. Foram realizadas análises de qualidade da água bruta e tratada, considerando o atendimento a legislação vigente, levantamento de dados de parâmetros hidráulicos de projeto e de operação; ensaios de coagulação, e caracterização dos resíduos líquidos gerados. Os resultados mostraram que os valores médios anuais mostram que o manancial Pratygy não se enquadra na Resolução 357/05 do CONAMA para corpos d'água doces classe II, que a unidade de mistura rápida e floculação e filtração não estão mais funcionando conforme projetado e fora dos parâmetros da NBR 12.216/92, ocasionando deficiências no funcionamento dos processos unitários, mas que mesmo assim a ETA produz água dentro dos padrões de potabilidade, fora do recomendado. O sulfato de alumínio apresentou formação dos flocos na região ótima com dosagens 55 a 67,5 mg/L de coagulante entre pH 6,5 a 6,77, apresentando valores mais satisfatórios de remoção que o PAC. Os dois decantadores operam de forma homogênea na produção de resíduos e os valores obtidos nas composição físico-química dos resíduos indicam que a estação de tratamento não se enquadra na Resolução 430/2011 do CONAMA para lançamentos de efluentes. Ainda assim, apesar de diversas discordâncias entre parâmetros ótimos, de projeto e de funcionamento real, além da falta se sistemática na operação nas etapas de tratamento, a ETA de ciclo completo é capaz de apresentar desempenho satisfatório quanto a qualidade da água tratada.

**Palavras-chave:** Qualidade da água, Tratamento de água de abastecimento, Resíduos de ETAs.

## ABSTRACT

In Brazil, complete cycle complete treatment plants are present in most municipalities as an alternative treatment of water for different types of raw water. However, as the basin becomes more urbanized, supply sources suffer from environmental impacts, deteriorate in quality, and become a challenge for drinking water suppliers to meet drinking standards. Therefore, it is necessary that the operational processes of the water treatment plants (ETAs) adapt to the current reality so that the standards established by Annex XX of the Consolidation Ordinance No. 5 of 2017 are satisfied and also that the waste generated in the process are treated, released in the environment with minimal impacts. In this context, the purpose of this study is to perform an evaluation of the performance of a complete cycle ETA, located in the city of Maceió-AL, investigating the quality of raw water, its unit operations, the quality of treated water and waste generated. Quality analyzes of raw and treated water were carried out, considering compliance with current legislation, data collection of hydraulic parameters of design and operation; coagulation assays, and characterization of the liquid waste generated. The results showed that annual mean values show that the Pratygy spring does not fit into CONAMA Resolution 357/05 for Class II sweet water bodies, that the quick mixing and flocculation and filtration unit are no longer functioning as designed and out of the parameters of NBR 12.216 / 92, causing deficiencies in the functioning of the unit processes, but that even then ETA produces water within the standards of potability, outside the recommended. The aluminum sulphate showed formation of the flakes in the optimum region with 55 to 67.5 mg / L of coagulant dosages between pH 6.5 and 6.77, indicating more satisfactory removal values than the PAC. The two decanters operate homogeneously in the production of residues and the values obtained in the physico-chemical composition of the residues indicate that the treatment plant does not fit into CONAMA Resolution 430/2011 for effluent releases. Nevertheless, in spite of several disagreements between optimal parameters, design and actual operation, besides the systematic failure in the operation in the treatment stages, the complete cycle ETA is able to present satisfactory performance as the quality of the treated water.

**Keywords:** Water quality, Treatment of water supply, Waste ETAs.

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do rio Pratygy.....	29
Figura 2- Esquema das unidades de tratamento da ETA Pratygy.....	30
Figura 3 - Distribuição mensal da turbidez (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018) .....	34
Figura 4 - Distribuição sazonal da cor verdadeira (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).....	35
Figura 5 - Distribuição mensal da alcalinidade total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).....	36
Figura 6 - Distribuição mensal da dureza total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018) .....	37
Figura 8 - Distribuição sazonal para Ferro Total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018) .....	39
Figura 9: Distribuição mensal para Cloretos (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).....	40
Figura 10 - Distribuição mensal dos Coliformes Termotolerantes (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).....	41
Figura 11 - Distribuição mensal do <i>E. coli</i> (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).....	41
Figura 12 - Pluviometria média mensal dos postos de influência na captação da água bruta da ETA Pratygy. ....	43
Figura 13 - Esquema dos pontos de monitoramento operacional e amostragem de água a ETA. ....	56
Figura 14 - Canal de mistura rápida– coagulação .....	61
Figura 15 - Mistura lenta–floculação.....	61
Figura 16 - Decantadores de alta taxa -Etapa decantação .....	61
Figura 17- Filtros – Etapa filtração.....	61

Figura 18 - Equipamento de <i>JarTest</i> com destaque para o dispositivo de dosagem simultânea e o dispositivo de coleta simultânea de amostras. ....	75
Figura 1 - Diagrama de coagulação água tipo I/Sulfato de alumínio – Turbidez Remanescente .....	83
Figura 20 - Diagrama de coagulação água tipo I/Sulfato de alumínio – Cor aparente Remanescente .....	83
Figura 21- Diagrama de coagulação água tipo II/sulfato de alumínio – Turbidez remanescente .....	86
Figura 22 - Diagrama de coagulação água tipo II/sulfato de alumínio – Cor aparente remanescente. ....	87
Figura 23 - Diagrama de coagulação água tipo II/Policloreto de Alumínio – Turbidez remanescente. ....	89
Figura 24 - Diagrama de coagulação água tipo II/ Policloreto de Alumínio - Cor aparente remanescente .....	90
Figura 25 - Pontos de amostragem de resíduos na ETA.....	97
Figura 26 - Coluna de sedimentação. ....	99
Figura 27 - Produção de resíduos secos da ETA Pratagy no período seco*. ....	104
Figura 31 - Unidade de sedimentação de lodo da ETA Pratagy.....	114
Figura 32 - Variação de $X_o/S_o$ em função do número de Reynolds .....	141

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Parâmetros do Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) e respectivos pesos ....	24
Tabela 2- Limites das águas doces CONAMA 357/2005. ....	27
Tabela 3- Georreferenciamento dos postos de coleta de dados de chuva. ....	31
Tabela 4- Parâmetros e pesos do IQA. ....	32
Tabela 5- Classificação do IQA.....	33
Tabela 6: Aplicação do IQAB no período seco e chuvoso dos anos de 2015 a 2018. ....	46
Tabela 7 - Parâmetros hidráulicos - Coagulação. ....	62
Tabela 8 - Variação do pH nas câmeras de floculação.....	63
Tabela 9 - Parâmetros hidráulicos - Floculação. ....	64
Tabela 10 - Parâmetros hidráulicos - Decantação. ....	65
Tabela 11 - Parâmetros hidráulicos - Filtração.....	66
Tabela 12 - Parâmetros hidráulicos do Grupo Desinfecção. ....	67
Tabela 13 - Atendimento da Portaria de Consolidação do MS nº 5/2017.....	68
Tabela 14 - Parâmetros de referência no ensaio <i>JarTest</i> . ....	76
Tabela 15 - Especificações dos produtos químicos aplicado nos ensaios <i>Jartest</i> . ....	77
Tabela 16 - Características dos ensaios com água tipo I, usando sulfato de alumínio. ....	79
Tabela 17 - Características dos ensaios com água tipo II, usando sulfato de alumínio e PAC. ....	79

Tabela 18 - Características físico-químicas da amostra representativa do manancial no dia da coleta.....	80
Tabela 19 - Melhores pares de dosagens coagulantes x pH de coagulação. ....	81
Tabela 20 - Remoção de ferro e manganês na filtração. ....	84
Tabela 21 - Melhores pares de dosagem x pH de coagulação.....	88
Tabela 22 - Melhores pares de dosagem de coagulante x pH de coagulação.....	88
Tabela 23 - Valores de referência da composição físico-química de amostras compostas. ....	95
Tabela 24 - Volume de resíduo coletado em cada campanha.....	97
Tabela 25 - Valores de referências para produção de lodo.....	101
Tabela 26 - Quantificação da produção de sólidos secos. ....	103
Tabela 27 - Volume de resíduos descartados pelos decantadores. ....	105
Tabela 28 - Volume de resíduos gerados na lavagem dos filtros. ....	106
Tabela 29 - Volume de resíduos gerados pelos decantadores e filtros. ....	106
Tabela 30 - Percentual de perda de água na ETA.....	106
Tabela 31 - Caracterização das amostras de cada saída e composta- DECANTADOR LADO A .....	108
Tabela 32 - Caracterização das amostras de cada saída e composta- DECANTADOR LADO B .....	108
Tabela 33 - Concentração de sólidos do lodo no tempo –DECANTADOR LADO A. ....	109
Tabela 34 - Concentração de sólidos do lodo no tempo –DECANTADOR LADO B .....	110
Tabela 35 - Características físico - químicas dos filtros da ETA Pratagy.....	112

Tabela 36: Concentração da água de lavagens dos filtros. .... 113

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Recomendações Gerais da NBR 12.216: 1992. ....	53
Quadro 2- Informações Gerais da ETA ciclo completo Pratagy. ....	55
Quadro 3 - Parâmetros e os métodos analíticos.....	58
Quadro 4 - Parâmetros de análise da qualidade da água tratada. ....	59
Quadro 5 - Principais características do Sulfato de Alumínio e do Policloreto de Alumínio ..	73
Quadro 6 - Planejamento experimental. ....	78
Quadro 7 - Parâmetros físico-químicas de caracterização da água bruta. ....	78

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**APHA** - American Public Health Association

**AWWA** - American Water Works Association.

**ANA**- Agência Nacional de Águas

**CASAL** - Companhia de Saneamento de Alagoas

**CETESB**- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

**CNRH** - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

**CONAMA** - Conselho Nacional de Meio Ambiente

**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**ETAs** - Estações de Tratamento de Água

**FAPEAL** – Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas

**IQA/IQAB** – Índice de Qualidade da Água Bruta

**LSA** – Laboratório de Saneamento Ambiental

**PAC** - Policloreto de Alumínio

**PIBIC**- Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

**PPGRHS** - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento

**SEMARH/ AL**- Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas

**UFAL** - Universidade Federal de Alagoas

## SUMÁRIO

1. CAPÍTULO - INTRODUÇÃO GERAL .....	18
1.1. Contexto e justificativa.....	19
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Geral .....	21
1.2.2. Específicos.....	21
2. CAPÍTULO - RELEVÂNCIA DOS ASPECTOS QUALITATIVOS DAS ÁGUAS DOS MANANCIAIS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO .....	22
2.1. Introdução.....	23
2.2. Metodologia.....	28
2.2.1. Área de estudo .....	28
2.2.2. Amostragem da água bruta .....	29
2.2.3. Dados de precipitação.....	30
2.2.4. Análise da qualidade da água .....	31
2.3. Resultados e discussões .....	33
2.3.1. Avaliação da qualidade da água bruta do rio Pratagy .....	33
2.3.2. Interferências climáticas na qualidade do rio Pratagy .....	42
2.3.3. Índice da Qualidade da Água Bruta- IQAB.....	44
2.4. Conclusões parciais .....	47
3. CAPÍTULO - DESEMPENHO OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CICLO COMPLETO.....	48
3.1. Introdução.....	49
3.2. Metodologia.....	54
3.2.1 Descrição da área de trabalho.....	54
3.2.2. Caracterização operacional da ETA .....	55
3.2.3. Levantamento dos parâmetros hidráulicos da ETA.....	55
3.2.4. Avaliação qualitativa dos processos unitários da estação .....	57
3.2.5. Avaliação da qualidade da água tratada .....	58
3.3. Resultados e discussões .....	59
3.3.1. Caracterização operacional da ETA .....	59
3.3.2. Avaliação da água tratada.....	67
3.4. Conclusões parciais .....	69

4. CAPÍTULO - ANÁLISE DO EMPREGO DE DOIS TIPOS DE COAGULANTES NA PARA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ DE ÁGUA COM BAIXA ALCALINIDADE.	71
4.1. Introdução.....	72
4.2. Metodologia.....	73
4.2.1. 1ª Etapa:.....	74
4.2.2. 2ª Etapa:.....	75
4.2.3. 3ª Etapa:.....	77
4.2.4. Diagramas de coagulação .....	78
4.3. Resultados e discussões .....	80
4.3.1. Ensaio com água tipo I – Coagulante Sulfato de alumínio.....	81
4.3.2. Ensaio com água tipo II – Coagulante Sulfato de alumínio.....	84
4.3.3. Ensaio com água tipo II – Coagulante Policloreto de Alumínio.....	88
4.4. Conclusões parciais .....	92
5. CAPÍTULO - GESTÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ETAS. ....	93
5.1. Introdução.....	94
5.2. Metodologia.....	96
5.2.1. Área de estudo .....	96
5.2.2. Delineamento experimental.....	96
5.2.3. Caracterização dos resíduos.....	97
5.2.4. Curva de clarificação/adensamento por gravidade .....	98
5.2.5. Estimativas da produção de resíduos .....	99
5.2.6. Estimativa do volume de resíduos descartados .....	101
5.2.7. Caracterização da operação do sistema de lodo .....	102
5.3. Resultados e discussões .....	102
5.3.1. Estimativa de geração mássica de resíduos .....	102
5.3.2. Caracterização e sedimentabilidade dos resíduos dos decantadores .....	107
5.3.3. Caracterização e sedimentabilidade das águas de lavagem dos filtros.....	111
5.3.4. Caracterização do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Pratygy.....	113
5.4. Conclusões parciais .....	114
6. CAPÍTULO- CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES .....	116
6.1. Conclusões gerais .....	117
6.2. Recomendações .....	118
REFERÊNCIAS .....	119
APÊNDICE A.....	127

APÊNDICE B..... 129  
ANEXO A ..... 133  
ANEXO B..... 137

*Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.  
Cora Coralina*

## **1. CAPÍTULO - INTRODUÇÃO GERAL**

## 1.1. Contexto e justificativa

Dados sobre os casos de doenças ligadas ao consumo de água contaminada no mundo revelam que uma a cada quatro pessoas (aproximadamente 1,8 bilhões) utiliza uma fonte de água potável que sofre de contaminação fecal e que 361 mil crianças menores de 5 anos morrem em razão de diarreia, como resultado do baixo acesso à água tratada, ao saneamento e as condições inadequadas de higiene (BAIN *et al.*, 2014; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017). Essas informações são importantes para a população, pois demonstram que a qualidade de vida da população é melhor representada pela abrangência dos serviços de água e de esgotamento sanitário, do que propriamente pelo potencial hídrico ou pela disponibilidade de água per capita (LIBÂNIO *et al.*, 2005).

Nesse contexto, as estações de tratamento de água (ETAs), como parte integrante do serviço de abastecimento de água, é o ponto de partida do sistema que garante a potabilização da água para a população, conforme o estabelecido por normas nacionais e internacionais. O objetivo das ETAs é remover da água bruta os organismos e substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas) que podem ser prejudiciais à saúde e ao ambiente (PADILHA ; MODOLO, 2017).

O simples monitoramento laboratorial das entradas e saídas da ETAs é insuficiente para realizar a gestão da qualidade da água para consumo humano. Sendo assim, é necessário que sejam incorporadas a promoção das boas práticas de todo sistema, como a proteção dos mananciais, operadores capacitados, produtos de qualidade, tecnologia adequada, o controle operacional e a avaliação contínua dos processos unitários de tratamento (BASTOS; VARGAS; MOYSÉS, 2000).

De acordo com Achon, Barroso e Cordeiro (2013), no Brasil existem cerca de 7.500 estações de tratamento de água (ETAs) projetadas, em grande maioria com ciclo completo (coagulação, floculação, decantação e filtração). No entanto, ocorre que muitas ETAs brasileiras estão trabalhando além da sua capacidade e/ou produzindo água com qualidade insatisfatória a fim de atender uma demanda crescente de água, confrontando-se com a falta de recursos e ainda ter que acatar as restrições das legais (COSTA, 2016).

Por sua vez, as características da água bruta sofrem variações ao longo do tempo e são fortemente influenciadas pela uso e ocupação da bacia, e tornam a dimensão dos problemas de desempenho das ETAs mais complexos.

Os impactos gerados pelo desenvolvimento das atividades humanas na bacia podem fazer com que um manancial usado para abastecimento sofra alterações, de modo que a qualidade da água tratada diminua. Segundo De Julio *et al.* (2010), alterações como a eutrofização em um manancial pode ocasionar problemas na estação em várias etapas do tratamento, como a queda na eficiência da operação de decantação, redução na duração das carreiras de filtração e aumento no consumo da água de lavagem dos filtros, fazendo com que a produção efetiva da ETA diminua. Além disso, os resíduos gerados nos processos de potabilização, muitas vezes são lançados no manancial sem tratamento, contrariando a legislação vigente e provocando impactos ambientais.

O estudo realizado por Almeida, Silva e Paula (2017) analisou desempenho de uma ETA ciclo completo, por meio de verificações da alteração da qualidade da água bruta e suas implicações no tratamento. Os resultados demonstraram deficiências no processo de tratamento, como o não atendimento aos padrões de potabilidade e necessidade de redução das carreiras de filtração.

Já Bartiko e De Julio (2014) e Costa (2016) propuseram comparativos entre produtos comerciais e utilizaram diagramas de coagulação, dentre os resultados obtiveram redução de custos e uma maior eficiência da remoção da turbidez, cor, ferro e manganês.

Os resultados de Almeida Neto, Macena e Oliveira (2016) fez uma avaliação dos resíduos gerados de uma ETA e verificou um teor elevado de alumínio nos resíduos de descarga do decantador e de água de lavagem dos filtros.

Visto que, cada estação possui diferentes condições operacionais e cada manancial possui particularidades intrínsecas por seus aspectos regionais, o propósito desta pesquisa foi investigar o desempenho de uma estação de tratamento de ciclo completo, desde as características da água bruta, os processos unitários operacionais, a qualidade da água tratada e dos resíduos gerados na ETA.

Este trabalho está inserido no projeto denominado “Investigação de processos operacionais de uma estação de tratamento de água do tipo ciclo completo” desenvolvido no pelo Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, realizado em parceria com a CASAL (Companhia de Saneamento de Alagoas) e com apoio da FAPEAL.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Geral

Este trabalho visou proporcionar uma visão geral de uma ETA de ciclo completo, suas dificuldades e problemas operacionais, e avaliar seu desempenho levando em conta a qualidade da água bruta, o levantamento dos parâmetros hidráulicos reais, a qualidade da água produzida e a gestão de seus resíduos.

### 1.2.2. Específicos

- Contribuir para a formação de um banco de dados e apresentar uma avaliação qualitativa da água bruta do rio Pratagy, no ponto de captação de água para consumo humano, operado pela CASAL (Companhia de Saneamento de Alagoas), quanto aos parâmetros inseridos no IQAB, e correlaciona-los a sazonalidade, precipitação de chuvas e aos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005- CAPÍTULO 2;
- Avaliar os processos unitários e a eficiência da ETA de ciclo completo que recebe água bruta do rio Pratagy, por meio do levantamento dos parâmetros hidráulicos operacionais e de análise da água tratada tomando como critério Anexo XX da Portaria de Consolidação n.5 2017 do Ministério da Saúde- CAPÍTULO 3;
- Construir diagramas de coagulação para dois tipos de água que representam diferentes épocas do ano por meio da análise estatística da série histórica, com dois coagulantes distintos- CAPÍTULO 4;
- Identificar a alternativa de tratamento e destinação do resíduo gerado na ETA em estudo, caracteriza-lo e estudar a sua sedimentabilidade – CAPÍTULO 5.

**2. CAPÍTULO - RELEVÂNCIA DOS ASPECTOS QUALITATIVOS DAS ÁGUAS  
DOS MANANCIAIS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO**

## RELEVÂNCIA DOS ASPECTOS QUALITATIVOS DAS ÁGUAS DOS MANANCIAIS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.

### 2.1. Introdução

Quando se fala de manancial para abastecimento público, o MMA (2018) define como toda fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas.

A água está distribuída da seguinte forma no planeta: 0,3% da água doce estão em mananciais superficiais, 30% no subsolo, e a maior parte, cerca de 70%, estão em geleiras. (AUGUSTO *et al.*, 2012)

Mas como os impactos em mananciais de abastecimento em áreas urbanizadas têm refletido na qualidade da água fornecida para consumo humano?

A qualidade da água varia espacial e temporalmente, e isso pode ser indício das diferenças de clima, solos, geologia, uso da terra e cobertura do solo (CHIEN; PIERCE, 2018). Como resultado, os impactos ambientais têm alterado a disponibilidade e reduzindo a qualidade da água para consumo humano (AUGUSTO *et al.* 2012).

O crescimento populacional é um dos principais fatores que corroboram para as alterações quali-quantitativas das fontes de abastecimento. Kummu *et al.* (2010) e Wada *et al.* (2013) mostraram que o crescimento na população, nas últimas décadas, teve efeitos significativos no aumento demanda de água. Esse aumento, como é apontado por Cortês *et al.* (2015), acaba acarretando investimentos na ampliação do sistema de abastecimento e no aumento da capacidade das estações de tratamento.

Segundo Augusto *et al.* (2012), esse aproveitamento máximo da bacia pela admissão dos usos múltiplos dos mananciais importantes para o consumo humano pode acarretar na diminuição da qualidade da água, que os sistemas de abastecimento não estão aptos a absorver.

Isso pode ser um fator de elevado risco de perda da qualidade da água para o consumo humano, que não conta com tecnologia praticável de tratamento para grandes sistemas, restringindo-se apenas aos aspectos físicos, seguido de desinfecção e não eliminando os contaminantes químicos a exemplo de metais, hormônios e agrotóxicos.

Diante disso, gestores dos recursos hídricos têm se preocupado com o adequado gerenciamento dessas fontes. A gestão da água deve ser feita durante todo ciclo: da captação de água doce, pré-tratamento, distribuição, uso, coleta e pós-tratamento, até o uso de águas residuais tratadas e seu retorno final ao meio ambiente (UNWATER, 2019).

#### *Parâmetros físico-químicos e microbiológicos*

É importante que haja um profundo conhecimento das características físico-químicas e microbiológicas do manancial para a seleção adequada da tecnologia de tratamento. Já para estações de tratamento de água em operação o controle operacional dessas características permite a preparação de amostras representativas do manancial das épocas do ano e que irão colaborar para o controle dos processos e operações (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

Dentre os parâmetros existentes para o controle da qualidade da água bruta destinada ao abastecimento humano, alguns são mais utilizados rotineiramente, tais como os parâmetros utilizados no cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água), desde 1975 pela CETESB (2018), e no IQAB (Índice de Qualidade de Água Bruta) proposto por Souza (2008), com base na metodologia usada na elaboração do (IQA) por Brown, McClelland e Deiniger (1970).

Os oito parâmetros que compõem o IQAB, com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua influência na tratabilidade por meio da tecnologia de ciclo completo para potabilização estão disponíveis na Tabela 1.

**Tabela 1- Parâmetros do Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) e respectivos pesos**

<b>Parâmetros</b>	<b>Pesos (W)</b>
Turbidez	0,22
Cor Verdadeira	0,19
pH	0,12
Cianobactérias	0,11
Algas	0,10
<i>E.coli</i>	0,09
Ferro	0,09
Manganês	0,08

Fonte: Adaptado de SOUZA (2008).

No Brasil, as águas naturais apresentam características geológicas das bacias de drenagem, dos altos índices pluviométricos e do uso de práticas agrícolas muitas vezes inadequadas, o que faz com que parte das águas sejam naturalmente turvas (LIBÂNIO, 2010)

Nas águas superficiais, de acordo com Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011), a cor verdadeira é geralmente a presença de matéria orgânica oriunda da degradação de matéria de origem vegetal; metais (como Ferro e Manganês); assim como outras substâncias dissolvidas na água são indicadores da característica física cor. A cor não constitui apenas um parâmetro estético, pois a reação do cloro com substâncias húmicas responsáveis pela cor resultar na formação de trihalometanos pode gerar riscos à saúde humana (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

O potencial hidrogeniônico (pH) é também sua importância no operacional das estações de tratamento devido à influência nas etapas de coagulação, floculação e desinfecção. Ele também ajuda no controle de corrosão e incrustação nas adutoras e redes de distribuição. A alcalinidade também pode estar associada à presença de cátions bivalentes, principalmente os de cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ), gerando a dureza, e que pode interferir nos processos de tratamento de água (BRASIL, 2006; LIBÂNIO, 2010; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

As algas e cianobactérias causam diversos inconvenientes nas estações de tratamento, nos aspectos qualitativos e ao funcionamento das unidades de processos, fazendo-se que sejam adotadas medidas preventivas e corretivas para que a água distribuída apresente efeitos prejudiciais à população (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011; TEIXEIRA; BRANDÃO, 2016).

A contaminação microbiana é generalizada e afeta todos os tipos de fontes de água, incluindo fontes canalizadas (BAIN *et al.*, 2014). A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo coliformes termo tolerantes que está presente no intestino grosso de humanos e mamíferos de sangue quente, e compreende cerca de 1% da biomassa bacteriana total e é praticamente incapaz de se desenvolver em outros ambientes (LECLER; MOSSEL, 2001; LIBÂNIO, 2010; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011). Conforme a Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), entre cerca de 10<sup>6</sup> -10<sup>8</sup> coliformes fecais/100 ml, usualmente presentes nos esgotos sanitários predomina a *Escherichia coli*, organismos ainda têm sido largamente utilizados como indicadores de poluição de águas naturais. Os tratamentos de água convencionais não são totalmente eficientes para parasitas como os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*, devido aos oocistos eles permanecem viáveis no ambiente pois apresentam uma certa resistência à temperatura e à cloração (FREGONESI *et al.*, 2012).

Os comportamentos químicos do ferro e do manganês em corpos de água são semelhantes. As concentrações de ferro e manganês em águas naturais não constituem um fator que venha a ser inconveniente à saúde, entretanto pode vir a prejudicar determinados usos industriais da água e provocar problemas estéticos (manchas nas roupas e em sanitários) devido a formação de precipitado (BRASIL, 2006; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

Embora os cloretos não estejam incluídos no IQAB, a presença em excesso de cloretos nos corpos d'água podem indicar algum tipo de poluição, contudo a proximidade com o litoral pode fazer com que haja presença excessiva de cloretos sem que haja contaminação humana. (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011)

#### *Legislação aplicáveis aos mananciais para abastecimento*

A Constituição Federal de 1988 estabelece que a água é o bem de domínio da União ou dos Estados (BRASIL, 1988). É através da ANA e dos órgãos que gerenciam os recursos hídricos estaduais que é feita fiscalização dos serviços referentes ao uso dos mananciais de abastecimento e à poluição dos corpos hídricos.

As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357:2005 e 430:2011 dispõem sobre a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento em função do uso preponderante, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

No que diz respeito ao uso para abastecimento para consumo humano, a Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) estabelece limites para enquadramento dos diferentes parâmetros, como pode ser visto na Tabela 2. Essa resolução permite avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, assim como identificar a tecnologia mais adequada para o tratamento dependendo do tipo de água.

Tabela 2- Limites das águas doces CONAMA 357/2005.

Classe	Especial	I	II	III
Uso preponderante	Abastecimento para consumo humano com desinfecção	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento ciclo completo.	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento convencional ou avançado
Turbidez	Natural do corpo de água	40 NTU	100 NTU	100 NTU
Cor verdadeira	Natural do corpo de água	Natural do corpo de água	75 uC	75 uC
pH	Natural do corpo de água	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Cianobactérias	Natural do corpo de água	20.000 cel/ml ou 2 mm <sup>3</sup> /L	Até 50000 cel/ml ou 5 mm <sup>3</sup> /L	100.000 cel/ml ou 10 mm <sup>3</sup> /L
<i>E. coli</i>	Natural do corpo de água	200	1000	4000
Ferro dissolvido	Natural do corpo de água	0,3 mg/L	0,3 mg/L	5 mg/L
Manganês	Natural do corpo de água	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,5 mg/L

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005).

Vários países possuem um programa de monitoramento de qualidade de suas águas. Nos Estados Unidos, por exemplo, desde 1991, existe um programa denominado NAWQA (*National Water Quality Assessment*) que abrange quase metade do país e 70% dos mananciais de abastecimento público. Na Grã-Bretanha, o programa LOIS (*Land Ocean Interaction Study*) iniciado em 1994, estuda a influência dos centros populacionais, agricultura e indústria nos rios que deságuam no mar (COTRIM, 2006). No Brasil, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) tem um programa de avaliação de suas águas interiores desde 1974.

Em Alagoas, existe uma parceria entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas, Instituto Biota, SOS Mata Atlântica, Associações de Moradores da Boca do Rio e Associação de Barraqueiro onde fazem um monitoramento participativo da qualidade dos rios de Alagoas. São 10 pontos de coletas, distribuídos em cinco municípios, nas sub-bacias dos rios Camaragibe, São Francisco, Manguaba, Pratagy e Tatuamunha. Contemplados. O projeto aplica o IQA (Índice de Qualidade da Água) adaptado do índice desenvolvido pela *National Sanitation Foundation*, dos Estados Unidos, no entanto é um programa que ainda está na fase inicial (desde 2015) e apresenta poucas informações no banco de dados (SOS MATA ATLÂNTICA, 2018)

As informações referentes ao rio Pratagy, contidas no SOS Mata Atlântica (2018), no ponto que é realizado o monitoramento por esse projeto, o índice IQA conferido ao rio é igual a 27, que classifica este corpo d'água como ruim. Bleinroth, Leal Junior e Amorim (2016) já haviam aplicado este mesmo índice para as bacias hidrográficas do rio Pratagy, rio Jacarecica, rio Meirim, riacho do Silva e riacho Reginaldo. O rio Pratagy, no estudo de Bleinroth, Leal Junior e Amorim (2016), recebeu índice igual a 48, classificando este corpo d'água para o ponto de monitoramento escolhido como ruim.

Deve-se salientar que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos ainda não enquadraram o rio Pratagy de acordo com suas normas e procedimentos. Contudo, este manancial deve ser considerado como pertencente a classe II, exceto quando as suas condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente, segundo consta na Resolução CONAMA 357:2005.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi contribuir para a formação de um banco de dados e apresentar uma avaliação qualitativa da água bruta do rio Pratagy, no ponto de captação de água para consumo humano, operado pela CASAL (Companhia de Saneamento de Alagoas), quanto aos parâmetros inseridos no IQAB, e correlacioná-los a sazonalidade, a precipitação de chuvas e aos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357:2005.

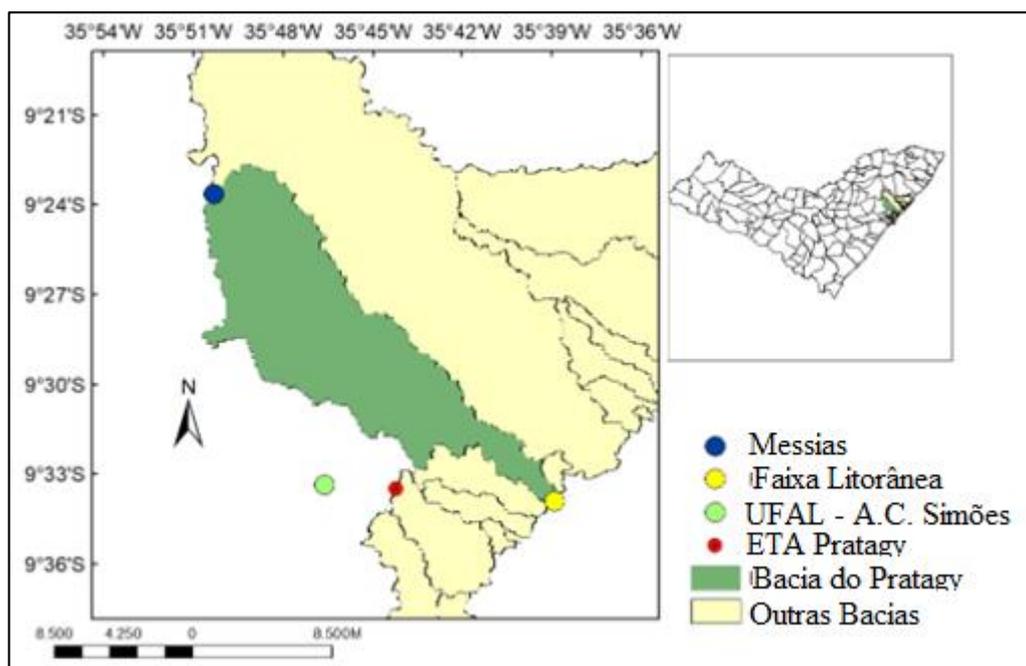
## **2.2. Metodologia**

### **2.2.1. Área de estudo**

A área de estudo se refere ao ponto de captação de água para abastecimento humano no rio Pratagy, que é perene e o segundo maior curso d'água em volume de água da região metropolitana de Maceió (MACEIÓ, 2017). A bacia do rio Pratagy está totalmente inserida no Estado de Alagoas, com uma área de 194,5 km<sup>2</sup>, de acordo com a base cartográfica das Regiões Hidrográficas da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH, 2018).

Localizada entre as coordenadas extremas 8.941.000 N e 8.970.000 N; 187.000 E e 213.500 E, a bacia, segundo Silva Júnior *et al.* (2005), limita-se ao norte com a bacia do rio Sapucaí, ao sul com as bacias dos rios Mundaú e bacias litorâneas do município de Maceió, a oeste com as bacias do Mundaú e Camaragibe e a leste com a faixa litorânea (Figura 1).

**Figura 2- Localização da bacia hidrográfica do rio Pratagy**



Fonte: Autor (2019).

O clima da região caracteriza-se de acordo com a classificação de Köppen como tipo As' -Tropical chuvoso com verão seco; compreendendo o período chuvoso entre março a agosto e o período seco entre os meses setembro a fevereiro (MACÊDO; TORRES; ASSIS, 2002).

O relevo varia entre plano a ondulado, com elevações máximas de 150m; os solos possuem predominância de argissolos, latossolo vermelho - amarelo, hidromórficos e os sedimentos de praia e aluvião. As unidades geomorfológicas compreendidas entre Tabuleiros Costeiros e a Planície Litorânea (MACÊDO, TORRES; ASSIS, 2002; ALAGOAS, 2014).

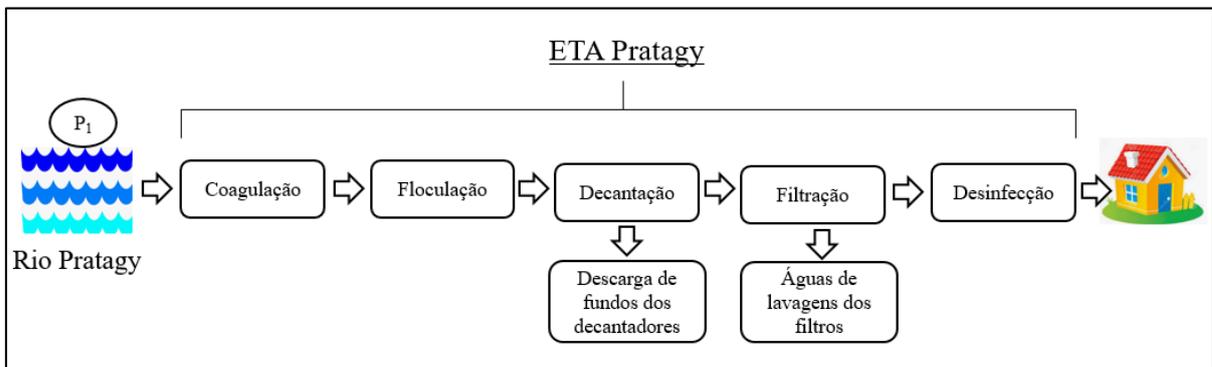
A cobertura vegetal é composta por Floresta Ombrófila Aberta, vegetação secundária e atividades agrícolas (ALAGOAS, 2014). Segundo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (ALAGOAS, 2019), apesar de ainda existirem grandes áreas preservadas de Mata Atlântica, três fatores podem explicar a ausência de mata ciliar: a ocupação por populações ribeirinhas que se instalam as margens do rio, cultivo da cana-de-açúcar e pecuária; apesar disso próximo a foz do rio Pratagy é possível ver área conservada de manguezal.

### 2.2.2. Amostragem da água bruta

A avaliação da qualidade da água bruta do rio Pratagy foi composta pela série histórica (2015, 2016, 2017 e 2018) obtida através do banco de dados da empresa responsável pela ETA Pratagy.

Paralelamente, para o ano de 2018, foi formado um banco de dados primários da qualidade da água bruta. Os valores médios foram calculados a partir de análises laboratoriais de amostras mensais de água obtidas em tomadas de água bruta - P<sub>1</sub> (Figura 2), localizadas dentro da estação de tratamento. Esses dados primários serviram para completar e comparar com os valores mensais do banco de dados secundários fornecidos pela estação de tratamento, visto que alguns parâmetros não são analisados pela estação, como por exemplo o manganês.

**Figura 3- Esquema das unidades de tratamento da ETA Pratagy.**



Fonte: Autor (2019)

Os parâmetros para a composição dos banco de dados da qualidade da água bruta verificados foram cor verdadeira (uC), turbidez (uH), pH, alcalinidade total (mg.CaCO<sub>3</sub>/L), dureza (mg. CaCO<sub>3</sub>/L), ferro total (mg/L), manganês (mg/L), cloretos (mg/L), coliformes totais (NMF/100ml) e *E. coli* (NMF/100ml). E todas as análises seguiram os protocolos padronizado pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

### 2.2.3. Dados de precipitação

Os valores de precipitações mensais foram obtidos através do banco de dados online do site da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (ALAGOAS, 2019), em três postos (Tabela 3) que têm influência na água bruta afluente a estação de tratamento.

**Tabela 3- Georreferenciamento dos postos de coleta de dados de chuva.**

Postos de coleta de dados de chuva.	Coordenadas geográficas	
	Latitude	Longitude
Ipioca 1	9°43'13,2" S	35°53'19,1" O
Ipioca 2	9°42'42,5" S	35°11'13,6" O
Cachoeira	9°36'16,2" S	35°33'10,0" O

Fonte: Autor (2019).

#### 2.2.4. Análise da qualidade da água

Todos os dados receberam tratamento estatístico descritivo básico envolvendo média, desvio-padrão, máximo, mínimo e mediana (Apêndice A). Foram traçados, também, perfis com a distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos (2015, 2016, 2017 e 2018) e que foram comparados aos valores máximos permitidos (VMP) da CONAMA 357:2005 (BRASIL, 2005). Esta Resolução CONAMA 357: 2005 distribui as águas doces em classes de acordo com seu destino e sua qualidade. O ponto de captação de água bruta do rio Pratagy está classificada para águas doces classe 2, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, e foram para estes valores recomendados que o estudo analisou os valores obtidos no banco de dados.

Verificou-se, posteriormente, a correlação destas distribuições temporais dos parâmetros com a influência da precipitação ao longo dos meses para os anos 2015 a 2018.

Para o IQAB, utilizou-se a metodologia proposta por Souza (2008), adaptada às condições locais e em função da sua influência na tratabilidade na tecnologia de ciclo completo. Foi calculado o IQAB a partir dos dados da série temporal (2015-2018), esses dados foram inseridos nas curvas de valorização da condição de cada parâmetro e em seguida calculado seus valores com as equações para o cálculo do IQA está localizada no ANEXO A.1. Os seguintes parâmetros e seus respectivos pesos estão na Tabela 4:

**Tabela 4- Parâmetros e pesos do IQA.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Pesos (W)</b>
Algas	0,10
Cianobactérias	0,11
Cor Verdadeira	0,19
E.coli	0,09
Ferro	0,09
Manganês	0,08
pH	0,12
Turbidez	0,22

Fonte: Adaptado de Souza (2008).

Aos parâmetros Algas e Cianobactérias foi atribuída nota máxima (100) na composição do índice, pois informações por meio de comunicação pessoal com os técnicos do laboratório da ETA indicam que não é observada a floração algal na captação de água do rio Pratagy. SOUZA (2008) cita que quando o manancial de abastecimento utilizado é um rio com captação direta, como o estudado, é comum monitoramento pois não são detectados florações de algas e cianobactérias.

Para o Manganês também foi admitido a nota máxima (100) na composição do índice, visto que não foi possível obter dados históricos, dos anos de 2015, 2016 e 2017, e para o 2018 este parâmetro foi analisado apenas nos meses de maio, julho, agosto e outubro e que este autor considerou insuficientes para inclusão do cálculo do IQAB.

O estudo de Souza (2008) não designou uma escala quali-quantitativa no seu estudo. E efetuados os cálculos necessários para a determinação da qualidade da água bruta, os valores do IQA foram classificados em faixas propostas pela ANA (2015), variando entre 0 a 100. A ANA (2015) apresenta variações entre os estados brasileiros, nas quais os valores atribuídos para o Estado de Alagoas podem ser vistos na Tabela 5.

**Tabela 5- Classificação do IQA**

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
91-100	Ótima
71-90	Boa
51-70	Razoável
26-50	Ruim
0-25	Péssima

Fonte: Adaptado de ANA (2015)

### **2.3. Resultados e discussões**

#### **2.3.1. Avaliação da qualidade da água bruta do rio Pratygy**

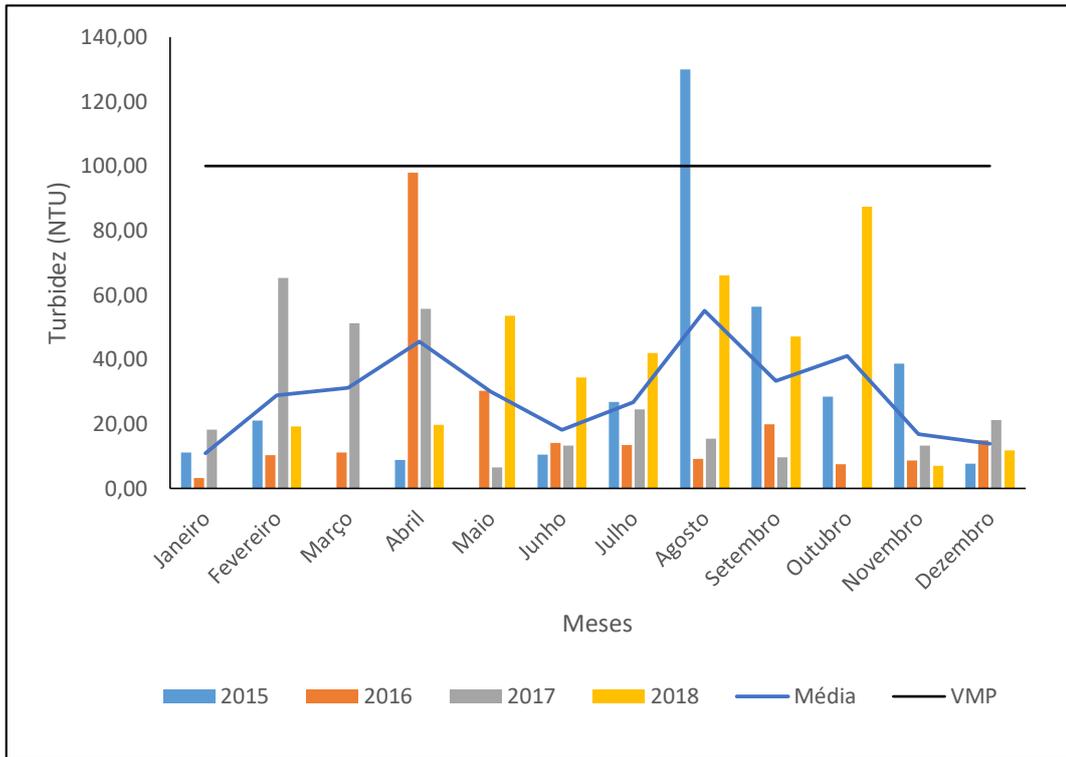
As características da água bruta são essenciais na escolha da tecnologia de tratamento, bem como na eficácia da operação da estação de tratamento. Através dos dados obtidos, foi possível traçar o perfil de distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018, correlacionando com os valores da CONAMA 357/2005 a fim de verificar se este manancial tem mantido os valores recomendados para a classe 2.

Os gráficos a apresentados nas Figuras 3 a 11 mostram a distribuição média mensal dos parâmetros turbidez, cor verdadeira, pH, alcalinidade total, dureza total, cloretos, ferro, manganês, Coliformes Termotolerantes e *Escherichia coli*.

#### *Turbidez e Cor Verdadeira*

A Resolução do CONAMA 357/05 recomenda, aos mananciais destinados ao tratamento convencional, que os valores máximos permitidos para turbidez não ultrapassem 100 NTU (BRASIL, 2015). Todos os dados mensais analisados para o ano de 2018 para turbidez, enquadraram-se dentro dos limites determinados pela Resolução do CONAMA 357: 2005 (Figura 3). A distribuição da turbidez para esse ano apresentou valor mínimo de 6,99 NTU e máximo de 87,40 NTU, com 50% do número de ocorrências abaixo do valor da média anual de 38,86 NTU $\pm$ 20,38.

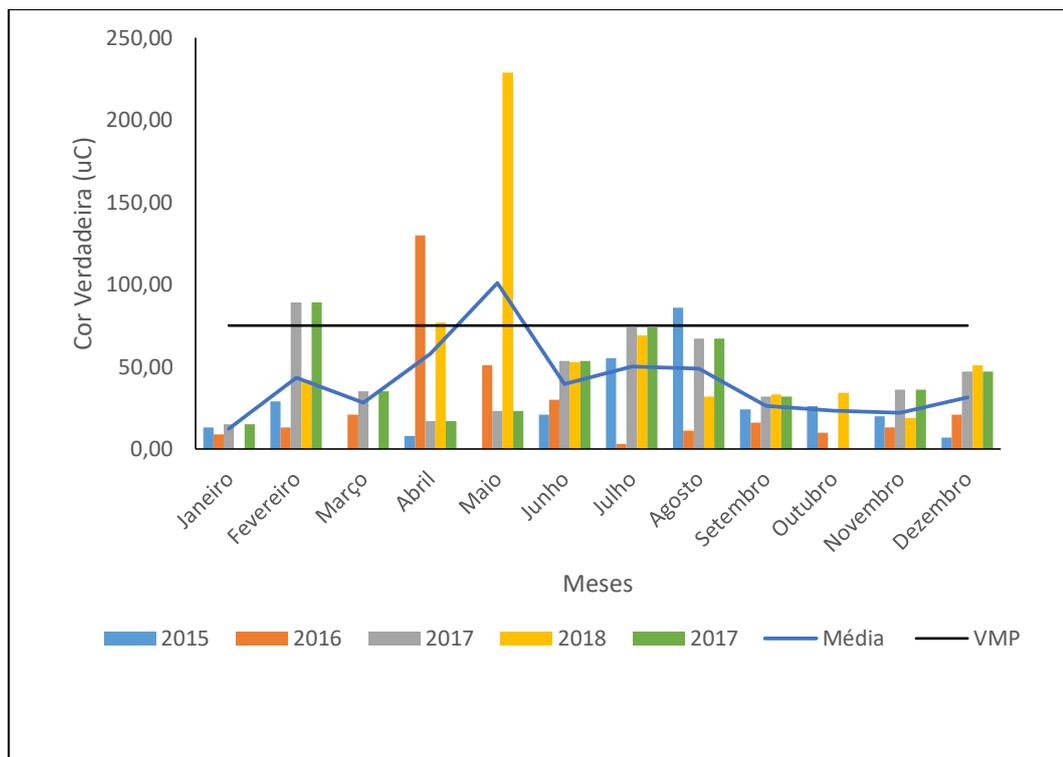
**Figura 4 - Distribuição mensal da turbidez (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**



Fonte: Autor (2019).

Entretanto, é possível ver que em agosto/2015 o valor máximo recomendado, pela legislação que enquadra mananciais para tratamento do tipo convencional, como é classificado o rio Pratagy, foi ultrapassado. Identifica-se, ao longo dos anos analisados para este ponto onde é realizada a captação de água bruta do rio Pratagy, um perfil irregular, com curvas multimodais. Os pontos com maiores valores de turbidez neste ponto se concentram aproximadamente entre os meses de abril a setembro.

O perfil de cor verdadeira no ponto de captação da estação de tratamento do rio Pratagy possui uma distribuição irregular, com picos elevados entre os meses de abril a agosto (Figura 4).

**Figura 5 - Distribuição sazonal da cor verdadeira (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**

Fonte: Autor (2019)

O valor máximo permitido pela Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para a variável cor verdadeira em águas superficiais, classe 2, é de 75uC. A média anual obtida para o foi de 40, 57  $uC \pm 26,28$ , e 80% dos valores analisados no banco de dados se enquadraram dentro do limite recomendado.

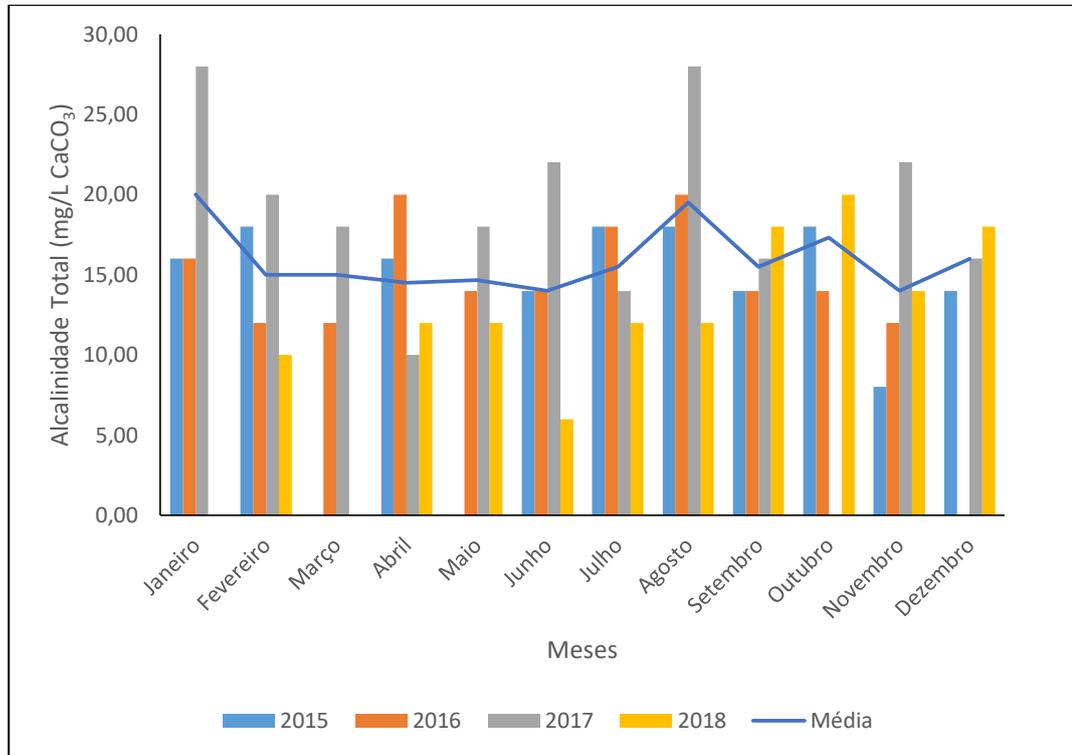
O perfil de turbidez ao longo dos anos, que foram verificados no banco de dados, é semelhante ao perfil traçado para cor verdadeira, como pode ser visto na Figura 3 e 4. Nos meses de fevereiro/2017, abril/2016, maio/2018 e agosto/2015 houve elevação simultânea para cor e a turbidez, tal fenômeno pode ser explicado pelos processos erosivos ou sistemas de uso do solo somados a interferências climáticas que carregaram sedimentos até a área de captação.

#### *Alcalinidade Total, Dureza Total e pH*

A alcalinidade não constitui parâmetro de classificação de águas naturais presente na Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Entretanto, de acordo com Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), para as águas naturais a alcalinidade varia 30 a 500 mg/L  $CaCO_3$ . Os resultados apresentados, que podem ser vistos distribuídos no gráfico da Figura 5, mostram que algumas ocorrências médias mensais de 2018 para alcalinidade possuem

valores muito baixos, entre 6 mg/L  $\text{CaCO}_3$  e 20 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , comparados com o que se é encontrado para águas naturais. Com a média anual de 13,40 mg/L  $\text{CaCO}_3 \pm 3,28$ , o que pode interferir nos processos de coagulação da água na ETA.

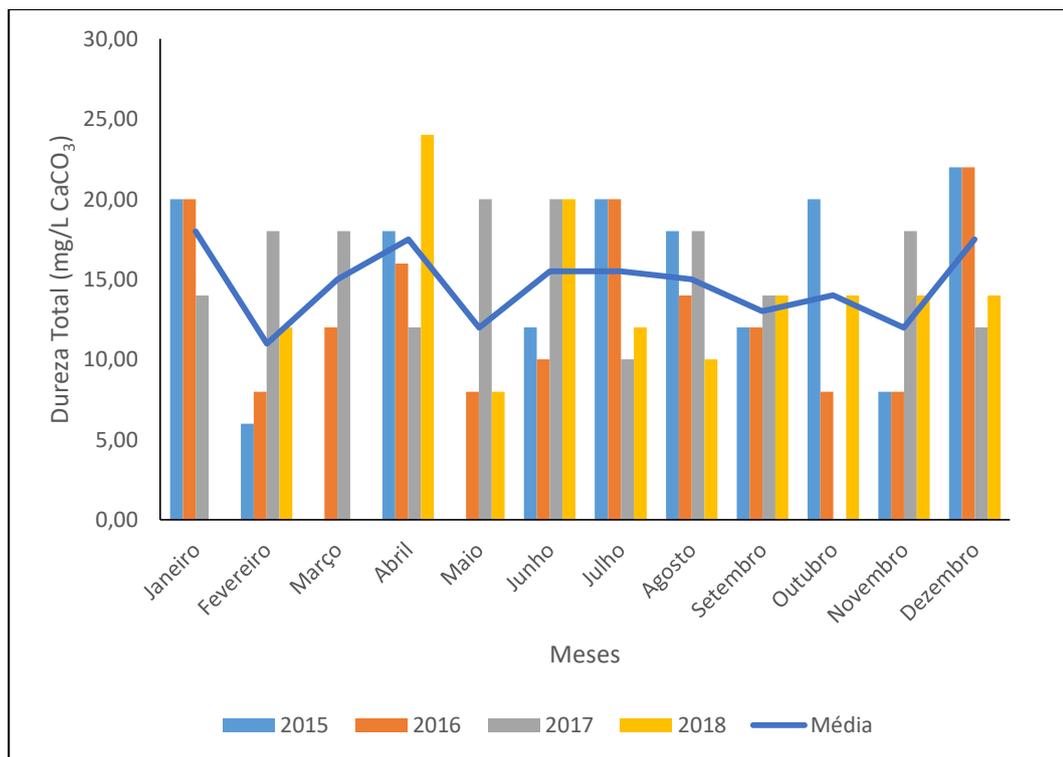
**Figura 6 - Distribuição mensal da alcalinidade total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**



Fonte: Autor (2019)

Assim como a alcalinidade, a dureza não constitui parâmetro para a classificação de águas superficiais determinada na Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2015). Os valores mensais da dureza do ponto de captação da água bruta da ETA Pratagy em 2018 variaram entre 8 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  e 24mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 6). A média anual para este ano de 2018 (14mg/L  $\text{CaCO}_3 \pm 3,12$ ) se enquadrou no tipo de dureza mole, conforme a classificação da Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006) que estabelece como dureza mole ou branda < 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dureza dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; e dureza muito dura: > 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

**Figura 7 - Distribuição mensal da dureza total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**

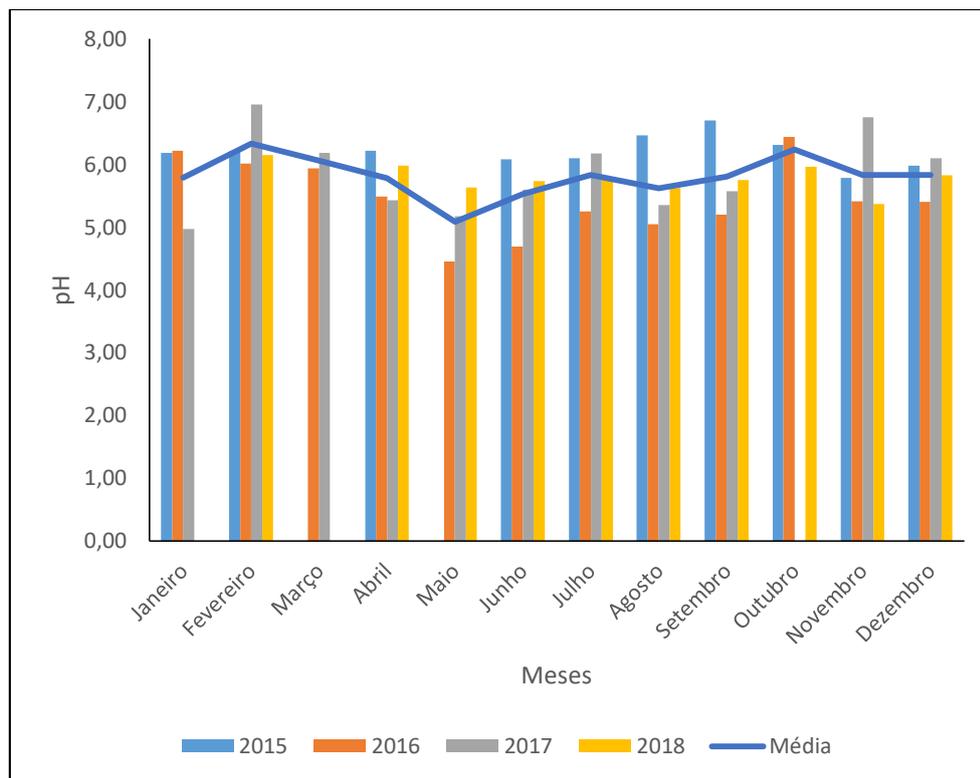


Fonte: Autor (2019).

Para Piratoba *et al.* (2017), a dureza mole é devido a ambientes onde o pH se aproxima à neutralidade pela presença de carbonatos ou a elevadas alcalinidade. Contudo, esses valores com reduzida dureza torna a biota de corpos d'água naturais mais sensíveis à presença de substâncias tóxicas, de acordo com a Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), pois a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água.

O pH da água bruta afluente a estação de tratamento teve variações pouco significativas durante o ano de 2018 e manteve a característica ácida com média anual de  $5,78 \pm 0,162$  (Figura 7). A Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2015) recomenda que a faixa de pH para as águas doces, classe 2, devem estar enquadradas entre 6,0 - 9,0.

**Figura 8- Distribuição sazonal do pH (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).**



Fonte: Autor (2019)

Comparando-se a faixa de referência da Resolução do CONAMA 357/05 com análise da distribuição do pH, observa-se na Figura 7 que 90% das ocorrências mensais estão fora da faixa recomendada pela legislação. A água que entra para tratamento na ETA Pratagy tem uma característica ácida. Segundo Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011), o pH é um parâmetro determinante, nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e no controle da corrosão e incrustação.

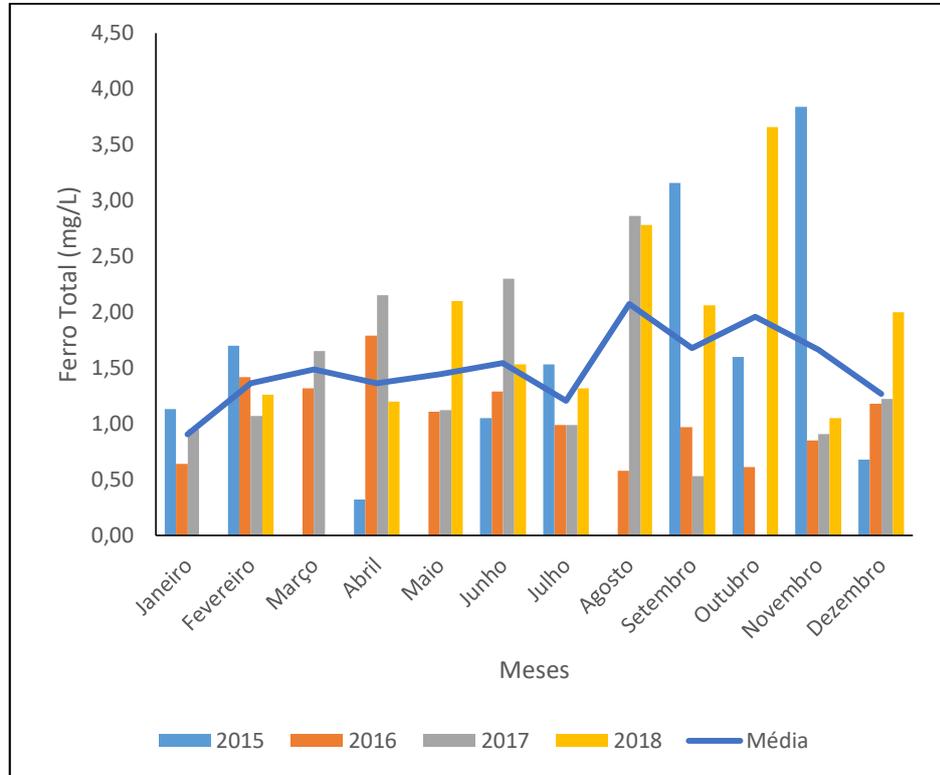
É possível observar nos resultados mensais de alcalinidade, pH e dureza do rio Pratagy no ponto de captação possuem uma distribuição uniforme ao longo dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018. Para esses parâmetros, caracteriza-se que o no ponto de captação da estação de tratamento o rio tem poucas variações ao longo do ano.

#### *Ferro Total e Manganês*

A Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) determina que os valores máximos permitidos para corpos d'água classe II para ferro e manganês, respectivamente, sejam de 0,3

mg/L Fe e 0,1 mg/L Mn. O valor médio mensal referente ao ferro se posicionaram entre o mínimo 1,05 mg/L Fe e o máximo de 3,66 mg/L Fe (Figura 8).

**Figura 9 - Distribuição sazonal para Ferro Total (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**



Fonte: Autor (2019).

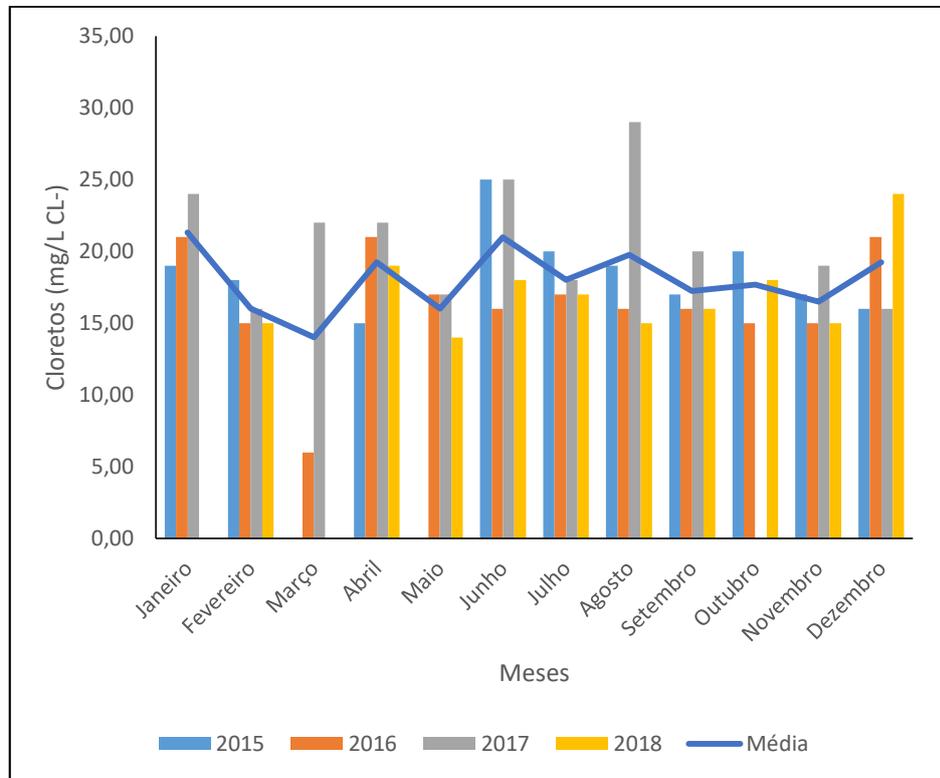
Não foi possível obter dados da série histórica do parâmetro manganês para os anos de 2015, 2016 e 2017. Foram efetuadas análises de manganês nos meses maio, julho, agosto e outubro. Os valores de manganês para esses meses analisados variaram entre 0,16 mg/L a 0,73 mg/L, supõem-se que no ponto de captação a água do manancial contém valores acima do estabelecido pela CONAMA 357/05. Todavia, a quantidade de dados analisados é insuficiente para indicar se esses valores para o parâmetro manganês são picos isolados devido a algum carreamento devido as chuvas de nutrientes proveniente de material rochosos ou uma característica da própria bacia hidrográfica.

### *Cloretos*

É estipulado um valor máximo permitido para águas de mananciais com fins de abastecimento na Resolução do CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) de 250mg/L para o

parâmetro cloretos. O valor para os anos analisados no ponto de captação da ETA, como pode ser verificado na Figura 9, obteve média de 18,36 mg/L  $Cl^- \pm 2,85$ .

**Figura 10: Distribuição mensal para Cloretos (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**



Fonte: Autor (2019)

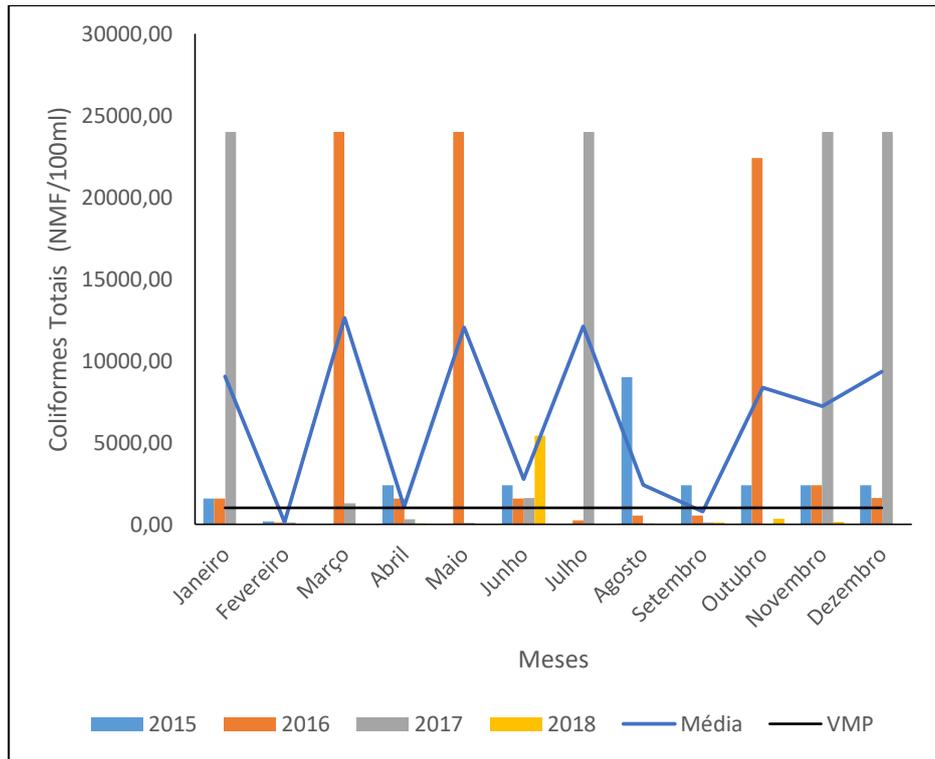
A distribuição mostrou (Figura 9) que a faixa de valores para 2018 alcançou mínimo de 14 mg/L e máxima de 24mg/L, valores dos quais estiveram dentro do valor máximo pela legislação de referência.

Verifica-se que o rio Pratygy no ponto de captação da estação de tratamento apresenta ao longo de todos os anos uma característica de valores uniformes e com poucos picos de alteração sazonal.

#### *Coliformes Totais e Escherichia coli*

A Figura 3 com a distribuição para coliformes totais mostra que 14,28% dos dados analisados para 2018 ficaram fora do recomendado pela Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que estipula 1000 NMP/100ml (Figura 10). Ainda assim, a faixa mínima e máxima (7 – 600 NMP/100ml) do maior número de ocorrência se encontra dentro do limite estabelecido para classes 2 de corpos d'água.

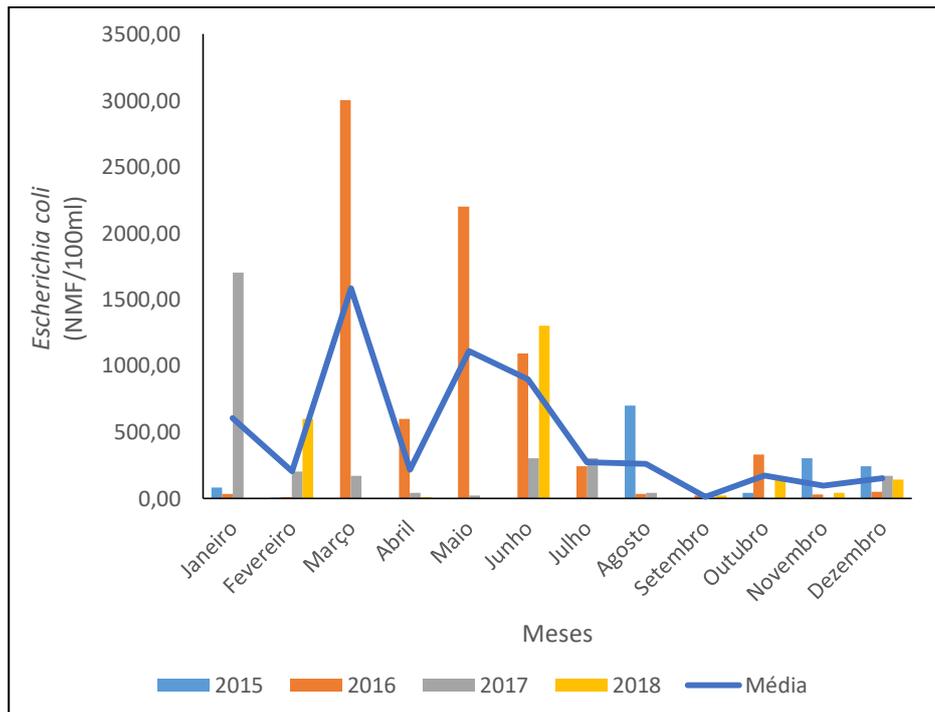
**Figura 11 - Distribuição mensal dos Coliformes Termotolerantes (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018).**



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que o perfil de distribuição para *E.coli* se concentra com elevados índices nos primeiros seis meses dos anos verificados (Figura 11).

**Figura 12 - Distribuição mensal do *E. coli* (Ano 2015, 2016, 2017 e 2018)**



Fonte: Autor (2019)

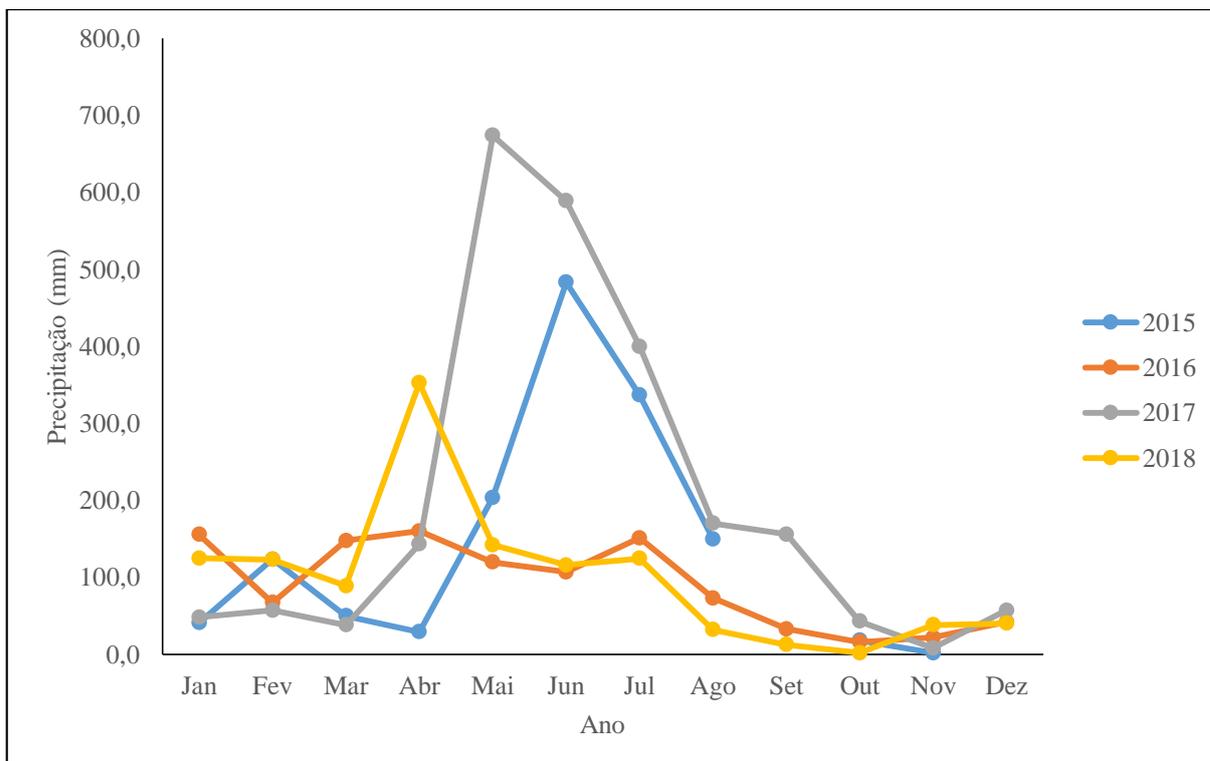
Em Bleinroth, Leal Junior e Amorim (2016) foi realizado um monitoramento de variáveis de qualidade em rios do município de Maceió-AL, onde verificou-se que os índices médios de *E.coli* para o rio Pratagy estava em torno de  $1,5 \times 10^3$  NMP/100ml, enquanto bacias próximas como do rio Meirim e do rio Jacarecica obtiveram valores  $8,0 \times 10^2$  NMP/100ml e  $6,75 \times 10^3$  NMP/100ml, respectivamente. São valores compatíveis com os valores obtidos no ponto de captação da ETA, mostra não apenas índices elevados para o rio Pratagy, mas também para bacias de rios próximos.

### 2.3.2. Interferências climáticas na qualidade do rio Pratagy

As características climáticas têm influência direta na qualidade da água bruta, e no tratamento (ALMEIDA; SILVA; PAULA, 2017). Vários parâmetros de qualidade da água são influenciados pelo volume de chuvas, os resultados deste tópico correlacionou os índices pluviométricos com as variáveis qualitativas do rio Pratagy ao longo dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018.

A Figura 12 mostra a pluviometria média mensal ao longo dos quatro anos analisados, dos três postos pluviométricos que exercem influência no ponto região de captação de água da Estação de Tratamento.

**Figura 13 - Pluviometria média mensal dos postos de influência na captação da água bruta da ETA Pratagy.**



Fonte: Autor (2019).

Os três postos apresentaram uma mínima pluviométrica de 1,9 mm/mês e máxima de 674,00 mm/mês nos quatro anos avaliados. É possível observar (Figura 12) que os totais mensais de precipitação mostram dois períodos bem distintos e com padrão de distribuição temporal irregular. A estação chuvosa se inicia no mês de abril e vai até o mês de agosto, enquanto o período seco tem seu início próximo ao mês de setembro e estende-se até março.

Comparando-se o regime pluviométrico com os resultados dos parâmetros de qualidade foi observado que o comportamento das variáveis pH, alcalinidade, dureza e cloretos ao longo da série histórica (2015 a 2018) não variaram significativamente com a variação do volume de água no período chuvoso. Em um estudo realizado por Piratoba *et al.* (2017) no rio Pará, que corrobora com os dados avaliados nesta pesquisa, é que a sazonalidade também não afetou para as variáveis alcalinidade e cloretos. Os cloretos podem ser influenciados pelas descargas de efluentes e proximidade da área costeira.

O pH, a alcalinidade e a dureza apresentam comportamentos semelhantes, como foi observado. A alcalinidade média anual do rio Pratagy variou entre 6 a 82 mg/L  $\text{CaCO}_3 \pm 6,06$ , o que indica estar relacionada a presença de hidróxidos e carbonatos. A utilização de

coagulantes no Brasil na sua maioria a base de sais de alumínio e ferro, proporciona uma coagulação química fortemente influenciada pela alcalinidade, pois o sulfato de alumínio é doador de prótons, logo será necessária uma correção de acordo com Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011).

O aumento das variáveis cor verdadeira, turbidez, ferro total, coliformes totais e *E.coli* mostrada na Figura 4 está relacionada ao aumento no volume de chuvas. Mendes e Ferreira (2014) e Almeida, (2017) identificaram em mananciais superficiais para abastecimento uma sensibilidade a variação da turbidez com a precipitação, assim como pode ser visto no manancial Pratagy. Richer (2009) diz que o processo de clarificação da água bruta afluente a ETA pode se tornar mais difícil devido a quantidade de partículas em suspensão.

No que diz respeito a variação da cor verdadeira, os pontos com valores 130,00 uC e 229,00 uC se encontram fora da normalidade dos resultados, isso se deve ao volume de chuvas que ocorreram nos meses abril/2016 e maio/2017, respectivamente. Este fato pode indicar o carreamento sedimentos com alto teor de metais (Fe, Mn), substâncias húmicas (oriunda da degradação da matéria orgânica), plâncton, dentre outras substâncias dissolvidas na água, que de acordo com Mendes e Ferreira (2014). Embora a maior de concentração deste composto na série histórica de 7,35mg/L Fe em agosto de 2015, período este, também, com grande volume de chuvas. Tal fato, corrobora para um aumento significativo da turbidez neste mesmo período.

Os resultados mostram, também, que o manancial apresenta uma resposta mais rápida aos índices pluviométricos nos períodos chuvosos para cor verdadeira, diferentemente do que pode ser visto para a turbidez e para o ferro. Isso significa que o corpo hídrico apresenta maior resiliência em relação a cor.

### 2.3.3. Índice da Qualidade da Água Bruta- IQAB

A região do ponto de captação de água bruta da ETA Pratagy, como foi observado anteriormente, possui duas estações bem definidas: o período chuvoso (abril, maio, junho, julho e agosto) e o período seco (setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março).

Conforme essa informação, os dados disponíveis dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 foram analisados e agrupados por sazonalidade. O IQAB foi calculado a partir da média dos dados de qualidade da água bruta no período seco e chuvoso, constantes no Apêndice 1A. e

2A., dos pesos e das curvas de valorações propostos por Souza (2008), cujos resultados estão apresentados na Tabela 6.

De acordo com o calculado pelo IQAB, o índice sofreu poucas alterações no período analisado. Verificou-se que a água afluente a estação de tratamento Pratagy tem sua qualidade no período seco com índices de qualidade melhor que o período chuvoso. Nos quatro anos analisados, apenas o ano de 2018, alterou-se de IQAB BOA para RAZOÁVEL.

Através de observações feitas em campo, é possível visualizar atualmente um quadro intenso de ocupação urbana da bacia do rio Pratagy, associado com pequenas propriedades agrícolas e diminuição da cobertura vegetal.

A avaliação semelhante efetuada por Bleinroth, Leal Junior e Amorim (2016) para bacia hidrográfica do Pratagy, indica que a região vem sendo influenciada por fatores antrópicos. Entretanto, é necessário realizar monitoramento e estudos a fim de identificar de forma específica quais seriam estes fatores que podem estar contribuindo, além da influência da precipitação carrega os sedimentos até a área de captação, elevando alguns índices no período chuvoso.

Tabela 6: Aplicação do IQAB no período seco e chuvoso dos anos de 2015 a 2018.

Ano	Parâmetros	Peso	Período seco		Período chuvoso	
		w	q	q <sup>w</sup>	q	q <sup>w</sup>
2015	pH	0,12	85	1,70	85	1,70
	Cor Verdadeira	0,19	87	2,34	63	2,20
	Turbidez	0,22	90	2,69	77	2,60
	Ferro Total	0,09	18	1,30	7	1,19
	Manganês	0,08	100	1,45	100	1,45
	<i>E.coli</i>	0,09	50	1,42	40	1,39
	Cianobactérias	0,11	100	1,66	100	1,66
	Algas	0,1	100	1,58	100	1,58
	IQAB			75 (BOA)		61 (RAZOÁVEL)
2016	pH	0,12	75	1,68	60	1,63
	Cor Verdadeira	0,19	90	2,35	67	2,22
	Turbidez	0,22	90	2,69	83	2,64
	Ferro Total	0,09	40	1,39	30	1,36
	Manganês	0,08	100	1,45	100	1,45
	<i>E.coli</i>	0,09	55	1,43	30	1,36
	Cianobactérias	0,11	100	1,66	100	1,66
	Algas	0,1	100	1,58	100	1,58
	IQAB			81 (BOA)		67 (RAZOÁVEL)
2017	pH	0,12	80	1,69	75	1,68
	Cor Verdadeira	0,19	70	2,24	65	2,21
	Turbidez	0,22	80	2,62	87	2,67
	Ferro Total	0,09	30	1,36	25	1,34
	Manganês	0,08	100	1,45	100	1,45
	<i>E.coli</i>	0,09	45	1,41	50	1,42
	Cianobactérias	0,11	100	1,66	100	1,66
	Algas	0,1	100	1,58	100	1,58
	IQAB			72 (BOA)		72 (BOA)
2018	pH	0,12	69	1,66	64	1,65
	Cor Verdadeira	0,19	75	2,27	39	2,01
	Turbidez	0,22	80	2,62	82	2,64
	Ferro Total	0,09	19	1,30	24	1,33
	Manganês	0,08	100	1,45	100	1,45
	<i>E.coli</i>	0,09	53	1,42	35	1,38
	Cianobactérias	0,11	100	1,66	100	1,66
	Algas	0,1	100	1,58	100	1,58
	IQAB			69 (RAZOÁVEL)		61 (RAZOÁVEL)

Fonte: Autor (2019).

## 2.4. Conclusões parciais

Os valores médios anuais mostram que o manancial Pratagy não se enquadra na Resolução 357/05 do Conama para corpos d'água doces classe II. Para o ano de 2018, os parâmetros que estiveram fora dos limites foram pH, cor verdadeira e ferro total.

De forma geral, nos períodos analisados (2015, 2016, 2017 e 2018) mostraram que apenas o pH (60,46%) e as concentrações de ferro total (100%) ultrapassaram com índices bem acima do faixa estabelecida da Resolução 357/05 do Conama. Torna-se um ponto de atenção, pois é um manancial de abastecimento e as alterações no pH e do ferro podem afetar as etapas dos processos unitários da estação de tratamento de água.

Os dados analisados mostraram que as características naturais de corpos d'água apresentam forte correlação com os índices pluviométricos, esse constitui como o principal influenciador na qualidade da água do rio Pratagy, fazendo com que parâmetros como cor verdadeira, turbidez, ferro total, coliformes totais e *E.coli* sofram com o aumento significativos seus valores médios mensais no períodos de grandes volumes de chuvas.

O resultado do IQAB demonstrou o que os índices de qualidade do manancial Pratagy vem se modificando. O ano de 2018 obteve o índice de menor qualidade tanto para o período seco quanto para o chuvoso, sendo dois qualificados como RAZOÁVEL. Isso vem demonstrar a necessidade da preservação da bacia do Pratagy, pois as alterações reduzem a qualidade do seu corpo hídrico e faz com que a ETA Pratagy venha a ter seu desempenho na produção de água potável afetada.

**3. CAPÍTULO - DESEMPENHO OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE CICLO COMPLETO.**

## DESEMPENHO OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CICLO COMPLETO

### 3.1. Introdução

A determinação da tecnologia de tratamento a ser implantada é em função da qualidade da água bruta. No Brasil, ainda não existem parâmetros consolidados para a definição da tecnologia de tratamento de água. A NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) e a Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) são algumas das diretrizes que relacionam as características da água bruta com as respectivas tecnologias para tratamento da água com fins de abastecimento humano.

Di Bernardo e Dantas (2005) resumiram as tecnologias em dois grupos: com coagulação e sem coagulação, sendo os critérios em função da frequência de ocorrência das principais características das águas superficiais.

A ciclo completo é recomendada para água bruta com elevados teores de turbidez e cor aparente e que não seria adequadamente tratada por tratamento simples. Libânio (2010) descreveu sobre os limites que relacionariam as características qualitativas do corpo hídrico com a tecnologia de tratamento, sendo para a ciclo completo turbidez < 3000 NTU, cor aparente < 1000 uC, *Escherichia coli* < 106 NMP/100ml e algas < 105 (NMP/100ml).

A infraestrutura e o custo operacional elevado de tecnologias alternativas para o tratamento de água faz com que o tratamento ciclo completo seja colocado numa situação de vantagem no processo de escolha de uma tecnologia, segundo Emelko *et al.* (2011). Entretanto, Andrade (2017) diz que a produção de lodo tóxico decorrente do uso de coagulantes a base de sais de alumínio e ferro, principais produtos utilizados pelas companhias de abastecimento público, é a uma das principais desvantagens deste sistema devido a inserção deste na natureza.

Conforme Bastos, Vargas, & Moysés (2000), os fatores hidráulicos e operacionais que poderiam concorrer para um desempenho insuficiente, como possíveis falhas de projeto, discrepância entre parâmetros ótimos, de projeto e de funcionamento real, a capacidade instalada de operação e controle (recursos humanos e materiais) e o efetivo controle operacional

realizado, aliados aos dados de monitoramento da qualidade da água permitem uma avaliação detalhada da eficiência dos processos unitários de tratamento.

### *Etapas do tratamento de ciclo completo*

#### Coagulação e Floculação

A coagulação e a floculação desempenham um papel dominante na cadeia de processos de tratamento de água. Ambos são procedimentos de esclarecimento químicos que envolvem o uso de produtos químicos para remover, por precipitação, impurezas de água. É a partir de uma coagulação bem-sucedida que ocorre o bom desempenho de outros processos no tratamento de água (RICHTER, 2009; CHOY *et al.*, 2014).

Segundo Oliveira (2016), a coagulação consiste na desestabilização entre partículas de impurezas dispersas na água, que agem em poucos segundos entre o coagulante e as partículas, cujo o objetivo é a neutralização de cargas, a fim de ocorrer a agregação destas unidades maiores (coágulos), transformando uma suspensão estável em uma suspensão não estável, os quais permite sua remoção em etapas posteriores de tratamento.

Di Bernardo e Dantas (2005) descreve a coagulação como resultado da ação de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, adsorção e formação de pontes. É a varredura o mecanismo empregado nas estações de tratamento de ciclo completo, pois tem floculação e decantação antecedendo a filtração. Ocorre que os flocos resultantes são maiores e apresentam velocidade de sedimentação relativamente altas, se comparados aos flocos obtido com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização.

Para que se atinja o desempenho esperado na etapa de coagulação, de acordo com Ferrari *et al.* (2012) é necessária a correta seleção do coagulante e sua dosagem, bem como do pH apropriado para sua utilização. Ensaio laboratoriais, tal como *JarTest* são empregados na obtenção dos parâmetros de projeto e operação de ETAs cujos resultados são pares de valores de dosagem de coagulante versus o pH de coagulação, que possibilitam a construção do diagrama de coagulação.

Já a floculação tem a função de agregar o maior número de partículas primárias desestabilizadas e precipitadas em flocos, para que sejam separados por sedimentação ou flotação (ANDRADE, 2017).

A unidade de floculação, é influenciada pelo desempenho da mistura rápida, como o tipo de coagulante, pH de coagulação, temperatura da água, concentração e idade da solução de coagulante, tempo e gradiente de mistura rápida, tipo e geometria do equipamento de floculação e a qualidade da água bruta (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

### Decantação

A separação de partículas sólidas em suspensão da água é chamada de sedimentação. A sedimentação consiste no uso das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. O termo decantação é utilizado para água e a sedimentação para as partículas floculentas (RITCHER, 2009).

Para Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011) e Oliveira *et al.* (2007) uma boa decantação, em termos de eficiência e estabilidade, depende, naturalmente, do sucesso dos processos unitários antecedentes (coagulação, floculação) e de uma série de fatores e parâmetros próprios, tais como: a taxa de aplicação superficial, a hidrodinâmica do decantador, a ocorrência de curtos circuitos e ou zonas mortas, a existência de dispositivos adequados de entrada e saída de água, a má distribuição da vazão total entre as unidades em paralelo e , na seção transversal de uma mesma unidade ou na área coberta por módulos tubulares ou placas, coleta desuniforme da água clarificada, as operações de limpeza do decantador, ação de ventos, formação de correntes de origem térmica ou de densidade, equipamento método adequado de extração do lodo, dentre outros.

### Filtração

Na filtração, as partículas suspensas e coloidais presentes e os microrganismos presentes na água ficam retidos em meio granular, é onde geralmente obtém-se água bacteriologicamente segura para o consumo humano (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

É importante que, conforme Richter (2009), para a remoção de tais impurezas da água é necessário analisar o tipo de material que se deseja separar, como também, o tipo de filtro que

será o mais adequado para tal processo, assim será possível avaliar a velocidade que passa pelo mesmo e determinar qual filtro será mais adequado, o filtro lento ou o rápido.

### Desinfecção

A etapa da desinfecção, que ocorre após a filtração por ação do cloro (ainda, a tecnologia mais barata em termos de inativação) é um processo altamente eficiente contra algumas bactérias gram-negativas intestinais pertencentes ao grupo dos coliformes. Entretanto, não apresenta bom desempenho para controle e remoção de enterovírus, adenovírus, rotavírus, HAV e norovírus (TAVARES; CARDOSO; BRITO, 2005).

Quanto maior o nível de poluição das águas utilizadas para abastecimento, menor a eficiência de remoção viral, que está relacionada com a presença de materiais particulados ou sólidos em suspensão na água (PRADO; MIAGOSTOVICH, 2014).

### *Legislações aplicáveis as Estações de Tratamento de água*

A legislação brasileira percorreu uma longa trajetória até chegar aos parâmetros de controle de qualidade de água atuais. A medida que são desenvolvidos novos métodos de detecção e que os bancos de dados epidemiológicos são formados, novos parâmetros são adicionados, e hoje, a legislação brasileira responsável por controlar a qualidade da água para consumo humana é regida pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

No tocante das estações de tratamento de água, o Decreto Nº 7.217, de 21 de junho de 2010 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2010) é importante, pois estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Este decreto põe normas para execução da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) e responsabiliza o prestador dos serviços públicos no que se refere ao controle da qualidade da água, assim como determina que ele informe e oriente a população sobre os procedimentos a serem adotados em caso de emergências que ofereçam risco à saúde pública, atendidas as orientações fixadas pela autoridade competente (BRASIL, 2010).

A unidades operacionais das ETAs devem atender as condições exigíveis mínimas. A NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992)fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada à

produção de água potável para abastecimento público (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). É através dessa norma que é possível avaliar o desempenho das unidades de tratamento de água. Para uma ETA, deve-se observar algumas das seguintes recomendações gerais (Quadro 1):

Dentro deste contexto, o objetivo deste capítulo foi avaliar os processos unitários e a eficiência da ETA de ciclo completo que recebe água bruta do rio Pratygy, por meio do levantamento dos parâmetros hidráulicos operacionais e de análise da água tratada tomando como critério o Anexo XX da Portaria n.5 de Consolidação do Ministério da Saúde.

**Quadro 1 - Recomendações Gerais da NBR 12.216: 1992.**

<b>Mistura Rápida</b>	
Gradiente de velocidade (G)	700 a 1100 s <sup>-1</sup>
Tempo de mistura (t)	≤ 5 s
<b>Floculação</b>	
Gradiente de velocidade	7 a 70 s <sup>-1</sup>
Tempo de detenção	➤ Mecânicos 20 min – 30 min Hidráulico 30 min – 40 min
<b>Decantação</b>	
Velocidade de sedimentação	➤ Estações com capacidade de até 1000 m <sup>3</sup> /dia - 1,74 cm/min (25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia); ➤ Estações com capacidade entre 1000 e 10000 m <sup>3</sup> /dia, em que é possível garantir bom controle operacional - 2,43 cm/min (35 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia); caso contrário, 1,74 cm/min (25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia); ➤ Estações com capacidade superior a 10000 m <sup>3</sup> /dia - 2,80 cm/min (40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia).
<b>Filtração Rápida</b>	
Filtros	➤ Camada simples (areia) ➤ Camada múltiplas – Podem ser duplas (areia e antracito) ou triplas (antracito, areia e granada)
Taxa de filtração	➤ Para filtros de camada simples, 180 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .dia) ➤ Para filtros de camada dupla, 360 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .dia)
Taxas das carreiras de filtração	Superiores a 24h, não aceitando inferiores a 12 horas.

Fonte: Adaptado ABNT, 1992.

## 3.2. Metodologia

### 3.2.1 Descrição da área de trabalho

O município de Maceió é abastecido por água superficial e subterrânea. As águas superficiais são provenientes de dois mananciais (o riacho Aviação e o rio Pratagy), cujas águas são tratadas em três estações de tratamento, são elas: Estação de Tratamento do Pratagy, Estação de Tratamento do Cardoso e Estação de Tratamento do Aviação.

Para este estudo foi selecionada a ETA Pratagy, a maior fornecedora de água da capital alagoana. A ETA foi construída com propósitos de resolver o problema de abastecimento de água da cidade de Maceió. Em 1984, foram iniciadas as obras que tinham como concepção de projeto quatro etapas. Com apenas a primeira etapa concluída, atualmente, o sistema tem executado 56% do total que foi projetado, opera 24h e tem uma vazão teórica de aproximadamente 1000 L/s (ALVES, 2014; CASAL, 2018).

A estação se encontra na latitude 9°33' 34.2'' S, longitude 35°44' 18.91'' W. Uma adutora efetua o transporte de água do rio Pratagy e leva até a estação. Ela possui um diâmetro de 900 mm e uma extensão de aproximadamente 8 Km sendo o seu material em aço carbono. Além disso, a estação é composta por unidades de mistura rápida, floculação, decantação, filtração desinfecção com cloro e tanques de decantação.

A ETA foi construída com uma unidade de mistura rápida mecanizada com três câmaras em série dotadas de agitadores rápidos, dois módulos de floculação mecanizada, em paralelo, cada um com quatro câmaras de floculação, com agitadores de paletas. Dois decantadores alta taxa com módulos laminares, oito filtros rápidos descendentes de camada dupla de areia e antracito, para operação com taxa declinante, uma câmara de contato e tratamento de lodo por meio de dois tanques de sedimentação em paralelo.

Hoje, utiliza-se como produto químico o sulfato de alumínio, cuja aplicação é feita a partir de bomba dosadora que recalca o produto sem diluição. Há previsão de utilização da barrilha para correção do pH de água tratada, e a desinfecção é feita a partir de cloro gasoso. O Quadro 2 apresenta as principais características da ETA.

**Quadro 2- Informações Gerais da ETA ciclo completo Pratagy.**

<b>Parâmetro</b>	
Tempo diário de operação:	24 h
Tecnologia de tratamento:	Ciclo completo
Vazão nominal total:	1,08 m <sup>3</sup> /s
Vazão operacional:	0,97 m <sup>3</sup> /s
Perda no processo:	0,055 m <sup>3</sup> /s
Reaproveitamento de água de lavagem:	Tanques de decantação
Produtos químicos utilizados:	Cloro, Sulfato de Alumínio e Barrilha
Dosagem do coagulante	Bomba dosadora
Descarga de lodo dos decantadores	A cada 4 horas - Hidráulica
Lavagem dos filtros	Carreira de filtração de 24 h.

Fonte: Autor (2019)

### 3.2.2. Caracterização operacional da ETA

Foram realizadas campanhas mensais de monitoramento operacional e análise de qualidade da água tratada no período de janeiro a outubro de 2018. Para realização da caracterização operacional foi aplicado um questionário junto à administração da ETA e foram realizadas visitas técnicas acompanhadas pelos gestores da ETA.

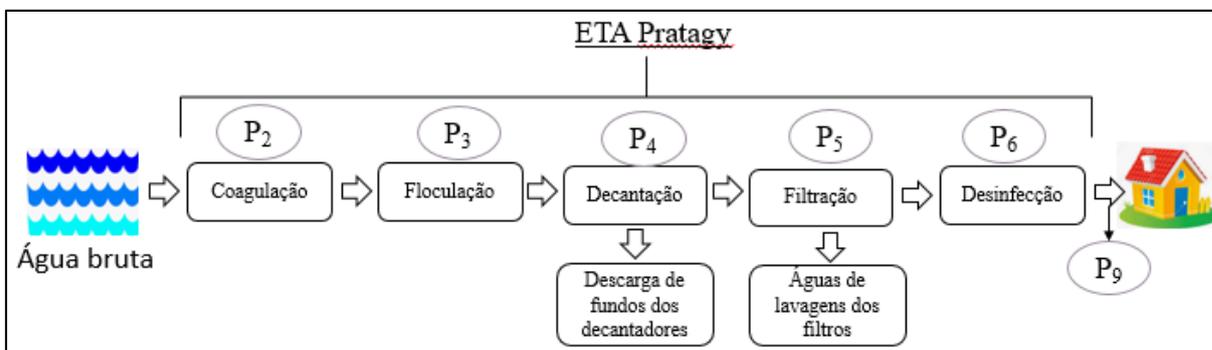
O questionário de reconhecimento (apresentado no APÊNDICE B), procurou identificar a rotina operacional, quais os tipos e as dosagens dos produtos utilizados, a periodicidade de limpeza dos decantadores e dos filtros, a frequência de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água bruta e tratada, dentre outros aspectos que permitiram compor o perfil da ETA.

### 3.2.3. Levantamento dos parâmetros hidráulicos da ETA

Os parâmetros hidráulicos de operação foram utilizando a metodologia de LOPES (2005) e os dados de vazão e as dimensões das unidades através das plantas constantes no projeto executivo e visitas em campo na ETA. Os resultados desta investigação foram comparados com os parâmetros de projeto e os recomendados com a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

A verificação dos parâmetros hidráulicos da estação foi feita individualmente em cada processo unitário: mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Em relação aos seguintes parâmetros, pode ser visto o esquema de localização de monitoramento:

**Figura 14 - Esquema dos pontos de monitoramento operacional e amostragem de água a ETA.**



Fonte: Autor (2019)

#### *P<sub>2</sub> - Mistura rápida:*

Foram verificados o gradiente de velocidade, o tempo de detenção; e avaliada as condições de mistura, por aferição do pH em cada câmara de floculação.

#### *P<sub>3</sub> - Floculação:*

Foram levantados os gradientes de velocidade e tempo de detenção;

#### *P<sub>4</sub> - Decantação:*

Foi avaliada a taxa de aplicação superficial, o gradiente de velocidade através dos orifícios do tubo de distribuição de água floculada, a velocidade média de escoamento ascensional, e a vazão linear de coleta de água decantada.

#### *P<sub>5</sub> - Filtração:*

Foram avaliadas as taxas de filtração e a carreira de filtração.

#### *P<sub>6</sub> - Desinfecção:*

Foi avaliada a concentração de cloro aplicado e o tempo de contato.

A equações para a composição dos parâmetros se encontram no Anexo B. E os resultados completos no Apêndice B.

#### 3.2.4. Avaliação qualitativa dos processos unitários da estação

Para o estudo deste tópico, avaliação qualitativa dos processos unitários foi feita por meio de coletas e análises de água ponto de coleta de água tratada na saída da ETA (P<sub>9</sub>) como foi demonstrado no esquema representado na Figura 13.

Para obtenção dos dados primários, o trabalho a campo consistiu em 23 campanhas que foram realizadas de janeiro a outubro de 2018. Todos os pontos de coletas se encontram dentro da estação de tratamento Pratagy. As amostras provenientes dos pontos P<sub>1</sub> e P<sub>4</sub> foram coletados de tomadas de água localizadas no laboratório de análises físico-químicas e microbiológicas; já as amostras dos pontos P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, respectivamente, dentro dos flocladores e no canal de água decantada.

A metodologia estabelecida para coleta, armazenamento, acondicionamento e análises das amostras seguiram os protocolos padronizado pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

Os parâmetros como cor aparente, turbidez, pH foram mensurados no mesmo dia e nas dependências do laboratório da Estação de Tratamento do Pratagy devido as variações que poderiam ocorrer com período coletado e o transporte. Os parâmetros como cor aparente (uC), dureza (mg/L CaCO<sub>3</sub>), Ferro total (mg/L), Cloretos (mg/L), Coliformes totais (NMF/100 ml) e *E.coli* (NMF/100 ml) foram armazenados e levados para o Laboratório de Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Alagoas (LSA/UFAL) onde foram mensurados dentro do período de validade estabelecido pela metodologia pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005). Os parâmetros e os métodos analíticos utilizados estão presentes no Quadro 3:

Quadro 3 - Parâmetros e os métodos analíticos.

Parâmetro	Métodos
pH	Eletrométrico (Tecnal)
Cor aparente	Espectrofotométrico
Ferro total	Espectrofotométrico/ Ortofenantrolina
Turbidez	Nefelométrico (TB1000p PoliControl)
Dureza	Titulométrico
Cloretos	Titulométrico de Mohr
Cloro Residual Livre	Automático (Equipamento da ETA)
<i>E. coli</i>	Filtração em membrana utilizando o meio de cultura Chromocult® Coliform Agar
Coliformes totais	Filtração em membrana utilizando o meio de cultura Chromocult® Coliform Agar

Fonte: Autor (2019)

O critério de seleção dos parâmetros avaliados para a qualidade da água tratada levou em consideração os parâmetros constantes no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde.

### 3.2.5. Avaliação da qualidade da água tratada

Avaliação da qualidade da água tratada foi feita com dados primários (coletados e analisados no ano de 2018) e secundários (série referente aos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018), que foram levantados e comparados com os parâmetros constantes no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde 2017, visando verificar o atendimento da ETA em produzir água dentro do padrão de potabilidade vigente. A Quadro 4 apresenta os parâmetros utilizados na avaliação da água tratada com seus valores máximos permitidos (VMP) segundo a Portaria do MS (BRASIL,2017).

**Quadro 4 - Parâmetros de análise da qualidade da água tratada.**

Parâmetro	VMP/VR	Referência
Cor aparente (uC)	15	
Turbidez (NTU)	5	
pH*	6-9,5	
Coliformes totais (NMF/100ml)	Ausentes	Anexo XX da Portaria 05/2017 do Ministério da Saúde
Cloro residual (mg/L)	>2	
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500	
Ferro total (mg/L)	0,3	
Cloretos (mg/L)	250	

\*Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 39, § Fonte: Autor (2019)

### 3.3. Resultados e discussões

#### 3.3.1. Caracterização operacional da ETA

A capital alagoana tem 40% do seu abastecimento de água advindo do Sistema Pratagy. De acordo com Rodrigues, Galdino e Silva (2017), o processo de tratamento se inicia na captação de água bruta do rio Pratagy, que tem como característica elevada concentração de ferro e baixa alcalinidade.

A água percorre aproximadamente 8 km de adutora até chegar a ETA. Na tubulação de chegada, existe um medidor de vazão eletromagnético com leitura contínua, monitorada em tempo real na sala de controle pela sala de controle operacional. Após a medição de vazão a água recebe uma pré-cloração para oxidação do ferro.

Em seguida, a água é direcionada para o canal de mistura rápida, dotada de três compartimentos em série, projetadas como mecanizadas (mas os agitadores foram retirados) onde ocorre o processo de coagulação. Na mistura rápida, o coagulante empregado é o sulfato de alumínio líquido, aplicado sem diluição por meio de bombas dosadoras no primeiro compartimento do canal distribuído por meio de tubulação perfurada (Figura 14). O produto químico hidrolisa e desestabiliza as partículas, para agregar as partículas na etapa posterior de mistura lenta.

A água coagulada é dividida para as duas unidades de floculação (Figura 15) em paralelo, dotadas de quatro câmaras em série, onde ocorre a mistura lenta. Nesta etapa, os flocos irão aumentar de massa para posteriormente serem sedimentados na etapa decantação (Figura 16).

Para a realizar a etapa da decantação, a estação possui dois decantadores de alta taxa. As câmaras de floculação são ligadas por meio de comportas submersas aos decantadores. Depois dos flocos serem sedimentados nos decantadores, a água decantada é encaminhada para a penúltima etapa: a filtração.

Existem duas baterias de filtros cada uma com quatro unidades de filtração com meio filtrante de areia e antracito, sendo que em uma bateria dois filtros estão inoperantes (Figura 17), que deveriam funcionar com taxa declinante. Não possuem caixa vertedora que regule o nível de água nos filtros, e antes da lavagem não executam descarga de fundo.

A desinfecção é realizada com aplicação de cloro a partir de cloro gasoso. Neste ponto, não há ajuste de pH para a água que vai à rede de distribuição. O cloro-gasoso é armazenado em cilindros de 900kg que são instalados no galpão de armazenamento.

**Figura 15 - Canal de mistura rápida-coagulação**



Fonte: Autor (2019)

**Figura 16 - Mistura lenta-floculação**



Fonte: Autor (2019)

**Figura 17 - Decantadores de alta taxa -  
Etapa decantação**



Fonte: Autor (2019)

**Figura 18- Filtros – Etapa filtração**



Fonte: Autor (2019)

### *Parâmetros hidráulicos operacionais da ETA*

Os parâmetros hidráulicos operacionais da ETA foram calculados através dos projetos, utilizando a metodologia de Lopes (2005), e comparados com a NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Os resultados dos parâmetros hidráulicos calculados estão apresentados no Apêndice B e equações utilizadas para obter os parâmetros hidráulicos se encontram no Anexo B, sendo apenas apresentado neste tópico o resumo dos resultados.

### *Mistura rápida*

A unidade de mistura rápida está operando de forma hidráulica, todavia o projeto concebia uma unidade funcionando de maneira mecanizada. Ela comporta-se como um canal de chicanas com escoamento vertical e sua unidade se divide em quatro trechos retos. Os trechos são separados por chicanas superiores e inferiores. Os valores do gradiente de velocidade, o tempo de detenção levantados estão apresentados na Tabela 7

**Tabela 7 - Parâmetros hidráulicos - Coagulação.**

<b>Parâmetro</b>			<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>	<b>Vazão máxima</b>
Vazão da ETA	m <sup>3</sup> /s	Qt	0,877	0,954	0,983
Gradiente de mistura rápida	s <sup>-1</sup>	Gmr	19	22	23
Tempo de mistura rápida	s	Tmr	653	601	583

Fonte: Autor (2019).

A NBR 12226 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) estabelece que para que haja uma eficiente dispersão dos coagulantes metálicos hidrolisáveis, o gradiente de velocidade da mistura rápida deve ter um valor mínimo de  $700\text{s}^{-1}$ , com um tempo de mistura de inferior a 5s. A ETA Pratagy utiliza o sulfato de alumínio - produto de característica metálica hidrolisável -, que está sendo aplicado a um gradiente de mistura rápida médio de  $22\text{ s}^{-1}$  e tempo de mistura que chega a atingir para vazões mínimas aproximadamente 11min (653s). Esse tempo de mistura pode ser prejudicial para a eficiência na etapa de coagulação, segundo Lopes (2005) esse tempo superior aos 5s pode ocasionar retromistura no processo.

Sendo assim, a unidade de mistura da ETA Pratagy não atende as normativas recomendadas pela NBR 12226 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Diante dos dados de inconformidades obtidos, afim de verificar se estes parâmetros estavam de fato comprometendo a mistura rápida, foi analisado o pH nas câmaras de floculação, nas oito câmaras de floculação, cujos valores estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 - Variação do pH nas câmaras de floculação.**

<b>Lado A</b>					
	<b>Câmara 1</b>	<b>Câmara 2</b>	<b>Câmara 3</b>	<b>Câmara 4</b>	<b>Desvio</b>
05/02/2018	5,83	5,86	5,95	5,89	0,05
26/02/2018	5,25	5,26	5,28	5,27	0,01
05/03/2018	5,15	5,10	5,13	5,18	0,04
23/03/2018	4,92	4,74	4,83	4,92	0,09
02/04/2018	5,15	5,10	5,13	5,18	0,04
16/04/2018	4,92	4,74	4,83	4,92	0,09
06/05/2018	6,09	5,63	5,60	5,64	0,23
21/05/2018	5,60	5,70	5,65	5,63	0,04
03/07/2018	5,83	5,77	5,79	5,78	0,02
24/07/2018	5,74	5,74	5,73	5,75	0,01
02/08/2018	5,78	5,80	5,70	5,66	0,07
22/08/2018	5,62	5,52	5,53	5,53	0,05
<b>Lado B</b>					
	<b>Câmara 1</b>	<b>Câmara 2</b>	<b>Câmara 3</b>	<b>Câmara 4</b>	<b>Desvio</b>
24/07/2018	5,785	5,775	5,765	5,705	0,035
02/08/2018	5,67	5,65	5,625	5,665	0,02
22/08/2018	5,53	5,52	5,525	5,53	0,0047

Fonte: Autor (2019).

Verificou-se que apesar do baixo gradiente de velocidade observado o pH da água nas câmaras de floculação, é praticamente constante nas 4 câmaras, o que indica, que embora os parâmetros hidráulicos da mistura rápida estejam fora do recomendado pela legislação, a mistura é homogênea.

Os baixos valores de pH nas câmaras de floculação da ETA Pratagy indica que a coagulação não está acontecendo na varredura ótima, o que é o recomendado para estações de tratamento que operam em ciclo completo. Entretanto, o valor do pH da água ter se mantido praticamente inalterado, uma vez que a alcalinidade total apresentada pela água bruta com valores baixos, foi suficiente para evitar a depreciação dos valores do pH do meio.

### Floculação

Hoje, os conjuntos de flocladores da ETA Pratygy operam hidraulicamente, mas foram projetados para operar forma mecanizada. Os equipamentos mecânicos pararam de funcionar, devido a isso o gradiente de velocidade existente nesta unidade é apenas devido a entrada de água nas câmaras e ao escoamento dentro das câmaras. Dessa forma não há escalonamento de gradientes. A Tabela 9 apresenta os gradientes de velocidade e tempo de detenção reais desta unidade.

**Tabela 9 - Parâmetros hidráulicos - Floculação.**

Parâmetro hidráulico			Vazão mínima	Vazão média	Vazão máxima
Vazão afluyente ao floclador	m <sup>3</sup> /s	Qfl	0,44	0,48	0,49
Tempo de floculação	min	Tf	37,8	34,6	33,9
Gradiente de velocidade nas câmaras de floculação	s-1	Gf	19,2 <sup>1</sup>	18,7 <sup>1</sup>	19,7 <sup>1</sup>
			8,3 <sup>2</sup>	8,1 <sup>2</sup>	8,5 <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2019).

Observou-se na ETA que os flocos estão sedimentando nos flocladores, isso certamente deve-se ao constante e baixo gradiente de velocidade que é inferior a 20 s<sup>-1</sup>. O tempo de detenção total em torno de 35min na floculação está dentro do recomentado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), estabelecido entre 20 a 40min.

A floculação tem como objetivo fazer com que os flocos aumentem a massa de modo que possam ser sedimentados na etapa da decantação ou filtrados na etapa da filtração. E fato da estação de tratamento está operando a um baixo gradiente de velocidade faz com que eles não possuam energia suficiente para serem direcionados às próximas etapas do tratamento. Se aplicar na primeira câmara um aumento no gradiente de velocidade até 70s<sup>-1</sup>, para obter um aumento dos tamanhos de flocos, e ao longo das câmaras seguintes efetuar um decréscimo no gradiente de velocidade, verificar-se-ia uma redução na ruptura dos flocos já formados.

O Número de Camp (NC = Gf x Tf) indica a probabilidade de choques entre flocos dentro da câmara de floculação. Se relacionado as condições operacionais da estação com as condições operacionais determinadas pela NBR 12226 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) através do Número de Camp, observa-se que a estação opera com um valor quase 280% acima do valor recomendado ao empregado para dimensionamento

de flocculadores hidráulicos, como é o da ETA Pratagy. Segundo Lopes (2005), o NC depende das características da água bruta, da temperatura e do tipo de coagulante utilizado.

### *Decantação*

Na etapa da decantação, os flocos que foram formados nas câmaras de floculação serão sedimentados no fundo dos decantadores, através da ação da gravidade, fazendo assim que haja uma redução na quantidade de partículas a serem removidas nos filtros. Os parâmetros hidráulicos levados para os decantadores de alta taxa da ETA estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Parâmetros hidráulicos - Decantação.**

<b>Parâmetro hidráulico</b>			<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>	<b>Vazão máxima</b>
Vazão afluyente ao decantador	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>d</sub>	0,44	0,48	0,49
Tx Virtual de aplicação superficial	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	T <sub>xv</sub>	109	118	122
Gradiente de velocidade nos orifícios do tubo de distribuição de água floculação	s-1	G <sub>cor</sub>	3,24	3,68	3,85
Veloc. de escoamento ascensional	cm/s	V <sub>L</sub>	0,16	0,17	0,18
Vazão linear de coleta de água dec.	L/s.m	Q <sub>L</sub>	3,79	4,12	4,25

Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 10, verifica-se que a taxa virtual de aplicação superficial dos decantadores de alta taxa da ETA Pratagy atinge até 122 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e estão de acordo com o recomendado da NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) e o gradiente de velocidade nos orifícios de distribuição é menor que o da última câmara de floculação. Lopes (2005) afirma que taxa de aplicação superficial superior à empregada em seu projeto fará com que o decantador trabalhe em sobrecarga e remova partículas com taxa de aplicação superficial superior para a qual este foi projetado.

No entanto, a vazão linear de coleta de água decantada na ETA estudada possui valor para uma vazão mínima de 3,79 L/s.m superior ao valor recomendado máximo de 1,8 L/s.m, indicando que devido a lâmina d'água sobre a estrutura de coleta está superior ao recomendado maior será o arraste de flocos que estará se aproximando do fundo do decantador.

### *Filtração*

A eficiência da etapa da Filtração é a que definirá a um papel importante na remoção dos organismos patogênicos. A unidade de filtração da ETA Pratagy possui dois conjuntos de filtros rápidos de fluxo descendentes em paralelo, cada conjunto com 4 (quatro) filtros de câmara dupla, cada uma com dimensões de 3,0 m x 13,0 m, totalizando 78 m<sup>2</sup>, e meio filtrante composto de areia e antracito. A ETA avaliada no período de estudo estava com dois de seus filtros inoperantes, fazendo o conjunto em operação receber a água em seus com o dobro da vazão e apresente valores das taxas de filtração, velocidades ascensional e volumes duplicados.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos parâmetros hidráulicos calculados para ETA Pratagy.

**Tabela 11 - Parâmetros hidráulicos - Filtração.**

Conjunto de filtros	Vazão afluyente ao filtro	Área da filtrante	Taxa de filtração	Velocidade ascensional <sup>1</sup>
	Q	A	T <sub>fit</sub>	V <sub>asc</sub>
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	cm/min
4 filtros em paralelo (lado direito)	0,110	78	121	38
	0,119	78	132	38
	0,123	78	136	38
2 filtros em paralelo (lado esquerdo)	0,219	78	243	38
	0,239	78	264	38
	0,246	78	272	38

<sup>1</sup> Calculada para o tempo de lavagem de 10 minutos.

Fonte: Autor (2019).

Apesar dessas deficiências, as taxas de filtração calculadas para o conjunto de quatro filtros operantes em paralelo, não ultrapassaram os 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d recomendados pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) para os filtros rápidos de camada dupla (areia e antracito). Já os resultados para o módulo que tem apenas dois filtros operantes as taxas de filtração superiores 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, fora dos limites estabelecidos pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Com o aumento das taxas de filtração, as carreiras de filtração se tornam menores neste módulo, pois o leito filtrante acaba colmatando mais rápido e é necessário que os filtros sejam lavados mais vezes.

Não foi identificado um critério para o momento de lavagem dos filtros na estação de tratamento de água, pois este não é executado na prática, ocorrendo a lavagem de um filtro por

dia (carreira de 24 h), independente da retenção de impurezas e da qualidade da água filtrada. Como a água para lavagem dos filtros é proveniente do reservatório superior, e portanto o escoamento é por gravidade, os cálculos para a velocidade ascensional de lavagem dos filtros é de 30 cm/min, abaixo do valor de 60 cm/min recomendado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

O estabelecimento de critérios para as carreiras de filtração, resultará numa maior eficiência do processo, visto que as partículas são depositadas no meio filtrante e durante a carreira de filtração haverá uma diminuição da porosidade das aberturas do meio, posteriormente interferindo na quantidade de lavagens dos filtros e desperdícios de água.

### *Desinfecção*

No projeto da ETA a câmara de contato que recebe a água filtrada possui uma área de 189 m<sup>2</sup> e 4 chicanas horizontais, com 4,75 m de lâmina líquida, resultando num volume de 897,8 m<sup>3</sup>. A Tabela 12, a seguir, informa os resultados alcançados para etapa de desinfecção da estação de tratamento estudada.

**Tabela 12 - Parâmetros hidráulicos do Grupo Desinfecção.**

<b>Parâmetro</b>		<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>	<b>Vazão máxima</b>
Vazão da ETA	m <sup>3</sup> /s Qt	0,877	0,954	0,983
Tempo de detenção	min Tc	17,06	16,68	15,22

Fonte: Autor (2019).

Desta forma, o tempo de detenção pode ser observado em torno de 16 minutos (Tabela 12) está em conformidade com o Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5 do M.S (BRASIL, 2017).

### 3.3.2. Avaliação da água tratada

Os resultados obtidos para os parâmetros de qualidade da água tratada na ETA Pratygy, encontram-se apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Atendimento da Portaria de Consolidação do MS n° 5/2017

Parâmetros	VMP	2015		2016		2017		2018	
		Média	A* (%)						
pH	6-9,5	5,97	60,00	5,23	9,09	5,08	9,09	5,25	10,00
Cor aparente (uC)	15	0,70	100,00	0,36	100,00	1,09	100,00	5,40	90,00
Turbidez (NTU)	5	0,53	100,00	0,66	100,00	2,29	90,00	0,89	100,00
Cloretos (mg/L)	250	22,10	100,00	20,00	100,00	23,45	100,00	17,82	100,00
Ferro Total (mg/L Fe)	0,3	0,15	100,00	0,20	90,91	0,21	72,73	0,07	100,00
Cloro residual (mg/L)	≥2,0	2,13	60,00	2,47	72,73	2,49	72,73	2,96	90,00
<i>E-coli</i> (NMP/100ml)	Ausência	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Coli Total (NMP/100ml)	Ausência	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00

\*Atendimento

Fonte: Autor (2019)

Os valores médios anuais (2015, 2016, 2017 e 2018) apontaram que o pH não está na faixa entre 6,5- 9,0 que é recomendada na Portaria de Consolidação do MS n° 5/2017 Anexo XX. O pH variou entre o mínimo de 3,66 ao máximo de 6,97, caracterizando a água que saí da estação de tratamento como ácida. Visto que a estação de tratamento estudada aplica sulfato de alumínio é esperado que o comportamento do pH seja ácido, pois a reação do coagulante com a água reduz o pH.

A estação de tratamento durante o período de avaliação não estava efetuando a correção do pH. Todavia, o controle operacional informou que a correção era feita por meio da barrilha na câmara de contato. A importância do pH dentro da faixa estabelecida na legislação é que este parâmetro tende a minimizar os problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição (BRASIL, 2006).

O parâmetro cloro residual atendeu o limite mínimo de 2mg/L recomendado pelos padrões de potabilidade em pelo menos 60% dos anos verificados nas saídas das estações de tratamento de água. O cloro é um dos produtos mais utilizados nas estações de tratamento, pois tem seu papel fundamental na desinfecção, é uma tecnologia barata em termos de inativação e

é eficiente contra algumas bactérias gram-negativas do grupo coliformes, apesar de apresentar comportamentos distintos para alguns tipos de bactérias e vírus (BRASIL, 2006; HAMERSKI, 2016)

### 3.4. Conclusões parciais

A avaliação dos processos unitários da Estação de Tratamento de Água do Pratagy permitiu concluir que apesar de diversas discordâncias entre parâmetros ótimos, de projeto e de funcionamento real, além da falta de sistematização da operação nas etapas de tratamento, a ETA de ciclo completo é capaz de apresentar desempenho satisfatório quanto a qualidade da água tratada.

O cálculo dos parâmetros hidráulicos da ETA, mostram que a mistura rápida, os flocladores e os filtros não estão mais funcionando conforme projetado, apresentando também, diferenças do recomendado pela com a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), ocasionando deficiências no funcionamento dos processos unitários, principalmente da coagulação e floculação.

Apesar da unidade onde ocorre a coagulação atingir tempo de mistura rápida superior aos 5s, podendo ocasionar retromistura no processo, e gradiente de mistura inferior ao recomendado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), essas condições não foram significativas para a dispersão do coagulante na água bruta. Pois, o pH sendo praticamente constante nas 4 câmaras indica uma mistura é homogênea.

Foi possível observar a importância da floculação, uma vez que sem o bom desempenho desta etapa não haverá uma boa decantação e filtração das partículas da água. Para esta ETA, observou-se que o baixo gradiente de floculação faz com que os flocos estejam sendo depositados nas câmaras, não possuindo energia necessária para serem direcionados para etapa da decantação. Destacou-se que uma redução na ruptura dos flocos poderia ser evitada se aplicasse um gradiente de velocidade na primeira câmara até  $70s^{-1}$ , que fariam eles aumentarem de tamanho, e posteriormente, efetuar uma diminuição no gradiente de velocidade nas câmaras seguintes.

Os resultados da averiguação dos parâmetros hidráulicos na etapa da decantação da ETA Pratagy mostrou que a vazão linear de coleta de água decantada está com o valor superior ao valor recomendado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 1992). Essa inadequação provoca um maior arraste dos flocos próximo ao fundo do decantador e poderia ser adequado realizando um ajuste na altura da lâmina d'água através da estrutura de coleta.

A filtração constitui a etapa final e barreira contra organismos patogênicos. A unidade de processo da filtração da ETA Pratagy possui deficiências, principalmente, na parte operacional da lavagem dos filtros, o que torna ainda mais difícil a quantificação da perda de água no processo e entender a atuação partículas retidas no leito filtrante. Ressalta-se ainda que a ETA, no período avaliado, operava com apenas 6 dos seus 8 filtros de camada dupla e isso provocou no módulo que tem apenas dois filtros operantes resultados de taxas de filtração superiores aos limites estabelecidos pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, provocando uma diminuição nas carreiras de filtração para este módulo, pois os filtros acabam sobrecarregados e colmatando mais rápido. Apesar de não ser prejudicial do ponto de vista da qualidade da água tratada, mas da quantidade água destinada para lavagens dos filtros.

Dentre outros fatores, evidencia-se o tipo de água bruta e o coagulante a ser utilizado na influência do bom desempenho da qualidade da água tratada.

Mesmo com dificuldades operacionais, os resultados obtidos para água tratada no período analisado, mostram que a ETA produz água dentro dos padrões de potabilidade estabelecido no Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5/2017 do M.S., no que diz respeito a remoção de parâmetros físicos como turbidez e cor, microbiológicos como *E.coli* da água bruta, e cloro residual. A exceção é o pH final da água tratada que é baixo, visto que não é feita a correção final do pH, e portanto não atende aos padrões de potabilidade.

Tais fatos avaliados na ETA Pratagy comprovam a resiliência da tecnologia de ciclo completo, que também é considerada uma tecnologia “robusta”, capaz de absorver as variações da qualidade da água bruta e até mesmo falhas operacionais.

**4. CAPÍTULO - ANÁLISE DO EMPREGO DE DOIS TIPOS DE COAGULANTES  
NA PARA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ DE ÁGUA COM BAIXA  
ALCALINIDADE.**

## ANÁLISE DO EMPREGO DE DOIS TIPOS DE COAGULANTES NA REMOÇÃO COR OU TURBIDEZ EM ÁGUAS COM BAIXA ALCALINIDADE

### 4.1. Introdução

A tecnologia de tratamento de água em ciclo completo é a mais difundida no Brasil. As etapas que compõe o processo de produção dessa tecnologia são: a coagulação, a floculação, a decantação, a filtração e a desinfecção. Dentre as tecnologias disponíveis no Brasil, a ciclo completo é a que possibilita tratar as águas com os maiores valores de turbidez, cor e coliformes totais.

Nas ETAs, normalmente são empregados coagulantes inorgânicos, de origem química, constituídos por sais de ferro e alumínio, como o sulfato de alumínio, o sulfato férrico ou o cloreto férrico. Estes coagulantes são efetivos na remoção de impurezas da água, incluindo turbidez e substâncias orgânicas dissolvidas.

O sulfato de alumínio tem sido o coagulante com mais ocorrências de uso no Brasil e no mundo para tratamento de água. Ele origina um ácido corrosivo em solução aquosa e é um excelente formador de flocos (RICHTER, 2009).

Esse coagulante é fácil de manusear e transportar e seu custo de produção é relativamente baixo em várias regiões do Brasil. O sulfato de alumínio pode ser comercializado em forma granular ou líquida em armazenamento. A faixa de pH em que pode ser trabalhado não é muito grande e pode variar de 5,0 a 8,0 (VIANNA, 2014)

O Policloreto de Alumínio (PAC) é um coagulante similar ao sulfato de alumínio, exceto por conter espécies poliméricas altamente carregadas. Esse polímero catiônico foi desenvolvido no Japão, mas é largamente utilizado em todo mundo por sua alta eficiência e capacidade de atuar em ampla faixa de pH (PRATI; MORETTI; CARDELLO, 2005).

O Policloreto de Alumínio é muito recomendado para substituir os sais de alumínio e de ferro em estações de tratamento de água uma vez que possui melhor eficiência de clarificação, porém seu valor de mercado é mais alto que os coagulantes tradicionais (PRATI; MORETTI; CARDELLO, 2005).

O Policloreto de Alumínio é um polímero inorgânico, catiônico de baixo pH a base de cloreto de polialumínio, que por conter íons hidroxilas em sua fórmula não há uma significativa redução de pH. A Quadro 5 apresenta as principais características desses coagulantes (RICHTER, 2009; CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009, ANDRADE, 2017).

**Quadro 5 - Principais características do Sulfato de Alumínio e do Policloreto de Alumínio**

Sulfato de alumínio	Policloreto de alumínio
Faixa de pH: 5 – 7 Deve ser utilizado com polímeros de alta floculação; Melhor preço; Segurança baixa; Acessibilidade difícil	Maior faixa de pH: 6 – 9 Reduz a necessidade de ajuste do pH; Forma flocos grandes, rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação; Não tem garantia de segurança do alumínio, apesar da neutralização; Remove eficientemente a cor orgânica;

Fonte: Adaptado de Richter (2009); Constantino e Yamamura (2009); Andrade, (2017).

Cristo Filho e Costa (2018) enfatizam que a escolha do coagulante a ser utilizado deve ser feita baseada na qualidade da água bruta, na disponibilidade no mercado e na competitividade econômica.

Segundo Costa (2016), estudos em laboratório, utilizando-se aparelhos de *JarTest*, quando realizados criteriosamente e fundamentados nos Diagramas de Coagulação, conforme proposto por Amirtharajah e Mills (1982), fornecem condições apropriadas para conduzir investigações a respeito da coagulação, floculação, decantação e filtração. O conhecimento da qualidade da água bruta associado aos fundamentos dos diagramas possibilitam que sejam tomadas decisões na otimização da coagulação, visando obter economia.

Nesse contexto, o presente estudo investigou, por meio do levantamento de diagrama de coagulação, a eficácia comparativa do uso do Sulfato de Alumínio e do Policloreto de Alumínio como coagulantes, na água de um manancial que abastece uma estação de tratamento de água do rio Pratygy.

## 4.2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. A primeira etapa constou a coleta e caracterização de duas águas a serem estudadas e do levantamento das condições de coagulação da estação de tratamento de águas, em termos de dosagem de coagulante e do respectivo pH de coagulação, no momento da coleta. A segunda etapa consistiu na realização de ensaios de

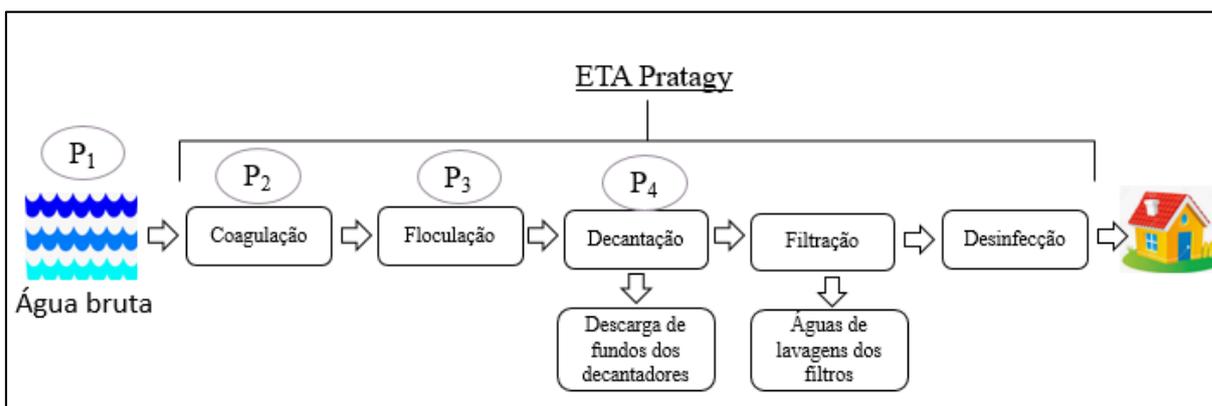
coagulação-floculação-decantação em aparelhos de JarTest, utilizando-se os coagulantes: sulfato de alumínio comercial aplicado na estação e o Policloreto de Alumínio (PAC) para cada tipo de água. A terceira etapa consistiu no levantamento dos diagramas de coagulação a partir dos resultados obtidos nos ensaios, para cada tipo de água, utilizando-se os coagulantes escolhidos.

As três etapas serão detalhadas a seguir:

#### 4.2.1. 1ª Etapa:

A amostra de utilizada para este trabalho foi proveniente da tomada de água bruta ( $P_1$ ) do laboratório localizado na Estação de Tratamento de Água Pratagy (Figura 17). As etapas que foram avaliadas neste estudo através dos diagramas de coagulação foram a coagulação ( $P_2$ ), floculação ( $P_3$ ) e decantação ( $P_3$ ).

**Figura 17 - Esquema dos pontos coagulantes analisados com os diagramas de coagulação.**



Fonte: Autor (2018)

Foram coletadas dois tipos de água da torneira de água bruta da estação em momentos diferentes e com características diferentes em termos de turbidez, cor aparente e ferro. As coletas foram realizadas em agosto de 2018 (Água Tipo I) e em janeiro de 2019 (Água Tipo II).

No momento da coleta, a caracterização da água bruta foi realizada em termos de turbidez, cor aparente e pH de coagulação e registrados a dosagem do coagulante (sulfato de alumínio), bem como o pH de coagulação obtido na estação.

A água bruta foi coletada e transportada para o laboratório em galões. O conteúdo dos galões foi então colocado em uma bobona de 300 litros, localizada no laboratório Laboratório

de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Alagoas, para execução dos ensaios.

Antes de cada ensaio, a água bruta armazenada foi caracterizada em termos de pH, cor aparente, turbidez, ferro, manganês, pH e temperatura por meio de análises físico-químicas e seguindo os protocolos padronizado pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

#### 4.2.2. 2ª Etapa:

Com o objetivo de levantar os dados necessários à construção do diagrama de coagulação para cada tipo de água, executaram-se ensaios de JarTeste semelhantes ao proposto por Amirtharajah e Mills (1982) e intensamente utilizado por Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011). Os ensaios foram realizados variando-se a dosagem do coagulante em função do pH de coagulação, visando obter vários pontos definidos pelos pares de valores “pH de coagulação x dosagem de coagulante”.

O equipamento de jar test utilizado foi o da FlocControl II composto de seis jarros em acrílico transparente com volume de 2 Litros cada jarro, que possuía um sistema de pás com rotação estável entre 0 a 151 rpm e gradiente de velocidade que podiam variar de 0 a 1100 s-1. O equipamento possuía dispositivos para dosagem de produtos químicos e para coleta de água decantada simultâneos situado a 7 cm abaixo da lâmina líquida, conforme Figura 18.

**Figura 19 - Equipamento de JarTest com destaque para o dispositivo de dosagem simultânea e o dispositivo de coleta simultânea de amostras.**



Fonte: Autor (2019).

O cronômetro do próprio equipamento foi utilizado para determinar os tempos correspondentes às etapas de mistura rápida e floculação. Os tempos de coleta para a velocidade de sedimentação estabelecida foi realizada através de um cronômetro digital, o tempo determinado para a coleta foi de 2min.

Os gradientes de velocidade e tempos de detenção, tanto para a mistura rápida quanto para a floculação foram baseados da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). A Tabela 14 mostra os valores dos parâmetros utilizados como referência.

**Tabela 14 - Parâmetros de referência no ensaio *JarTest*.**

<b>Variável</b>	<b>Valores de referência</b>
Gradiente de mistura rápida	700 s <sup>-1</sup> e 1100 s <sup>-1</sup>
Tempo de mistura rápida	1 – 3min
Tempo de floculação	20 min e 30 min - hidráulicos 30 min e 40 min - mecanizados.
Velocidade de sedimentação	3,5cm/s

Fonte: Autor (2019).

As pás do *JasTest* foram posicionadas a 64 mm do fundo do recipiente, de acordo com o fabricante para atingir as rotações programadas no equipamento (151RPM, para mistura rápida; 20RPM, para a mistura lenta), e a lâmina de água atingiu 14cm. O gradiente de mistura rápida utilizado no Jarrest foi de 309 s<sup>-1</sup> (tempo de mistura = 3 min ) e da mistura lenta de 15 s<sup>-1</sup> (tempo de floculação = 20 min), calculado a partir da metodologia de Di Bernardo e Dantas (2005). Os ensaios foram realizados para uma temperatura da água de 25°C.

A Tabela 15 mostra as especificações dos dois coagulantes utilizados nos ensaios.

**Tabela 15 - Especificações dos produtos químicos aplicado nos ensaios *Jartest*.**

<b>Sulfato de Alumínio líquido (utilizado na estação)</b>	
Teor de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mínimo 7,50%
Teor de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Máximo 1,20%
Teor de Acidez Livre (% em massa com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Máximo 0,50%
Teor de Alcalinidade (% em massa com Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Máximo 0,40%
Teor de insolúveis (% em massa)	Máximo 0,10%
Densidade	1,32-1,34 g/cm <sup>3</sup>
<b>Policloreto de Alumínio líquido (PAC)</b>	
Densidade a 25°C	1,130 -1,170 g/cm <sup>3</sup>
pH (solução 15%)	3,00 - 5,00
Teor de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,00 - 11,00%
Alcalinidade	Mínimo 5,50%
Basicidade	Mínimo 0,10

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante para a empresa responsável pela ETA Pratagy (CASAL)

As dosagens aplicadas nos ensaios tiveram como referência a dosagem aplicada na estação no momento da coleta, então eles foram diluídos para as concentrações de 1:1000 a fim de simular na escala laboratorial as quantidades aplicadas na estação.

#### 4.2.3. 3ª Etapa:

A partir dos resultados obtidos no ensaio de *JarTest* referentes a dosagem de coagulante, pH de coagulação, cor aparente e turbidez remanescente construiu-se os diagramas de coagulação para cada tipo de água.

Um gráfico tipo dispersão foi plotado para cada tipo de água tendo como abscissa o pH de coagulação e como ordenada a dosagem de coagulante. Os valores de turbidez e cor aparente remanescentes foram atribuídos para cada par desses valores obtidos nos ensaios.

Deste modo, levantando o maior número de pontos possível, foram definidas as curvas de mesma turbidez remanescente, que foram incorporadas ao gráfico de dispersão.

Os ensaios de jar test, para o levantamento de cada diagrama de coagulação, foram realizados com os dois tipos de água. Nos ensaios com a água tipo I realizados em agosto/2018, utilizou-se apenas o sulfato de alumínio líquido (o mesmo usado na ETA). Nos ensaios para água tipo II realizados em janeiro/2019, utilizou-se o PAC e o sulfato de alumínio. O Quadro 5

apresenta o planejamento experimental do estudo. O Quadro 6 apresenta o planejamento experimental dos ensaios.

**Quadro 6 - Planejamento experimental.**

Água tipo	Ensaio	Produtos químicos	Configurações e operações	Faixa		
				pH	Dosagem de coagulantes	Dosagem de alcalinizante
I	Agosto/2018	Sulfato de alumínio líquido	Ciclo completo – Coagulação e floculação	5 - 9	15 – 90 mg/L	0,1 – 0,5 ml de NaOH 1N
II	Janeiro/2019	Sulfato de alumínio líquido Policloreto de Alumínio líquido				

Fonte: Autor (2019).

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL. As amostras foram caracterizadas por meio através dos métodos apresentados na Quadro 7. As respectivas análises seguiram os protocolos padronizado pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION , 2005).

**Quadro 7 - Parâmetros físico-químicas de caracterização da água bruta.**

Parâmetro	Método
Cor verdadeira (uC)	Espectrofotométrico
pH	Eletrométrico
Turbidez (uH)	Nefelométrico
Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Titulométrico
Ferro total (mg/L)	Espectrofotométrico/ Ortofenantrolina

Fonte: Autor (2019)

#### 4.2.4. Diagramas de coagulação

Para elaboração dos diagramas de coagulação, foram selecionadas dosagens de coagulantes tendo como referência a dosagem utilizada na ETA no dia da coleta variando a cada 5 mg/L, e pH variando do natural a 9,0 ajustado com hidróxido de sódio (Tabela 16 e 17).

**Tabela 16 - Características dos ensaios com água tipo I, usando sulfato de alumínio.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>
Concentração coagulante ETA (ml <sub>coag</sub> /L <sub>água bruta</sub> )	30,76 mg coag/ L <sub>água bruta</sub>
Dosagem do coagulante ETA (mg <sub>coag</sub> /L <sub>água bruta</sub> )	1,82 ml
Tempo de mistura (min)	3min
Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	309
Tempo de floculação (min)	30min
Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	15
Vazão da ETA (m <sup>3</sup> /h)	3505
Vazão da bomba (L/h)	30
Densidade do coagulante (g/L)	1,33g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019)

**Tabela 17 - Características dos ensaios com água tipo II, usando sulfato de alumínio e PAC.**

<b>Sulfato de alumínio</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>
Concentração coagulante ETA (ml coag/ L <sub>água bruta</sub> )	24,28
Dosagem do coagulante ETA (mg coag/ L <sub>água bruta</sub> )	1,82
Tempo de mistura (min)	3
Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	309
Tempo de floculação (min)	30
Gradiente de velocidade (s <sup>-1</sup> )	15
Vazão da ETA (m <sup>3</sup> /h)	3505
Vazão da bomba (L/h)	32
Densidade do coagulante (g/L)	1,33g/cm <sup>3</sup>
<b>PAC</b>	
Concentração coagulante ETA (ml coag/L <sub>águabruta</sub> )	20,99 mg coag/Lab
Dosagem do coagulante ETA (mg coag/L <sub>águabruta</sub> )	1,82ml
Tempo de mistura (min)	3
Gradiente de velocidade (cm/s)	309
Tempo de floculação (min)	30
Gradiente de velocidade (cm/s)	15
Vazão da ETA (m <sup>3</sup> /h)	3505
Vazão da bomba (L/h)	32
Densidade do coagulante (g/L)	1,33g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019)

A partir dos ensaios de *JarTest* os resultados de turbidez remanescente associados a cada par de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação”, construiu-se os diagramas de coagulação para os dois tipos de água.

### 4.3. Resultados e discussões

A água proveniente do ponto de captação da estação de tratamento Pratagy, como foi visto no Capítulo 2, sofre variações em função das interferências pluviométricas da região e outros fatores. É característica desta água do manancial Pratagy valores de alcalinidade e pH uniformes durante todo o ano, e valores anuais de cor aparente, turbidez e ferro com distribuição variáveis. O parâmetro cor aparente e turbidez são influenciados diretamente pela sazonalidade da região, nos meses mais chuvosos (abril a agosto) esses parâmetros elevam os valores devido ao aumento de partículas suspensas que são carregadas pelas chuvas até a área de captação.

A alcalinidade possui valores baixos e que podem interferir no processo de coagulação. Para o ano de 2018, ocorrências médias mensais variou entre 6 mg/L CaCO<sub>3</sub> e 20 mg/L CaCO<sub>3</sub>. Já para cor verdadeira e turbidez deste mesmo ano, obteve-se, respectivamente, valores médios no período seco 35,80 uC e 34,54 NTU; e valores médios para o período chuvoso, respectivamente, 92uC e 43,18 NTU. No ano de 2018, os valores de ferro variaram entre 1,05 a 3,66 mg/L Fe<sup>+</sup> (APÊNDICE A).

Essa água do manancial Pratagy é naturalmente ácida, e, em 2018, obteve uma variação entre 5,37 e 6,15. Essa característica é devido aos materiais rochosos que compõem a bacia hidrográfica do Pratagy, composta, segundo Macêdo, Torres e Assis (2002) por os solos possuem predominância de argissolos, latossolo vermelho - amarelo, hidromórficos e os sedimentos de praia e aluvião.

A água bruta utilizada nos ensaios *JarTest* eram típicas de período seco (estiagem) com cor e turbidez baixas e as características apresentadas na Tabela 18:

**Tabela 18 - Características físico-químicas da amostra representativa do manancial no dia da coleta.**

Parâmetro	Água tipo	
	I	II
pH	5,87	5,81
Cor aparente (uC)	68	61
Turbidez (NTU)	21	12
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	10	8
Ferro	1,75	1,19

Fonte: Autor (2019).

## 4.3.1. Ensaio com água tipo I – Coagulante Sulfato de alumínio

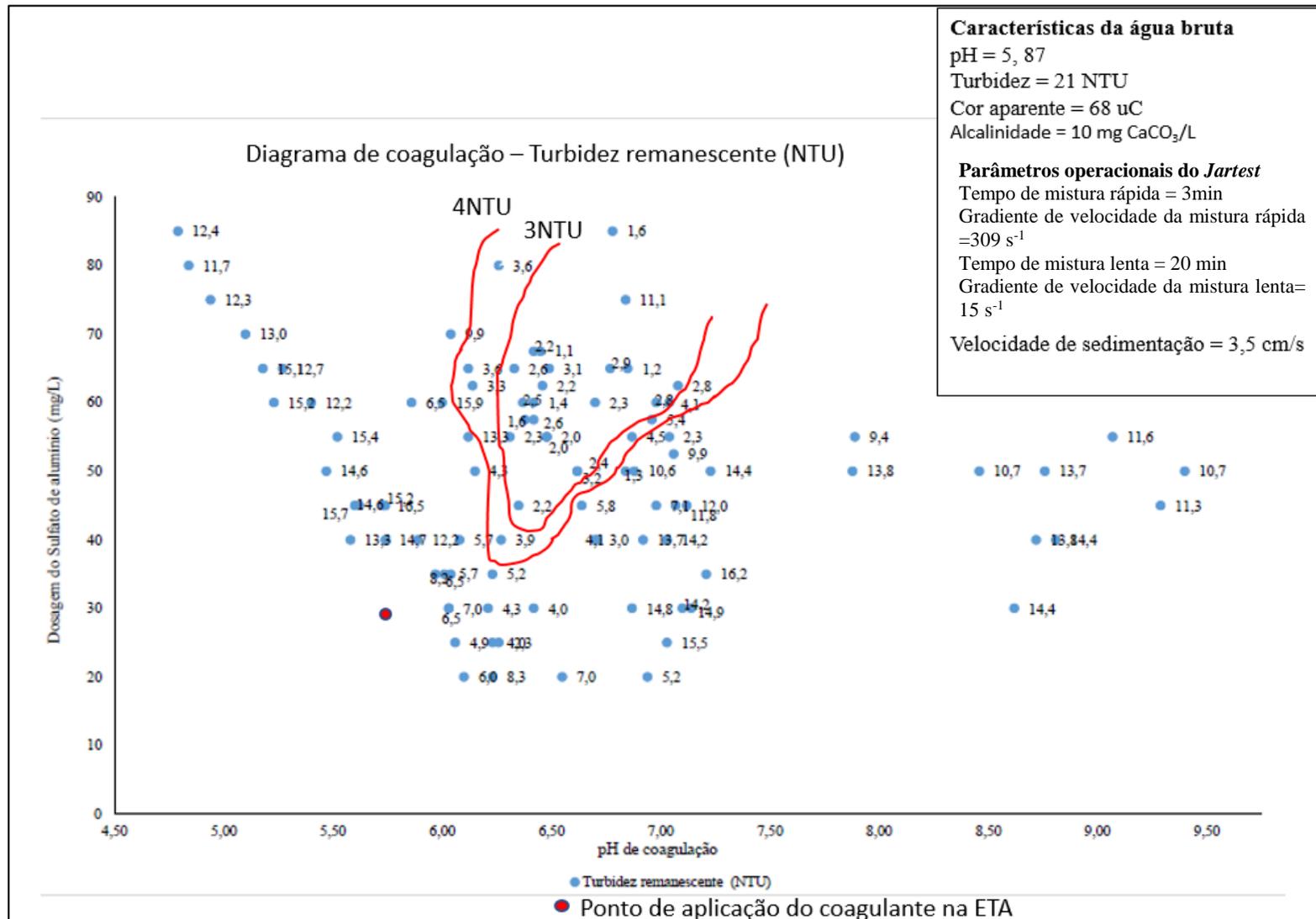
Os diagramas de coagulação construídos com a água tipo I, para remoção de cor e turbidez, estão apresentados na Figuras 20 e 21. Esses diagramas de coagulação mostraram que o pH ótimo de coagulação para remoção simultânea de cor e turbidez se encontraram numa região ótima de dosagem entre 55 a 67,5 mg/L de sulfato de alumínio e pH de 6,33 a 6,77. A Tabela 19 mostra os melhores pares de pH de coagulação x dosagem do sulfato de alumínio, para remoção simultânea de cor e turbidez.

**Tabela 19 - Melhores pares de dosagens coagulantes x pH de coagulação.**

<b>Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)</b>	<b>pH de coagulação</b>	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor aparente (uC)</b>	<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>Remoção de Turbidez (%)</b>	<b>Remoção de Cor Aparente (%)</b>	<b>Remoção de Ferro (%)</b>
55	6,4	2,13	7	0,08	89,86	89,71	95,43
57,5	6,42	2,62	6	0,06	87,52	91,18	96,57
60	6,42	1,4	5	0,06	93,33	92,65	96,57
60	6,37	2,45	9	0,11	88,33	86,76	93,71
62,5	6,77	2,5	7,5	0,09	88,10	88,97	94,86
65	6,33	2,6	11	0,21	87,62	83,82	88,00
67,5	6,42	2,2	6	0,13	89,52	91,18	92,57

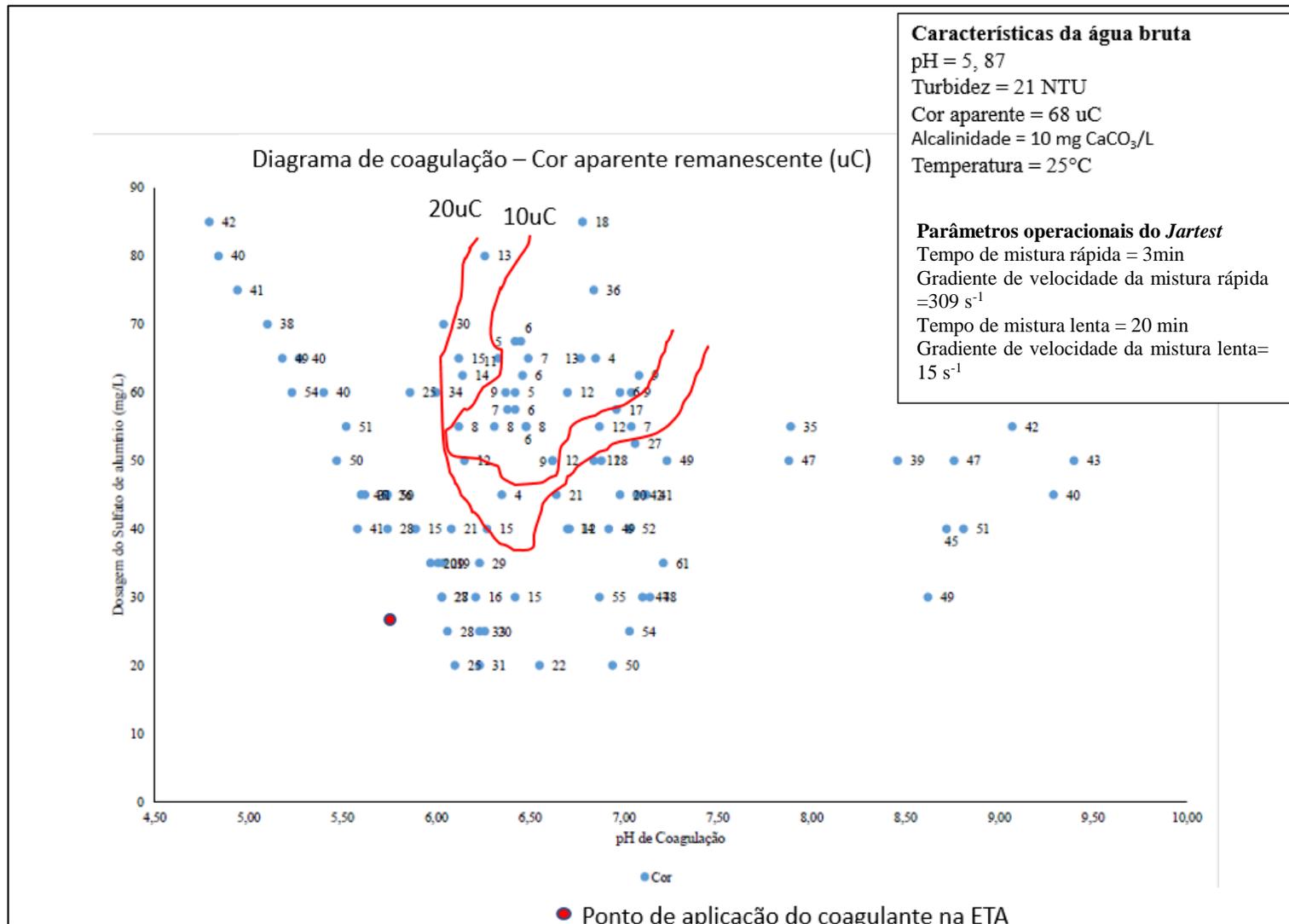
Fonte: Autor (2019).

Figura 20 - Diagrama de coagulação água tipo I/Sulfato de alumínio – Turbidez Remanescente



Fonte: Autor (2019)

Figura 21 - Diagrama de coagulação água tipo I/Sulfato de alumínio – Cor aparente Remanescente



Fonte: Autor (2019)

A dosagem de 60 mg/L de sulfato de alumínio com pH de coagulação de 6,42 e 6,37 foram os que obtiveram os maiores valores para remoção de cor aparente, turbidez e ferro. Esses pares de valores se encontram na região de varredura. É a região recomendada para a remoção de turbidez, pois é nessa região que há formação de precipitados (hidróxidos de alumínio) e eficiência na remoção (AMIRTHARAJAH; MILLS, 1982; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

A natureza do sulfato de alumínio e a baixa alcalinidade da água bruta faz o coagulante reagir com a água e provoque uma redução do pH no processo de coagulação. Na ETA, no dia de coleta, estava sendo aplicada dosagem de coagulante de 30mg/L, com o pH natural de 5,87, o que indica que não estava na região do pH ótimo de coagulação e com isso os menores valores de remoção de turbidez e cor aparente não estavam sendo alcançados. Segundo os conceitos fundamentados por Amirtharajah e Mills (1982), a região é propícia para uma estação de ciclo completo deve se encontrar na varredura com pH de coagulação entre 6-9. A região para essa dosagem de coagulante aplicado na ETA sugere que esteja localizada na adsorção ou numa região de combinação entre os processos de adsorção e varredura.

Contudo, os banco de dados da ETA mostram valores de cor aparente e turbidez da água tratada dentro dos valores indicados pelos padrões de potabilidade. A partir desta informação, foi verificado a possibilidade da remoção da ferro e manganês estarem sendo efetuadas na filtração. A Tabela 20 apresenta os resultados da remoção de ferro e manganês na filtração.

**Tabela 20 - Remoção de ferro e manganês na filtração.**

	<b>Água bruta</b>	<b>Decantador Lado A</b>	<b>Decantador Lado B</b>	<b>Água tratada</b>
Ferro (mg/L)	1,75	0,57	0,56	0,15
Remoção de Ferro (%)	-	67,32	67,96	53,12
Manganês (mg/L)	0,73	0,12	0,19	0,02
Remoção de Manganês (%)	-	87,65	81,73	97,92

Fonte: Autor (2019).

Como mostra a Tabela 53,12% do ferro total e 97,92% do manganês está sendo removido na filtração, fazendo com que sobrecarreguem os filtros. Para que ocorra a remoção de ferro e do manganês, o pH da água bruta deve estar mais alto, na casa de 8,5 a 9,5. Nesse cenário, é apenas possível precipitar o ferro na forma de hidróxido de ferro.

#### 4.3.2. Ensaios com água tipo II – Coagulante Sulfato de alumínio

Os diagramas de coagulação construídos com a água tipo II e sulfato de alumínio como coagulante, para remoção de cor e turbidez, estão apresentados na Figuras 21 e 22.

Esses diagramas mostram que, assim como na água tipo I, as melhores remoções para cor aparente e turbidez estão para os pares de dosagens acima de 35 mg/L e pH de coagulação próximo de 7,0, com destaque para o par de dosagem de 65 mg/L para o pH de coagulação para 6,57 e 7,17 que obtiveram remoção acima de 80% para cor aparente e turbidez.

A Tabela 21 mostra os melhores pares de pH de coagulação x dosagem do sulfato de alumínio, para remoção simultânea de cor aparente e turbidez.

Na coagulação da água com o sulfato de alumínio, a cor e a turbidez remanescente na região dos melhores pares de dosagem de coagulante x pH de coagulação satisfizeram o anexo XX da Portaria de Consolidação do MS nº 5/2017.

Figura 22- Diagrama de coagulação água tipo II/sulfato de alumínio – Turbidez remanescente

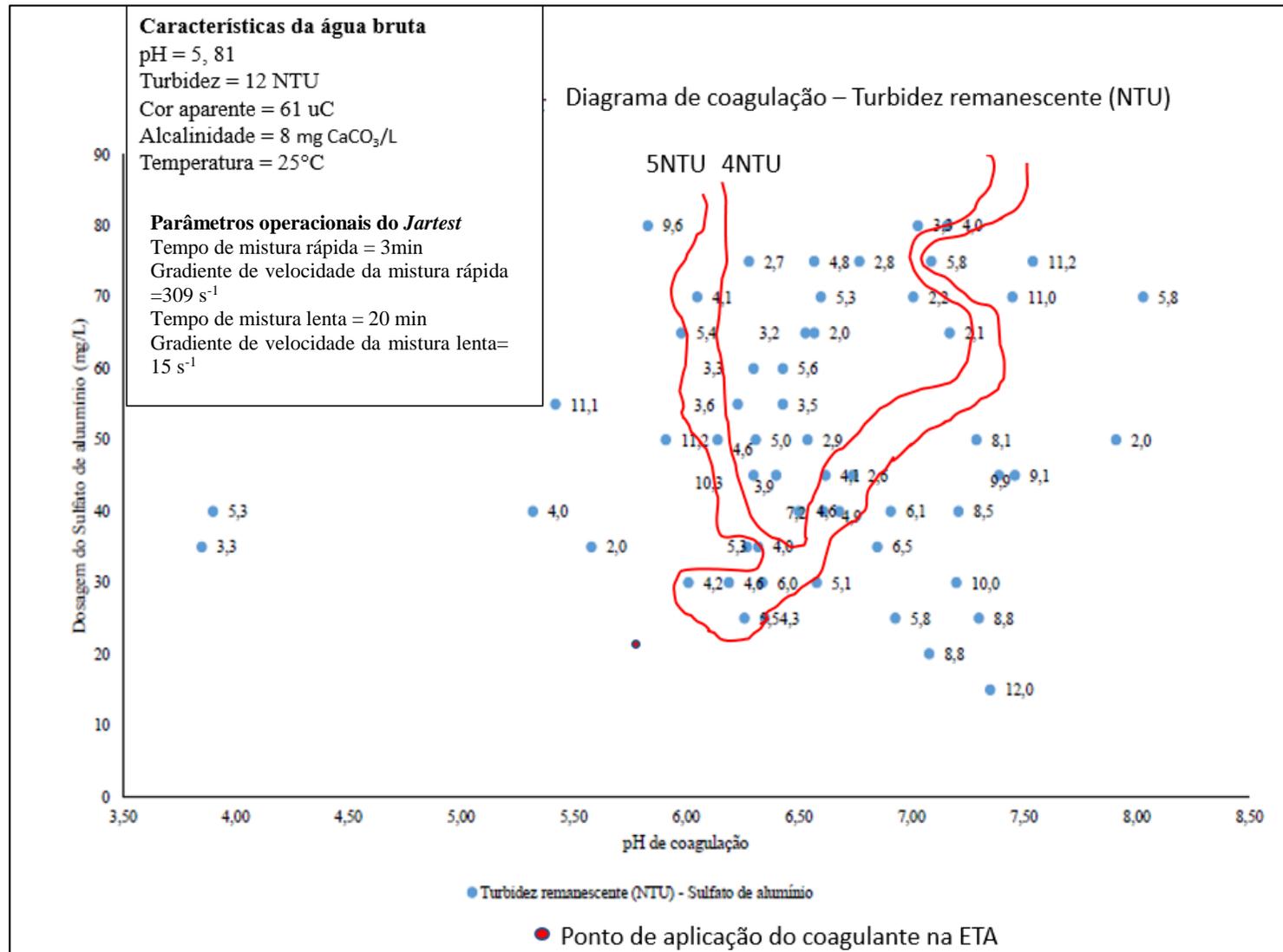
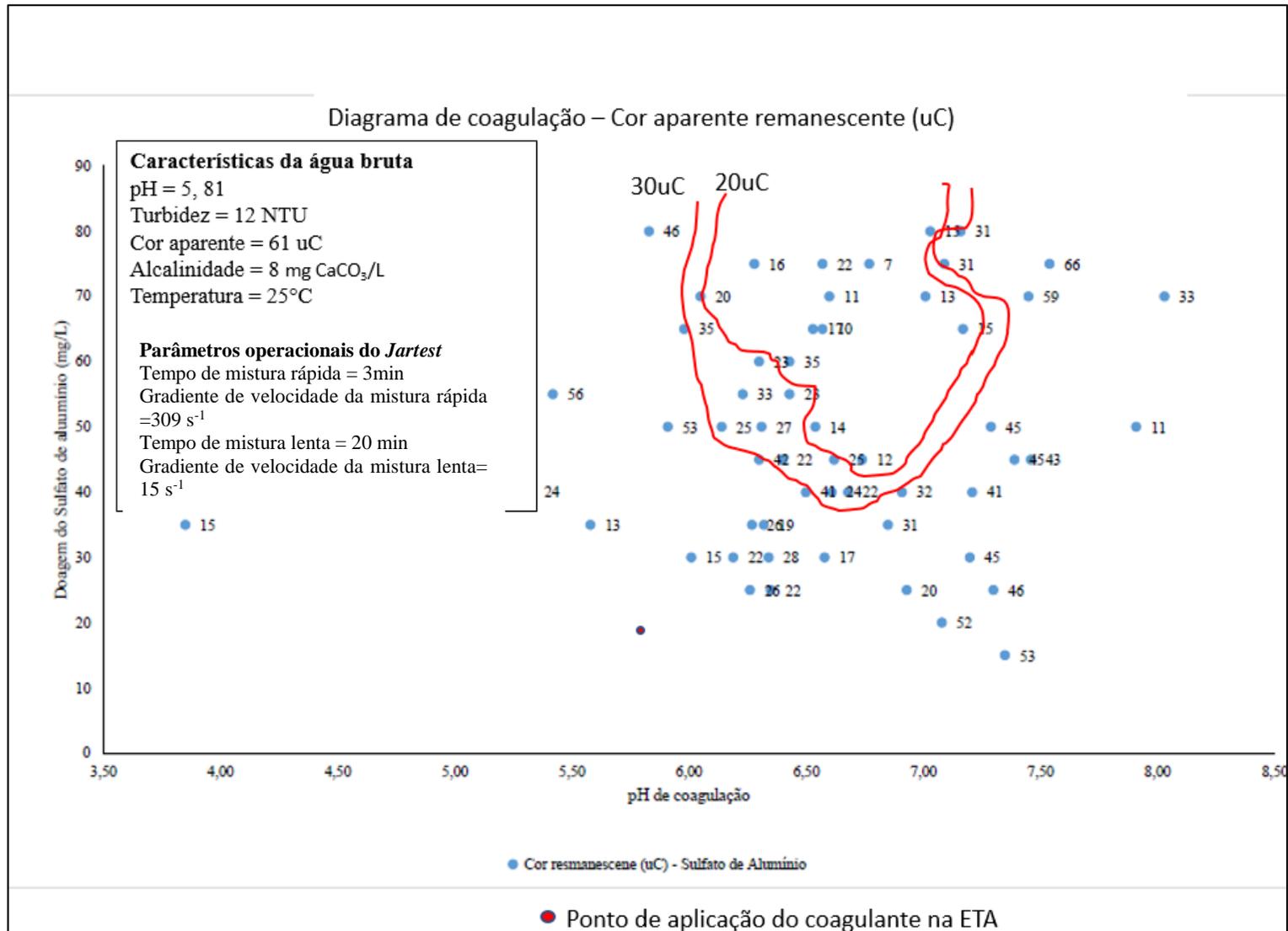


Figura 23 - Diagrama de coagulação água tipo II/sulfato de alumínio – Cor aparente remanescente.



Fonte: Autor (2019)

Tabela 21 - Melhores pares de dosagem x pH de coagulação.

Dosagem (mg/L)	ml	pH	Turbidez remanescente (NTU)	Remoção de Turbidez (%)	Cor aparente(uC)	Remoção de cor aparente (%)
35,00	2,63	3,85	3,27	72,75	15,00	75,41
35,00	2,63	5,58	2,00	83,33	13,00	78,69
50,00	3,76	6,54	2,89	75,92	14,00	77,05
50,00	3,76	7,91	2,00	83,33	11,00	81,97
65,00	4,89	6,57	2,02	83,17	10,00	83,61
65,00	4,89	7,17	2,05	82,92	15,00	75,41
70,00	5,26	7,01	2,18	81,83	13,00	78,69
75,00	5,64	6,77	2,80	76,67	7,00	88,52
80,00	6,02	7,03	3,29	72,58	15,00	75,41

Fonte: Autor (2019)

#### 4.3.3. Ensaio com água tipo II – Coagulante Policloreto de Alumínio

Nos ensaios da água tipo II e Policloreto de Alumínio também não foi verificada a remoção de ferro. Os diagramas de coagulação construídos com a água tipo II e sulfato de alumínio como coagulante, para remoção de cor e turbidez, estão apresentados na Figuras 23 e 24, onde se observa a região de melhor remoção de cor não ocorre na mesma faixa de pH da remoção de turbidez.

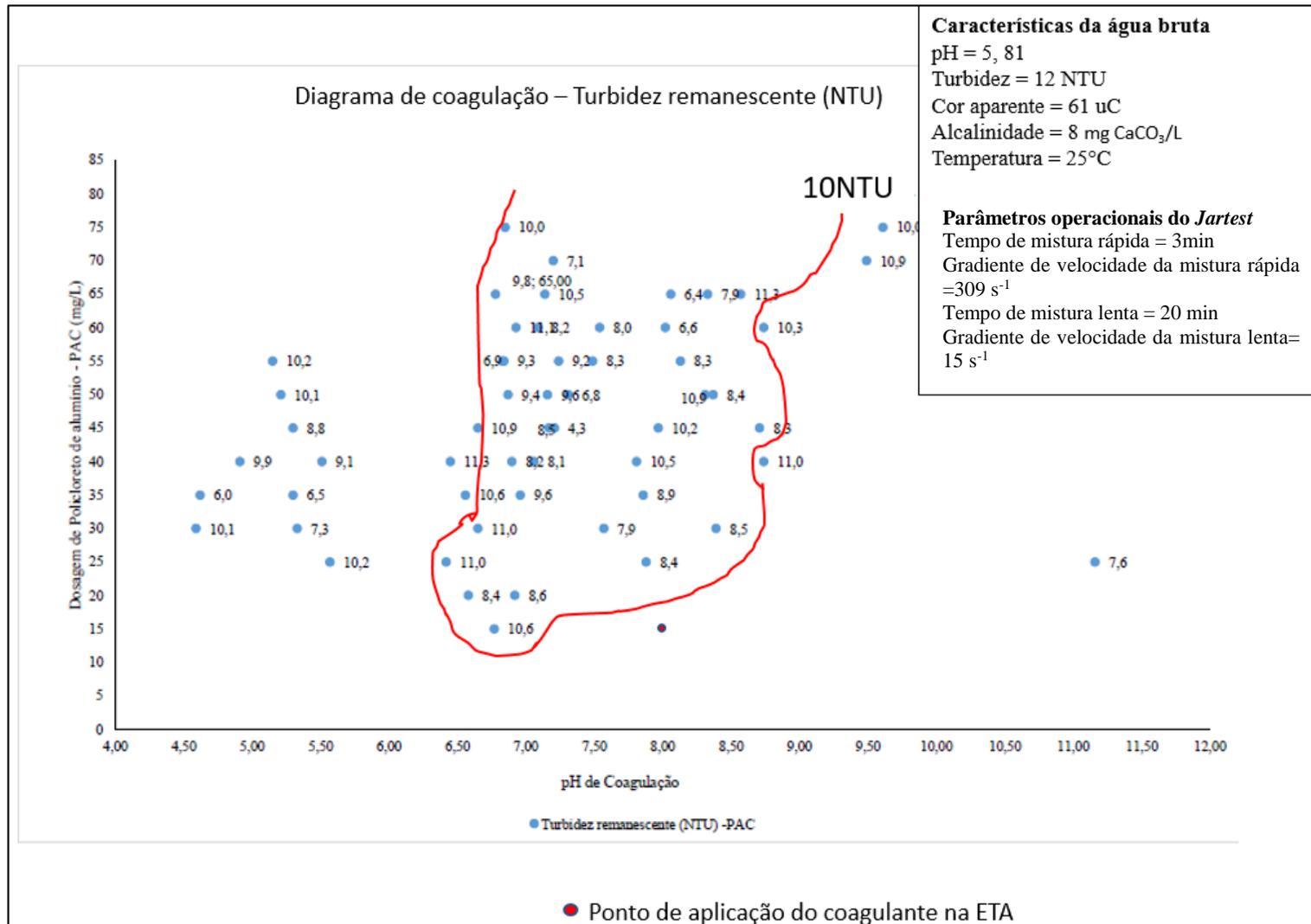
A Tabela 22 mostra os melhores pares de pH de coagulação x dosagem do sulfato de alumínio, para remoção simultânea de cor e turbidez.

Tabela 22 - Melhores pares de dosagem de coagulante x pH de coagulação

Dosagem (mg/L)	ml	pH coag	Policloreto de alumínio			
			Turbidez (NTU)	Remoção de turbidez (%)	Cor (uC)	Remoção de cor (%)
35,00	3,04	4,62	5,98	50,16	28,00	54,10
45,00	3,91	7,21	4,33	66,91	21,00	65,57
50,00	4,35	7,31	6,82	43,16	33,00	45,90
60,00	5,22	8,02	6,61	44,91	35,00	42,62
65,00	5,65	8,06	6,42	46,50	40,00	34,43

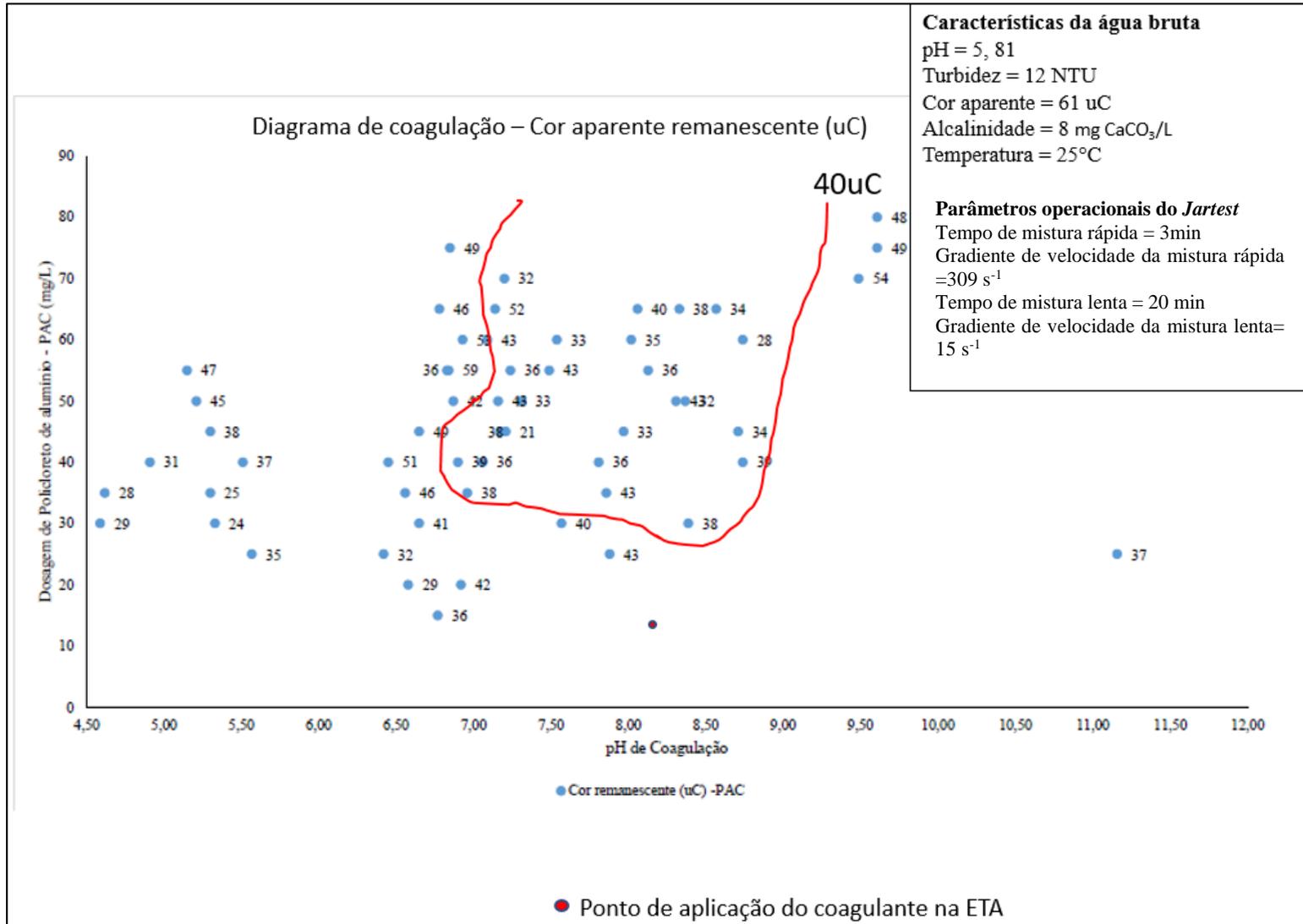
Fonte: Autor (2019).

Figura 24 - Diagrama de coagulação água tipo II/Polícloro de Alumínio – Turbidez remanescente.



Fonte: Autor (2019).

Figura 25 - Diagrama de coagulação água tipo II/ Policloreto de Alumínio - Cor aparente remanescente



Fonte: Autor (2019).

Ainda que o intervalo de pH do Policloreto de Alumínio seja ampla, entre 6-9, não houve remoção expressiva para as faixas de cor entre o pH 8 – 9 com dosagens acima de 40 mg/L.

Os resultados obtidos com o Policloreto de Alumínio ao ser comparado aos resultados apresentados pelo coagulante Sulfato de Alumínio não são satisfatórios, visto que a cor e a turbidez remanescentes obtidos com o policloreto na região de melhor remoção simultânea são maiores que as observadas com o sulfato de alumínio. Ainda que os valores de turbidez remanescentes atendam a Portaria de Consolidação do MS nº 5/2017 anexo XX, os valores de ajuste de pH e dosagem de coagulante para a redução simultânea de cor e turbidez se torna um ponto de dificuldade para operacional.

Apesar do PAC também se mostrar eficiente para valores de águas com a turbidez baixa, como é verificado no estudo de Rôla *et al.* (2016) que obteve superiores a 90% de remoção de turbidez empregando 22 mg/L com o pH de coagulação próximos de 7, o mesmo não foi comprovado para esta água de estudo. Para a amostra analisada neste trabalho, só valores na faixa de 35 mg/L a 45 mg/L obtiveram resultados acima de 72% de remoção de turbidez. É perceptível, também, que os melhores pares dosagem de coagulante *versus* pH coagulação para turbidez não tiveram remoção superiores a 65,56% para o cor aparente.

A qualificação da equipe operacional da estação de tratamento é de ponto fundamental para que a haja um eficiente desempenho dos processos. Lopes (2005) diz que são de conhecimentos básicos uso e as especificações do coagulante e auxiliar químico, assuntos relacionados aos pontos de aplicação e a conceitos de filtração. Pode-se citar, também, a importância do conhecimento em relação as características da água bruta.

Lopes (2005) afirma, também, que a construção de diagramas de coagulação não devem participar da rotina do operador, pois este deve ter sua atenção principal nos processos de tratamento. Todavia, a ETA Pratygy não aplicando a construção dos diagramas de coagulação e nem possuindo um histórico de dosagens do coagulante que possa auxiliar no desempenho das etapas de coagulação, floculação e decantação, torna-se refém da experiência da equipe operacional.

#### 4.4. Conclusões parciais

Alguns parâmetros de qualidade da água captada para passar pelo processo de tratamento na ETA Pratagy tem interferência, principalmente pelo regime pluviométrico da região, como é o caso da cor verdadeira, ferro e da turbidez.

Os diagramas construídos, em escala laboratorial, demonstraram que o melhor coagulante para o características de água bruta tratada na estação de tratamento é o sulfato de alumínio, pois ele apresentou valores de remoção de cor e turbidez superiores ao Policloreto de Alumínio.

O sulfato de alumínio apresentou formação dos flocos na região ótima com dosagens 55 a 67,5 mg/L de coagulante entre pH 6,5 a 6,77. Demonstraram que para estes pares de valores a coagulação ocorre no mecanismo de varredura, ideal para estações de ciclo completo.

Já o PAC obteve os melhores valores de remoção de turbidez na faixa de 35 mg/L a 45 mg/L, com percentuais acima de 70%. O que não pode ser visto para cor aparente, pois este parâmetro não obteve resultados superiores 65,56%.

Outro ponto importante, foi quanto a remoção de ferro e manganês verificada nos filtros. Este estudo mostrou que a dosagem do sulfato de alumínio aplicada na estação para as características de pH da água bruta do manancial Pratagy não promove a remoção de ferro e manganês nas etapas anteriores a filtração. Isso faz com que os filtros sejam sobrecarregados e diminua as carreiras de filtração devido as partículas que ficam retidas no leito filtrante.

Sendo assim, a construção de curvas de dosagens de coagulante versus pH são instrumentos que auxiliam no indicativo de qualidade em função do residual de cor aparente e turbidez remanescente. Entretanto, a ETA Pratagy não utiliza esta ferramenta e nem apresenta um histórico para acompanhamento das dosagens de coagulante.

## **5. CAPÍTULO - GESTÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ETAS.**

## GESTÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ETAS

### 5.1. Introdução

Os resíduos das estações de tratamento de água são subprodutos do processo de tratamento, sendo considerados o maior passivo ambiental do setor.

Os rejeitos gerados nas ETAs são comumente oriundos dos decantadores e dos filtros, ou seja, o lodo e as águas de lavagem. Segundo Achon, Barroso e Cordeiro (2013), a maioria das ETAs no Brasil lançam seus resíduos em cursos d'água, contrariando a legislação vigente e provocando impactos ambientais. Katayama *et al.* (2015) explica que isso se deve ao fato que os operados e projetistas das estações de tratamento de água raramente conseguem prever, com grau de confiabilidade, a quantidade a massa e o volume dos resíduos produzidos.

Para o gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a sua destinação, é necessário conhecer as suas características a fim de se definir pelo melhor tratamento e disposição. Nas ETAs, a quantidade de compostos orgânicos e sólidos na descarga de efluentes dos decantadores e lavagem de filtros é muito grande, e a vazão varia em torno de 5 % sobre a produção de água por dia (ANDREOLI, 2001; OLIVEIRA, 2016).

A composição físico-química dos resíduos descartado nas estações de tratamento vai depender do tipo de coagulante e das características da água bruta. A Tabela 23 a seguir mostra alguns valores de referência da composição físico-química de amostras compostas das descarga de decantadores e água de lavagem dos filtros em ETAs de ciclo completo, levantados por Souza (2004) e Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011).

**Tabela 23 - Valores de referência da composição físico-química de amostras compostas.**

Parâmetro	Descarte de decantadores de alta taxa		Lavagem dos filtros	
	SOUZA (2004)	DI BERNARDO <i>et al.</i> (2011)	SOUZA (2004)	DI BERNARDO <i>et al.</i> (2011)
pH	8,5-9,2	7,52	8,4 - 9,2	7,1
DQO (mg/L)	30- 136	816	50 - 72	40,8
SST (mg/L)	30- 136	4500	50 - 72	250
SSF (mg/L)	320-700	3920	80 -320	210
SSV(mg/L)	120 - 160	580	80 - 200	40
SS (ml/L)	-	190	-	74
ST (mg/L)	830 - 1.170	4954	480 - 630	367
STF(mg/L)	830 - 1.170	-	480 - 630	157
STV(mg/L)	290-420	-	220-300	210

Fonte: Autor (2019).

Souza (2004) cita que a perda de água referente às descargas dos decantadores, limpeza dos filtros, limpeza dos tanques de produtos químicos e manutenções da ETA não deve ser superior a 2,8% do total de água produzida, mas representa um grande volume de lodo a ser gerenciado, e um volume de água que deve ser recuperada e voltar a ETA.

#### *Legislações aplicáveis aos resíduos gerados nas ETAs*

No que diz respeito as legislações relacionadas aos resíduos gerados nas estações de tratamento de água, as empresas fornecedoras de água devem atender as seguintes normativas brasileiras: Resolução CONAMA 357:2005, alterada pela Resoluções 430: 2011 e a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Os resíduos de ETAs são classificados como resíduo sólido pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), o lodo de ETA se enquadra como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte, devendo ser disposto adequadamente.

Quanto ao descarte em corpos de água, um aspecto tratado na Resolução CONAMA 357(BRASIL, 2005) alterada pelas Resoluções CONAMA 430 (BRASIL, 2011), é em relação ao lançamento dos resíduos gerados nas ETAs, o qual diz que os efluentes de qualquer fonte

poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos (BRASIL, 2011).

Aplicar ações a fim de evitar pôr em risco a saúde populacional vai além do pequeno sistema de produtor de água para consumo humano. O Brasil ainda precisa avançar muito no desenvolvimento de legislações tanto para o controle da qualidade de água fornecida a população quanto a destinação dos efluentes gerados nas estações de tratamento de água.

Com base nisso, este trabalho teve por objetivo caracterizar o resíduo da ETA Pratygy, localizada na cidade de Maceió/AL, que emprega a tecnologia do ciclo completo e utiliza como coagulante sulfato de alumínio.

## **5.2. Metodologia**

### **5.2.1. Área de estudo**

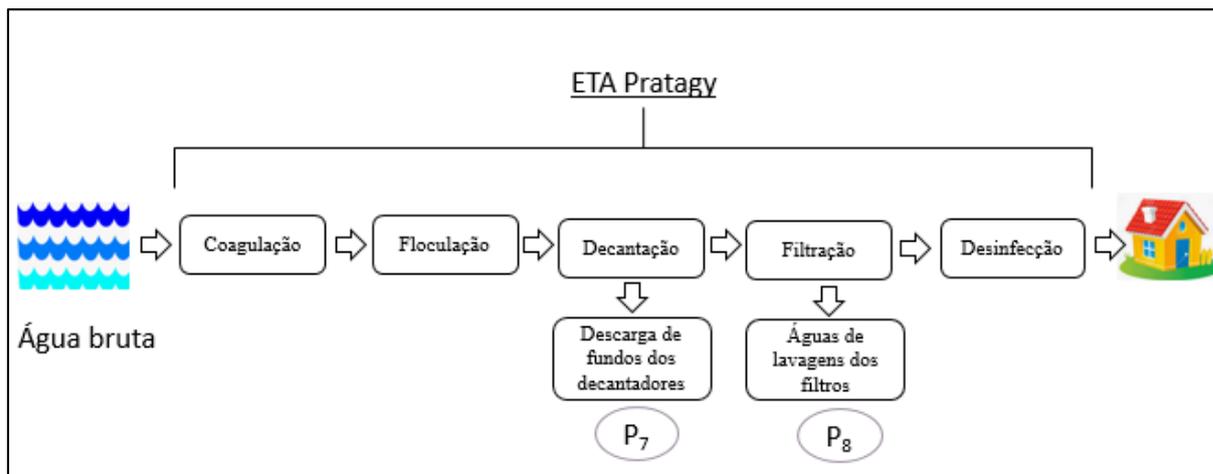
A área de estudo foi uma ETA, que capta água do rio Pratygy e tem capacidade de produção de 1000 L/s. A ETA é classificada como ciclo completo, sendo composta por mistura rápida hidráulica, com medição de vazão em linha com medidor eletromagnético, dois módulos de floculação hidráulico com quatro câmaras em série cada um, dois decantadores de alta taxa com descarga hidráulica de lodo e o sistema de filtração é composto por duas baterias de quatro filtros com duas células e dupla camada de filtração (areia e antracito) e uma câmara de contato.

A ETA possui ainda dois tanques de sedimentação de lodo, para onde são destinados os resíduos provenientes da descarga dos decantadores e da lavagem de filtros.

### **5.2.2. Delineamento experimental**

Para caracterização e Ensaio de clarificação e Adensamento dos resíduos foram coletadas amostras nos pontos P<sub>7</sub> (resíduos dos decantadores) e P<sub>8</sub> (águas de lavagem de filtros). Cada decantador possui três tubulações de descarga, que eram abertas uma de cada vez para coletadas individual representativa de cada tubulação, sendo coletadas quatro amostras temporais ao longo dos 2 minutos de descarga, o que resulta em 12 amostras por coleta. Nos filtros a coleta foi realizada na canaleta de coleta de água de lavagem, sendo coletadas 4 amostras temporais durante a lavagem, resultando e 4 amostras por coleta. A Figura 25 ilustra os pontos de coleta.

**Figura 26 - Pontos de amostragem de resíduos na ETA.**



Fonte: Autor, 2019.

P<sub>7</sub> – Ponto de coleta da descarga de fundo dos decantadores

P<sub>8</sub> – Ponto de coleta das águas de lavagens dos filtros

Foram realizadas no total de seis campanhas, sendo duas para cada decantador e uma para cada filtro. O volume de amostra coletada em cada campanha, está mostrada na Tabela 25.

**Tabela 24 - Volume de resíduo coletado em cada campanha.**

Local	Lado	Duração da coleta	Ensaio de clarificação e Adensamento	Caracterização Físico - química
Descarga decantador	A	6 min*	ACL - 500ml	ACL – 2L
	B	6 min*	ACL - 500ml	ACL – 2L
Águas de Lavagens	A	2min	ACF- 500ml	ACF- 2L
	B	2min	ACF- 500ml	ACF- 2L

\*Tempo total referente as três válvulas de descargas – a duração para cada válvula dura em média 2min

ACL – Amostra composta lodo - Referente as três válvulas de descarga

ACF - Amostra composta água de lavagem dos filtros - Referente das 3 válvula de descarga

Fonte: Autor (2019)

### 5.2.3. Caracterização dos resíduos

A caracterização dos resíduos foi feita utilizando os parâmetros e os métodos mostrados no Quadro 8:

**Quadro 8 - Parâmetros de caracterização dos resíduos da ETA**

Parâmetros	Método
pH	Eletrométrico (Tecnal)
DQO (mg/L)	Espectofométrico
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	Gravimétrico
Sólidos Totais (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	Gravimétrico

Fonte: Autor (2019).

Para os decantadores a caracterização de sólidos foi feita tanto individualmente das amostras temporais de cada ponto de descarga e dos três pontos misturados (chamada aqui de amostra composta), quanto das amostras temporais misturadas (sólidos, pH e DQO). Para os filtros as análises de sólidos também foram feitas tanto individualmente das amostras temporais quanto das amostras misturadas (pH, DQO e sólidos). A quantificação desses parâmetros seguiram os protocolos padronizado pelo *Standard Methods for Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION , 2005).

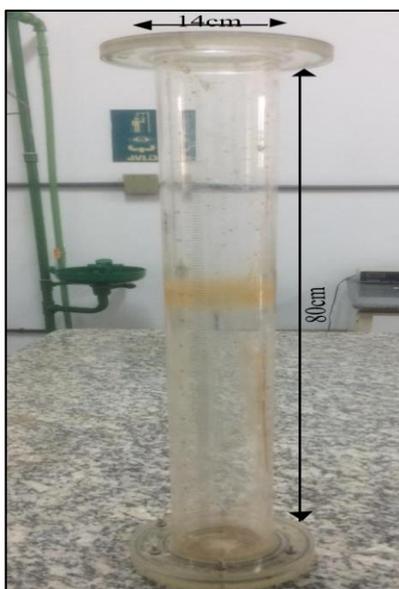
#### 5.2.4. Curva de clarificação/adensamento por gravidade

A realização do ensaio de clarificação/adensamento por gravidade pode ser efetuado de diversas formas. Di Bernardo, Dantas & Voltan (2011) sugere uma proveta ou uma coluna graduada para a execução do ensaio de obtenção da curva de clarificação e adensamento. A sedimentabilidade dos resíduos do lodo e da água de lavagem dos filtros foi verificada por meio de ensaios em coluna de sedimentação construída para este ensaio, devidamente graduada (Figura 26) com 14cm de diâmetro e 80 cm de altura, para cada amostra coletada.

A leitura da altura da concentração de sólidos das amostras coletadas, de cima para baixo, ao longo da coluna em intervalos de tempos pré-fixados de 15 minutos. A coluna foi preenchida com o volume de 500 ml para cada amostra, a qual foi agitada no início e deixado ocorrer o adensamento.

Di Bernardo, Dantas & Voltan (2011) descreve que dependendo das características do efluente a clarificação e o adensamento podem durar de 1-3 h, até ser observado que a frente de clarificação se mantém constante. Adotou-se para este trabalho o tempo de 2h.

**Figura 27 - Coluna de sedimentação.**



Fonte: Autor (2019).

Não foram coletados sobrenadante para caracterização. Os dados alcançados neste ensaio permitiram construir o gráfico altura interface x tempo.

#### 5.2.5. Estimativas da produção de resíduos

A produção de massa de lodo foi estimada para a vazão média de água bruta e utilizados valores de turbidez para o período seco (setembro a março) e chuvoso (abril a agosto) da ETA com referência o ano de 2018. Foram monitoradas as seguintes variáveis: vazão da água bruta, dosagem de produtos químicos e cor e turbidez da água bruta. Todas as variáveis foram obtidas a partir de dados do controle operacional da estação de tratamento.

A literatura apresenta diversos métodos para estimar e quantificar a quantidade de lodo gerado pela estação de tratamento de água. Para este estudo, foi empregado o método de quantificação a partir de fórmulas empíricas. As fórmulas empíricas utilizaram os dados de monitoramento das variáveis da ETA Pratagy. Essas fórmulas empíricas são para estações de ciclo completo que usam como coagulante o sulfato de alumínio. Os métodos escolhidos para

essa quantificação foram: Cornwell *et al.* (1987), Richter (2001), AWWA - American Water Works Association (1996) e Kawamura (1991).

Sendo:

P = Produção de sólidos secos (g/m<sup>3</sup> de água tratada);

C = Cor da água bruta (uC);

T = Turbidez da água bruta (NTU);

D = Dosagem de coagulante (mg.L<sup>-1</sup>);

W = Produção total de resíduos na ETA (kg /d);

Q – Vazão afluyente a ETA (m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>).

k = Valor usual de 0,26 para coagulante sulfato de alumínio (REALI ,1999).

#### 5.2.5.1. Método Cornwell *et al.* (1987)

$$P = (kD + 1,5 \times T + A)$$

#### 5.2.5.2. Método Richter (2001)

$$P = (0,2 C + 1,3 T + kD)$$

#### 5.2.5.3. Método Kawamura (1991)

$$P = 1,5T + kD$$

#### 5.2.5.4. Método AWWA (1996)

$$P = (3,5) T^{0,66}$$

A produção total de resíduos na ETA (W) é fornecida por:

$$W = \frac{P \times Q}{1000} \text{ (kg/d)}$$

Foi utilizado para a dosagem de coagulante (AS) o valor médio aplicado na ETA para turbidez observadas em períodos de estiagem e chuvosos. A Tabela 25 apresenta os valores utilizados.

**Tabela 25 - Valores de referências para produção de lodo.**

	<b>Período seco</b>	<b>Período chuvoso</b>
Cor verdadeira da água bruta	34,0	77,0
Turbidez da água bruta	22,9 UNT	63,1 UNT
Dosagem de coagulante	15 mg/L	45 mg/L
Vazão	82425,6 m <sup>3</sup> /d	82425,6 m <sup>3</sup> /d

Fonte: Autor (2019).

Na ETA não se aplica aditivo, logo este parâmetro foi considerado 0 mg/L.

#### 5.2.6. Estimativa do volume de resíduos descartados

Os volumes de descarga de resíduos foram estimados a partir do levantamento dos dados de vazão de descarga de lodo e de água para lavagem, multiplicados, respectivamente, pelo tempo de descarga e tempo de lavagem:  $\text{Volume} = Q \times T$ .

Como essas operações ocorrem hidraulicamente por gravidade, as vazões envolvidas foram levantadas através das plantas constantes no projeto executivo e visitas em campo na ETA, em cada unidade da seguinte forma:

#### *Decantadores:*

Cada unidade de decantação de alta taxa possui doze compartimentos em tronco de pirâmide, dispostos no fundo do decantador, para armazenamento do lodo sedimentado. Estes compartimentos são interligados a três tubulações DN250, comprimento de 25,2 m, dotados de registros de gaveta, que são acionados manualmente nos momentos de descarga de lodo. Logo a vazão de descarga pode ser calculada pela equação geral de descarga:

$$q = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:  $S$  = área da seção da tubulação =  $3,1415 \times 0,25^2 / 4 = 0,049 \text{ m}^2$

$C_d$  = coeficiente que depende da relação  $L / D = 0,44$

H = Lâmina líquida (H) dentro do decantador = 6,4 m

*Filtros:*

A água para lavagem dos filtros é proveniente de um reservatório elevado, localizado na cobertura da casa de química, que possui 3 andares, com altura de lâmina líquida acima no nível de água do filtro durante a lavagem de 10,2 m, e é conduzida até os filtros por meio de uma tubulação DN700. O cálculo da vazão de água para lavagem proveniente do reservatório elevado foi feito a partir da medição da velocidade ascensional da água durante o procedimento de lavagem dos filtros, utilizando a equação da continuidade.

$$Q = V \times A \quad \text{Equação 3}$$

Onde: A = área filtrante = 78 m<sup>2</sup>

V = velocidade ascensional = 0,5 m/min

#### 5.2.7. Caracterização da operação do sistema de lodo

A identificação das características do sistema de lodo da ETA foi confeccionada por meio de questionários (ANEXO A) aplicados aos funcionais responsáveis, análises dos projetos e visitas à estação de tratamento de água.

### 5.3. Resultados e discussões

#### 5.3.1. Estimativa de geração mássica de resíduos

Observadas as variações das vazões de água bruta que entra na ETA, foi possível estimar a produção de sólidos e quantidade de sólidos secos (Tabela 26).

Tabela 26 - Quantificação da produção de sólidos secos.

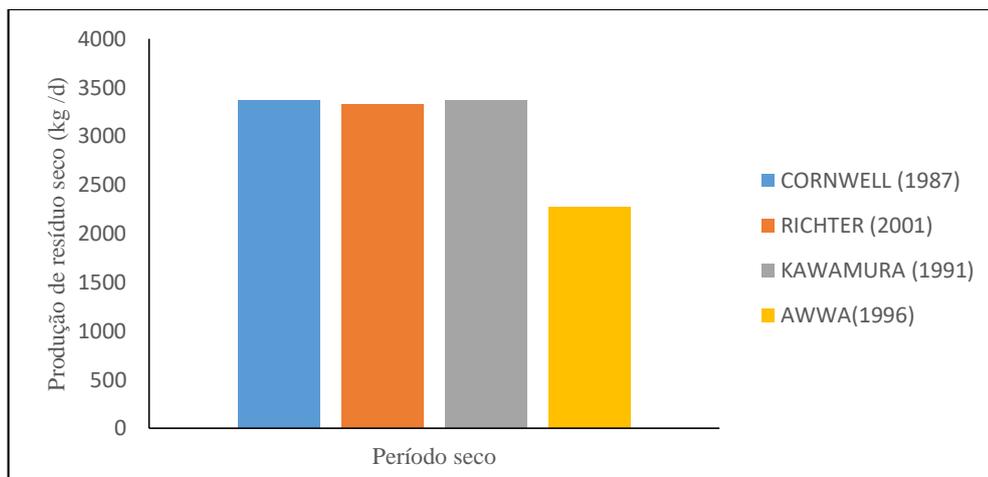
	Período seco	Período chuvoso
	T=22,9 UNT, D = 15 mg/L	T=63,1 UNT, D = 45 mg/L
Vazões ETA (m <sup>3</sup> /d)	82425,6	82425,6
Método Cornwell <i>et al.</i> (1987)		
Produção de sólidos (g de matéria seca / m <sup>3</sup> de água bruta tratada)	38,25	106,35
Quantidade de sólidos secos (kg/dia)	3375,32	8765,96
Método Richter (2001)		
Produção de sólidos (g de matéria seca / m <sup>3</sup> de água bruta tratada)	40,32	109,13
Quantidade de sólidos secos (kg/dia)	3323,40	8995,10
Método Kawamura <i>et al</i> (1991)		
Produção de sólidos (g de matéria seca / m <sup>3</sup> de água bruta tratada)	38,25	106,35
Quantidade de sólidos secos (kg/dia)	3375,32	8765,96
Método AWWA (1996)		
Produção de sólidos (g de matéria seca / m <sup>3</sup> de água bruta tratada)	27,64	53,96
Quantidade de sólidos secos (kg/dia)	2278,32	4447,68

Fonte: Autor (2019).

Estima-se que o sistema Pratagy gere entre 2278,32 - 3375,32kg/dia de sólidos secos para o período seco e 4447,68 - 8995,10 kg/dia para o período chuvoso, podendo variar de 831,58t /ano a 3283,21t /ano de sólidos secos. Para a mesma tecnologia de tratamento em ciclo completo e uma vazão de 1.000L/s, mas com qualidade de água bruta diferente, localizada no Mato Grosso do Sul, o estudo de Oliveira e Rondon (2015) estimou uma quantidade de 381,40 t/ano de sólidos secos.

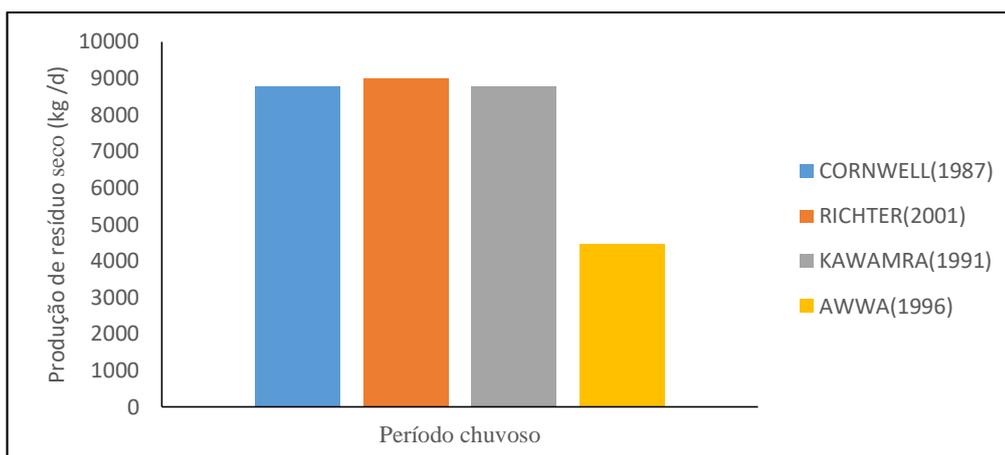
A Figura 26 e a Figura 27 mostra as variações quantitativas da produção do período seco e do período chuvoso para as fórmulas empíricas de Cornwell (1987), Richter (2001), Kawamura *et al* (1991) e AWWA (1996).

**Figura 28 - Produção de resíduos secos da ETA Pratagy no período seco\*.**



Período seco\* - janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro.  
Fonte: Autor (2019).

**Figura 29 - Produção de resíduos secos da ETA Pratagy no período chuvoso\*.**



Período chuvoso\* - abril, maio, junho, julho e agosto.  
Fonte: Autor (2019).

Observou-se que no período chuvoso há maior quantidade na produção de resíduos secos que no período seco, devido a maior quantidade de partículas dissolvidas na água bruta. As equações são influenciadas pela cor e turbidez da água bruta, assim como a dosagem de produto químico aplicado na estação de tratamento no período. As menores médias de produção de resíduos foi apresentada por AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1996).

### 5.3.3. Estimativa do volume de lodo descartado

*Decantadores:*

As descargas de fundo dos decantadores são realizadas 4 vezes por dia quando a ETA opera com turbidez baixa, e 6 vezes por dia quando opera com turbidez alta, em ambos os casos com duração de 2 minutos em cada uma das três tubulações de descarte.

Considerando que a vazão de descarga de lodo calculada foi de 14,5 m<sup>3</sup>/min, o volume diário de resíduo descartado, por descarga de decantador é de:

$$\text{Volume} = 14,5 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ min} \times 3 \text{ descargas} = 87,1 \text{ m}^3/\text{descarga}$$

A Tabela 27 apresenta o volume médio de resíduos descartados por dia nos 2 decantadores, em período de tempo seco e chuvoso.

**Tabela 27 - Volume de resíduos descartados pelos decantadores.**

	<b>Período seco</b> T = 22,9 UNT	<b>Período chuvoso</b> T=63,1 UNT
Volume diário	693 m <sup>3</sup>	1043 m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019).

*Filtros:*

Existem 2 (duas) baterias com 4 (quatro) filtros de câmara dupla, cada uma com dimensões de 3,0 m x 13,0 m, totalizando 78 m<sup>2</sup>, e meio filtrante composto de areia e antracito. Os filtros possuem carreiras de filtração que variam entre 12 e 24 horas, em função da qualidade da água bruta.

Considerando que a vazão de água de lavagem calculada foi de 39 m<sup>3</sup>/min, e que o tempo médio de lavagem em cada filtro utilizado na ETA é de 5 minutos, o volume diário de água de lavagem gerada, em cada lavagem de filtro é de:

$$\text{Volume} = 39 \text{ m}^3/\text{min} \times 5 \text{ min} = 195 \text{ m}^3/\text{lavagem}$$

A Tabela 28 apresenta o volume médio de água de lavagem descartados por dia, em período de tempo seco (carreira de filtração de 24 horas) e chuvoso (carreira de filtração de 12 horas), levando em conta que atualmente apenas 6 filtros estão em operação.

**Tabela 28 - Volume de resíduos gerados na lavagem dos filtros.**

	<b>Período seco</b>	<b>Período chuvoso</b>
	T = 22,9 UNT, CF=24h	T=63,1 UNT, CF=12h
Volume diário	1.170 m <sup>3</sup>	2.340 m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019).

Diversos fatores podem ser preponderantes na quantidade de lodo produzida numa estação de tratamento de água, dentre eles estão: as características da água bruta e dos produtos químicos utilizados, a frequência e a forma de limpeza dos decantadores e dos filtros, dentre outros. Na ETA Pratagy, em termos de volumes, a maior quantidade é da lavagem dos filtros com uma variação média entre 1170m<sup>3</sup> a 2340m<sup>3</sup>; de acordo com a quantidade de carga de sólidos, a produção de lodo é maior nos decantadores.

A Tabela 29 apresenta a estimativa de geração de resíduos na ETA em período seco e chuvoso.

**Tabela 29 - Volume de resíduos gerados pelos decantadores e filtros.**

	<b>Período seco</b>	<b>Período chuvoso</b>
	T = 22,9 UNT, CF=24h	T=63,1 UNT, CF=12h
Volume diário	1.867 m <sup>3</sup>	3.386 m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 30 apresenta o percentual de perda de água estimados em relação a vazão média de água bruta que chega na ETA, de 954 L/s, com a descarga de fundo dos decantadores e lavagem de filtros.

**Tabela 30 - Percentual de perda de água na ETA.**

	<b>Período seco</b>	<b>Período chuvoso</b>
	Percentual de perda	2,2%

Fonte: Autor (2019).

Pelos dados da Tabela 31 percebe-se que o percentual de perda de água com descarga de fundo dos decantadores e águas para lavagens de filtros encontram-se abaixo do valor 5 % sobre a produção de água diária referenciados por Andreoli (2001) e Oliveira (2016).

No entanto, foi observado no vertedor de saída de água dos tanques de sedimentação de resíduos que, mesmo sem descarga dos decantadores ou lavagem de filtros, existe uma lâmina líquida de escoamento constante, mostrando que a ETA apresenta constante perda de água. Paralelamente foi verificado no canal que recebe a descarga de fundo dos decantadores que, mesmo sem descarte de lodo, existe um fluxo contínuo de água no canal, indicando que o fluxo contínuo de escoamento no vertedor de saída dos tanques de sedimentação é proveniente dos decantadores, visto que somente as águas de lavagem de filtros e a descarga de fundo dos decantadores são canalizados para esta unidade.

### 5.3.2. Caracterização e sedimentabilidade dos resíduos dos decantadores

Os valores médios da caracterização físico-química dos resíduos de descarga de fundo dos dois decantadores estão apresentados nas Tabelas 31 e 32.

Vale ressaltar que as características dos resíduos dependem fundamentalmente da forma de operação dos decantadores e da frequência de remoção dos mesmos.

O pH dos resíduos dos dois decantadores é baixo (5,89 a 6,02), o que era esperado, visto que a água bruta que possui baixo pH e alcalinidade, e as características ácidas do sulfato de alumínio que é aplicado na ETA é ácido e não há correção do pH de coagulação.

Os valores de DQO também são semelhantes nos dois decantadores, variaram entre 440 mg/L e 725 mg/L, com os maiores valores observados na descarga 2, a central. Os valores observados são inferiores aos reportados por Soares *et al.* (2014), que estudou a caracterização de resíduos de decantadores convencionais com descarte contínuo a cada 1 hora, em uma ETA que utiliza sulfato de alumínio, cujos valores de DQO variaram em torno de 1.110 mg/L.

**Tabela 31 - Caracterização das amostras de cada saída e composta- DECANTADOR LADO A**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descarga 1</b>	<b>Descarga 2</b>	<b>Descarga 3</b>	<b>Amostra composta</b>
pH	5,89	5,90	6,26	6,02
DQO (mg/L)	589,9	724,0	445,1	581,3
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	110,0	150,00	51,00	81,0
Sólidos Totais (mg/L)	6.436,7	6.236,7	5.293,3	5.988,9
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	1.620,0	1.660,0	1.246,7	1.508,9
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	4.816,7	4.576,7	4.046,7	4.480,0
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	3185,7	4200,0	3385,7	3590,5
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	2385,7	3142,9	2971,4	2833,3
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	800,0	1057,1	414,3	757,1

Fonte: Autor (2019)

**Tabela 32 - Caracterização das amostras de cada saída e composta- DECANTADOR LADO B**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descarga 1</b>	<b>Descarga 2</b>	<b>Descarga 3</b>	<b>Amostra composta</b>
pH	5,57	5,50	5,54	5,54
DQO (mg/L)	499,3	724,5	428,5	539,5
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	285,0	272,0	200,0	283,0
Sólidos Totais (mg/L)	6.360,0	9.180,0	5.840,0	6.050,0
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1.800,0	600,0	1.110,0	1.510,0
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	4.560,0	8.580,0	4.730,0	4.540,0
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	3.946,7	4.840,0	3.306,7	4.066,7
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	2.853,3	3.873,3	3.080,0	2.893,3
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1.093,3	966,7	226,7	1.173,3

Fonte: Autor (2019).

A concentração média sólidos totais é da ordem de 6.000 mg/L, de acordo com as Tabelas 32 e 33, com razão SF/ST de 0,75 o que significa que 75% dos sólidos presente é matéria inorgânica (silte, areia, argila, metais) e cerca de 25% são sólidos voláteis representado a matéria orgânica (matéria coloidal floculada e compostos que contribuem para DQO).

Os sólidos suspensos também têm comportamento semelhante, predominam os sólidos fixos que representam a matéria inorgânica. A relação SST/ST em torno de 0,76 indicam que cerca de 76% dos sólidos estão em suspensão e 24% estão dissolvidos.

A semelhança entre os dados dos dois decantadores indica que os dois lados operam de forma homogênea na sua produção de resíduos.

Percebe-se nenhum parâmetro utilizado na caracterização atende aos padrões de lançamento citados na Resolução CONAMA 430/2011 e que, portanto, não podem ser lançados qualquer corpo de água *in natura*.

As Tabelas 33 e 34 mostram a variação temporal da concentração de sólidos dos resíduos dos decantadores, durante o descarte.

**Tabela 33 - Concentração de sólidos do lodo no tempo –DECANTADOR LADO A.**

PD	Tempo (s)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	SS (ml/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)
1	42	2.583,3	1.923,3	660,0	400,0	5.900,0	1.170,0	4.730,0
	79	167,5	147,5	20,0	4,0	230,0	106,7	123,3
	107	70,0	65,0	5,0	2,5	56,7	36,7	20,0
2	12	347,5	190,0	157,5	290,0	1.586,7	483,3	1.103,3
	29	3.046,7	2.360,0	686,7	898,0	7.055,0	1.960,0	5.095,0
	74	330,0	170,0	160,0	34,0	253,3	100,0	153,3
	113	157,5	125,0	32,5	10,0	83,3	6,7	76,7
3	25	5.030,0	4.182,5	847,5	760,0	6.810,0	1.920,0	4.890,0
	49	322,5	237,5	85,0	19,0	362,5	250,0	112,5
	119	132,5	85,0	47,5	2,0	296,7	270,0	26,7

Fonte: Autor (2019)

Tabela 34 - Concentração de sólidos do lodo no tempo –DECANTADOR LADO B

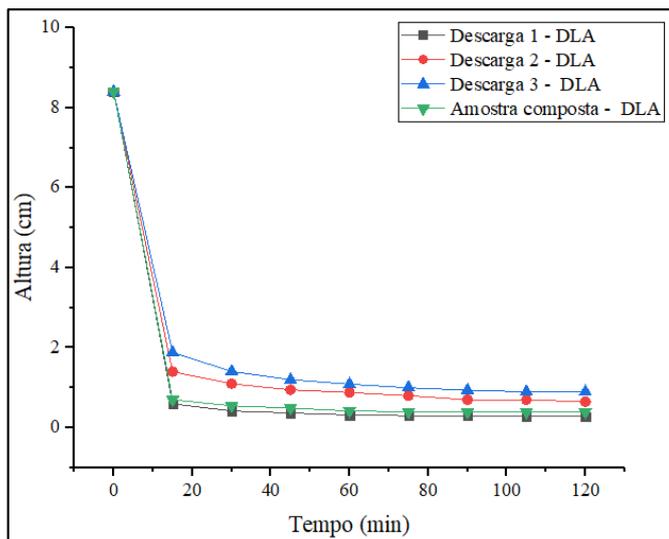
PD	Tempo (s)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	SS (ml/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)
1	23	5836,7	4113,3	1723,3	748	7.003,3	2.000,0	5.003,3
	37	770,0	606,7	163,3	402	3.850,0	766,7	3.083,3
	64	133,3	53,3	80,0	9	220,0	206,7	13,3
	123	176,7	53,3	123,3	2	26,7	3,3	23,3
2	13	3600,0	2120,0	1480,0	946	7.668,0	1.458,0	6.210,0
	30	1843,3	1146,7	696,7	240	2.836,7	1.003,3	1.833,3
	53	406,7	170,0	236,7	100	973,3	460,0	513,3
	85	350,0	56,7	293,3	6	170,0	36,7	133,3
3	16	4220,0	2790,0	1430,0	800	6080,0	1530,0	4550,0
	33	830,0	536,7	293,3	235	2363,3	706,7	1656,7
	81	346,7	120,0	226,7	12	153,3	83,3	70,0
	111	293,3	50,0	243,3	5	260,0	240,0	20,0

Fonte: Autor (2019)

Os dados apresentados nas Tabelas 34 e 35 mostram que a evolução da concentração de sólidos é decrescente ao longo do tempo, a maior massa de sólidos são descartados nos primeiros 40 segundos de descarga, e que a tubulação 2 (a central) é a que a maior concentração de sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis, sugerindo que o tempo de descarga de lodo pode ser reduzido.

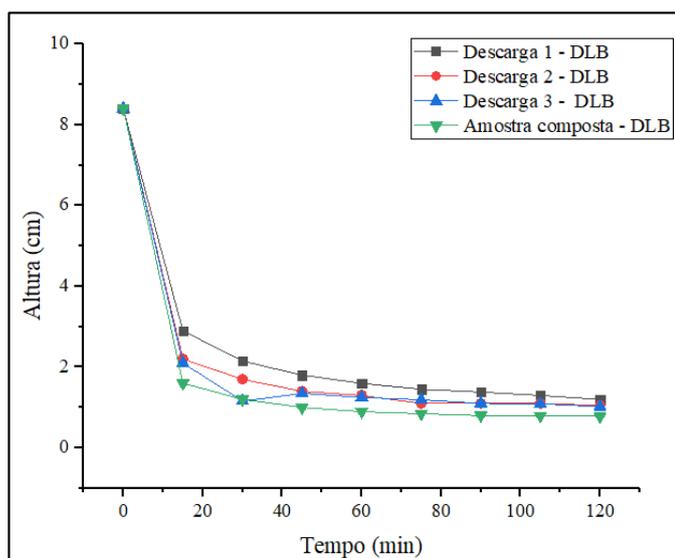
Quanto a sedimentabilidade dos resíduos as Figuras 29 e 30 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de sedimentação durante seu espessamento por gravidade.

**Figura 30: Velocidade de sedimentação - Decantador Lado A.**



Fonte: Autor (2019).

**Figura 31: Velocidade de sedimentação - Decantador Lado B**



Fonte: Autor (2019).

Observa-se nos ensaios das colunas de sedimentação, os dois decantadores apresentaram característica com partículas dispersa até o tempo de aproximadamente 15 minutos, podendo depois disso distinguir uma zona clarificada e uma zona de sólidos sedimentados.

A velocidade de sedimentação para o decantador Lado A foi de 0,16cm/min e do decantador Lado B foi de 0,34cm/min.

### 5.3.3. Caracterização e sedimentabilidade das águas de lavagem dos filtros

Os valores médios da caracterização físico-química das águas de lavagem dos filtros estão apresentados na Tabela 35.

**Tabela 35 - Características físico - químicas dos filtros da ETA Pratagy**

<b>Parâmetro</b>	<b>Amostra composta FLA*</b>	<b>Amostra composta FLB**</b>
pH	6,3	5,97
DQO (mg/L)	43,7	31,1
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	40,3	57,5
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	654,0	540,0
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	478,4	380,0
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	175,6	160,0
Sólidos Totais (mg/L)	870,0	886,4
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	750,0	763,0
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	120,0	123,5

\*FLA – Filtro Lado A

\*\*FLB – Filtro Lado B

Fonte: Autor (2019)

O pH das água de lavagens, embora ainda estejam na fase ácida (6,3 e 5,97), são levemente superiores aos dos resíduos de decantadores.

A DQO é baixa, inferior a 50 mg/L, e representa cerca de 10% da DQO dos resíduos dos decantadores, assim como também a concentração de sólidos totais e suspensos. Observa-se que a relação SF/ST é de 0,86 aumentou em relação a verificada nos resíduos dos decantadores indicando o predomínio dos materiais inorgânicos.

Quanto a sua sedimentabilidade os ensaios de sedimentação durante seu espessamento por gravidade mostraram que, para os dois filtros as partículas se apresentaram características dispersa, não sendo possível observar a interface de separação sólidos liquido, o que demonstra uma baixa sedimentabilidade do lodo.

As Tabelas 36 mostram a variação temporal da concentração de sólidos durante a lavagem do filtro.

Tabela 36: Concentração da água de lavagens dos filtros.

FL	Tempo (s)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	SS (ml/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)
FLA*	12	731	327,3	212,6	104	843,3	357,8	712,9
	32	672,7	606,7	163,3	132	895	116,4	832
	54	511,9	153,3	128,9	47	620,0	106,8	639,3
	76	229	214,5	291,3	5	556,7	122,5	523,3
FLB**	19	531,2	427,1	222,9	92	933,1	257,8	893,76
	43	573,4	203,5	192,3	98	795	114,6	732
	73	311,9	255,72	168,0	41	540,0	110,1	686,99
	98	199,1	187,2	144,78	2	586,7	163,22	323,3

\*FLA – Filtro Lado A

\*\*FLB – Filtro Lado B

Fonte: Autor (2019).

Averiguou-se que os resultados da concentração de sólidos no tempo para a lavagens dos filtros é decrescente, com pouca variação em massa. A quantidade de sólidos sedimentáveis é menor que a encontrada nos decantadores, destaca-se que os dois filtros apresentaram comportamentos também homogêneos, o que é não é esperado visto que os dois lados da estação operam com quantidade de filtros diferentes.

#### 5.3.4. Caracterização do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Pratygy

A ETA possui ainda dois tanques de sedimentação de lodo, para onde são destinados os resíduos provenientes da descarga dos decantadores e da lavagem de filtros. O funcionamento dos tanques foi projetado para uso alternado, um tanque recebe os resíduos enquanto o outro realiza a remoção manual de lodo para ser disposto no aterro sanitário, e o sobrenadante clarificado encaminhado para deságue no Riacho Doce.

No entanto, os tanques de sedimentação não são operados como projetados, as duas unidades permanecem constantemente cheias de lodo, não sendo mais possível reter os sólidos

e todo resíduo é descartado no rio. Desta forma, os resíduos gerados na estação de tratamento atualmente não estão recebendo qualquer tipo de tratamento nem recuperando a água envolvida no processo.

Outras estações de tratamento como a ETA Presidente Prudente e ETA Alto Cotia, localizadas no Estado de São Paulo e que operam em ciclo completo, também possuem o sistema de descarte de seus efluentes sem tratamento no corpo hídrico (KATAYAMA *et al.*, 2015) assim como a verificado na ETA em estudo.

A Figura 31 ilustra os tanques de sedimentação da ETA, onde é possível perceber que todo volume dos tanques está preenchido de lodo e que há presença de vegetação aquática se desenvolvendo sobre ele.

**Figura 32 - Unidade de sedimentação de lodo da ETA Pratagy.**



Fonte: Autor (2019).

#### **5.4. Conclusões parciais**

A gestão do lodo na estação de tratamento influencia diretamente na qualidade operacional. A falta de conhecimento sobre os resíduos gerados na ETA Pratagy é uma das principais dificuldades para se propor uma eficiente gestão, pois detalhes aprofundados são desconhecidos

sobre as características físico-químicas e microbiológicas; uma rotina de limpeza dos filtros e decantadores e, principalmente, as condições operacionais das unidades de tratamento de água.

O estudo apresentou que a estação de tratamento produz uma quantidade de sólidos até 34443,26 t /ano de sólidos secos e esta produção pode apresentar elevada concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos. Um número significativo, visto que algumas estações brasileiras produzem cerca de 89% a menos que a estação avaliada, com a mesma vazão de tratamento.

Os valores com quantidade de sólidos aproximadas nos decantadores sugere eles operam de forma homogênea, ou seja, uma quantidade aproximada de sólidos está sendo retidas nos dois módulos dos filtros.

Existem falhas na ETA Pratagy que indicam que a quantidade de perda de água pode ser bem superior ao estimado, pois existe um fluxo contínuo no canal de descarte indicando perda de água constante. É necessário que se investigue se as válvulas de saídas do canal não estão danificadas.

Cerca de 75% dos sólidos presente é matéria inorgânica (silte, areia, argila, metais), a DQO dos decantadores é da faixa de 440-725mg/L e que nenhum parâmetro utilizado na caracterização atende aos padrões de lançamento citados na Resolução CONAMA 430:2011 e que, portanto, não podem ser lançados qualquer corpo de água *in natura*.

## **6. CAPÍTULO- CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES**

## 6.1. Conclusões gerais

Diversos aspectos devem ser investigados para que uma Estação de Tratamento de Água apresente um adequado desempenho operacional. Esses aspectos vão desde a qualidade da água do manancial, passando pela identificação do funcionamento das unidades de tratamento, a comportamento do coagulante até a gestão da geração de resíduos. De posse das informações alcançadas com este trabalho, foi possível concluir que:

- Os parâmetros de qualidade do manancial Pratagy que abastece a estação de tratamento Pratagy não se enquadra nos limites exigidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios com Classe 2, destinados ao tratamento por tecnologia de ciclo completo;
- As maioria das características qualitativas dos corpos d'água variam com o pluviometria da região. O volume de chuva pode fazer com que variáveis como turbidez, cor, ferro, dureza, *E.coli* tenham seus níveis elevados.
- Os principais parâmetros que não se enquadraram, de acordo com a série histórica dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018, foram o pH, a cor verdadeira e o ferro total e estes podem ocasionar adequações na operacional da estação. Os níveis de pH, estiveram em 60,46% das amostras analisadas abaixo da faixa de 6-9 da Resolução do CONAMA 357:2005, isto é, pode afetar diretamente uma das principais etapas na unidade de produção: a coagulação.
- A verificação do IQAB pode servir de acompanhamento do monitoramento da qualidade da água afluenta a estação. Sua quantificação permitiu mostrar que o manancial Pratagy vem sofrendo alterações nas proximidades a captação. Para o ano de 2018, tanto no período seco quanto para o período chuvoso ele foi qualificado como RAZOÁVEL.
- Os parâmetros hidráulicos calculados da estação indica que as unidades de mistura rápida, floculação e filtração não estão funcionando de acordo com o projetado. Verificou-se, também, que esses mesmos parâmetros não atende os valores da NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Ainda assim, a estação de tratamento consegue absorver as variações da qualidade da água bruta e operacionais;
- A estação de tratamento não opera trabalhando na região de varredura com o coagulante sulfato de alumínio, como é recomendado para a tecnologia de ciclo completo. Para este coagulante, as dosagens devem estar na faixa de 55 a 67,5 mg/L de coagulante e pH 6,5 a 6,77 para atingir a região ótima. O Policloreto de Alumínio não apresentou resultados satisfatórios para as amostra representativa do manancial Pratagy, para o período seco, se for comparado ao coagulante sulfato de alumínio, que é o usado na estação. O PAC mostrou pares

de dosagens versus pH de coagulação difíceis de conciliar uma remoção de cor e turbidez acima de 65%.

- A gestão de resíduos da estação é inexistente. Isto constitui um dos principais problemas operacionais, visto que uma produção de lodo estimada para uma variação média de 1,79 a 2,01 toneladas de sólidos secos lançados sem tratamento acarreta em grandes danos ambientais a região.
- Outro ponto importante a se considerar, é a vazão de água na lavagem dos filtros e decantadores. Cerca de 2 a 3% da água tratada é perdida nessa lavagens, além das perdas devido à falta de manutenção dos registros da ETA.
- Os dois decantadores operam de forma homogênea na produção de resíduos. A parcela de sólidos suspensos fixos (acima de 80%), que incluem resíduos inorgânicos (silte, areia, argila e hidróxidos de metais) e menos de 20% de SSV. O pH do lodo tem caráter ácido devido as características da água bruta e a natureza química do sulfato de alumínio.
- A ETA Pratagy lança seus efluentes sem nenhum tipo de tratamento, ou seja *in natura*. Os valores obtidos nas composição físico-química dos resíduos indicam que a estação de tratamento não se enquadra na Resolução 430/2011 do CONAMA para lançamentos de efluentes.

Por fim, resultados deste trabalho mostraram que mesmo não estando nas condições que devem operadas, uma estação de tratamento com tecnologia em ciclo completo consegue produzir água dentro dos padrões de potabilidade.

## 6.2. Recomendações

Para etapas futuras podem ser feitas:

- Investigação dos diagramas de coagulação para o período chuvoso;
- É interessante verificar os impactos causados no lançamentos dos efluentes da ETA no corpo hídrico receptor;
- Estudos com ensaios de sedimentação e *JarTtest* avaliando a mistura do lodo e da água de lavagem dos filtros;
- Estudo de aplicação de um sistema de gestão dos efluentes na estação de tratamento, com reaproveitamento das águas de lavagens dos filtros;
- Estudo sobre a qualidade da água bruta em função do volume de lodo gerado.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. (2013). **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro**. Engenharia Sanitária Ambiental, 18(2), 115-122.
- ALAGOAS (2014). **Perfil Municipal 2014**. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico de Alagoas - SEPLANDE. Disponível em:< <http://dados.al.gov.br/dataset/perfil-municipal-2014>> Acessado em: 12/01/2019
- ALAGOAS (2019). **Uso Sustentável - APA Pratagy**. Instituto de Meio Ambiente de Alagoas - IMA. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/unidades-de-conservacao/uso-sustentavel/apa-do-pratagy/> Acessado em: 12/01/2019
- ALMEIDA NETO, A.; MACENA, I.; OLIVEIRA, J. (2016). **Análise da concentração de alumínio residual no Rio Gramame proveniente dos efluentes da ETA-Gramame, João Pessoa-PB**. Revista Ambiental, pp. 88 - 96.
- ALMEIDA, M.; SILVA, M.; PAULA, M. (2017). **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água em relação a turbidez, cor e pH**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), pp. 25- 40.
- ALVES, A. L. (2014). **Identificação de impactos ambientais no curso inferior do Rio Pratagy-AL: Imediações do parque residencial Benedito Bentes**. Dissertação (mestrado) - Curso de mestrado em Gestão e Políticas Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE.
- APHA - American Public Health Association. (2005). **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton, 20<sup>a</sup> ed. Maryland.
- AWWA - American Water Works Association. **American society of civil engineers**. New York: American Society of Civil Engineers, 1996. 294 p.
- AMIRTHARAJAH, A. ; MILLS, K. (1982). **Rapid-mix design for mechanism of alum coagulation**. Journal of the American Water Works Association, 74, n. 4, p. 210-216.

ANA - Agência Nacional de Águas(2015). **Indicadores de Qualidade – Índice de Qualidade das Água (IQA)**. Disponível: <portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-águas.aspx#> Acessado em: 10/01/2019

ANDRADE, E. D. (2017). **Análise de eficiência de biopolímero como composto coadjuvante no processo de coagulação-floculação e sedimentação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Campus de Sorocaba).

ANDREOLI, C. V. (2001). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Projeto PROSAB. (ABES, Ed.) Rio de Janeiro: RiMa.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1992). **NBR 12216. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2004). **NBR. 10.004. Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro.

SOS ATLÂNTICA (2019). **Observando os Rios - AL**. Disponível em: <<http://sosobsriosal.znc.com.br/>> Acessado em: 03/12/2018

AUGUSTO, L.; GURGEL, I.; CÂMARA NETO, H.; MELO, C.; COSTA, A. (2012). **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**. *Ciência & Saúde*, 17, 1511-1522.

BAIN, R.; CRONK, R.; HOSSAIN, R.; BONJOUR, S.; ONDA, K.; WRIGHT, J.; BARTRAM, J. (2014). **Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review**. *Tropical Medicine and International Health*, 917–927.

BARTIKO, D.; DE JULIO, M. (2014). **Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento**. *Revista Ambiente Água*, 12.

BASTOS, R. K.; VARGAS, L. C.; MOYSÉS, H. C. (2000). **Avaliação do desempenho de estações de tratamento de água - Desvendando o real**. Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (pp. 27 (pp. 1-8)). ABES.

BLEINROTH, L.J.M.; LEAL JUNIOR, C.; AMORIM, E. (2016). **Aplicação do índice de qualidade da água (IQA-CETESB) em rios de Maceió-AL**. XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE.

BRASIL (1988). **Constituição Federativa do Brasil**. 292 p. Brasília, DF, Senado Federal: Centro Gráfico.

BRASIL (2005). Resolução CONAMA n° 357. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União.

BRASIL (2006). Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para controle humano**. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/bvs>>. Acessado em: 12/12/2018

BRASIL (2007). **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL (2010). **Decreto Nº 7.217, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL (2011). **Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no.

BRASIL (2017). **Portaria de consolidação n.5 de 28 de setembro de 2017**. ANEXO XX.

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2019). **Mananciais**. Cidades Sustentáveis - Águas Urbanas. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais.html>> Acessado em: 23/11/2018

BROWN, R. M.; MCCLELLAND, N. I.; DEINIGER, R. A. (1970). **A water quality index – do we dare?** Water & Sewage Works, v. 117, 339-343.

CETESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2018). **Águas interiores**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads>> Acessado em: 13/01/2019.

CHIEN, H.; PIERCE, K. (2018). **Impacts of Changed Stream flow on Selected Water Quality Parameters in the Upper Esopus Creek Watershed of New York, USA**. Journal of Geography and Earth Sciences, 6, 71-78. doi:<https://doi.org/10.15640/jges.v6n1a5>

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. (2014). **Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification**. Journal of environmental sciences, 26(11), 2179 - 2189.

CASAL- COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS. (2018). **Sistema Pratygy**. Disponível em: <<http://casal.al.gov.br/>> Acessado em : 25/01/2018

CONSTANTINO, A.; YAMAMURA, V. (2009). **Redução de gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando PAC**. Simpósio de Pós- Graduação em Engenharia Urbana. Maringá-PR.

CORNWELL, D. A.; BISHOP, M. M.; GOULD, R. G.; VANDERMEYDEN, C. (1987). **Handbook of Water treatment plant waste management**. Denver: American Water Works Association, 484 p., 1987.

CORTÊS, P.L; TORRENTE, P.; ALVES FILHO, A.P.; RUIZ, M. S.; DIAS, A. J. G.; RODRIGUES, R. (2015). **Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico**. Estudos Avançados. DOI: 10.1590/S0103-40142015000200002

COSTA, E. R. H. (2016). **Coagulation diagrams as an essential tool for reducing costs with chemicals in Water Treatment Plants (WTP's)**. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: AIDIS. Cartagena, Colombia.

COTRIM, M. (2006). **Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeira de Iguape com Vistas para o Abastecimento Público**. Tese apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

CRISTO FILHO, M.; COSTA, E. (2018). **Application study of a tannin based coagulant in water**. 18. ENASB/18. SILUBESA. Porto..

DE JULIO, M.; FIORAVANTE, D.; SELHORST FILHO, O.; GRAHAM, N. (2010). **Remoção de cianobactérias de água proveniente de manancial brasileiro eutrofizado, utilizando os diagramas de coagulação para o sulfato de alumínio e PAC.** Engenharia Civil-UM.

DI BERNARDO, L.;DANTAS, A. D. (2005). **Métodos e técnicas de tratamento de água.** São Carlos: RiMa.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.B.; VOLTAN, P.E.N. (2011). **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe.

EMELKO, M. B.; SILINS, U.; BLADON, K. D.; STONE, M. (2011). **Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies.** Water Research, 45(2), 461- 472.

FERRARI, T. N.; DE JULIO, M., DE JULIO, T. S.; SOUSA JÚNIOR, W. C. (2012). **Estudos de tratabilidade das águas do Rio Paraíba do Sul que abastece o município de São José dos Campos/SP.** AIDIS, 45-58.

FREGONESI, B. M.; SAMPAIO, C. D. F.; RAGAZZI, M. F., TONANI, K. D. A., & SEGURA-MUÑOZ, S. I. (2012). **Cryptosporidium e Giardia: desafios em águas de abastecimento público.** Mundo da Saúde, 36(4), 602-609

HAMERSKI, M. (2016). **Estudo da eficiência de inativação de patógenos presentes em um manancial urbano através da fotólise.** Trabalho de conclusão de curso (TCC). Campus Cerro Largo. Universidade Federal da Fronteira Sul- UFFS.

KAWAMURA, S. **Integrat design of water treatment facilities.** New York: John Wiley & Sons, 1991. 720 p.

KATAYAMA, V.; MONTES, C.; FERRAZ, T.; MORITA, D. (2015). **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica.** Eng Sanit Ambient , pp. 559-569. doi:DOI: 10.1590/S1413-41522015020040105046

KUMMU, M.; WARD, P.J.; DE MOEL, H.;VARIS, O. (2010). **Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia.** Environmental Research Letters, 5, 3.

- LIBÂNIO, M. (2010). Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas: Átomo.
- LOPES, V.C. (2005) **Índice de qualidade de desempenho de estações convencionais de tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) –Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- MACÊDO, C.R.S.; TORRES, M.; ASSIS, J. (2002). **Estudo do desmatamento através de imagem de satélite:bacia do Rio Pratagy em Alagoas**. Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, (p. 4). Aracaju.
- MACEIÓ (2017). **Plano Municipal de Saneamento Básico e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos do Município de Maceió**. Disponível em:< <https://www.pmsbmaceio.com.br/>>  
Acessado em: 15/01/2019
- MENDES, L.; FERREIRA, I. (2014). **Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba - MG**. Hygeia, pp. 97 - 105.
- OLIVEIRA, D. C.; BASTOS, R. K.; PIMENTA, J. D.; BORGES, N.; FREITAS, A. G. (2007). **Avaliação de desempenho de uma unidade de decantação convencional: levantamento dos parâmetros hidráulicos e sua influência na qualidade da água decantada**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica.
- OLIVEIRA, G. A. (2016). **Remoção de cianobactérias de águas por processo de flotação por ar dissolvido**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria , Centro de Tecnologia , Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Santa Maria, RS.
- OLIVEIRA, I.; RONDON, O. (2016). **Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul**. INTERAÇÕES, v. 17, n. 4, p. , 687-698. Campo Grande, MS. doi: 10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(11)
- PADILHA, F.; MODOLO, R. (2017). **Utilização de lodo de estação de tratamento de água como substrato para produção de mudas**. Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais, 8.
- PIRATOBA, A.R.A.; RIBEIRO, H.; MORALES, G.; GONÇALVES, W. (2017). **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA,**

**Brasil.** Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, (p. 22). doi: 10.4136/ambi-água.1910

PRADO, T.; MIAGOSTOVICH, M. P. (2014). **Virologia ambiental e saneamento no Brasil:uma revisão narrativa.** Cad. Saúde Pública, 1367-1378.

PRATI, P.; MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B. ( 2005). **Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas.** Food Science and Technology, v. 25, p. 147-152,.

REALI, M. A. P. **Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs.** In: REALI, M. A. P (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 21-39.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água.** São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 112 p.

RICHTER, C. A. (2009). **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blücher.

RODRIGUES, A. R.; GALDINO, L.; SILVA, D. (2017). **Pratagy – o maior sistema de tratamento de água da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL).** Ciências exatas e tecnológicas.

RÔLA,A.K.K.; DE CASTRO, G.M.; SANTANA, H.F.; DE SOUZA,J.J.L.L.; SILVA,D.J. (2016). **Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para a aplicação em sistemas de tratamento de água.** Journal of Chermical Engineering and Chermistry- JCE, pp. 014-033.

SEMARH - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS - (2018). **Base cartográfica digital das Regiões Hidrográficas da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas.** Disponível em:< <http://www.semarh.al.gov.br/>> Acessado em: 02/04/2018

SILVA JÚNIOR, R.; LIMA, J.; VILAS BOAS, L.; SOUZA, V.; PEDROSA, V. (2005). **Estimativas de oferta e demanda hídricas no rio Pratagy utilizando técnicas de regionalização.**

SOUZA, F.G.C. (2004). **Ocorrência de sólidos e metais na água tratada e nos resíduos gerados em ETA convencional de ciclo completo com descargas diárias**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

SOUZA, M. E. (2008). **Proposição de um índice de qualidade da água bruta afluyente a estações convencionais de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, 117. Belo Horizonte, Minas Gerais: Escola de Engenharia da UFMG.

TAVARES, T. D.; CARDOSO, D. D.; BRITO, W. M. (2005). **Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água**. Revista de Patologia Tropical, 85-104.

TEIXEIRA, T.; BRANDÃO, C. (2016). **Avaliação da filtração lenta como tratamento de águas com baixa turbidez e presença de algas e cianobactérias: aplicação à água do lago Paranoá/DF**. XIV ENEE Amb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste, (p. 8). Brasília.

UN-WATER- United Nations Water (2019). **Statistics, graphs and maps**. Disponível em:< <http://www.unwater.org/>> Acessado em: 02/04/2018

VIANNA, M. R. (2014). **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. Belo Horizonte: .

WADA, Y.; VAN BEEK, L. P.; WANDERS, N.; BIERKENS, M. F. (2013). **Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide**. Environmental Research Letters, 8, 3.

WHO - World Health Organization (2017). **Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment**. Geneva.

## APÊNDICE A

TABELA 1.A. Resultados físico-químicos e microbiológicos 2015- 2016

	Período seco				Período chuvoso				
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
2015	pH	6,19	0,21	5,78	6,70	6,22	0,13	6,08	6,46
	Cor Verdadeira	19,83	6,56	7,00	29,00	42,50	28,00	8,00	86,00
	Turbidez	27,27	13,93	7,72	56,40	44,05	42,98	8,88	130,00
	Alcalinidade HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14,67	2,67	8,00	18,00	16,50	1,50	14,00	18,00
	Dureza Total	14,67	6,00	6,00	22,00	17,00	2,50	12,00	20,00
	Ferro Total	2,02	0,99	0,68	3,84	2,56	2,39	0,32	7,35
	Cloretos	17,83	1,17	16,00	20,00	19,75	2,75	15,00	25,00
	Coliformes totais	1895,33	672,89	172,00	2400,00	4600,00	2933,33	2400,00	9000,00
	<i>Escherichia coli</i>	110,33	106,44	0,00	300,00	700,00	0,00	700,00	700,00
2016	pH	5,80	0,40	5,20	6,44	4,99	0,33	4,45	5,49
	Cor Verdadeira	14,71	3,96	9,00	21,00	45,00	36,40	3,00	130,00
	Turbidez	10,82	3,87	3,29	19,90	33,04	25,98	9,22	98,00
	Alcalinidade HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23,14	16,82	12,00	82,00	17,20	2,56	14,00	20,00
	Dureza Total	12,86	4,65	8,00	22,00	13,60	3,68	8,00	20,00
	Ferro Total	1,00	0,26	0,61	1,42	1,15	0,31	0,58	1,79
	Cloretos	15,57	3,22	6,00	21,00	17,40	1,44	16,00	21,00
	Coliformes totais	7525,86	8956,65	130,00	24000,00	5596,40	7361,44	240,00	24000,00
	<i>Escherichia coli</i>	496,14	715,39	8,00	3000,00	832,60	649,92	33,00	2200,00

Fonte: Autor, 2019

TABELA 2.A. Resultados físico-químicos e microbiológicos 2017 -2018

	Período seco				Período chuvoso				
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
2017	pH	6,09	0,54	4,97	6,95	5,54	0,27	5,17	6,17
	Cor Verdadeira	42,33	17,11	15,00	89,00	46,90	21,52	17,00	74,00
	Turbidez	29,81	18,92	9,68	65,20	23,10	13,60	6,48	55,70
	Alcalinidade HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20,00	3,33	16,00	28,00	18,40	5,28	10,00	28,00
	Dureza Total	15,67	2,33	12,00	18,00	16,00	4,00	10,00	20,00
	Ferro Total	1,06	0,26	0,53	1,65	1,88	0,66	0,99	2,86
	Cloretos	19,50	2,50	16,00	24,00	22,20	3,84	17,00	29,00
	Coliformes totais	12260,00	11740,00	130,00	24000,00	5213,80	7514,48	50,00	24000,00
	<i>Escherichia coli</i>	374,33	441,89	2,00	1700,00	140,00	128,00	20,00	300,00
2018	pH	5,81	0,20	5,37	6,15	5,75	0,11	5,62	5,98
	Cor Verdadeira	35,80	8,56	19,00	51,00	92,00	54,80	32,00	229,00
	Turbidez	34,54	26,17	6,99	87,40	43,18	13,34	19,80	66,10
	Alcalinidade HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16,00	3,20	10,00	20,00	10,80	1,92	6,00	12,00
	Dureza Total	13,60	0,64	12,00	14,00	14,80	5,76	8,00	24,00
	Ferro Total	2,01	0,68	1,05	3,66	1,79	0,52	1,20	2,78
	Cloretos	17,60	2,72	15,00	24,00	16,60	1,68	14,00	19,00
	Coliformes totais	23097,50	34351,5	110,00	91800,00	1824,67	2396,89	8,00	5420,00
	<i>Escherichia coli</i>	188,00	164,80	20,00	600,00	653,50	646,50	7,00	1300,00

## APÊNDICE B

Tabela 1.B. - Parâmetros hidráulicos e dimensões da unidade de mistura rápida de ETA Pratagy - Etapa coagulação

<b>Largura</b>	7,5 m		
<b>Comprimento</b>	19,75 m		
<b>Parâmetro</b>	<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>	<b>Vazão máxima</b>
Qt- Vazão da ETA (m <sup>3</sup> /s)	0,877	0,954	0,983
K- Coeficiente de perda de carga	1,67	1,67	1,67
	0,44*	0,44*	0,44*
Rh - Raio hidráulico (m)	1,29**	1,29**	1,29**
	0,96***	0,96***	0,96***
	0,12*	0,13*	0,13*
V <sub>ch</sub> - Velocidade nas passagens das chicanas (m/s)	0,06**	0,06**	0,07**
	0,09***	0,10***	0,10***
G <sub>ch</sub> - Gradiente de vel. nas passagens das chicanas (s <sup>-1</sup> )	3,69*	4,19*	4,38*
	0,78**	0,89**	0,93**
	1,71***	1,94***	2,03***
V <sub>t</sub> - Velocidade nos trechos retos (m/s)	0,029	0,032	0,033
hp - Perda de carga nos trechos retos (m)	7,39E-05	8,75E-05	9,28E-05
T <sub>d</sub> -Tempo de detenção dos trechos retos (s <sup>-1</sup> )	136 <sup>1</sup>	125 <sup>1</sup>	121 <sup>1</sup>
	226 <sup>2</sup>	207 <sup>2</sup>	201 <sup>2</sup>
G <sub>t</sub> - Gradiente de vel. nos trechos retos (s <sup>-1</sup> )	2,28 <sup>1</sup>	2,71 <sup>1</sup>	2,87 <sup>1</sup>
	1,77 <sup>2</sup>	2,10 <sup>2</sup>	2,23 <sup>2</sup>
G <sub>m</sub> -Gradiente de mistura rápida (s <sup>-1</sup> )	19	22	23
T <sub>mr</sub> – Tempo de mistura (s)	653	601	583
Condições operacionais da ETA	NC= 13222		
Condições operacionais da NBR 12216/1992	NC= 3500		

\*Passagem da água pelas chicanas superiores (chicanas 1 e 3); \*\*Passagem pelas chicanas inferiores de 2m de altura (chicanas 2 e 4); \*\*\*Passagem pela chicana inferior de 2,68 m de altura (chicana 5); <sup>1</sup>Trecho 1, 2 e 3 da unidade de mistura rápida (4 de comprimento); <sup>2</sup>Trecho 4 da unidade de mistura rápida (6,65 m de comprimento).

Fonte: Autor (2019).

**Tabela 2.B. - Parâmetros hidráulicos e dimensões da unidade de mistura lenta de ETA Pratagy - Etapa floculação**

<b>Dimensões das câmaras</b>	7,80m x 7,80m		
<b>Tipo de Seção</b>	Quadrada		
<b>Altura útil</b>	4,10m		
<b>Dimensões das passagens</b>	<b>Comporta de entrada na 1ª câmara</b>	<b>Passagem entre as câmaras 1 e 2, 2 e 3, 3 e 4</b>	<b>Passagem entre a câmara 4 e o canal de água floculada</b>
Largura (m)	1,2	3,4	1,5
Comprimento (m)	1,2	0,8	1,5
<b>Parâmetro</b>	<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>	<b>Vazão máxima</b>
Q <sub>n</sub> - Vazão afluyente ao floculador (m <sup>3</sup> /s)	0,44	0,48	0,49
V <sub>n</sub> - Volume do conjunto de floculação (m <sup>3</sup> )	997,8	997,8	997,8
T <sub>f</sub> - Tempo de floculação (min)	37,8	34,6	33,9
K - Coeficiente de perda de carga	1,67	1,67	1,67
RH - Raio hidráulico (m)	0,4* 0,3** 0,5***	0,4* 0,3** 0,5***	0,4* 0,3** 0,5***
vp- Velocidade na passagem entre as câmaras (m/s)	0,34* 0,18** 0,19***	0,33* 0,18** 0,21***	0,34* 0,18** 0,22***
G <sub>p</sub> - Gradiente de velocidade nas passagens (s <sup>-1</sup> )	18,9* 8,1** 7,5***	18,5* 7,9** 8,5***	19,3* 8,3** 8,9***
hc- Perda de carga na câmara	0,19	0,2	0,2
G <sub>f</sub> - Gradiente de velocidade nas câmaras de floculação (s <sup>-1</sup> )	19,2 <sup>1</sup> 8,3 <sup>2</sup>	18,7 <sup>1</sup> 8,1 <sup>2</sup>	19,7 <sup>1</sup> 8,5 <sup>2</sup>
V <sub>c</sub> - Velocidade média de escoamento no canal de água floculada (m/s)	4,9	5,3	5,4

\* Passagem da comporta de entrada para 1ª câmara de floculação; \*\* Passagem da: i) 1ª câmara para 2ª câmara de floculação; ii) 2ª câmara para 3ª câmara de floculação e iii) 3ª câmara para 4ª câmara de floculação; \*\*\*Passagem da 4ª câmara de floculação para o canal de água floculada; 1Primeira câmara de floculação; 2Segunda, terceira e quarta câmaras de floculação.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 3.B - Parâmetros hidráulicos e dimensões da ETA Pratagy - Etapa decantação

Parâmetros hidráulicos		Vazão mínima	Vazão média	Vazão máxima
Qd -Vazão afluyente ao decantador	m <sup>3</sup> /s	0,44	0,48	0,49
Ad-Área do decantador	m <sup>2</sup>	349	349	349
Txv-Taxa Virtual de aplicação superficial	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . dia	109	118	122
nc-Número de canais distribuido água	und	3	3	3
qc-Vazão por canal	m <sup>3</sup> /s	0,15	0,16	0,16
Ac- Área inicial dos canais	m <sup>2</sup>	0,45	0,45	0,45
Velocidade inicial dos canais	m/s	0,32	0,35	0,36
Cd - Coeficiente de descarga	-	0,6	0,6	0,6
no-Número de orifícios por canal	und	40	40	40
do-Diâmetro do orifício	m	0,25	0,25	0,25
Ao-Área de cada orifício	m <sup>2</sup>	0,049	0,049	0,049
qo-Vazão no orifício	m <sup>3</sup> /s	0,004	0,004	0,004
Vo-Velocidade do Orifício	m/s	0,074	0,081	0,083
Re - Num.Reynolds	-	20819	22656	23341
Xo/s	-	4,1	4,1	4,1
S - Espaçamento entre centros orifícios	m	0,9	0,9	0,9
Xo -Alcance dos jatos	m	3,69	3,69	3,69
Gcor - Grad.de veloc. nos orifícios do tubo de distribuição de água floc.	s <sup>-1</sup>	3,24	3,68	3,85
Au -Área útil do decantador	m <sup>2</sup>	278	278	278
VL -Velocidade de escoamento ascensional	cm/s	0,16	0,17	0,18
Ncd - N° de calha de coleta de água decantada	und	6	6	6
Qc -Vazão na calha	m <sup>3</sup> /s	0,07	0,08	0,08
L-Comprimento da calha	m	19	19	19
QL-Vazão linear de coleta de água decantada	L/s.m	3,79	4,12	4,25

Fonte: Autor (2019).

Tabela 4.B - Parâmetros hidráulicos e dimensões da ETA Pratagy - Etapa filtração

LADO	Vazão afluente ao filtro (m <sup>3</sup> /s)	Área da seção do leito filtrante perpendicular ao fluxo (m <sup>2</sup> )	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Volume de lavagem (m <sup>3</sup> )	Velocidade ascensional (cm/min)	Volume produzido por carreira (m <sup>3</sup> )		
						12h	24h	48h
4 filtros (Paralelo)	0,110	78	121	300	38	4736	9473	18945
	0,119	78	132	300	38	5154	10308	20617
	0,123	78	136	300	38	5310	10620	21240
2 filtros (Paralelo)	0,219	78	243	300	38	9473	18945	37890
	0,239	78	264	300	38	10308	20617	41233
	0,246	78	272	300	38	10620	21240	42480

1 Tempo de operação do filtro entre duas lavagens. Na ETA Pratagy a carreira varia entre 12 e 48 horas.

2 Calculada para o tempo de lavagem de 10 minutos.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 5.B - Parâmetros hidráulicos e dimensões da ETA Pratagy - Etapa desinfecção

<b>Área da câmara de contato</b>		189m <sup>2</sup>
<b>Lâmina líquida</b>		4,75m
<b>Volume</b>		897,8m <sup>3</sup>
<b>Parâmetro</b>	<b>Vazão mínima</b>	<b>Vazão média</b>
Vazão da ETA	m <sup>3</sup> /s Qt	0,877 0,954
Tempo de detenção	min Tc	17,06 15,68
		<b>Vazão máxima</b>
		0,983 15,22

Fonte: Autor (2019).

## ANEXO A

### 1A. Questionário de caracterização física-operacional da ETA

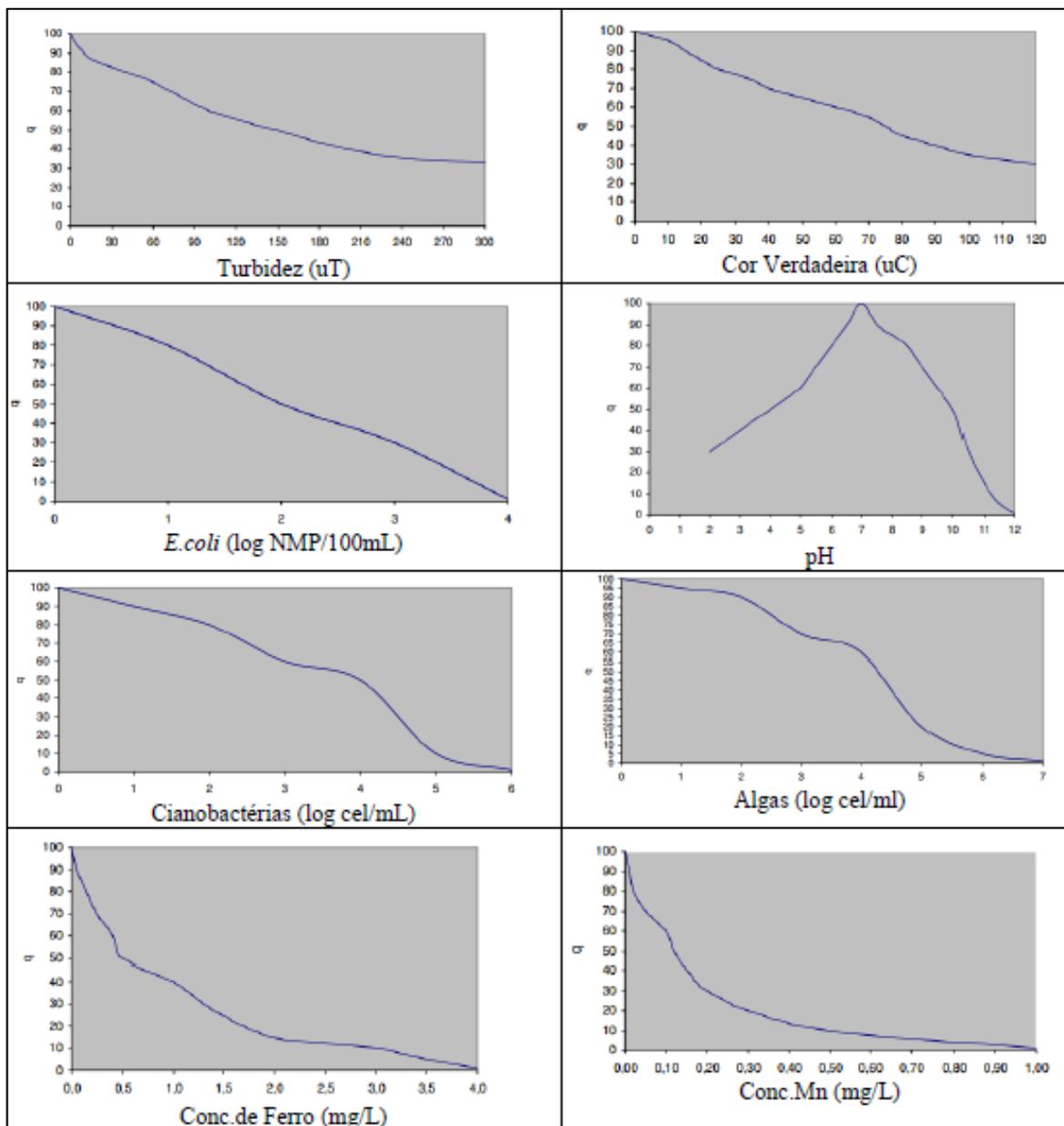
1. Tempo de funcionamento da ETA (24h?):
2. Vazão efetiva:
3. Quais parâmetros de qualidade da água bruta e tratada e operacionais são monitorados na estação? Qual a frequência?
4. Produtos químicos? Como é feita a dosagem de coagulante químico?
6. Quais as alterações significativas mais comuns que acontecem com a qualidade da água?
7. Qual é o tipo dos decantadores utilizados? Quantos? Qual o tipo de módulos (plásticos fornecidos em blocos, placas de fibrocimento, ondulados superpostos, telhas hexagonais, plásticos para montagem e constituição do bloco)? Qual profundidade dos decantadores?
8. Tempo médio para descarga de lodo do decantador:
9. Como é feita a descarga de lodo? (Hidráulica, mecanizada?)
10. Tempo médio para lavagem dos filtros
11. Como é feita a limpeza dos filtros? Qual o tipo de filtração utilizada? Utiliza ar e água? Volume de água gasto?
12. Como é operado os filtros? (Perda de carga total constante e velocidade de aproximação variável, Perda de carga total constante e velocidade de aproximação constante, Perda de carga total variável e velocidade de aproximação constante, Perda de carga total variável e velocidade de aproximação variável)
13. Já houve troca do leito filtrante? Qual o critério utilizado para fazer tal operação ou mesmo não fazer?

14. Qual volume é armazenado para a lavagem dos filtros? Há um reservatório especial para tal armazenamento?
15. A vazão de chegada e saída é medida constantemente?
16. Como é feita a regularização da vazão, em relação à variação do consumo da população? Por meio dos reservatórios?
17. Os tempos de detenção em cada unidade são conhecidos?
18. Como é feita a desinfecção? É feita em um tanque de contato?
19. Quais as dimensões das unidades? Floculador, decantador, filtro e reservatório?  
(Aferir nas plantas)
20. Como é feita a gestão do lodo?

## 2.A. Cálculo do IQA – Índice da Qualidade da Água Bruta

O cálculo do IQA para avaliar a qualidade da água bruta considerou:

**Figura A.1 – Curvas de valorização da condição de cada parâmetro do IQAB.**



Fonte: Souza (2008)

O cálculo do IQAB é feito por meio do produtório ponderado das notas que foram atribuídas para cada parâmetro, segundo a seguinte fórmula:

$$IQAB = \prod_i^n qi^{wi}$$

Onde:

IQAB= Índice de Qualidade das Águas - número entre 0 e 100;

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro- número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

$W_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$n$  = número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

## ANEXO B

### 1.B. Cálculo do gradiente de velocidade nos trechos retos

$$Gt = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_p}{\mu \cdot T_d}}$$

Onde,

Gt – gradiente de velocidade no trecho (s-1);

$\gamma$  – peso específico da água a 25°C (N/m<sup>3</sup>);

h<sub>p</sub> – perda de carga no trecho (m);

$\mu$  - viscosidade absoluta da água a 25°C (N.s/m<sup>2</sup>);

T<sub>d</sub> – tempo de detenção no trechos (s).

### 2.B. Gradientes nas passagens pelas chicanas

$$G_h = \left(\frac{\gamma}{2\mu g}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{f}{4Rh}\right)^{1/2}$$

Onde,

G<sub>ch</sub> – gradiente de velocidade na passagem pela chicana (s-1);

f – rugosidade relativa;

V<sub>ch</sub> – velocidade na passagem pela chicana (m/s)

R<sub>h</sub>- Raio hidráulico (m)

g- gravidade (m/s)

### 3.B. Gradiente da mistura rápida

$$Gm = \sum_{i=1}^4 G_{ti} + \sum_{j=1}^5 G_{chj}$$

(5)

Onde,

$G_{mr}$  – gradiente de velocidade de mistura rápida ( $s^{-1}$ );

$G_{ti}$  – gradiente de velocidade no trecho  $i$  ( $s^{-1}$ );

$G_{chj}$  – gradiente de velocidade na passagem pela chicana  $j$  ( $s^{-1}$ ).

#### 4.B. Tempo de mistura rápida

$$T_{mr} = \frac{l \cdot N \cdot A \cdot L}{Q_t}$$

Onde,

$T_{mr}$  – tempo de agitação de mistura rápida (s);

$L$  – comprimento da unidade de mistura rápida da ETA a partir do ponto de aplicação do coagulante (m);

$NA$  – nível de água na unidade de mistura rápida (m);

$l$  – largura da unidade de mistura rápida (m);

$Q_t$  – vazão da ETA ( $m^3/s$ ).

#### 5.B. Número de Camp

$$NC = G_{mr} \times T_{dm}$$

Onde:

$G_{mr}$  – gradiente de velocidade de mistura rápida ( $s^{-1}$ );

#### 6.B. Gradientes de velocidade nas passagens entre as câmaras

$$G_p = \left[ \frac{\gamma}{2\mu g} \right]^{1/2} \cdot \left[ \frac{f}{4Rh} \right]^{1/2}$$

Onde,

$G_p$  – gradiente de velocidade das passagens entre as câmaras de floculação ( $s^{-1}$ );

$f$  – rugosidade relativa;

$V_p$  – velocidade nas passagens entre as câmaras de floculação (m/s).

#### 7.B. Gradientes de velocidade nas câmaras de floculação

$$G_f = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_c}{\mu T_f}} + G_p$$

Onde,

$G_f$  – gradiente de velocidade da floculação (s-1);

$h_c$  – perda de carga na câmara de floculação (m);

$T_f$  – tempo de floculação (s).

### 8.B. Velocidade média de escoamento no canal de água floculada

Onde,

$$V_c = 100 \times \frac{Q_{fl}}{A_c}$$

Onde,

$V_c$  – velocidade média de escoamento no canal de água floculada (cm/s);

$Q_{fl}$  – vazão afluyente ao floculador (m<sup>3</sup>/s);

$A_c$  – área da seção do canal de água floculada perpendicular ao fluxo (m<sup>2</sup>).

### 9.B. Taxa Virtual de aplicação superficial

$$T_{xv} = 86400 \times \frac{Q_d}{A_d}$$

Onde,

$V_c$  – velocidade média de escoamento no canal de água floculada (cm/s);

$Q_{fl}$  – vazão afluyente ao floculador (m<sup>3</sup>/s);

$T_{xv}$  – taxa virtual de aplicação superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia);

$Q_d$  – vazão afluyente ao decantador (m<sup>3</sup>/s);

$A_d$  – área do decantador (m<sup>2</sup>).

### 10.B. Gradiente de velocidade através dos orifícios do tubo de distribuição de água floculada

$$G_{cor} = \frac{d_0}{S_0} \times \sqrt{\frac{\pi \cdot v_0^2}{8\nu C_d^2 X_0}}$$

Onde,

$G_{cor}$  – Gradiente de velocidade através dos orifícios do tubo de distribuição de água floculada ( $s^{-1}$ );

$d_0$  – diâmetro dos orifícios do tubo de distribuição de água floculada (m);

$S_0$  - espaçamento entre centros dos orifícios (m);

$v_0$  – velocidade no orifício (m/s);

$\nu$  - viscosidade cinemática da água a 25°C ( $m^2/s$ );

$C_d$  – coeficiente de descarga;

$X_0$  – alcance dos jatos (m).

#### 11.B. Velocidade média de escoamento ascensional

$$V_L = 100 \times \frac{Q_d}{A_d}$$

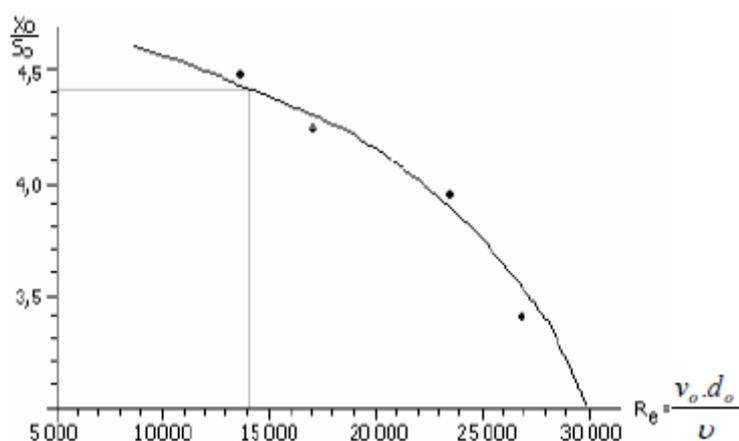
Onde:

$V_L$  - velocidade média de escoamento ascensional (cm/s);

$A_u$  - área útil do decantador ( $m^2$ ).

12.B. Cálculo do alcance dos jatos ( $X_0$ ) tomou-se como referência o gráfico apresentado a seguir.

**Figura 33 - Variação de  $X_0/S_0$  em função do número de Reynolds**



#### 14.B. Vazão linear de coleta de água decantada

$$V_L = 1000 \times \frac{Q_c}{L}$$

Onde,

$Q_L$  – vazão linear de coleta de água decantada (L/s.m);

$Q_c$  – vazão na calha ( $m^3/s$ );

$L$  – comprimento do tubo (m).

#### B.14. Taxa de filtração

$$T_{xv} = 86400 \times \frac{Q_f}{A_f}$$

Onde:

$T_{filt}$  – taxa de filtração ( $m^3/m^2.dia$ );

$Q_f$  – vazão afluyente ao filtro ( $m^3/s$ );

$A_f$  – área da seção do leito filtrante perpendicular ao fluxo ( $m^2$ ).

#### B.15. Volume produzido por carreira de filtração

$$Vol_{prod.} = Q_f \cdot D_{carr} \cdot 3600$$

Onde,

$Vol_{prod.}$  - Volume produzido por carreira ( $m^3$ );

$D_{carr}$  – duração da carreira (hora).

#### B.16. Velocidade ascensional na lavagem dos filtros

$$T_{xv} = \frac{\frac{\text{Volprod}}{t_{lav}}}{Af} \times 100$$

Onde,

Vasc - velocidade ascensional de lavagem dos filtros (cm/min).

tlav - tempo de lavagem dos filtros (min).