

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIOVANE DE MELLO NORONHA

ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ETE FEITORIA NA CIDADE DE
SÃO LEOPOLDO

SÃO LEOPOLDO
2018

Giovane de Mello Noronha

ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS da ETE FEITORIA NA CIDADE DE
SÃO LEOPOLDO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Graduado em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Luis Alcides Schiavo Miranda

São Leopoldo

2018

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Adriana e Wilson, que tiveram comigo desde o princípio, incentivando, apoiando minhas decisões e que são o motivo principal de eu estar me formando engenheiro. À minha namorada Marina Keffori por todo o carinho, compreensão e apoio.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Luis Alcides Schiavo Miranda, por aceitar ser meu orientador e seguidamente me apoiar e incentivar durante todo o período de pesquisa, ainda mais quando percalços foram encontrados. O meu sincero agradecimento.

Aos colegas Éder Martins Specht, Leonardo Scalco e Stephany Agliardi com quem pude contar nos momentos mais difíceis do curso, e aos demais por tornarem a jornada diária prazerosa.

RESUMO

Na procura pela melhora dos corpos hídricos o tratamento do esgoto sanitário é fundamental, uma vez que quando lançados nos corpos receptores, sem o correto tratamento, podem apresentar sérios riscos à vida aquática. Para que não ocorra isso, o esgoto deve ser tratado em unidades especializadas conhecidas como Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Nelas ocorrem o tratamento físico, químico e biológico em diversas etapas. No intuito de melhor entender o funcionamento de uma ETE, este trabalho avaliou a eficiência do tratamento de esgoto sanitário na ETE Feitoria em São Leopoldo/RS que compreende tratamento físico e biológico, por meio de lagoa aerada facultativa seguida de decantador convencional. Outra avaliação feita foi verificar a influência do efluente tratado no corpo receptor, o Arroio Peão. Na avaliação da eficiência da ETE foram analisados os parâmetros de coliformes termotolerantes, DBO_5^{20} , DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e SST, os quais apresentaram uma remoção média de 99,98%, 90,26%, 89,65%, 73,96%, 95,61% e 84,53%, respectivamente, atendendo a Resolução CONSEMA 128/2006 quanto ao padrão de lançamento. Quanto a influência do lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão, os parâmetros coliformes termotolerantes, cor e turbidez apresentaram melhor qualidade após a entrada do esgoto tratado, porém os demais parâmetros analisados, DBO_5^{20} , fósforo total, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido, SDT e SST apresentaram decréscimo de qualidade.

Palavras-chave: Esgoto sanitário. Tratamento biológico. Lagoa aerada facultativa. Banhado construído. Remoção de matéria orgânica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de filtro biológico percolador	26
Figura 2 - Esquema de lagoa aerada de mistura completa.....	31
Figura 3 - Esquema de lagoa aerada facultativa	31
Figura 4 - Esquema de decantador circular com remoção mecanizada.....	34
Figura 5 - Balanço de oxigênio dissolvido	36
Figura 6 - ETE Feitoria	38
Figura 7 - Localização do Arroio Peão	48

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Unidade de Gradeamento	39
Fotografia 2 - Poço Úmido	40
Fotografia 3 - Caixa de Areia.....	41
Fotografia 4 - Calha Parshall e Partidor Hidráulico	41
Fotografia 5 - Lagoa Aerada.....	42
Fotografia 6 - Decantador Circular	43
Fotografia 7 - Leitos de Secagem	44
Fotografia 8 - Banhado Construído	45
Fotografia 9 - Calha de Entrada	46
Fotografia 10 - Calha de Saída	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação no dia de realização da coleta das amostras	52
Gráfico 2 - Temperatura média no dia de realização da coleta das amostras	53
Gráfico 3 - Concentração de coliformes termotolerantes afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	54
Gráfico 4 - Concentração de DBO_5^{20} afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	55
Gráfico 5 - Concentração de DQO afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	57
Gráfico 6 - Concentração de fósforo total afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	59
Gráfico 7 - Concentração de fósforo total afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	60
Gráfico 8 - Valor de pH afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	62
Gráfico 9 - Concentração de sólidos suspensos totais afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	63
Gráfico 10 - Valor de temperatura do esgoto afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	64
Gráfico 11 - Concentração de coliformes termotolerantes na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	66
Gráfico 12 - Valor de cor da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	67
Gráfico 13 - Concentração de DBO_5^{20} na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	69
Gráfico 14 - Concentração de fósforo total na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018	70

Gráfico 15 - Concentração de nitrogênio amoniacal total na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	72
Gráfico 16 - Concentração de nitrito na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	73
Gráfico 17 - Concentração de nitrato na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	74
Gráfico 18 - Concentração de oxigênio dissolvido na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	75
Gráfico 19 - Valor de pH na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	77
Gráfico 20 - Concentração de sólidos dissolvidos totais na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	78
Gráfico 21 - Concentração de sólidos suspensos totais na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	79
Gráfico 22 - Valor de turbidez da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	80
Gráfico 23 - Valor de temperatura da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definição de sólidos encontrados no esgoto24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e valores da Resolução CONAMA 357/2005.....	49
Tabela 2 - Parâmetros e valores do padrão de lançamento CONSEMA 128/2006...	49
Tabela 3 - Análises mensais ETE Feitoria	50
Tabela 4 - Comparação de valores de diferentes parâmetros em diferentes pontos com a Resolução CONAMA 357/2005	83

LISTA DE SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
LO	Licença de Operação
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio Total de Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Fósforo Total
PVC	Policloreto de Polivinila
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SFT	Sólidos Fixos Totais
SS	Sólidos Sedimentáveis
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
SVDT	Sólidos Voláteis Dissolvidos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ESGOTO SANITÁRIO.....	17
2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	17
2.2.1 Cor e Turbidez	17
2.2.1.1 Cor.....	18
2.2.1.2 Turbidez	18
2.2.2 Temperatura.....	18
2.2.3 pH, Acidez e Alcalinidade	19
2.2.3.1 pH.....	19
2.2.3.2 Acidez e Alcalinidade	19
2.2.4 Cloretos.....	19
2.2.5 Sulfatos e Sulfetos	19
2.2.6 Nitrogênio e Fósforo	20
2.2.6.1 Nitrogênio	20
2.2.6.2 Fósforo	20
2.2.7 Oxigênio Dissolvido - OD	21
2.2.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	21
2.2.9 Demanda Química de Oxigênio - DQO	22
2.2.10 Óleos, Graxas e Sulfatantes.....	22
2.2.10.1 Óleos e Graxas	22
2.2.10.2 Sulfatantes	23
2.2.11 Sólidos	23
2.2.12 Microrganismos.....	24
2.2.13 Substâncias Tóxicas	25
2.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO.....	25
2.3.1 Filtro Biológico Percolador	26
2.3.2 Reator Biológico de Contato ou Biodisco.....	27

2.3.3 Lodos Ativados	27
2.3.4 Lagoas de Estabilização	28
2.3.5 Lagoas Aeradas.....	29
2.3.6 Decantador.....	33
2.3.7 Leitos de Secagem	34
2.3.8 Banhado Construído	34
2.4 AUTODEPURAÇÃO.....	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETE	37
3.1.1 Tratamento Preliminar	39
3.1.1.1 Gradeamento	39
3.1.1.2 Caixa de Areia.....	40
3.1.2 Tratamento Secundário	42
3.1.2.1 Lagoa Aerada Facultativa.....	42
3.1.2.2 Decantador.....	43
3.1.2.3 Leitos de Secagem.....	43
3.1.3 Tratamento Terciário.....	44
3.1.3.1 Banhado Construído.....	44
3.2 ARROIO PEÃO	47
3.2.1 Parâmetros e Valores da Resolução CONAMA 357/2005.....	48
3.3 PARÂMETROS E PADRÕES DE LANÇAMENTO.....	49
3.4 ANÁLISES DE MONITORAMENTO.....	50
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
4.1 EFICIÊNCIA DA ETE	53
4.1.1 Coliformes Termotolerantes.....	53
4.1.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅²⁰	54
4.1.3 Demanda Química de Oxigênio - DQO	56
4.1.4 Relação DBO₅²⁰/DQO.....	58
4.1.5 Fósforo Total	58
4.1.6 Nitrogênio Amoniacal	59
4.1.7 pH	61
4.1.8 Sólidos Suspensos Totais.....	63
4.1.9 Temperatura.....	64

4.2 AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ENTRADA DO EFLUENTE TRATADO NO ARROIO PEÃO	65
4.2.1 Coliformes Termotolerantes.....	66
4.2.2 Cor	67
4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅²⁰	68
4.2.4 Fósforo Total	70
4.2.5 Nitrogênio Amoniacal Total.....	71
4.2.6 Nitrito.....	73
4.2.7 Nitrato.....	74
4.2.8 Oxigênio Dissolvido	75
4.2.9 pH	76
4.2.10 Sólidos Dissolvidos Totais.....	78
4.2.11 Sólidos Suspensos Totais.....	79
4.2.12 Turbidez	80
4.2.13 Temperatura.....	81
4.2.14 Enquadramento do efluente tratado no Arroio Peão	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade ao longo dos anos deve-se, em parte, à disponibilidade das fontes de energia. Dentre as principais a água se destaca, uma vez que é fator predominante na criação, fixação, e possível crescimento de uma comunidade. De forma que nosso planeta tem sua superfície composta majoritariamente de água, o homem desenvolveu certo comodismo em relação ao uso eficiente e consciente dessa fonte energética. Como consequência disso a formação de um resíduo se evidencia, o esgoto.

A geração de esgoto é relacionada a várias parcelas, uma é a água de abastecimento, logo se resulta da quantidade de água que a população consome. Outra parcela é de água de infiltração, que percola no solo e penetra nas canalizações. E por fim há a parcela da água proveniente da chuva que é captada pelo sistema de esgoto.

Como forma de poluição, o esgoto degenera a qualidade do ambiente, portanto, torna-se prejudicial à população e meio ambiente de diversas formas, ao prejudicar a saúde e bem-estar, afetar negativamente a fauna e flora através de despejo de grandes quantidades de matéria em dissensão com padrões estabelecidos.

Por tais perigos relacionados ao esgoto, o seu tratamento torna-se indispensável, sendo a única forma de retornar esse resíduo, de maneira adequada, ao meio ambiente. Para isso, o esgoto passa por diversas etapas de tratamento em estações especializadas, conhecidas como, Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Para o correto tratamento de esgoto, o mesmo é submetido a uma série de processos e operações com intuito de remover substâncias indesejáveis, ou amenizar essas substâncias a parâmetros aceitáveis. Esse processo se dá através de tratamentos primários, secundários e terciários, onde há remoção de sólidos, filtração biológicas, remoção de nutrientes, entre outros vários processos físicos, químicos e biológicos.

Para melhor entendimento de funcionamento e resultados no tratamento biológico de esgoto sanitários, este trabalho se propõe a avaliar a eficiência do tratamento de esgoto sanitários em uma ETE localizada no bairro Feitoria em São Leopoldo, Rio Grande do Sul, que trata o esgoto de aproximadamente 40.000

habitantes, e avaliar a influência do efluente tratado no Arroio Peão, corpo hídrico que recebe o esgoto tratado da ETE.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho dividem-se em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do sistema de tratamento de esgoto sanitário da ETE Feitoria, em São Leopoldo, e a influência do efluente tratado no Arroio Peão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar eficiência de remoção de matéria orgânica e coliformes termotolerantes no sistema de tratamento;
- b) Avaliar a remoção de nutrientes (nitrogênio amoniacal e fósforo) no sistema de tratamento;
- c) Avaliar a influência nas características químicas de qualidade do Arroio Peão pela entrada do esgoto sanitário tratado pela ETE Feitoria.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é composto pelos despejos de esgotos domésticos e industriais, águas provenientes do subsolo e águas provenientes de chuva, e atualmente, segundo o Diagnóstico Nacional dos Serviços de Água e Esgoto (BRASIL, 2016), apenas 40,8% da vazão de esgoto gerada é tratada.

Campos et al. (1999) apontam uma grande importância ao esgoto sanitário e suas características. Uma vez que se tem conhecimento da qualidade e quantidade de esgoto que deve ser tratado, a elaboração do projeto de tratamento de esgoto torna-se menos complicado. Assim, o levantamento de dados, medições de vazões e coleta de amostras são passos iniciais primordiais para o início do tratamento de esgotos.

Para Fernandes (1997) o sistema de esgoto sanitário é o condicionante da preservação do equilíbrio ambiental, uma vez que é o responsável pelo lançamento do efluente, depurado adequadamente, aos corpos receptores naturais.

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE

Para Jordão e Pessôa (2005), são os índices característicos dos esgotos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos. No âmbito de tratamento de esgotos os parâmetros essenciais são aqueles referentes às exigências normativas, ou legais, e à própria ETE, de forma operacional, de projeto e de desempenho.

2.2.1 Cor e Turbidez

De acordo com Jordão e Pessôa (2005) ambos os parâmetros são mais relacionados a aspectos estéticos, uma vez que são analisados, principalmente, em reuso de esgoto tratado, ou quando o efluente é lançado no corpo d'água.

2.2.1.1 Cor

É significativa na chegada à ETE, indicando a idade do esgoto e podendo ser de tonalidade marrom ou cinza em esgoto fresco, ou preta em esgoto em estado séptico, isso causada por solução da matéria em água. Usualmente não é utilizada como parâmetro de controle operacional nas estações de tratamento (METCALF; EDDY, 2016).

2.2.1.2 Turbidez

Fruto da presença de matéria em suspensão na água, a turbidez serve para avaliar o efluente tratado a partir da etapa secundária e terciária, sobretudo quando a desinfecção é feita por meio ultravioleta. Determinada através de turbidímetros que utilizam do princípio de refração à luz, causado pelos sólidos em suspensão. Por ser rapidamente determinada, é comum nas ETE relacionar o parâmetro turbidez com a concentração de sólidos suspensos, apenas para efluente tratado, além desta relação, outros estudos apontam a não relação entre turbidez e a presença de coliformes (MASINI; NEVES, 1983; METCALF; EDDY, 2016).

Oliveira et al. (2018) através dos seus estudos em corpos d'água com barreiras flutuantes geotêxtis atestam a relação direta da turbidez com sólidos suspensos e indicam que a tecnologia estudada proporciona ganhos econômicos e ambientais, desde qualidade da água até quantidade de lodo gerada.

2.2.2 Temperatura

Para Metcalf e Eddy (2016) este é um dos mais importantes parâmetros de qualidade, uma vez que está diretamente associado com a saturação de oxigênio dissolvido (OD) – quanto maior a temperatura, menor a taxa de saturação de oxigênio dissolvido em corpos d'água – e com as taxas das reações químicas e biológicas – quanto maior a temperatura, maior a atividade biológica. Tornando-se assim regulador em processos biológicos de tratamento.

2.2.3 pH, Acidez e Alcalinidade

2.2.3.1 pH

Importante no controle operacional das estações de tratamento, é indispensável para processos oxidativos, onde influencia, diretamente, a velocidade de nitrificação em lodos ativados, por exemplo, e em processos com digestão anaeróbica. Quanto à valores de retorno à corpos d'água e até mesmo de entrada em redes coletoras, é estabelecido valores limites por legislação e regulamentos das empresas concessionárias. Estudos recentes apontam o pH como parâmetro recomendado para determinação de uso de cloro em tratamento de águas residuárias já que apresenta fácil mensuração (MEDEIROS; DANIEL, 2016; METCALF; EDDY, 2016).

2.2.3.2 Acidez e Alcalinidade

Indicam a capacidade da água de resistir às mudanças de pH, assim, relacionando-se diretamente com este parâmetro de qualidade, e como ele, apresentam real importância no controle operacional das ETE em processos anaeróbicos e em coagulações químicas (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

2.2.4 Cloretos

Jordão e Pessôa (2005) apontam que estes estão sempre presentes nos esgotos, por contribuição do sistema digestivo do homem. Sua remoção, por métodos convencionais, é praticamente nula.

2.2.5 Sulfatos e Sulfetos

Sulfatos estão sempre presentes nos esgotos e, portanto, apresentam possíveis sérias consequências às ETE. Um dos riscos é a formação de sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico que além de gerar maus odores, quando em contato com oxigênio transforma-se, por ação bacteriana, em ácido sulfúrico que corrói fortemente as estruturas de concreto, sejam nas galerias ou nas estações de

tratamento. Outro risco ocorre nos digestores, onde a digestão biológica é influenciada por altos níveis de concentração de sulfetos, que são formados pela redução dos sulfatos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

O estudo de Lima et al. (2015) ao avaliar desempenho de dois reatores UASB, um com introdução de oxigênio na manta de lodo e outro sem nenhuma modificação, apontou diminuição de sulfetos encontrados no efluente, inibição de mau odor e outros problemas relacionados com concentração de sulfetos no interior dos reatores no primeiro reator, porém não houve favorável oxidação parcial dos sulfetos neste meio, o que indica a necessidade de novos estudos nessa área.

2.2.6 Nitrogênio e Fósforo

2.2.6.1 Nitrogênio

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), o nitrogênio apresenta-se no esgoto em diferentes formas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato ou gás nitrogênio, e tem importante papel no tratamento dos esgotos. É necessário no desenvolvimento dos processos biológicos aeróbicos, e a remoção se faz necessária já que se lançado, em grandes quantidades, em corpos d'água gera eutrofização, ou seja, crescimento imoderado de algas que causam diminuição do oxigênio dissolvido, essencial para vida marinha.

Silva Filho, Haandel e Mota (2017) demonstram que no Brasil a remoção biológica do nitrogênio, realizada por sistema de lodo ativado, é favorecida pela temperatura alta do esgoto que acelera as reações bioquímicas e pela baixa relação NTK/DQO que prevê a carga de nutriente necessário para o processo biológico, porém depende do sistema de lodo ativado utilizado.

2.2.6.2 Fósforo

O fósforo está presente nos esgotos sob três diferentes formas, ortofostato, polifostato e fósforo orgânico, e assim como o nitrogênio também apresenta papel significativo no tratamento de esgoto. Bem como o nitrogênio, é necessário em processos biológicos aeróbicos para sua remoção e, em grandes quantidades, é o

maior causador de eutrofização artificial (METCALF; EDDY, 2016; MIRANDA et al., 2015).

2.2.7 Oxigênio Dissolvido - OD

Oxigênio dissolvido é o melhor parâmetro para caracterizar e atestar a qualidade de um corpo hídrico, sua concentração na água é função de temperatura, salinidade e da altitude do local. Apresenta fundamental importância em processos aeróbios, sendo indispensáveis para a respiração dos microrganismos que degradam a matéria orgânica, e neste ponto a temperatura se relaciona diretamente, uma vez que com o seu aumento as reações bioquímicas se tornam mais frequentes (METCALF; EDDY, 2016).

A medição do oxigênio dissolvido é essencial para determinação da vazão de ar em sistemas com aeração mecanizada e para isso há novas tecnologias em desenvolvimento e estudos sendo realizados nas já existentes (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Silva et al. (2011) apontam como fatores para a escolha de medidores de OD o baixo custo de aquisição e manutenção, a precisão do equipamento e o impacto dos interferentes presentes no meio, e dentre esses aspectos a tecnologia que se destaca é a de sensores ópticos.

Janzen, Schulz e Lamon (2008) através de seus estudos enfatizam a importância da previsão e compreensão de taxas de oxigênio dissolvido para os engenheiros, uma vez que este parâmetro está diretamente relacionado com ciclos bioquímicos de inúmeras substâncias presentes em águas e esgotos.

2.2.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

Para Metcalf e Eddy (2016) a Demanda Bioquímica de Oxigênio é indicativa da quantidade de oxigênio dissolvido utilizado pelos microrganismos na oxidação da matéria orgânica biodegradável presente no esgoto, deste modo quanto maior o grau de poluição orgânica, maior a DBO. Também é significativa quanto ao conhecimento do grau de poluição do esgoto afluente e do tratado, e serve de base para dimensionamento das estações de tratamento e para medida de eficiência destas.

Para Jordão e Pessôa (2005, p. 28),

Tecnicamente a DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra, após um tempo dado (tomado para efeito de comparação em 5 dias) e a uma temperatura padrão (20°C, para efeito de comparação).

Nesta linha de desenvolvimento, Rocha e Fukuda (1973) apontam que a DBO é o melhor parâmetro indicativo de autodepuração de corpos hídricos, uma vez que mede a oxidação da matéria orgânica pela quantidade de oxigênio gasta pelas bactérias em certo período.

2.2.9 Demanda Química de Oxigênio - DQO

Demanda Química de Oxigênio diz respeito à quantidade de oxigênio necessária para que ocorra a oxidação da matéria orgânica, sendo realizado em amostras que permitam tal oxidação por agentes químicos em soluções ácidas. A determinação da DQO é mais prudente do que a da DBO para possíveis despejos industriais, e acaba sendo mais utilizada nos controles operacionais das estações, isso porque suas análises, e logo, seus resultados se dão de maneira mais rápida e, além disto, sua análise aponta diversas demandas quanto ao uso do oxigênio e não somente a demanda de oxigênio satisfeita biologicamente que é o caso da DBO. (CRESPO, 2005; METCALF; EDDY, 2016).

2.2.10 Óleos, Graxas e Surfatantes

2.2.10.1 Óleos e Graxas

De acordo com Jordão e Pessôa (2005), apresentam duas origens, a doméstica na qual provém da preparação e do uso de alimentos, e a industrial na qual provém de seus derivados de petróleo, como gasolina e querosene, e estão sempre presentes nos esgotos.

O estudo de Mendes, Navarro e Guimarães (2010) aponta que sistemas biológicos (lodo ativado) e físico-químicos (flotação por ar dissolvido) apresentam potencialidade para tratamento de efluente proveniente de indústrias que trabalham com plásticos, porém na diminuição da concentração de óleo presente no esgoto o sistema físico-químico é o mais adequado, enquanto o biológico atua melhor na matéria orgânica biodegradável.

2.2.10.2 Surfatantes

Caracterizados principalmente pela propriedade de formar espuma, geram problemas nos corpos d'água receptores e nas estações de tratamento, nestas, nas operações aeradas, aderem-se às bolhas de ar gerando elevada quantidade de espuma, estável e de difícil quebra molecular, uma vez que o tipo mais comum, ABC (alquil-benzeno-sulfonado), apresenta resistência à ação biológica, característica das ETEs (JORDÃO; PESSÔA, 2005; METCALF; EDDY, 2016).

2.2.11 Sólidos

A presença de sólidos no esgoto é modesta, porém quando separados na estação de tratamento, podem representar grandes quantidades e têm complexa destinação final, desta forma é um dos principais problemas enfrentados em ETEs, principalmente naquelas que utilizam reator UASB. O Quadro 1 abaixo identifica e descreve as diversas classificações de sólidos (METCALF; EDDY, 2016; ROCHA et al. 2016).

Quadro 1 - Definição de sólidos encontrados no esgoto

Classificação	Descrição
Sólidos totais (ST)	Resíduo remanescente após uma amostra de esgoto ter sido evaporada e secada a uma temperatura específica.
Sólidos voláteis totais (SVT)	Sólidos que podem ser queimados e volatizados quando os ST são incinerados.
Sólidos fixos totais (SFT)	Resíduos que permanecem após o ST serem incinerados.
Sólidos suspensos totais (SST)	Parte dos ST retidos em um filtro com tamanho de poro específico.
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	Sólidos que podem ser volatizados e queimados quando os SST são incinerados.
Sólidos suspenso fixos (SSF)	Resíduos que permanecem após os SST serem incinerados.
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	Sólidos que passam através do filtro, sendo evaporados e secos a uma temperatura específica.
Sólidos voláteis dissolvidos totais (SVDT)	Sólidos que podem ser volatizados e queimados quando os SDT são incinerados.
Sólidos dissolvidos fixos (SDF)	Resíduos que permanecem após a ignição dos SDT.
Sólidos sedimentáveis (SS)	Sólidos suspensos que sedimentam após um período específico.

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016).

2.2.12 Microrganismos

Por interesse principal da saúde pública é feita a identificação e contagem de microrganismos nos corpos d'água. Entre os principais encontrados no esgoto,

ressaltam-se bactérias, fungos, algas, protozoários, vírus, plantas e animais, e destes tem importância aqueles classificados como organismos patogênicos, ou seja, aquelas que podem causar doença em humanos. A identificação de contaminação de esgotos em corpos d'água é feita através de análise de coliformes termotolerantes (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

2.2.13 Substâncias Tóxicas

Segundo Jordão e Pessoa (2005) é de extrema raridade a presença de substâncias tóxicas no esgoto doméstico, porém não se descarta a possibilidade de alguma contribuição provinda de indústrias que descartem no sistema de coleta sanitário. No ano de 2001 o Brasil tornou-se signatário da Convenção de Estocolmo que estabeleceu medidas de segurança quanto a um grupo de 12 (doze) substâncias classificadas como POPs, Poluentes Orgânicos Persistentes. No ano de 2004, em âmbito federal, foram inclusos ao padrão de potabilidade limites máximos para as POPs, de modo que a literatura técnica já identifica tais concentrações para que os processos biológicos de tratamento mantenham padrões aceitáveis.

2.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

Os processos biológicos de tratamento de esgoto caracterizam-se pela dependência da ação de microrganismos presentes nos esgotos, na alimentação desses microrganismos prevalece a transformação dos componentes complexos presentes no afluente em compostos simples, como gás carbônico e sais minerais. De forma sucinta, os processos biológicos procuram reproduzir fenômenos biológicos que ocorrem na natureza em ambientes projetados conforme disponibilidade de área e orçamentária (CAMPOS et al., 1999; METCALF; EDDY, 2016).

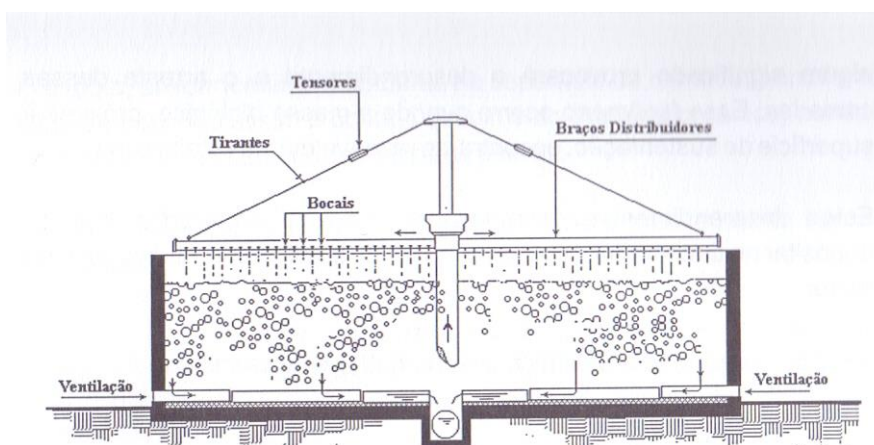
Sperling (1996) salienta a importância da microbiologia no tratamento de esgoto como parte essencial na otimização de projeto e operação dos sistemas biológicos de tratamento. Ainda apresenta os principais microrganismos envolvidos neste tipo de tratamento, protozoário, fungos, algas, e por fim bactérias, as grandes responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.

Para Jordão e Pessôa (2005) os principais processos de tratamento biológico são de oxidação biológica aeróbia (como lodos ativados, lagoas aeradas, filtros biológicos) e anaeróbia (como reatores anaeróbios, lagoas anaeróbias), e digestão de lodo aeróbia e anaeróbia por fossas sépticas.

2.3.1 Filtro Biológico Percolador

Filtro biológico percolador (Figura 1) é um leito preenchido com material altamente permeável por onde o esgoto percola no sentido vertical ascendente. Neste material de preenchimento, disposto da melhor forma possível para circulação de ar, se forma um biofilme composto por microrganismos responsáveis pela oxidação da matéria orgânica. O processo começa com a distribuição do esgoto, por um distribuidor fixo ou rotativo, de maneira uniforme sobre toda a área superior do leito, depois ocorre percolação do esgoto pelo corpo do filtro onde acontece o contato do efluente com o material de preenchimento, e por fim há a drenagem do esgoto tratado. A oxigenação do sistema se dá por forma natural por tubos de ventilação (ALÉM SOBRINHO, 1983; CRESPO, 2005, PASTANA FILHO et al., 1973).

Figura 1 - Esquema de filtro biológico percolador



Fonte: Adaptado de Crespo (2005).

Para Nuvolari et al. (2003) a eficiência do tratamento nos percoladores biológicos está relacionada diretamente com a área de contato do material de preenchimento e o esgoto, por isso quanto maior for a área específica, e menor peso específico, do material utilizado melhor será o processo.

2.3.2 Reator Biológico de Contato ou Biodisco

Segundo Jordão & Pessôa (2005) o sistema de reator biológico de contato é formado por uma série de discos circulares, paralelos entre si, fixados em um eixo horizontal rotacionado constantemente. O processo consiste na passagem do esgoto pelo tanque, o efluente entra em contato com os discos, que está cerca de 40% imerso, e através da constante rotação, de um a dois rpm, forma-se um biofilme, que cobre toda a superfície dos discos, responsável pelo tratamento do esgoto.

Este biofilme é formado por bactérias e outros microrganismos que se desenvolvem através da absorção de micronutrientes e oxigênio, e estas bactérias e microrganismos são os responsáveis pelo tratamento do esgoto através do consumo da matéria orgânica presente (JORDÃO; PESSÔA, 2005; SPERLING, 1996).

Iwai e Kitao (1994) apontam a importância do oxigênio dissolvido neste processo, uma vez que este é fator determinante na formação do biofilme e de suas respectivas camadas.

2.3.3 Lodos Ativados

De acordo com Jordão e Pessôa (2005, p. 507),

Lodo ativado é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zooglêias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido, e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados.

Conforme Nuvolari et al. (2003) sistema de lodos ativados é o mais utilizados nas grandes ETEs, apresentando numerosas variações, composta por diversas unidades. Existem diferentes processos de lodos ativados.

Processo aeróbio utilizado no tratamento de esgoto devido a sua grande eficiência na remoção de DBO solúvel, com valores próximos a 98% quando projetados corretamente. O processo consiste na mistura entre o lodo ativado e o esgoto afluente, esse composto é então agitado e aerado, nos tanques de aeração, para sucessivamente ocorrer a separação das duas parcelas através da sedimentação. Quando decantado uma parcela predominante de lodo ativado – conhecido como lodo em excesso – é novamente adicionado ao tratamento, através

da recirculação, e a parcela que sobrou é direcionada ao restante do tratamento, caracterizando-se como efluente final do lodo ativado (JORDÃO; PESSÔA, 2005; NUVOLARI et al. 2003).

Para formação e continuidade dos flocos, densos e volumosos, se faz necessário um elevado fornecimento de oxigênio, tais condições não se encontram naturalmente, fazendo com que seja baixa a floculação natural, tornando os tanques muito grandes e os tempos de detenção insustentáveis, para isso se mantém, de maneira mecanizada, elevada concentração de flocos, com o constante retorno de lodo do decantador secundário para o tanque de aeração, com intuito de estabilizar matéria orgânica e assim reduzir a DBO de forma significativa (CRESPO, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Sperling (1996) salienta a importância dos flocos no resultado final do efluente e sua forma clarificada, com baixa concentração de matéria orgânica, consequência da fácil sedimentação em meio líquido.

Jordão e Pessôa (2005) apontam que este processo, em comparações com outros biológicos, apresenta maior eficiência de tratamento, maiores possibilidades de operação e uma menor área ocupada, porém necessita de controle detalhado de laboratório, as operações necessitam capacitação e elevado custo.

2.3.4 Lagoas de Estabilização

Para Jordão e Pessôa (2005) as lagoas de estabilização são condicionadas pelos fenômenos físicos, químicos e biológicos da autodepuração as lagoas de estabilização estabilizam, através de oxidação bacteriológica – também atuam fungos e protozoários – aeróbia ou fermentação anaeróbia, e/ou redução por fotossíntese de algas, a matéria orgânica.

Com baixos valores de implantação e operação, alta eficiência na redução de DBO e sólidos totais, assegurando, quando bem projetadas e operadas, alto grau de desinfecção, as lagoas de estabilização tornaram-se viáveis em países em desenvolvimento (KELLNER; PIRES, 1998; PATERNIANI; MATSUMOTO, 1989)

Porém Sperling (2002) salienta que fatores externos, como vento e temperatura, apresentam grandes influências nos processos das lagoas de estabilização, desde variação na taxa de decomposição bacteriana até condições de mistura na aeração.

Para Azevedo Netto (1985) existem cinco tipos de lagoas de estabilização: lagoas anaeróbias, lagoas facultativas, lagoas aeróbias, lagoas de maturação e lagoas aeradas, o que as diferenciam entre si são as taxas de aplicação nos processos, os resultados e as dimensões.

Com foco em dois principais objetivos, proteção ambiental através da remoção de DBO, e proteção da saúde pública através da remoção de organismos patogênicos, as lagoas de estabilização apresentam excelente eficiência no tratamento uma vez que a matéria orgânica dissolvida nos efluentes deste processo encontra-se estável, e os níveis de DBO estão numa faixa de 30 a 50 mg/l caracterizando um alto índice de eficiência. Além da remoção de DBO e DQO, as lagoas de maturação proporcionam um índice de até 99,9999% de eficiência em remoção de organismos coliformes, assim atendendo um dos objetivos principais. Atualmente, também, se utiliza o efluente deste tratamento para agricultura, uma vez que os parâmetros de qualidade microbiológicos são atendidos, essa oportunidade é muito bem-vinda no Brasil, por este apresentar vasto território plano, próprio para implantação de lagoas de estabilização (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A partir de agora serão apresentados os métodos de tratamento biológico utilizados na ETE Feitoria, são eles: Lagoa aerada facultativa, decantador convencional, leito de secagem e banhado construído.

2.3.5 Lagoas Aeradas

As lagoas aeradas surgiram da inevitabilidade de menores áreas para tratamento e formam uma categoria de processo de tratamento através de lagoas de estabilização, que por meio de uma concentração de oxigênio dissolvido, OD, de forma parcial ou total na massa líquida, garantem que o processo ocorra corretamente, seguindo as reações químicas que o caracterizam. Desta forma, as lagoas aeradas têm como objetivo reduzir a carga poluente, para que então possa continuar o tratamento na estação (CRESPO, 2005; METCALF; EDDY, 2016; NUVOLARI et al., 2003).

De acordo com Jordão e Pessôa (2005) as lagoas aeradas podem apresentar duas formas de construção, em terra, a mais usual, e em concreto armado, eventualmente utilizado. A escolha da forma deve-se principalmente ao tipo de

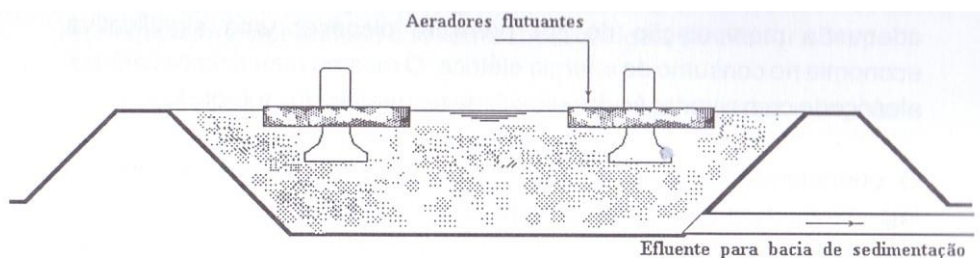
suprimento de oxigênio, ou seja, aeradores, ao escoamento hidráulico, e à modalidade do processo.

Lagoas aeradas são utilizadas para tratamento de esgoto doméstico, sanitário e industrial com alto teor de substâncias biodegradáveis e em relação à desempenho, o processo de tratamento é caracterizado pela ação das bactérias na degradação da matéria orgânica existente. Na escolha de utilização ou não deste processo leva-se em conta a área disponível do terreno, a fonte de energia elétrica e fundamentalmente os custos, tanto de implantação como de operação (CRESPO, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A classificação dá-se de acordo com a concepção do projeto, as operações a serem realizadas, o comportamento, cinética do processo, concentração de oxigênio dissolvido, grau de turbulência no interior da lagoa (ALÉM SOBRINHO; RODRIGUEZ, 1982). Habitualmente as lagoas aeradas são classificadas em dois tipos:

Lagoas aeradas aeróbicas, ou de mistura completa: caracterizadas pela mistura completa dos esgotos, neste tipo de lagoa aerada se torna necessário uma determinada quantidade e distribuição de ar, com concentração mínima de oxigênio, suficiente para assegurar um fluxo contínuo do esgoto, sem causar acúmulo de material no fundo da lagoa, como pode ser visto na Figura 2, portanto, não ocorrendo anaerobiose. Devido à intensa mistura em toda a área da lagoa, o efluente desta caracteriza-se pela elevada concentração de sólidos suspensos, por mais que a DBO solúvel seja menor. Em consequência a esta elevada concentração de sólidos suspensos torna-se indispensável a utilização de uma bacia de sedimentação, localizada imediatamente a jusante, como complemento à lagoa aerada aeróbica. Tal bacia de sedimentação pode ser formada por outra lagoa ou até mesmo por tanque de limpeza. Outra característica, também determinante na escolha da utilização deste tipo de lagoa, é a necessidade de maior potência de agitação, de modo a garantir a total mistura de esgoto, geralmente na ordem de 10 a 20 W/m³. De modo geral, a lagoa aerada de mistura completa é raramente usada, devido ao seu grande consumo de energia (CRESPO, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Figura 2 - Esquema de lagoa aerada de mistura completa



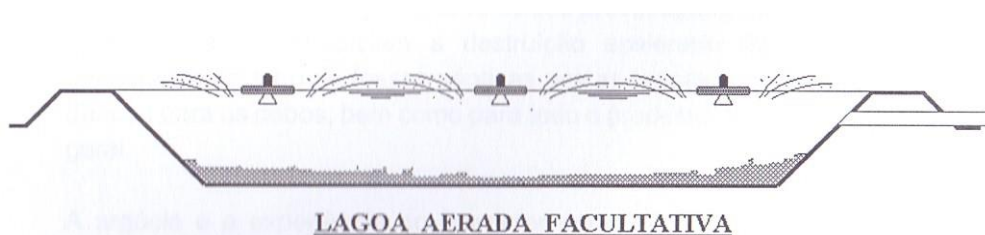
LAGOA AERADA DE MISTURA TOTAL

Fonte: Adaptado de Crespo (2005).

Lagoas aeradas facultativas: Jordão e Pessôa (2005) apontam que apesar de ter suficiente suprimento de ar para manter o nível de oxigênio dissolvido em grande parte da massa líquida, este tipo de lagoa destaca-se pelo acúmulo de material sedimentado em seu fundo, demonstrado na Figura 3, uma vez que não há fluxo contínuo na mistura, possibilitando a sedimentação de parte dos sólidos suspensos encontrados no composto. Mesmo com menor concentração de sólidos, o efluente ainda apresenta alta turbidez e por não haver necessidade de mistura completa, este tipo de lagoa requer uma potência de agitação na ordem de 3 a 5 W/m³.

Crespo (2005) enfatiza que tanto a estabilização da matéria orgânica, ou seja, a redução da DBO, quanto a sedimentação dos sólidos suspensos presentes ocorrem em uma mesma lagoa, sem necessidade de uma bacia complementar de sedimentação. E por fim, em circunstâncias de formação de algas na superfície da lagoa há oxigenação natural proveniente da fotossíntese realizada por aquelas, porém existe a possibilidade de presença de sólidos flutuantes no efluente. Este é o tipo mais utilizado, sendo comum a referência a este tipo como lagoa aerada.

Figura 3 - Esquema de lagoa aerada facultativa



LAGOA AERADA FACULTATIVA

Fonte: Adaptado de Crespo (2005).

Há alguns autores que utilizam uma terceira classificação:

Lagoas aeradas aeróbicas com recirculação de lodo: similares ao processo de lodos ativados, onde não há separação de sólidos sedimentáveis em processos anteriores da estação de tratamento. Sendo assim, a concentração de sólidos suspenso é bastante elevado, com valores 40 vezes superiores aos tipos anteriores, lagoas aeradas de mistura completa e lagoas aeradas facultativas, e com baixo tempo de detenção (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Para o funcionamento das lagoas aeradas mecanicamente, os equipamentos de aeração são indispensáveis e estes são equipamentos que geram suprimento de ar artificialmente, por aeradores mecânicos ou por insufladores de ar, com função principal de aumentar a eficiências das lagoas e ainda proporcionar uma menor área requerida por estas (SENA, 1971).

Aeradores Mecânicos: É o tipo de aerador normalmente utilizado nas lagoas aeradas, e sua classificação dá-se por:

- Função do eixo:
 - Vertical;
 - Horizontal;
 - Inclinado.
- Função do tipo de instalação:
 - Fixo;
 - Flutuante (estacionário ou giratório).
- Função da velocidade de rotação do rotor:
 - Baixa rotação (menor que 150 rpm);
 - Alta rotação (em torno de 1700 rpm).

Para lagoas aeradas geralmente opta-se por aeradores verticais, flutuantes de alta rotação. O motivo dessa escolha passa por escolhas construtivas, de projeto, e orçamentárias, assim explicadas. Aeradores flutuantes não necessitam de um sistema de sustentação, a escolha de alta rotação se dá devido a não necessidade de redutor e assim sem acréscimo de peso a estrutura, e por fim, a escolha de eixo vertical é tomada uma vez que permite lagoas mais profundas, reduzindo a área necessária para ocupação (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Aeradores por ar difuso: Os insufladores de ar são equipamento de suprimento de oxigênio também utilizados nos processos de lodo ativado por ar difuso, porém seu uso em lagoas aeradas é discreto por alguns motivos, como

menor capacidade de mistura, grandes extensões, grande número de difusores (bocais), entupimento destes difusores, dificuldade e elevados custos de manutenção. Este último ponto é fator decisivo na escolha deste sistema, já que para a manutenção dos difusores requer-se o esvaziamento das lagoas, atividade não recomendada neste tipo de tratamento. Para sanar esse possível problema, há, hoje em dia, difusores montados sobre hastas verticais que podem ser levantadas, e assim retiradas, das lagoas para limpeza e consertos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A classificação dá-se por:

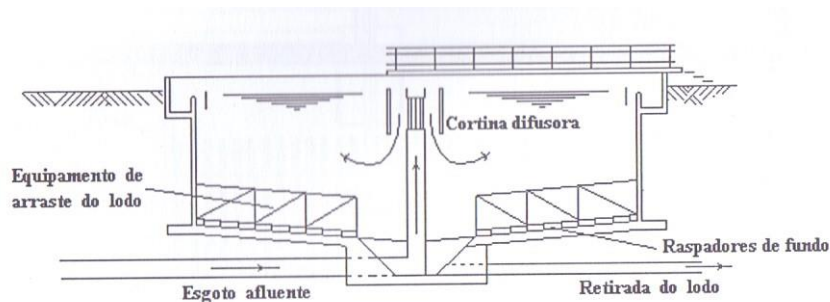
- Fonte de ar:
 - Compressores e sopradores;
 - Aspiradores (insuflação a vácuo).
- Tipo de difusor:
 - Ar difuso por elementos porosos;
 - Ar difuso por orifícios;
 - Jatos de ar aspirado;
 - Tubos estáticos.

2.3.6 Decantador

Funciona em conjunto com a lagoa de aeração e para otimização de custo de operação não pode ser dimensionado como unidade isolada, tem como principal função remover os sólidos em suspensão através da sedimentação assim clarificando o esgoto e permitindo que o efluente, ou seja lançado nos corpos receptores, ou passe por nova etapa de tratamento (DICK, 1970; FERREIRA FILHO, 1993; JORDÃO; PESSÔA, 2005; NUVOLARI, 2011).

Os decantadores podem apresentar diferentes formatos, circulares (Figura 4), quadrados e retangulares e a remoção do lodo pode ser feita mecanicamente ou não (NUVOLARI, 2011).

Figura 4 - Esquema de decantador circular com remoção mecanizada



Fonte: Adaptado de Crespo (2005).

Ferreira Filho (1993) conclui que para um bom dimensionamento de decantadores não é recomendado seguir dados de literatura somente, pois para cada caso o substrato e seu consequente lodo difere.

2.3.7 Leitos de Secagem

Responsáveis pela redução natural de umidade do lodo digerido nas etapas anteriores, exige que o lodo esteja estabilizado para que não ocorra secagem superficial deste (CRESPO, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os leitos de secagem apresentam grande potencial de uso em locais com climas favoráveis e com disponibilidade de área, além disso, quando comparados a outros métodos de secagem natural de lodo demonstram maior facilidade de uso e operação além de garantir maior concentração de sólidos no lodo em menor tempo de detenção (CABRAL; VIANA; BASTOS, 2016; REALI et al., 1999).

O estudo de Kuroda et al. (2014) em leitos de secagem em ETA aponta que futuramente podem existir leitos de secagem compostos por manta geotêxtil, que facilitaria a operação e diminuiria custos de implantação.

2.3.8 Banhado Construído

De acordo com Sezerino et al. (2015) o uso de banhados construídos no Brasil intensificou-se a partir dos anos 2000, porém, ainda há poucos estudos sobre seu desempenho em âmbito nacional, portanto, estudos internacionais apresentam melhor caracterização desta alternativa de pós-tratamento.

Banhados construídos são, cada vez mais, uma ótima alternativa para o tratamento de águas residuais, apresentam boa eficiência em comparação com outros sistemas convencionais de pós tratamento, uma vez que fazem uso intensivo da área, com baixa custo energético e uma operação simples. Porém, há ressalvas no seu uso em climas frios, já que a temperatura é fator importante na eficiência da remoção de alguns contaminantes (WANG et al., 2017; WU et al., 2014).

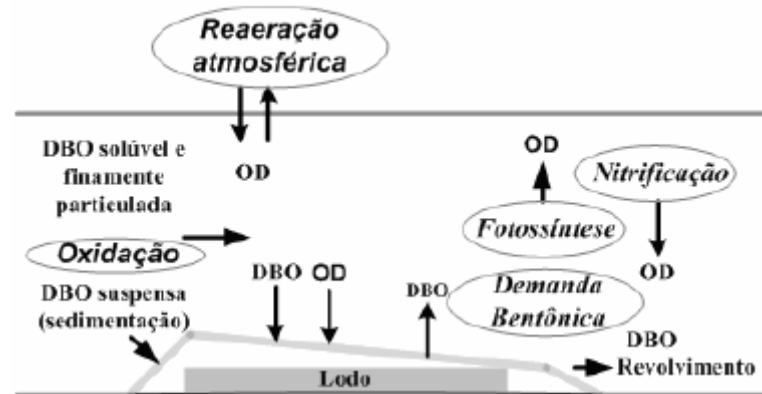
De acordo com o estudo de Hernández-Crespo et al. (2017), banhados construídos nos quais o nível do efluente encontra-se abaixo do da superfície apresentam melhores resultados, quando comparados a banhados com vazão livre, na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes. Ainda em relação a desempenho, as revisões de Wu et al. (2014) explanam que fatores como nível de profundidade do substrato, tempo de detenção hidráulica, modo de alimentação, são fatores cruciais para alcançar o desempenho sustentável que os banhados construídos tem de potencial.

2.4 AUTODEPURAÇÃO

Apontada como fundamental na estabilização do esgoto lançados nos corpos receptores, que por sua vez atuam na assimilação e degradação de dejetos (AZEVEDO NETTO, 1966; LEMOS; SOUZA FILHO; SALES, 2014).

É resultado de variados processos de origem natural, físicos, químicos e biológicos, nos quais ocorre o balanceamento de consumo e produção de oxigênio (Figura 5). Com monitoramento e avaliação de amostras ao longo dos cursos hídricos e o entendimento do funcionamento da autodepuração torna-se possível a conservação e manutenção de corpos d'água, mantendo a qualidade da água aceitável (ANDRADE, 2010; SPERLING, 1996; SPERLING, 2007).

Figura 5 - Balanço de oxigênio dissolvido



Fonte: Adaptado de Sperling (2007).

Para Batalha e Rocha (1986) como a maior parte das águas residuárias apresentam grande carga orgânica, o despejo daquelas nos corpos receptores, sem nenhum tratamento prévio, apresenta riscos à vida aeróbia existente uma vez que será exigido elevada taxa de oxigênio para a estabilização dos compostos orgânicos. De encontro a isso, o estudo de Salla et al. (2013) alerta para a importância de monitoramento da qualidade e quantidade de efluentes despejados nos corpos d'água, e de como devemos gerenciar nossos recursos hídricos, já que a capacidade natural de autodepuração é limitada e prejudicada com grandes quantidades de cargas orgânicas.

3 METODOLOGIA

O trabalho apresentado neste documento é feito através do levantamento e processamento de dados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto Feitoria, na cidade de São Leopoldo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETE

Atualmente o esgoto do Bairro Feitoria é constituído pelo sistema de fossa e filtro, e após passar por este processo é encaminhado à rede pluvial.

A captação do esgoto sanitário produzido no bairro é feita através dos Interceptores I e II, estes são redes auxiliares construídos justamente para este fim. Em pontos específicos estes Interceptadores interceptam a rede pluvial, através de caixas de derivação, para que não ocorra escape de esgoto para dois corpos hídricos próximos, o Arroio Peão e o Rio dos Sinos.

O Interceptador I tem extensão de 1.400 metros, e ao longo do seu comprimento é formado por diferentes diâmetros de tubos de concreto, estes são DN 400 mm, DN 500 mm e DN 600 mm. O esgoto interceptado por esta rede auxiliar é encaminhado por gravidade à uma estação de bombeamento denominada EBE-11B. Esta, por sua vez, bombeia o esgoto proveniente do Interceptador I através de um sistema formado por 4 bombas submersas que funcionam automaticamente com ativação por sistema de boias. O esgoto bombeado segue para a ETE Feitoria por meio de uma linha de recalque denominada Emissário, esta linha de recalque tem extensão de 2.500 metros e é formada por tubos de ferro fundido DN 400 mm.

O Interceptador II tem extensão de aproximados 850 metros e ao longo do seu comprimento é formado por tubos de concreto de DN 600 mm e DN 800 mm. Via gravidade, encaminha para a ETE Feitoria o esgoto proveniente da linha de recalque acrescido de esgoto proveniente de outras quatro caixas de derivação.

A ETE Feitoria apresenta vazão de projeto de 80 L/s, apesar de nunca ter sido registrado esse valor, e trata atualmente o esgoto de 39.428 moradores do bairro Feitoria (IBGE, 2010).

Figura 6 - ETE Feitoria



Fonte: Google Earth.

A estrutura operacional da ETE é formada por:

- Extravasor;
- Gradeamento;
- Câmara de manobras;
- Poço Úmido;
- Caixa de Areia;
- Lagoa Aerada;
- Decantador;
- Leitos de Secagem;
- Vertedouros;
- Banhado Construído.

Através dessa estrutura o tratamento de esgoto sanitário da ETE Feitoria se dá mediante três etapas:

- Tratamento Preliminar (físico);

- Tratamento Secundário (biológico);
- Pós-Tratamento (biológico).

3.1.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar é físico e tem como intuito proteger os dispositivos de transporte do esgoto (bombas, tubulações) através da mitigação de obstáculos que possam, futuramente, obstruir as redes, e assim facilitar o transporte do afluente.

Esta etapa é constituída por duas unidades, gradeamento e caixa de areia.

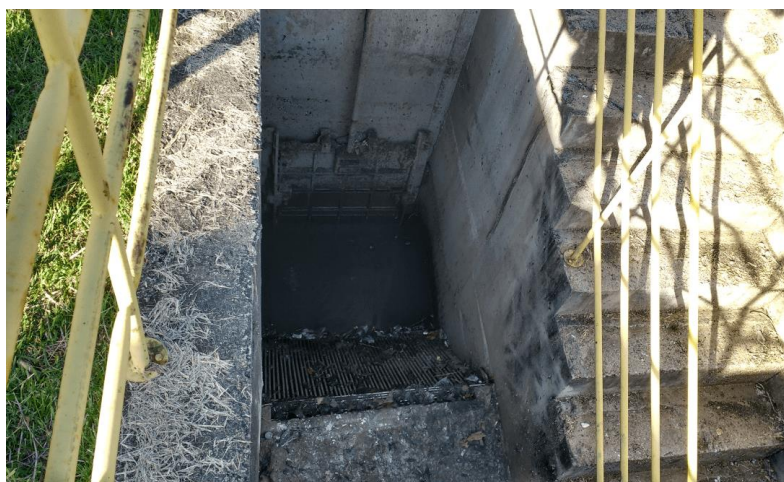
3.1.1.1 Gradeamento

Logo na entrada da ETE localiza-se a unidade de gradeamento (Fotografia 1), esta é responsável pela remoção dos sólidos grosseiros, como sacolas de lixo, embalagens em geral, garrafas plásticas, animais mortos, diferentes tipos de lata, borracha, papel, papelão, pedaços de tecido, espuma e isopor, e outros.

É composta por uma estrutura de concreto armado e uma grade de ferro, transversal à chegada da rede de esgoto, com inclinação fixa de 45°.

Para a limpeza e remoção dos resíduos a unidade apresenta escada que facilita o acesso à grade e permite a realização das tarefas por parte dos funcionários.

Fotografia 1 - Unidade de Gradeamento



Fonte: Registrada pelo autor.

Ao passar pelo gradeamento o esgoto segue para a unidade denominada poço úmido (Fotografia 2), nesta ocorre o bombeamento, por intermédio de quatro bombas submersas, do efluente até a caixa de areia.

Fotografia 2 - Poço Úmido



Fonte: Autor (2018).

3.1.1.2 Caixa de Areia

A caixa de areia tem por finalidade remover os sólidos finos que passaram pela etapa de gradeamento. O principal componente desses sólidos finos é a areia que através da sedimentação é contida no interior da caixa.

A estrutura da caixa de areia (Fotografia 3) é composta por três canais em paralelo, um destes canais encontra-se atualmente desativado, com seção retangular, onde ocorre a sedimentação dos finos. A remoção destes materiais é realizada manualmente sempre que preencher metade da altura da seção ou $2/3$ de seu comprimento total.

Fotografia 3 - Caixa de Areia



Fonte: Registrada pelo autor.

Na parte final da estrutura de concreto armado da caixa de areia encontra-se a Calha Parshall (Fotografia 4), responsável pela determinação da vazão de entrada do esgoto na ETE Feitoria. Também ao final da caixa de areia localiza-se o partidor hidráulico composto por câmara de recepção e duas câmaras de distribuição com intuito de distribuir o afluente para os módulos de tratamento. Atualmente a ETE Feitoria apresenta apenas um módulo de tratamento, desta forma uma das câmaras de distribuição encontra-se desativada.

Fotografia 4 - Calha Parshall e Partidor Hidráulico



Fonte: Registrada pelo autor.

3.1.2 Tratamento Secundário

O tratamento secundário tem como objetivo remover a matéria orgânica em suspensão e dissolvida. Através de microrganismos essa remoção se dá bioquimicamente uma vez que se transforma a matéria orgânica presente no esgoto em gás carbônico, água e material celular.

O tratamento secundário da ETE Feitoria é composto por três unidades, a lagoa aerada, o decantador e os leitos de secagem.

3.1.2.1 Lagoa Aerada Facultativa

A lagoa aerada da ETE (Fotografia 5) proporciona aeração artificial, ou seja, através de aeradores em sua superfície. A aeração proporciona a oxigenação do líquido presente e mantém os sólidos dispersos neste meio.

A lagoa aerada apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento: 130 metros;
- Largura: 68 metros;
- Profundidade: 4,5 metros, altura útil atinge 3,83 metros;
- Área total: 8.840 m².

O formato da lagoa é trapezoidal, com taludes de inclinação de 45°. O fundo e os taludes da lagoa são impermeabilizados com manta PEAD, a qual reveste e evita a contaminação do solo pelo esgoto.

Fotografia 5 - Lagoa Aerada



Fonte: Registrada pelo autor.

Na lagoa encontram-se quatro aeradores com potência de 20 HP, porém, atualmente, apenas dois encontram-se em funcionamento.

De acordo com o projeto o tempo de detenção da lagoa é de quatro dias. Com a aeração artificial da lagoa faz-se necessário uma unidade de decantação para futuro tratamento da biomassa em suspensão.

3.1.2.2 Decantador

A aeração da lagoa faz com que efluente contenha elevado teor de sólidos em suspensão e para isso se têm o decantador, este é responsável pela sedimentação e estabilização dos sólidos proveniente da lagoa aerada.

O decantador é do tipo circular (Fotografia 6) com alimentação central feita por vertedouro com tubulação de ferro fundido. Apresenta diâmetro interno de 16 metros e profundidade total de 5,70 metros, a profundidade útil atinge 4,45 metros. De acordo com o projeto, o tempo de detenção é de 2 horas.

Fotografia 6 - Decantador Circular



Fonte: Registrada pelo autor.

3.1.2.3 Leitões de Secagem

Os leitões de secagem são as áreas receptoras do lodo gerado no decantador, nestes leitões ocorrem a secagem do lodo, através da evaporação e extração do líquido presente no material.

A ETE Feitoria apresenta quatro leitões de secagem (Fotografia 7) em sua composição, construídos em concreto armado, com as seguintes dimensões:

- Tempo de secagem: dez dias;
- Altura do lodo: 0,30 metros;

- Largura: 7,5 metros;
- Comprimento: 8,7 metros;
- Área: 65,25 m².

Fotografia 7 - Leitos de Secagem



Fonte: Registrada pelo autor.

A composição das camadas internas de revestimento dos leitos é apresentada assim:

- Areia média (para proteger os dutos do dreno): 25 centímetros;
- Brita Nº 03: 25 centímetros;
- Brita Nº 01: 10 centímetros;
- Areia média: 10 centímetros;
- Tijolo maciço: 5 centímetros.

A drenagem do líquido percolado durante a secagem é através de tubulação PVC com DN 150 mm localizados no fundo dos leitos de secagem.

De acordo com o projeto da ETE o tempo de secagem do lodo é de dez dias e após este período o lodo deve ser encaminhado ao aterro sanitário.

3.1.3 Tratamento Terciário

A fim de atingir os padrões de qualidade adequados a legislação ambiental vigente, o tratamento terciário, ou pós-tratamento, tem por finalidade a redução dos nutrientes presentes no esgoto, como nitrogênio e fósforo, e coliformes.

3.1.3.1 Banhado Construído

O banhado construído da ETE Feitoria (Fotografia 8) é a etapa final do tratamento e representa o pós-tratamento do esgoto. O tratamento ocorre de forma

lenta uma vez que o efluente percola horizontalmente no banhado, em contato direto com o material de suporte, que apresenta declividade ao longo do seu comprimento. No banhado ocorre filtração biológica através de microrganismos aderidos ao meio de suporte, este por brita nº 4. Para correta operação e conseqüente correto desempenho do banhado não deve existir plantas aquáticas e outros tipos de vegetação. Diferente do previsto no projeto, atualmente há vegetação distribuída ao longo de todo o banhado.

Fotografia 8 - Banhado Construído



Fonte: Registrada pelo autor.

O banhado construído da ETE Feitoria apresenta área superior a 15.000 m², preenchido com camada de brita nº 4 como material de suporte, impermeabilização através de manta PEAD e fluxo subsuperficial horizontal. Através deste método construtivo e operacional, fluxo subsuperficial, ocorre a remoção de sólidos suspensos, bactérias, DBO e possível desnitrificação, isto caso o oxigênio existente esteja disponível como nitrato.

Similar à lagoa aerada facultativa, a unidade de pós-tratamento – banhado construído – é de formato trapezoidal, com taludes à 45° e impermeabilização inferior e superior destes taludes feita em manta PEAD.

O banhado construído apresenta as seguintes dimensões e características:

- Largura do vertedouro de entrada: 72 metros;
- Largura do vertedouro de saída: 82 metros;
- Comprimento da lateral oeste: 220 metros;
- Comprimento da lateral leste: 198 metros;
- Profundidade total: 90 centímetros;

- Profundidade do material de suporte: 40 centímetros;
- Área total: 15.440 m²;
- Impermeabilização por manta PEAD 1,5 mm;
- Fluxo de escoamento: subsuperficial horizontal.

O banhado construído ainda apresenta duas calhas, perpendiculares ao fluxo do esgoto, localizadas, uma na entrada e outra na saída. A de entrada (Fotografia 9) recebe o esgoto afluyente proveniente do decantador e, no projeto, distribui uniformemente no banhado através de tubos corrugados PVC de DN 150 mm espaçados entre si em vãos de 2 metros. Durante as visitas ao local de estudo, no período da elaboração deste trabalho, notou-se que esta distribuição uniforme não ocorre, há dois pontos de entrada do esgoto no banhado.

Fotografia 9 - Calha de Entrada



Fonte: Registrada pelo autor (2018).

Ao final do banhado construído localiza-se a calha de saída (Fotografia 10) que recebe o esgoto proveniente do pós-tratamento, e por meio de tubulação de ferro fundido DN 600 mm lança o efluente tratado no Arroio Peão.

Fotografia 10 - Calha de Saída

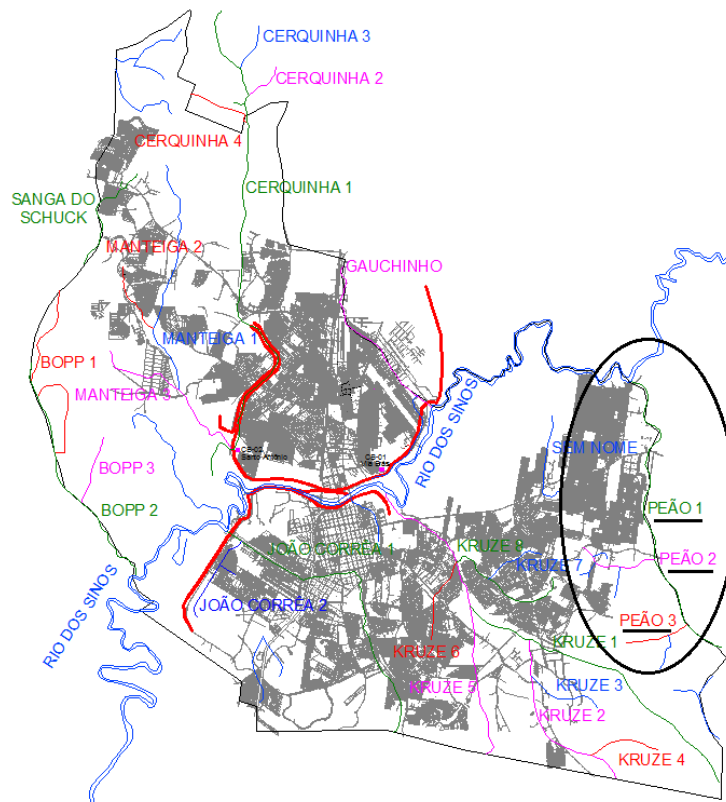


Fonte: Autor (2018).

3.2 ARROIO PEÃO

Localizado na região sudeste do município, conforme Figura 7, serve como limite territorial entre São Leopoldo e Novo Hamburgo, com extensão de 9.775 metros, recebe contribuições parciais dos bairros, leopoldenses, Feitoria e Campestre e dos bairros hamburguenses, Lomba Grande e Quilombo (PRÓSINOS, 2013). É classificado como corpo d'água de Água Doce Classe I e as análises feitas nas amostras em ponto a montante e a jusante, em relação ao local de lançamento do efluente tratado, seguem os parâmetros do CONAMA 357/2005 (PRÓSINOS, 2013; SEMAE, 2018).

Figura 7 - Localização do Arroio Peão



Fonte: Adaptado de Prósinos (2013)

3.2.1 Parâmetros e Valores da Resolução CONAMA 357/2005

Na Tabela 1 está discriminado alguns dos parâmetros e seus valores de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos classificados como Água Doce Classe I.

Tabela 1 - Parâmetros e valores da Resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros	Valores
DBO ₅	≤ 3 mgO ₂ /L
Oxigênio Dissolvido	≥ 6 mgO ₂ /L
Turbidez	≤ 40 NTU
pH	6 a 9
Sólidos Dissolvidos Totais	≤ 500 mg/L
Nitrogênio Amoniacal Total	≤ 3,7 mgN/L
Nitrito	≤ 1 mgN/L
Nitrato	≤ 10 mgN/L
Fósforo Total	≤ 0,1 mgP/L

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 357/2005.

3.3 PARÂMETROS E PADRÕES DE LANÇAMENTO

A ETE Feitoria segue os parâmetros e padrões de lançamento baseados na resolução CONSEMA 128/2006 para vazão $20 \text{ L/s} < Q < 100 \text{ L/s}$, os quais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros e valores do padrão de lançamento CONSEMA 128/2006

Parâmetro	Valores
Temperatura	≤ 40 °C
pH	6,0 à 9,0
Sólidos Suspensos	-
DBO ₅ ²⁰	≤ 150 mgO ₂ /L
DQO	≤ 360 mgO ₂ /L
Nitrogênio Amoniacal	≤ 20 mg/L
Fósforo Total	≤ 4 mgP/L
Coliformes Termotolerantes	≤ 10*10 ⁴ NMP/100 mL

Fonte: Adaptado dos relatórios da LO da ETE Feitoria.

3.4 ANÁLISES DE MONITORAMENTO

Atualmente o SEMAE monitora a ETE Feitoria mensalmente através de análises realizadas por laboratório externo contratado. Por falta de equipamentos não é realizado nenhum tipo de análise nos laboratórios da própria ETE.

Na Tabela 3 são apresentadas as análises realizadas mensalmente de acordo com os pontos de coleta de amostras. Estes pontos são os seguintes:

- Entrada da ETE;
- Saída da ETE;
- Arroio Peão a montante do ponto de lançamento;
- Arroio Peão a jusante do ponto de lançamento.

Tabela 3 - Análises mensais ETE Feitoria

Parâmetro	Entrada	Saída	Jusante	Montante
Coliforme Termotolerante	X	X	X	X
Cor Verdadeira			X	X
DBO ₅ ²⁰	X	X	X	X
DQO	X	X		
Fósforo Total	X	X	X	X
Materiais Flutuantes			X	X
Nitrato			X	X
Nitrito			X	X
Nitrogênio Amoniacal	X	X	X	X
Óleos e Graxas			X	X
Oxigênio Dissolvido			X	X
pH	X	X	X	X
Resíduos Sólidos			X	X
Sólidos Dissolvidos			X	X
Sólidos Sedimentáveis			X	X
Sólidos Suspensos Totais	X	X	X	X
Subst. Odor e Gosto			X	X
Turbidez			X	X
Temperatura	X	X	X	X

Fonte: Adaptado dos relatórios das análises do SEMAE.

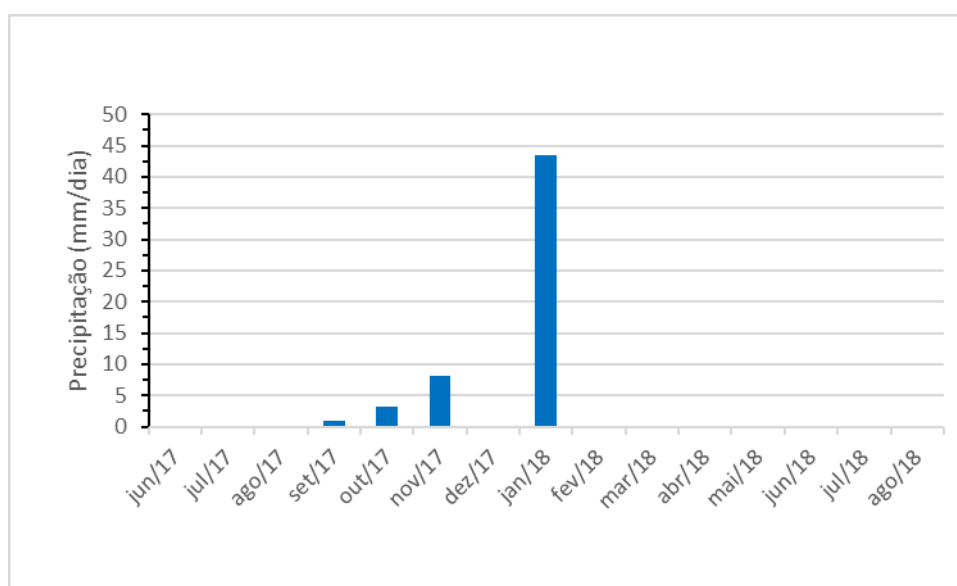
Os testes de laboratório, realizados por laboratório externo contratado e disponibilizado pelo SEMAE, seguem o método SMEWW – Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Mensalmente são efetuadas análises do efluente bruto e tratado da ETE Feitoria, análises realizadas por laboratório contratado. Os valores obtidos nestas análises foram fornecidos pelo SEMAE e são apresentados e discutidos a seguir. O período estudado é de junho de 2017 até agosto de 2018.

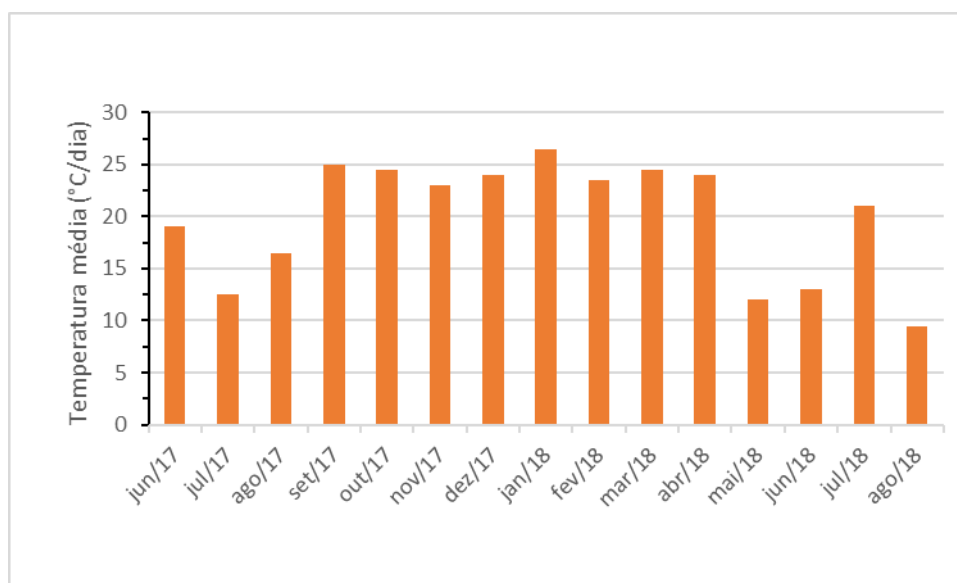
Para melhor entendimento, análise e discussão de resultados, a seguir são apresentados gráficos de precipitação, Gráfico 1, e de temperatura, Gráfico 2, com valores referentes aos dias de coleta das amostras. Os valores de precipitação foram obtidos junto ao CEMADEN, na estação pluviométrica do bairro Feitoria de nº 431870502A. Já os valores de temperatura foram obtidos junto ao site meteorológico AccuWheater.

Gráfico 1 - Precipitação no dia de realização da coleta das amostras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 - Temperatura média no dia de realização da coleta das amostras



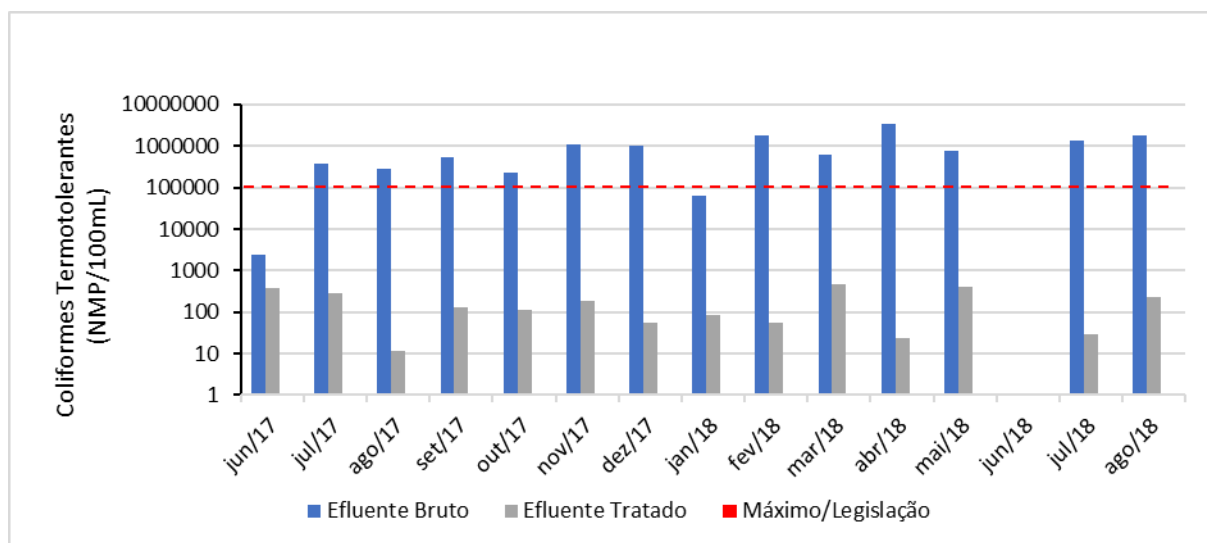
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 EFICIÊNCIA DA ETE

4.1.1 Coliformes Termotolerantes

A eficiência média na remoção de coliformes termotolerantes apresentou valor de 99,98% durante o período. De acordo com os valores apresentados no Gráfico 3 a concentração de coliformes termotolerantes em 87% das amostras do efluente bruto encontram-se superiores ao padrão máximo de lançamento estabelecido, permitido, pela LO da ETE.

Gráfico 3 - Concentração de coliformes termotolerantes afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, durante o período de estudo, esteve acima de 99%. Essa redução deve-se à vida curta dos organismos e consequente diminuição na contagem de organismos vivos.

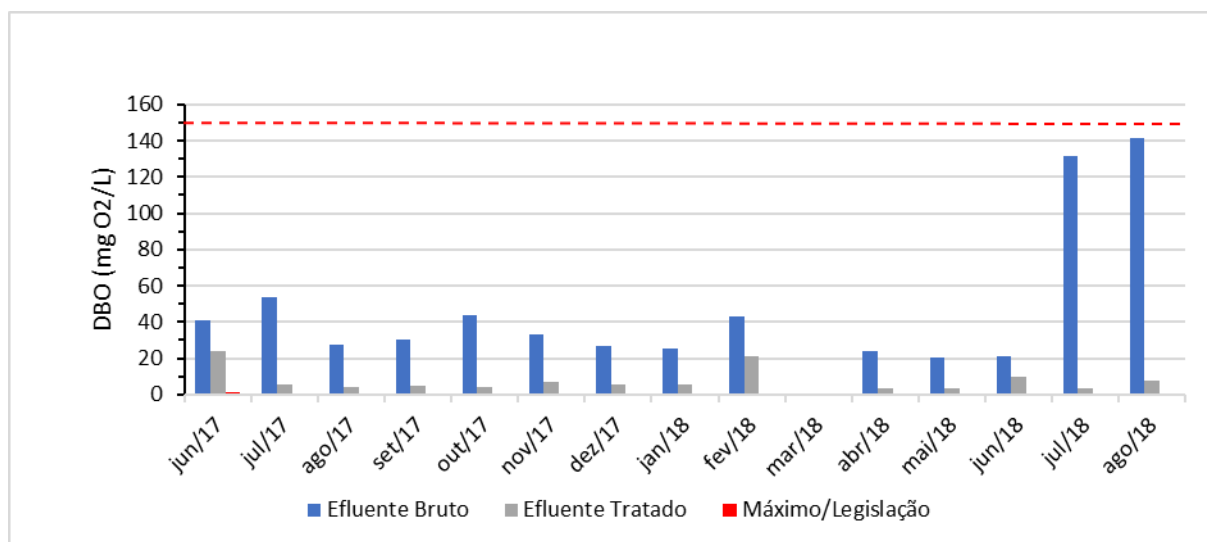
Colares e Sandri (2013) estudando tratamento de esgoto em fossas sépticas seguidas de leitos cultivados na Universidade Estadual de Goiás, demonstraram a necessidade de pós-tratamento para maior eficiência na remoção de coliformes termotolerantes. A eficiência antes do esgoto passar pelos leitos cultivados era de 64,7% e depois do pós-tratamento a eficiência foi de 90,2%. Estes dados corroboram para demonstrar a importância do banhado construído na ETE Feitoria, que apresenta função semelhante aos leitos cultivados do estudo de Colares e Sandri (2013). Sabe-se que este processo não é próprio para remoção de coliformes. Entretanto observa-se um decréscimo na concentração devido possivelmente a remoção por adsorção no leito do banhado, predação e decaimento natural.

4.1.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅²⁰

A eficiência média de remoção de DBO₅²⁰ foi de 90,26% no período estudado. Observa-se conforme o Gráfico 4 que o afluente bruto à ETE não apresentou

concentração de DBO_5^{20} superior ao padrão de lançamento estabelecido pela LO da ETE.

Gráfico 4 - Concentração de DBO_5^{20} afluyente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de DBO_5^{20} no efluente bruto foi de 44,2 mgO_2/L com desvio padrão de 38,26, enquanto no efluente tratado foi de 7,4 mgO_2/L com desvio padrão de 6,37.

A eficiência na remoção de DBO_5^{20} , observada para o período, manteve-se acima de 90%. Esta eficiência é fortemente impactada pela baixa concentração de DBO afluyente. Este efeito deve-se ao fato da rede esgoto sanitário que abastece a ETE ser do tipo coletor misto. Este tipo de rede caracteriza-se pela condução de água da chuva junto com o esgoto sanitário, levando a um processo de diluição da DBO. Esta é a razão pela qual a concentração de DBO afluyente permanece abaixo do padrão de lançamento. Também, o lançamento de águas de diferente natureza que não esgoto sanitário na rede pluvial potencializa este efeito, fazendo ele permanecer mesmo em ausência de chuva. Este fato dificulta a análise dos dados pois o sistema acaba operando numa condição na qual a carga orgânica afluyente 86,31 $\text{kgDBO}/\text{m}^3\text{dia}$ é pequena em relação a carga afluyente 7824,21 $\text{kgDBO}/\text{m}^3\text{dia}$, prevista em projeto.

A ausência de dados em março de 2018, no Gráfico 4, deve-se a ocorrência de um ponto fora do comportamento médio observado nos demais meses. No mês

de março de 2018 foi observado um valor de DBO_5^{20} afluente de 634 mgO_2/L e um valor efluente de 18,3 mgO_2/L , o que corresponde a uma eficiência de remoção de 97%.

Nicolodi (2012) estudando a formação de biofilme no banhado construído nessa mesma ETE, encontrou concentração média de DBO_5^{20} no esgoto bruto de 63,7 mgO_2/L e no esgoto tratado de 0,75 mgO_2/L , com eficiência no tratamento de 98,8%. O autor salienta o fato de que quanto maior a concentração de DBO_5^{20} na ETE Feitoria maior será a eficiência na remoção deste parâmetro, comparando os dados entre os dois estudos, esta afirmação se confirma.

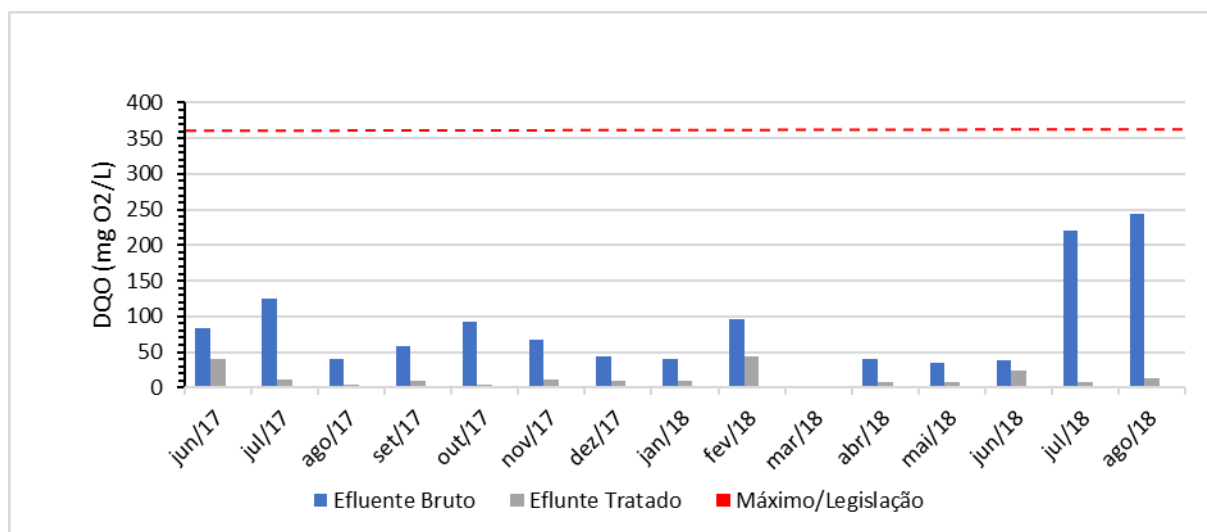
O estudo de Klusener (2006) em lagoas facultativas na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, apresentou eficiência de 83,7% na remoção de DBO durante o tratamento do esgoto doméstico. A diferença de 7% na eficiência, quando comparado a este trabalho, explica-se, principalmente, pelo fato da lagoa facultativa da ETE Feitoria apresentar aeração mecanizada, aumentando a concentração de oxigênio disponível para os microrganismos realizarem a estabilização da matéria orgânica.

Schlussaz (2014), no seu estudo de tratamento de esgoto sanitário por reatores anaeróbios tipo RALF em Ponta Grossa, Paraná, encontrou eficiência média na remoção de DBO_5^{20} na faixa de 58,3% e atribui este valor baixo a erros no dimensionamento da ETE estudada, que não levou em consideração o crescimento populacional que seria atendido nos anos futuros à construção da unidade.

4.1.3 Demanda Química de Oxigênio - DQO

A eficiência média de remoção de DQO foi de 89,65% durante o período estudado. Os valores apresentados no Gráfico 5 demonstram que o afluente bruto à ETE não apresentou concentração de DQO superior ao padrão de lançamento estabelecido pela LO da ETE.

Gráfico 5 - Concentração de DQO afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média analisada nas amostras de efluente bruto foi de 81,6 mgO₂/L com desvio padrão de 66,35, enquanto nas amostras de efluente tratado foi de 13,8 mgO₂/L com desvio padrão de 12,13.

O comportamento da concentração de DQO afluente e efluente à ETE é similar ao de DBO, ou seja, é afetado diretamente pela diluição da carga orgânica na mistura entre o esgoto sanitário e águas pluviais durante o processo de coleta do afluente. Por tal motivo a concentração de DQO do esgoto afluente apresenta valores inferiores aos valores exigidos exigidos pela LO.

Os valores de DQO são comumente superiores aos de DBO, este fato deve-se, principalmente, porque há substâncias orgânicas que dificilmente sofrem oxidação biológica, mas são suscetíveis à oxidação química (METCALF; EDDY, 2016).

A ausência de dados no mês de março de 2018, no Gráfico 5, deve-se a um ponto fora do comportamento médio observado durante o período. No mês de março de 2018 foi registrado uma concentração de DQO afluente de 1142,4 mgO₂/L e uma concentração efluente de 38,1 mgO₂/L, resultando numa eficiência de remoção de 96,66%.

O estudo de Nicolodi (2012) nessa mesma ETE encontrou concentrações médias no efluente bruto de 151,98 mgO₂/L e no efluente tratado de 10,94 mgO₂/L representando uma eficiência média de remoção de 92,8%, valor este pouco

superior ao encontrado atualmente, e que deve-se, principalmente, ao fato de que na época a lagoa aerada tinha sempre pelo menos três dos quatro aeradores em funcionamento.

Schlusaz (2014), no tratamento anaeróbio de esgoto sanitário com tanques RALF em Ponta Grossa, Paraná, apresentou eficiência média de 73,2% com concentrações no esgoto bruto de 610,98 mgO₂/L e no esgoto tratado de 151,7 mgO₂/L, e aponta que esse valor de eficiência é o esperado para tanques RALF, o que indica que o tratamento biológico aerado apresenta melhor qualidade de efluente quanto a presença de DQO.

4.1.4 Relação DBO₅²⁰/DQO

A associação entre DBO₅²⁰ e DQO permite conhecer-se o teor de biodegradabilidade do esgoto estudado. A biodegradabilidade do esgoto é a capacidade deste de ser degradado biologicamente. Quanto mais próximo de 1 for o valor dessa relação, mais biodegradável é o esgoto e menos complexo é o seu tratamento.

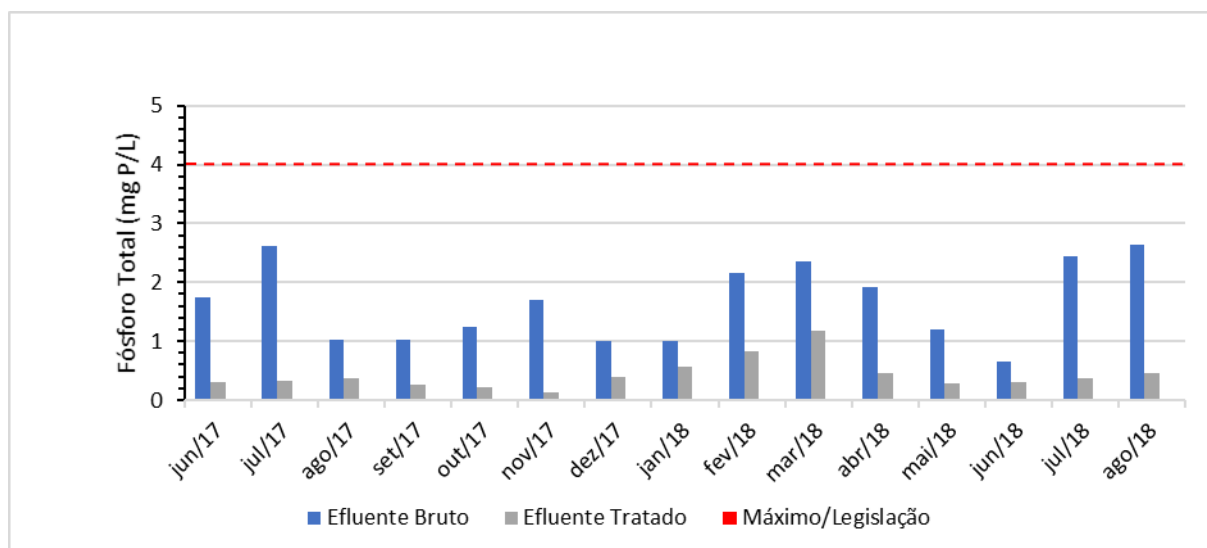
A partir das concentrações de DBO₅²⁰ e DQO apresentados nos Gráfico 4 e Gráfico 5, respectivamente, encontra-se um valor de DBO₅²⁰/DQO igual a 0,55, valor mediano, que evidencia que o esgoto afluyente à ETE Feitoria não é de fácil tratamento. Porém, mesmo com este valor de biodegradabilidade, a ETE apresenta alta eficiência na remoção de ambos parâmetros envolvidos.

4.1.5 Fósforo Total

A presença de fósforo no esgoto é indispensável para o desenvolvimento das bactérias e para a estabilização da matéria orgânica, uma vez que os processos biológicos estimulam o crescimento dessas bactérias capazes de assimilar e armazenar grandes quantidades de fósforo (METCALF; EDDY, 2016)

Durante o período estudado, a remoção de fósforo total obteve eficiência média de 73,96%, conforme o Gráfico 6. Assim como os dois últimos parâmetros analisados, DBO e DQO, a concentração de fósforo no afluyente bruto apresentou valores inferiores ao máximo (4 mgP/L) permitido pelo padrão de lançamento cumprido pelo SEMAE.

Gráfico 6 - Concentração de fósforo total afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de fósforo total encontrada nas amostras do efluente bruto foi de 1,6 mgP/L com desvio padrão de 0,65, enquanto nas amostras do efluente tratado foi de 0,4 mgP/L com desvio padrão de 0,25.

Salientam-se os baixos valores apresentados no esgoto afluente, inferiores ao máximo permitido pela LO da ETE, esses valores são importantes uma vez que o fósforo não apresenta facilidade na mudança de sua forma e, portanto, na sua remoção ao longo do tratamento biológico, diferente das formas nitrogenadas.

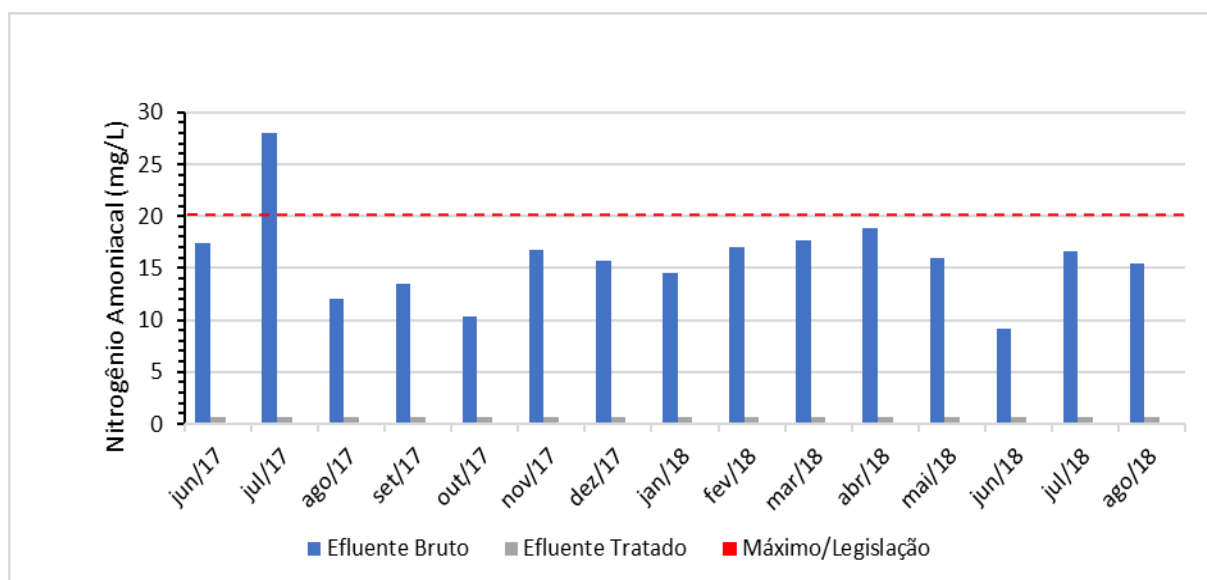
No estudo realizado por Schlusaz (2014) em reatores anaeróbios tipo RALF, a eficiência média de remoção de fósforo foi de 38,8% e a autora estabelece que essa baixa eficiência é indicativo de falha no sistema de tratamento que está retendo e não tratando o nutriente, e essa afirmação é confirmada já que em alguns meses do estudo foram encontrados valores de efluente tratado superiores ao de efluente bruto. Dessa forma o sistema de tratamento utilizado na ETE Feitoria apresentou valores muito superiores ao estudado por Schlusaz, demonstrando que sistemas aeróbios são melhores que anaeróbios na remoção de nutrientes.

4.1.6 Nitrogênio Amoniacal

A eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 97,78% durante o período. Conforme demonstrado no Gráfico 7 a concentração de nitrogênio

amoniaco do afluente bruto apresentou valores, em 93% das amostras, inferiores ao valor máximo permitido pelo padrão de lançamento estabelecido pela LO da ETE.

Gráfico 7 - Concentração de fósforo total afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de nitrogênio amoniacal no efluente bruto da ETE foi de 15,9 mgN/L com desvio padrão de 4,2, já no efluente tratado, a concentração média foi de 0,7 mgN/L sem desvio padrão.

Segundo Jordão e Pessoa (2005) o teor de amônia presente nos esgotos sanitários são divididos em três categorias, 50 mg/L caracteriza esgoto forte, 30 mg/L esgoto médio e 10 mg/L esgoto fraco, desta maneira, o afluente bruto à ETE caracteriza-se como médio à fraco.

Estes valores de esgoto afluente inferiores ao valor máximo do padrão de lançamento também são consequência da diluição do esgoto sanitário através da contribuição pluvial. Deve-se salientar a eficiência do sistema de tratamento na oxidação da amônia que caracteriza a estabilização da matéria orgânica ao longo processo de tratamento do esgoto.

A nitrificação, transformação da amônia em nitrito e nitrato, e a desnitrificação, transformação do nitrato em nitrogênio molecular, ocorrem ao longo do processo de tratamento biológico, através da oxidação da amônia nos processos oxidativos, e da

alimentação da biota e microbiota que utilizam essas formas nitrogenadas como fonte energética.

O estudo de Nicolodi (2012) nesta mesma ETE apontou eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal de 97,9%, valor semelhante ao encontrado neste trabalho, com concentrações médias afluente de 10,98 mgN/L e efluente de 0,12 mgN/L.

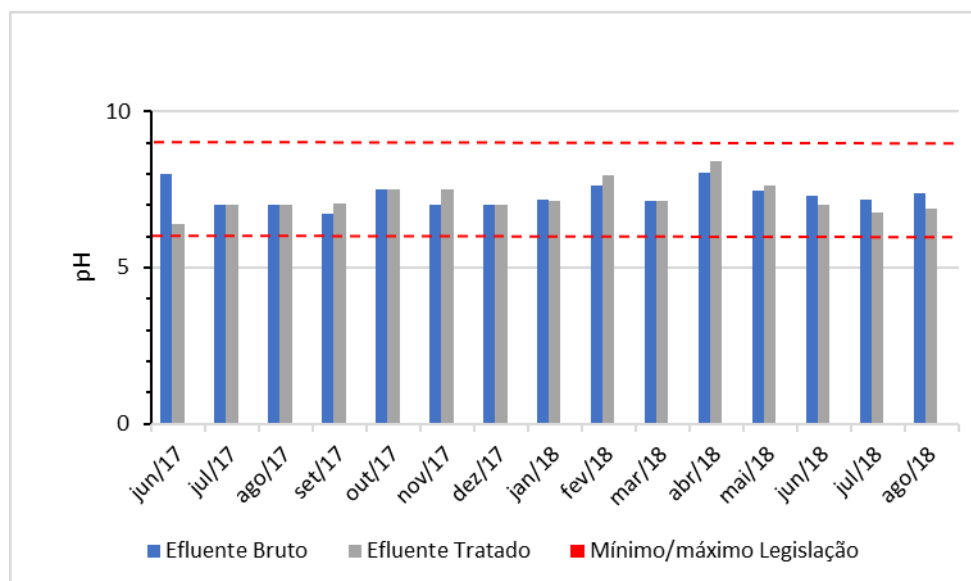
O estudo de Schlusaz (2014) em ETE com tratamento anaeróbico via tanques RALF, apresentou eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal de 13,9% com concentração afluente de 33,08 mgN/L e efluente de 27,87 mgN/L. A autora discute que esta baixa eficiência é consequência do tratamento anaeróbico, que não apresenta oxigênio e assim não oxida o nitrogênio presente no esgoto.

4.1.7 pH

A concentração extrema de íons de hidrogênio, pH, dificulta o tratamento biológico, e valores fora de uma faixa ótima, 6 a 9, apresentam consequências negativas à qualidade da água de corpos receptores, portanto, a análise desse parâmetro se faz necessária uma vez que dita o funcionamento biológico no tratamento de esgoto (METCALF; EDDY, 2016).

O pH do afluente bruto e efluente tratado, durante todo o período, manteve-se entre os valores mínimo e máximo requeridos pelo padrão de lançamento da ETE, conforme o Gráfico 8.

Gráfico 8 - Valor de pH afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento do pH manteve-se entre os valores mínimos e máximos previstos pela legislação vigente durante todo o período de estudo, isso é característico de esgoto sanitário e novo.

Para o afluente bruto o valor de pH médio foi de 7,3 com desvio padrão de 0,36, já para o efluente tratado o valor médio de pH foi de 7,23 com desvio padrão de 0,48. Com este padrão comportamental os processos oxidativos, essenciais no tratamento biológico, são beneficiados, principalmente a oxidação da amônia e, portanto, estabilização da matéria orgânica.

Schlussaz (2014), no seu estudo na ETE com tratamento anaeróbio por tanques RALF, encontrou valores médios de pH no afluente de 7,1 e no efluente de 6,8, esta concentração mais baixa, próximo de pH 6,5, é a ideal para o sistema de tratamento anaeróbio como explica a autora.

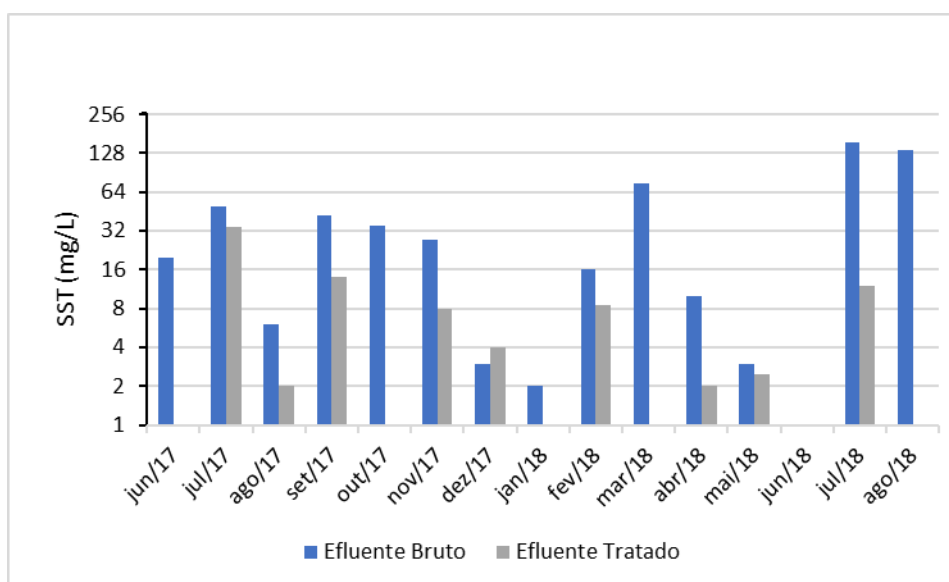
Já Colares e Sandri (2013) em estudo realizado em ETE com tratamento em leitos cultivados de fluxo horizontal encontraram valores de pH no esgoto bruto de 8,23 e no esgoto tratado de 7,4, essa diminuição é atribuída às bactérias formadoras de ácido, presente no sistema de tratamento, que fracionam a matéria orgânica e produzem ácidos voláteis, segundo os autores.

4.1.8 Sólidos Suspensos Totais

Apesar de não haver padrão de lançamento para sólidos suspensos totais, a análise de SST é um dos dois parâmetros de efluente, junto com a DBO, utilizados na avaliação de regulamentações (METCALF; EDDY, 2016).

O sistema de tratamento da ETE Feitoria apresenta eficiência média, na remoção deste parâmetro, de 84,95%, como mostra o Gráfico 9.

Gráfico 9 - Concentração de sólidos suspensos totais afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de SST do esgoto afluente foi de 38,6 mg/L com desvio padrão de 46,39, e no esgoto efluente a concentração média foi de 6,2 mg/L com desvio padrão de 8,53.

No estudo de Schlusaz (2010) na ETE Ronda, localizada em Ponta Grossa, Paraná, o tratamento dos efluente é anaeróbio em tanques RALF, a autora encontrou valores de SST no esgoto afluente e efluente de 323 mg/L e 77 mg/L, respectivamente, apresentando eficiência de 74,7% na remoção de SST. Numa simples análise de dados, o sistema biológico aeróbio apresentou melhor eficiência quando comparado ao sistema anaeróbio.

Colares e Sandri (2012) no estudo do tratamento de esgoto sanitário proveniente da Universidade de Estadual de Goiás em ETE com fossas sépticas

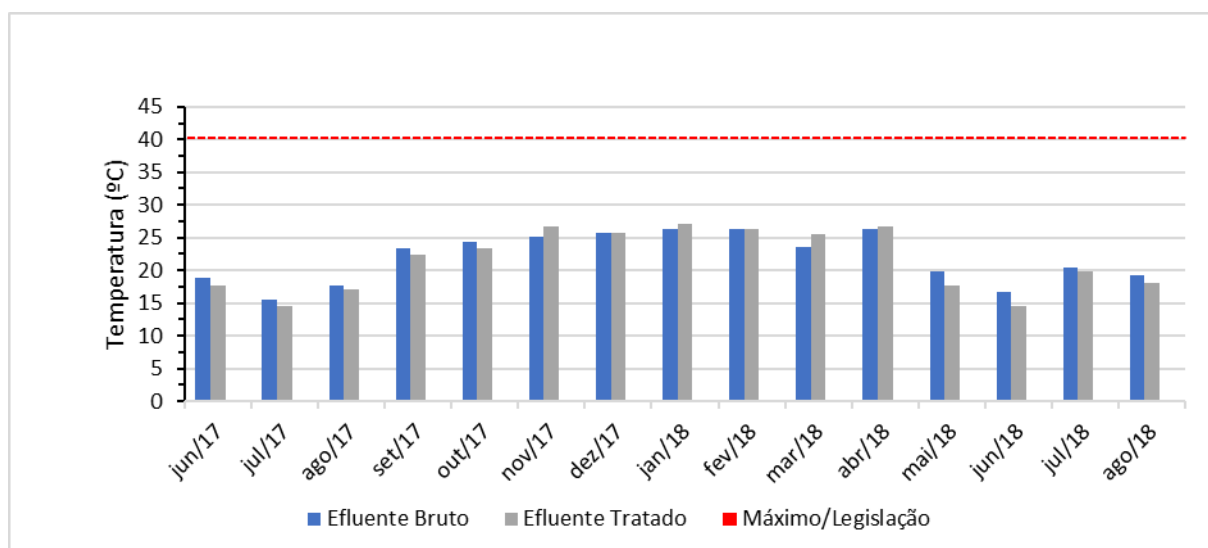
seguidos de leitos cultivados encontraram concentrações médias de SST no esgoto afluente de 208,8 mg/L e no efluente de 74,99 mg/L com eficiência de remoção deste parâmetro de 87,51%, pouco superior à encontrada na ETE Feitoria.

4.1.9 Temperatura

De acordo com o padrão adotado pela LO o valor máximo de lançamento da temperatura do esgoto deve ser menor que 40°C.

Conforme o Gráfico 10 este valor é respeitado, tanto para o afluente bruto quanto para o efluente tratado.

Gráfico 10 - Valor de temperatura do esgoto afluente e efluente à ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura é fator crucial para ETEs que trabalham com sistemas biológicos por influenciar diretamente na taxa das reações químicas (METCALF; EDDY, 2016), ou seja, quanto maior for a temperatura maior será a taxa de reações químicas e mais rápido estabilizar-se-á a matéria orgânica.

Para que a afirmação anterior seja completamente acurada existe uma faixa de temperatura ótima para correta atividade biológica, uma faixa de 25°C a 35°C, e para temperaturas abaixo de 15°C a atividade biológica é retardada (METCALF; EDDY, 2016).

A temperatura média do afluente bruto foi de 21,9°C com desvio padrão de 3,7 já a temperatura média do efluente tratado foi de 21,6°C com desvio padrão de 4,5. Estes dados indicam uma considerável diferença de temperatura ao longo do período estudado e atesta o clima subtropical do estado.

Desta forma a eficiência da lagoa aerada facultativa é afetada diretamente pelo clima e, conforme o Gráfico 10, em apenas 33,3% do meses a temperatura do efluente é a mais correta para atividade biológica, o que aponta que, apesar da boa eficiência demonstrada até então, se localizada em ambiente mais quente, com mesma característica de esgoto afluente, a eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes seria ainda melhor.

4.2 AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ENTRADA DO EFLUENTE TRATADO NO ARROIO PEÃO

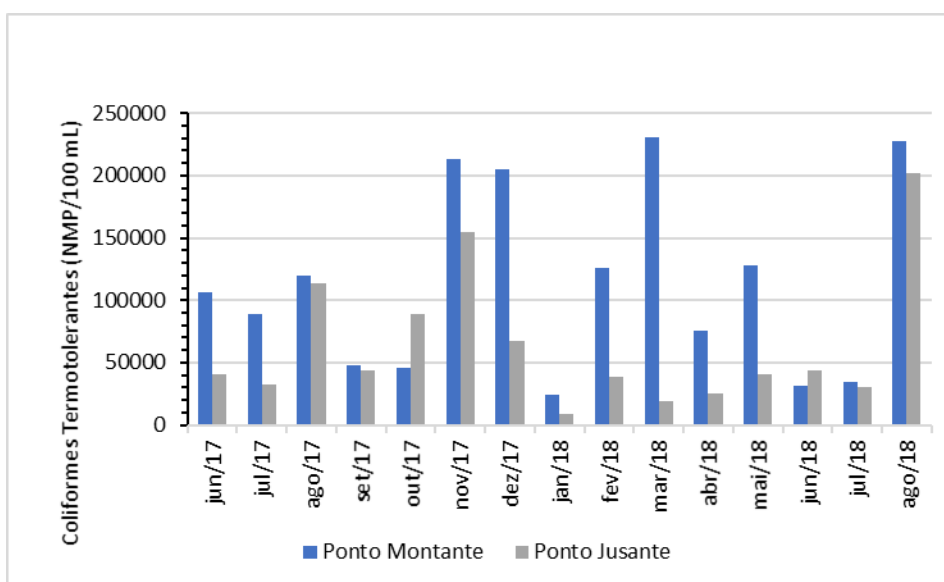
Para efeito de avaliação dos dados e dos resultados obtidos nos pontos à montante e jusante do lançamento do efluente tratado no Arroio Peão obteve-se dados de vazão da ETE e do Arroio. A vazão média da ETE é de 22,6 L/s e a vazão média do Arroio Peão é de 464,4 L/s (SEMAE, 2018). Desta forma, a vazão da ETE representa 4,86% da vazão do Arroio Peão.

Com base nestes dados é possível prever que o efeito diluição do efluente da ETE Feitoria na água do Arroio Peão não vai possibilitar mudanças significativas na qualidade da água do arroio, como foi verificado no estudo de Bohrer (2017), que estudou a influência do esgoto sanitário tratado da ETE Unisinos na qualidade da água do Arroio São João. Nesse estudo verificou-se uma significativa melhora na qualidade da água do Arroio São João após a entrada do esgoto sanitário tratado na ETE Unisinos. Este efeito foi atribuído, entre outros motivos, pela vazão da ETE Unisinos aproximar-se da vazão do Arroio São João, possibilitando a verificação de forma contundente na melhora na qualidade da água do arroio.

4.2.1 Coliformes Termotolerantes

A concentração média de coliformes termotolerantes diminuiu 45% após o lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão, como pode ser visto no Gráfico 11. Esse decréscimo é, provavelmente, consequência da entrada de efluente de boa qualidade da ETE Feitoria.

Gráfico 11 - Concentração de coliformes termotolerantes na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de coliformes termotolerantes nas amostras a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão foi de 113.700 NMP/100 mL com desvio padrão de 71.656, já nas amostras a jusante a concentração média foi de 63.449 NMP/100 mL, com desvio padrão de 51.751.

Estas concentrações média a montante e a jusante no arroio indicam que de acordo com este parâmetro o Arroio Peão não pode ser classificado como Classe I, uma vez que para atender esse critério a concentração máxima permitida é de 200 NMP/100 mL.

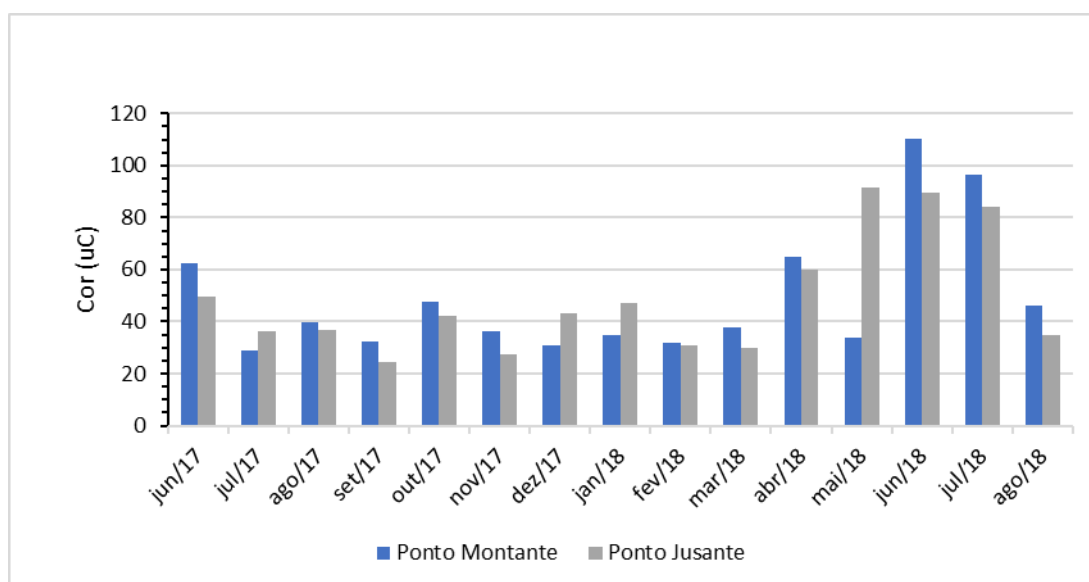
Nos estudos Damasceno et al. (2015) e Pereira et al. (2010) os picos de concentração de coliformes termotolerantes foram vistas no período menos chuvoso, assim como no Arroio Peão nos meses de novembro e dezembro de 2017 e março

de 2018. Os autores competem este fato às baixas taxas de precipitação que diminuem a vazão e favorecem a concentração de efluente no corpo hídrico, assim elevando a concentração de coliformes. Porém Haddad e Magalhães (2010) registraram as maiores concentrações de coliformes termotolerantes, 30.000 NMP/100 mL, no rio São Miguel em Minas Gerais nos períodos chuvosos nos quais a vazão do rio aumentava e os coliformes presentes nas margens dos rios eram transportados para seu interior.

4.2.2 Cor

O parâmetro cor está associado a turbidez e a presença de sólidos em suspensão na água. De acordo com a CONAMA 357/2005 não há valores limites para cor em Água Doces Classe I, dessa forma, a análise deste parâmetro se dá por motivos de avaliação de potabilidade. No Gráfico 12 é apresentado os valores de cor para o período estudado.

Gráfico 12 - Valor de cor da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cor da água do Arroio Peão no ponto a montante apresentou valor médio de 49 uC com desvio padrão de 23,85, já no ponto a jusante o valor médio foi de 48,5 uC com desvio padrão de 21,8.

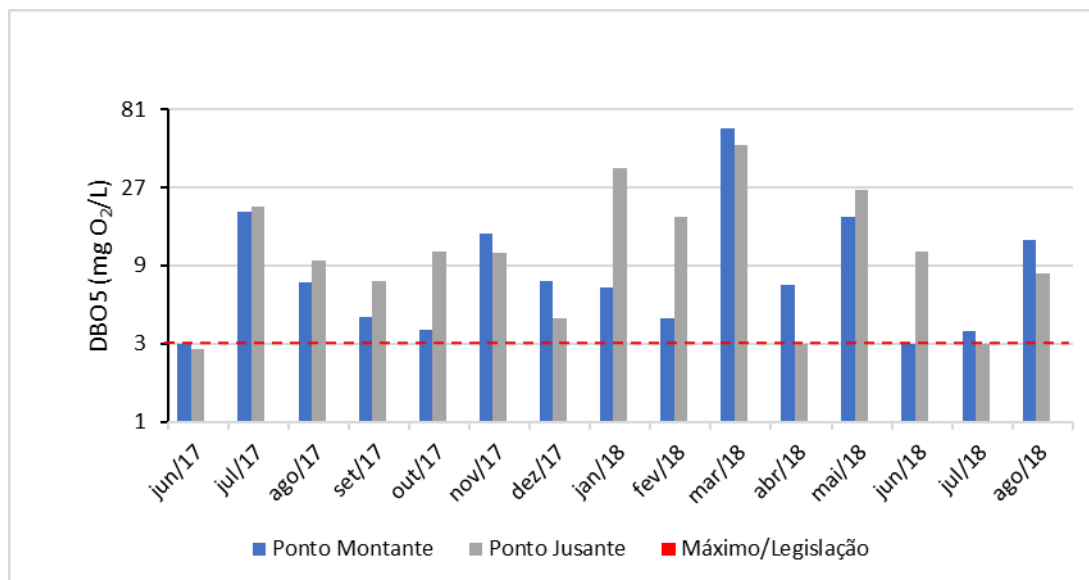
Em 73,3% dos meses a cor da água do Arroio Peão no ponto a jusante apresentou valores menores do que no ponto a montante, essa pequena diferença de valores, provavelmente, se deve ao fato de a vazão de efluente tratado representar menos de 5% da vazão do Arroio em que é lançado.

Os valores encontrados no Arroio Peão são próximos aos encontrados por Piratoba et al. (2017) e distantes dos encontrados por Soares, Távora e Nunes (2009) e Vasconcelos e Souza (2011), que apresentaram valores médios de 50 uC, 205 uC e 74 uC, respectivamente. Essa diferença deve estar associada ao período e quantidade de chuvas nas localizações dos estudos, como explica o trabalho de Fonseca e Salvador (2005).

4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO_5^{20}

A DBO_5^{20} é o parâmetro mais utilizado para determinação de poluição orgânica de esgotos e águas superficiais (METCALF; EDDY, 2016), quanto maior sua concentração menor é a estabilização da matéria orgânica, afeta e é afetada pela quantidade de oxigênio disponível (oxigênio dissolvido) no corpo d'água, por isso sua mensuração se faz necessária. No Gráfico 13 apresenta-se a concentração de DBO_5^{20} no Arroio Peão, antes e depois do lançamento do efluente da ETE.

Gráfico 13 - Concentração de DBO_5^{20} na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de DBO_5^{20} nas amostras do ponto a montante do lançamento do efluente da ETE foi de 11,7 mgO_2/L com desvio padrão de 14,3, enquanto nas amostras do ponto a jusante a concentração média foi de 14,6 mgO_2/L com desvio de padrão de 12,8.

Estes valores médios de concentração de DBO_5^{20} classificam esta área de estudo do Arroio Peão como Água Doce Classe IV.

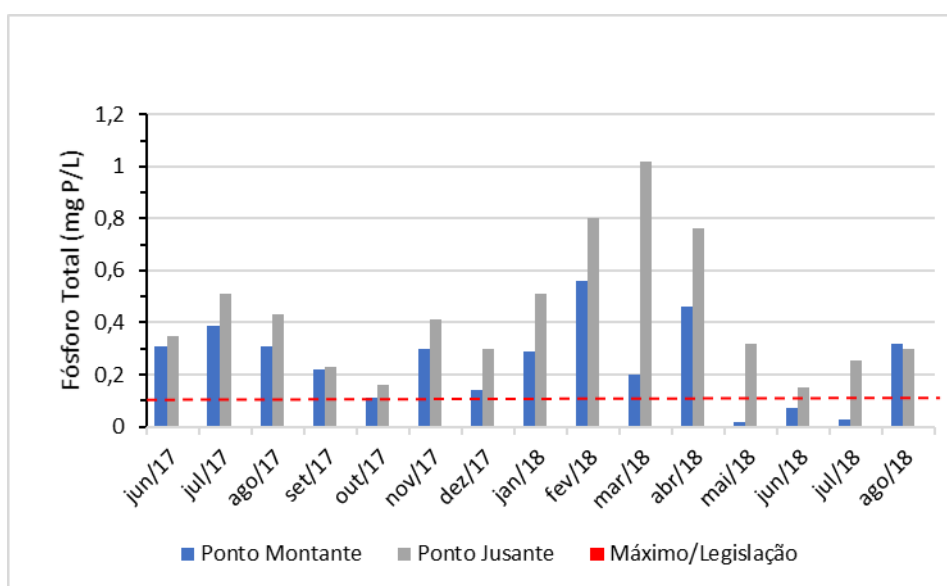
As maiores concentrações de DBO_5^{20} foram analisadas nos meses mais quentes do ano, assim como no estudo de Damasceno et al. (2015) na avaliação do Rio Amazonas na orla de Macapá, Amapá, porém a concentração média encontrada por eles foi de 5 mgO_2/L e segundo os autores esse valor deve-se, principalmente, à diluição ocasionada pela vazão do Rio Amazonas. Em outros estudos na região norte do país como no de Alves et al. (2012) e de Oliveira e Cunha (2014) as maiores concentrações foram analisadas nos meses mais chuvosos e isso deve-se, principalmente, ao fato das cheias dos rios trazerem demasiada carga orgânica aos corpos hídricos.

4.2.4 Fósforo Total

Quando em grandes concentrações, superiores às permitidas pelas resoluções e legislações vigentes, o fósforo apresenta perigo ao meio aquático, uma vez que é nutriente essencial no crescimento de plantas como algas e, portanto, aceleram o processo de eutrofização nos corpos hídricos (METCALF; EDDY, 2016). Dessa forma influencia diretamente e principalmente nas concentrações de matéria orgânica e oxigênio dissolvido nos cursos d'água.

O Gráfico 14 mostra a concentração de fósforo total na área estudada durante o período de junho de 2017 a agosto de 2018.

Gráfico 14 - Concentração de fósforo total na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de fósforo total da amostra coletada a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão foi de 0,2 mgP/L com desvio padrão de 0,15, já no ponto a jusante a concentração média foi de 0,4 mgP/L com desvio padrão de 0,24.

A concentração de fósforo total na amostra a jusante do ponto de lançamento do efluente da ETE, em 93,3% dos meses estudados, mostrou-se superior ao máximo para Água Doce Classe I. Os valores atingidos durante esse período

classificam o Arroio Peão como Água Doce Classe IV, a pior das classificações para corpos hídricos de água doce de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

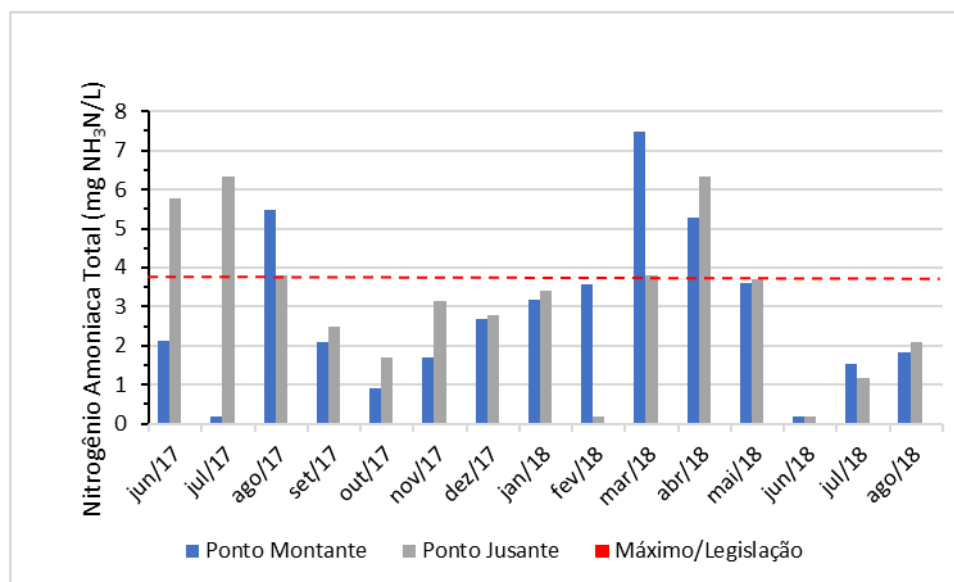
Estas concentrações superiores de fósforo podem ser atribuídas, segundo Fia et al. (2009), à retirada desse nutriente do solo nas zonas próximas ao arroio devido as primeiras chuvas depois de um período seco como visto no estudo de Haddad e Magalhães (2010) que encontraram concentração média de 0,12 mgP/L, ainda mais em zonas com atividades agrícolas, como a zona de influência do Arroio Peão, assim explicado no estudo de Cunha et al. (2013).

A concentração média a jusante, como exposto anteriormente, é o dobro da concentração média a montante, esta variação pode ser atribuída, segundo Barreto et al. (2014) à entrada do efluente e ao aumento da vazão do corpo receptor.

4.2.5 Nitrogênio Amoniacal Total

O nitrogênio amoniacal total, em ambientes aquáticos, compreende o íon amônia (NH_4^+) e amônia (NH_3) dissolvidos, e a proporção entre eles depende da temperatura e principalmente do pH. Dependendo da concentração de nitrogênio amoniacal a vida aquática pode sofrer severas mudanças (BARBIERI et al., 2014; METCALF; EDDY, 2016). O Gráfico 15 aponta resultados das amostras de nitrogênio amoniacal total do Arroio Peão no trecho estudado e o valor limite para este parâmetro de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

Gráfico 15 - Concentração de nitrogênio amoniacal total na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de nitrogênio amoniacal total a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão foi de 2,8 mgN/L com desvio padrão de 1,98, enquanto a concentração média a jusante foi de 3,1 mgN/L com desvio padrão de 1,89.

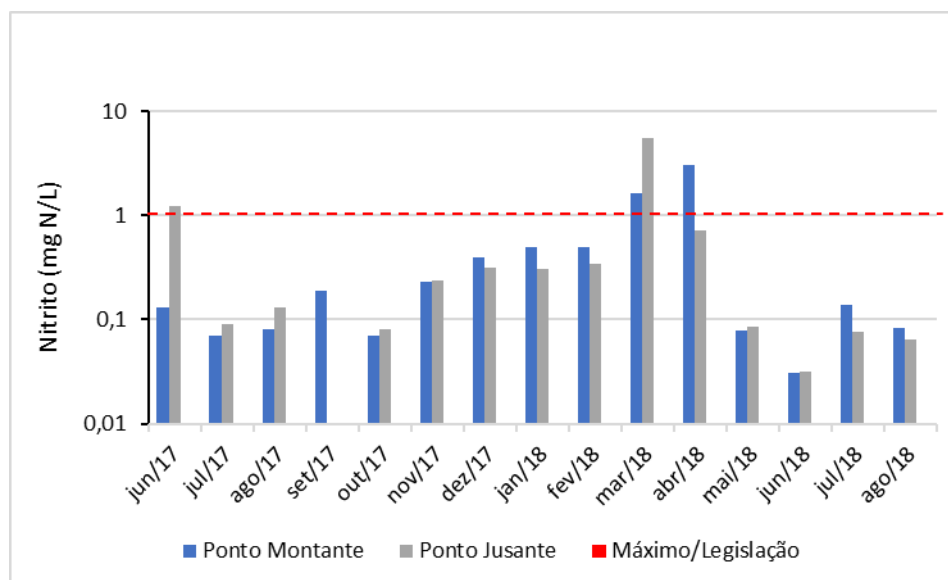
Por mais que as concentrações médias encontram-se abaixo da concentração máxima permitida, alguns meses apresentaram valores que classificariam o Arroio Peão como Água Doce Classe III, como por exemplo junho e julho de 2017, além disso, esse período é indicativo de que o efluente da ETE influencia os padrões de nitrogênio amoniacal total do Arroio Peão.

No estudo de Danelon, Luz Netto e Rodrigues (2012) avaliando a nascente e a foz do córrego Terra Branca em Uberlândia (MG), classificado como Água Doce Classe II, encontrou-se concentrações médias de nitrogênio amoniacal total menores do que as encontradas no Arroio Peão, a concentração média na nascente foi de 0,38 mgN/L enquanto na foz foi de 0,19 mgN/L, indicando qualidade satisfatória para classificar este córrego como Classe I.

4.2.6 Nitrito

O nitrito é resultado da oxidação do nitrogênio amoniacal, altamente instável, e rapidamente é oxidado para a forma nitrato, por isso é encontrado em baixas concentrações. A presença de nitrito em esgotos ou em corpos hídricos é sinal de poluição recente, porém é tóxico a diversas espécies aquáticas (METCALF; EDDY, 2016). No Gráfico 16 é apresentado as concentrações de nitrito na área do Arroio Peão estudada.

Gráfico 16 - Concentração de nitrito na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de nitrito encontrada nas amostras a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE foi de 0,5 mgNO₂/L com desvio padrão de 0,8, já nas amostras a jusante a concentração foi de 0,6 mgNO₂/L com desvio padrão de 1,34.

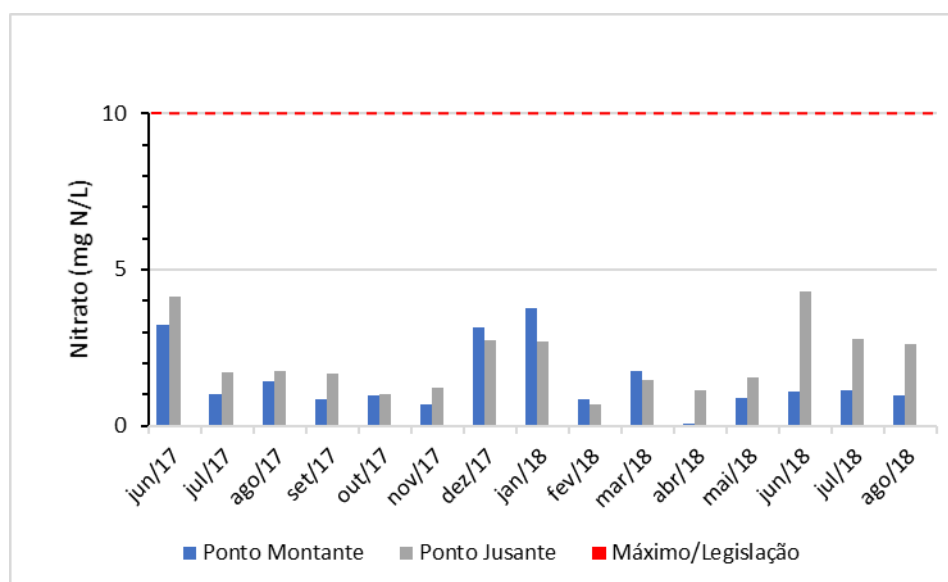
A concentração limite estabelecida pela CONAMA 357/2005 é de 1 mgNO₂/L e foi respeitada em 86,7% das amostras. Em 20% dos meses pelo menos umas das amostras foi superior ao máximo permitido, a variação da concentração de nitrito segue a variação da concentração de nitrogênio amoniacal e nitrato, indicando provável influência do efluente da ETE.

Os meses de março e abril de 2018 foram os meses com maiores concentrações de nitrito, e neste mesmo período o oxigênio dissolvido apresentou seus menores valores, o estudo de Araújo e Oliveira (2013) no riacho da Universidade Federal de Pernambuco também demonstrou essa relação entre os parâmetros e associou este fato aos valores de nitrito encontrado nas amostras do riacho, concentração média de 2,3 mgNO₂/L.

4.2.7 Nitrato

O nitrato é a última etapa da nitrificação, é a forma mais oxidada do nitrogênio encontrado em esgotos, na água, quando ocorre a desnitrificação, transforma-se em nitrogênio molecular. Por apresentar riscos fatais a bebês, sua concentração em todas as classes de águas doces é limitada a 10 mgNO₃/L (METCALF; EDDY, 2016). O gráfico 17 apresenta as concentrações encontradas nas amostras da área do Arroio Peão estudada.

Gráfico 17 - Concentração de nitrato na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de nitrato no ponto a montante do lançamento do efluente da ETE foi de 1,4 mgNO₃/L com desvio padrão de 1,03, já no ponto a jusante a concentração foi de 2,1 mgNO₃/L com desvio padrão de 1,05.

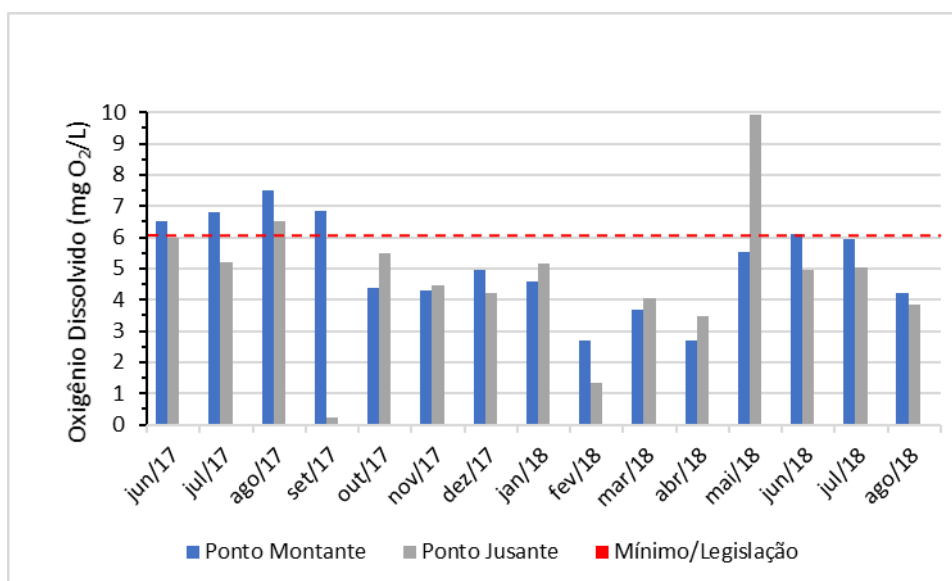
Apesar de 73,3% das amostras apresentarem concentrações a jusante maiores que concentrações a montante – provavelmente por acréscimo da forma nitrogenada proveniente do efluente da ETE – os valores encontrados são inferiores ao máximo permitido na Resolução CONAMA 357/2005.

No estudo de Vasconcelos e Souza (2011) foram encontrados valores inferiores ao do Arroio Peão, concentrações médias por volta de 0,15 mgNO₃/L, isto deve-se principalmente ao fato de a área e volume dos corpos hídricos por eles estudados serem maiores do que o estudado neste trabalho.

4.2.8 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é um dos mais importantes fatores para a autodepuração de um corpo hídrico, o balanço de produção e consumo deste parâmetro é essencial. Quanto maior a carga orgânica presente na água, maior consumo de OD e maiores são as restrições para vida aquática. No Gráfico 18 é apresentado o comportamento deste parâmetro na área estudada.

Gráfico 18 - Concentração de oxigênio dissolvido na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor médio de concentração de oxigênio dissolvido na área abrangida pelo estudo foi de 5,1 mgO₂/L na amostra a montante com desvio padrão de 1,45, enquanto na amostra a jusante a média da concentração foi de 4,7 mgO₂/L com desvio padrão de 2,13.

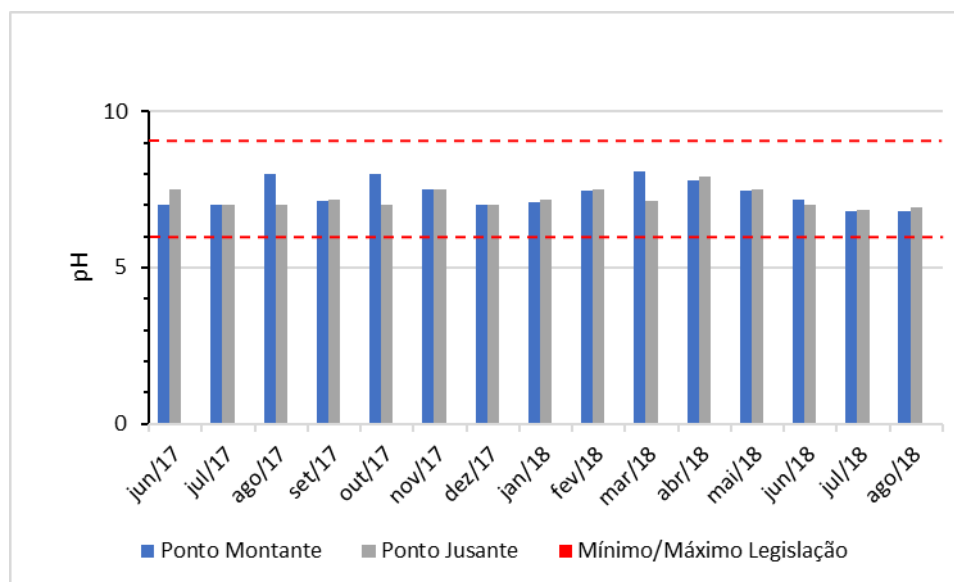
Em 60% das amostras a concentração mínima exigida pela CONAMA 357/2005, superior a 6 mgO₂/L, não foi atingida, demonstrando que na área em que são coletadas as amostras o Arroio Peão não pode ser classificado como Água Doce Classe I. Ainda que o efluente proveniente da ETE apresente boa qualidade, este não é capaz de melhorar a concentração de oxigênio dissolvido no Arroio Peão principalmente por representar somente 5% da vazão do corpo receptor.

As concentrações médias encontradas no Arroio Peão não atingem o mínimo requerido pela resolução, como dito anteriormente, porém apresentam valores melhores que os encontrados no estudo de Vasconcelos e Souza (2011), que no estudo de três diferentes corpos hídricos encontraram concentrações médias abaixo de 3,1 mgO₂/L. Outro aspecto relevante neste estudo foi que maiores concentrações de OD foram encontradas nas amostras dos meses mais chuvosos como manifestado no estudo de Haddad e Magalhães (2010), que encontraram concentração de 8,8 mgO₂/L no período chuvoso, e nas amostras do Arroio Peão.

4.2.9 pH

O pH das amostras a montante e jusante do ponto de lançamento do efluente da ETE Feitoria encontram-se dentro da faixa ótima estabelecida pela Resolução CONAMA 357, conforme o Gráfico 19.

Gráfico 19 - Valor de pH na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor médio de pH da água do Arroio Peão no ponto a montante foi de 7,4 com desvio padrão de 0,43, já no ponto a jusante o valor foi de 7,2 com desvio padrão de 0,3.

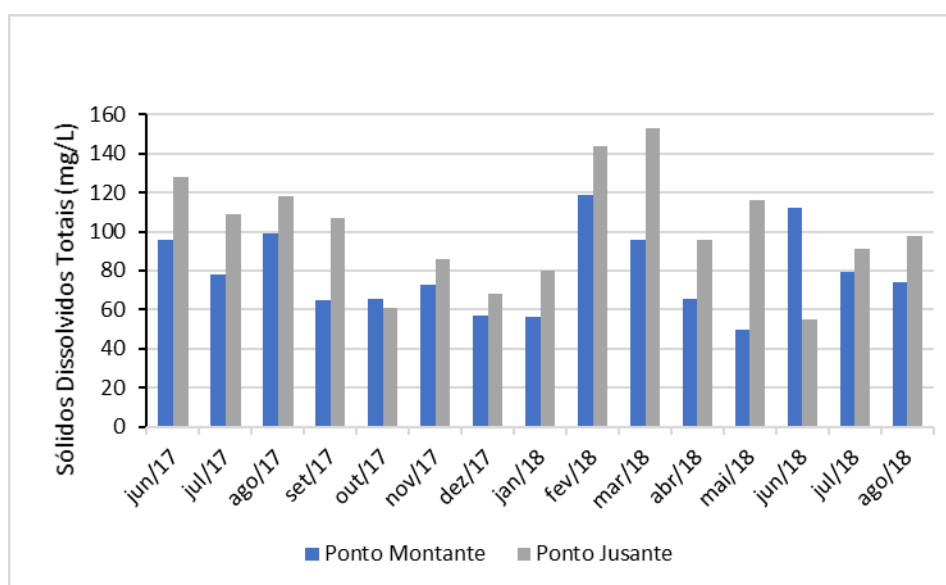
Estes valores de pH são semelhantes ao de Sardinha et al. (2008) no estudo que compreende valores de pH na qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio (SP). Piratoba et al. (2017) encontraram valores de pH semelhantes durante seus estudos no período chuvoso no Pará, porém no período mais seco os valores de pH foram menores, localizando-se na faixa de 7,0. Pontes et al. (2012) no estudo da microbacia do Córrego Banguelo (MG) encontrou valores que diferem do estudo no Pará, observou-se que nos meses mais chuvosos o pH tende a valores mais ácidos porque as contribuições pluviais apresentam tal característica. Em relação a vazão, Barreto et al. (2014) apontam que ao aumentar a vazão de corpo hídrico o pH tende a diminuir, indo de encontro aos resultados aqui encontrados.

Os valores de pH demonstraram pouca variação e mostraram-se próximos da neutralidade, proporcionando estabilidade do meio aquático para ação dos microrganismos durante a autodepuração. Os valores de pH do efluente da ETE permitiram a continuidade na faixa ótima deste parâmetro no Arroio Peão.

4.2.10 Sólidos Dissolvidos Totais

A análise de sólidos dissolvidos totais é importante no controle da poluição de corpos hídricos e na avaliação da eficiência de tratamento de efluentes sanitários e industriais. O Gráfico 20 apresenta os valores de SDT encontrados no Arroio Peão.

Gráfico 20 - Concentração de sólidos dissolvidos totais na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de SDT nas amostras a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão foi de 79 mg/L com desvio padrão de 20,2, já nas amostras a jusante a concentração média foi de 100,7 mg/L com desvio padrão de 27,7.

Nota-se um aumento na concentração média de SDT na área estudada na faixa de 25%, esse acréscimo deve ser resultado do lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão e apesar disso o valor máximo permitido, para Água Doce Classe I, de 500 mg/L não é infringido em nenhum dos meses estudados, demonstrando que o efluente da ETE ajuda na manutenção da concentração de SDT.

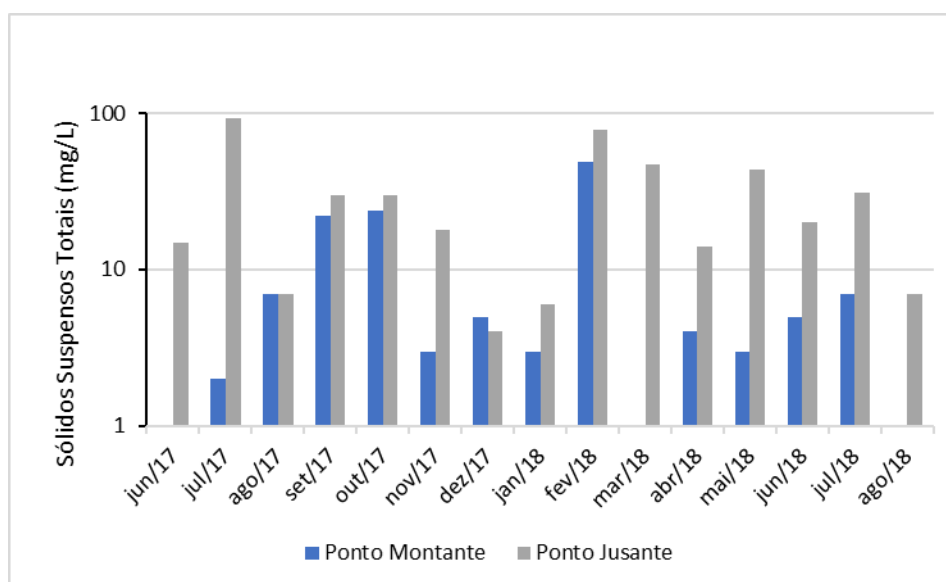
Estas concentrações encontradas apresentam grande diferença com as de Piratoba et al. (2017) que se dão na faixa de 17 mg/L, isso deve-se explicar pelo estudo de Barreto et al. (2014) que aponta que a medida que a vazão de um corpo

d'água aumenta a concentração de SDT também aumenta, coincidindo com resultados encontrados no Arroio Peão. Esta última afirmação vai de encontro aos dados encontrados no estudo de Sardinha et al. (2008) – realizado no Ribeirão do Meio, São Paulo – que encontram concentrações médias de SDT de 310 mg/L nas menores vazões, enquanto nas maiores a concentração média encontrada foi de 529 mg/L, outro dado semelhante a este estudo é de que as maiores concentrações foram encontradas nos meses mais secos.

4.2.11 Sólidos Suspensos Totais

Durante o período de estudo a concentração de SST nas amostras coletadas no ponto a jusante do lançamento do efluente da ETE foram superiores às amostras do ponto a montante, conforme o Gráfico 21, destacam-se os meses de junho e julho de 2017 e março de 2018 nos quais a concentração de SST sofreu drástica variação.

Gráfico 21 - Concentração de sólidos suspensos totais na água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média de SST nas amostras a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão foi de 9,1 mg/L com desvio padrão

de 12,7, enquanto nas amostras a jusante a concentração média foi de 29,7 mg/L com desvio padrão de 25,8.

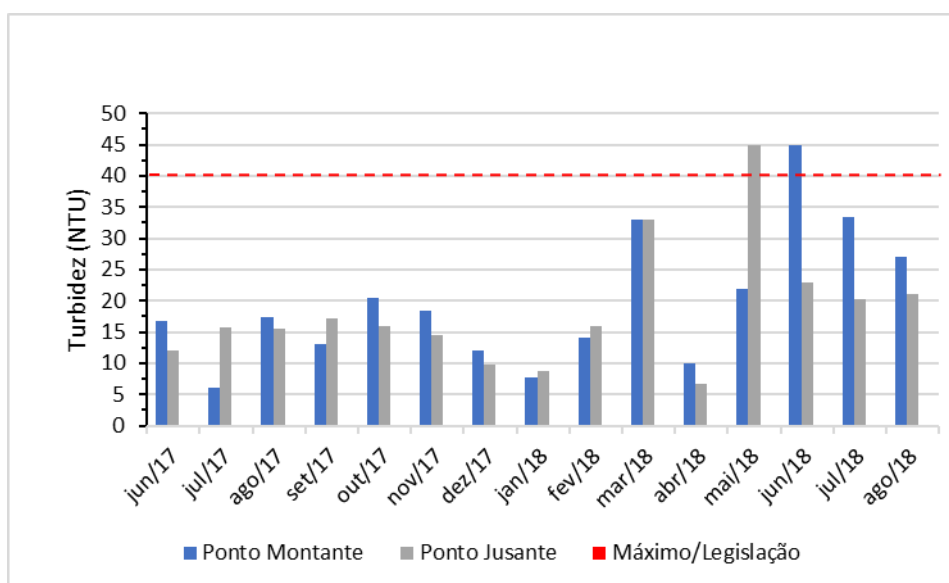
A diferença média de concentração de SST entre os pontos de coleta das amostras foi de 200% e mostra que o efluente da ETE interfere diretamente na qualidade da água superficial do arroio em relação ao parâmetro apresentado neste tópico.

O estudo de Piratoba et al. (2017) também demonstra aumento da concentração de SST, de 20 mg/L para 30 mg/L, à medida que a vazão aumenta ou novas contribuições sejam adicionadas no corpo hídrico. Outra semelhança entre os estudos é de que as menores concentrações de SST manifestam-se nos meses mais quentes do ano, salvo junho de 2017 no Arroio Peão.

4.2.12 Turbidez

A turbidez é outro parâmetro relacionado com a potabilidade da água, de acordo com a legislação vigente, o valor máximo que a amostra pode ter é de 40 NTU. Conforme o Gráfico 22, durante o período estudado, 93,3% das amostras apresentaram valores inferiores ao máximo permitido.

Gráfico 22 - Valor de turbidez da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor médio de turbidez da água no Arroio Peão no ponto a montante foi de 19,8 NTU com desvio padrão de 10,46, enquanto no ponto a jusante o valor médio de turbidez foi de 18,3 NTU com desvio padrão de 9,46.

Pela vazão do efluente representar menos de 5% da vazão do Arroio Peão, a quantidade de efluente que é lançado no arroio é logo diluído e a turbidez da água sofre, normalmente, pequenas variações após este lançamento.

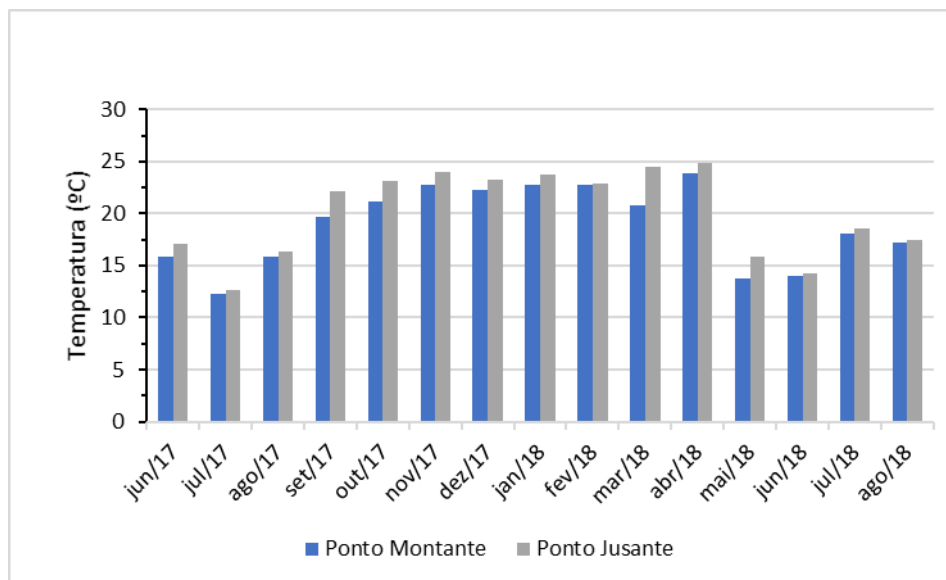
O estudo de Barreto et al. (2014) apresenta valores diferentes, com a turbidez aumentando junto a vazão, porém ressaltam que foi identificado esse padrão durante o período de seus estudos, enquanto Barros et al. (2011), no mesmo rio, analisaram a variação da turbidez e encontraram resultados significativos em zonas com presença de plantas aquáticas, maior carga orgânica e sólidos em suspensão.

Outro ponto importante é apontado no estudo de Moura, Assumpção e Buschoff (2009) realizado no rio Cascavel (PR), onde os valores de turbidez se mostraram maiores nos meses de inverno, os quais apresentaram maior frequência de chuvas. Este fato também é encontrado no Arroio Peão no período estudado conforme o Gráfico 20.

4.2.13 Temperatura

A temperatura é parâmetro fundamental para manutenção da vida aquática, desde crescimento indesejado de plantas até mortalidade de peixes e outras espécies, e na adequação da água para usos benéficos (METCALF; EDDY, 2016). No Gráfico 23 são apresentados os valores da temperatura registrados nos pontos a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente da ETE.

Gráfico 23 - Valor de temperatura da água do Arroio Peão a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Feitoria no período de junho de 2017 a agosto de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura média da água no Arroio Peão no ponto a montante foi de 18,9°C com desvio padrão de 3,7, já no ponto a jusante a temperatura média foi de 20°C com desvio padrão de 4.

Os valores encontrados no Arroio Peão diferem e muito dos encontrado por Piratoba et al. (2017) que se encontram na faixa média de 30,2°C com mínima variação, essa alta temperatura e baixa variação de valores ao longo do ano devem-se ao fato de a zona de estudo do referido trabalho encontrar-se na faixa equatorial do país, como explica o próprio autor. Já o estudo de Souza et al. (2015), realizado num trecho da bacia Ribeirão Ubá (MG), caracterizado pela alta nebulosidade, encontrou valores mais próximos ao do Arroio Peão, e segundo os autores, a temperatura da água está relacionada com a temperatura do ambiente.

As temperaturas no ponto a jusante foram sempre maiores que as temperaturas do ponto a montante, apontando que a temperatura do efluente da ETE influi na pequena diferença entre as amostras durante período estudado, assim como no estudo de Sardinha et al. (2018) e Madden, Lewis e Davis (2013) que deliberam o acréscimo de temperatura em um corpo d'água como consequência do lançamento de esgoto sanitários tratados ou não.

4.2.14 Enquadramento do efluente tratado no Arroio Peão

De acordo com a Legislação CONAMA 357/2005 os responsáveis pelo tratamento de esgotos devem lançar o efluente no corpo receptor respeitando os valores da classificação do arroio, neste caso Classe I. A Tabela 4, apresenta a relação de quatro parâmetros e valores médios do efluente tratado, da água a montante do ponto de lançamento e da Resolução CONAMA 357/2005 para Classe I.

Tabela 4 - Comparação de valores de diferentes parâmetros em diferentes pontos com a Resolução CONAMA 357/2005

Parâmetro	Unidade	Efluente Tratado	Água a Montante	Resolução CONAMA 357/2005
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	163	113700	≤ 200
DBO520	mg O ₂ /L	7,3	11,7	≤ 3
Fósforo Total	mg P/L	0,4	0,2	≤ 0,1
Nitrogênio Amoniacal Total	mg N/L	0,7	2,8	≤ 3,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

O efluente tratado da ETE Feitoria apresenta melhor qualidade, quando comparado a água do Arroio Peão no ponto a montante do lançamento do esgoto tratado, em 75% dos parâmetros analisados nesta tabela, porém em apenas dois parâmetros, coliformes termotolerantes e nitrogênio amoniacal total, essa qualidade respeita a Resolução CONAMA 357/2005.

Por mais que a eficiência de tratamento da ETE Feitoria seja elevada ainda não é o suficiente para lançar o efluente dentro dos valores requeridos pela Resolução CONAMA 357/2005. Outra avaliação é a de que o Arroio Peão, na área estudada, não pode ser classificado como Classe I o que influencia diretamente na análise descrita anteriormente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados apresentados e discutidos anteriormente pode-se considerar que a ETE Feitoria apresenta uma elevada eficiência no tratamento do esgoto sanitário.

A eficiência na remoção de coliformes termotolerantes foi de 99,98%.

A eficiência na remoção de DBO_5 foi de 90,26%.

A eficiência na remoção de DQO foi de 89,65%.

A eficiência na remoção de fósforo total foi de 73,96%.

A eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal foi de 95,61%.

A eficiência na remoção de SST foi de 84,53%.

O Arroio peão é classificado como Classe I, porém observou-se que na área estudada esta classificação muda para Classe II, Classe III e Classe IV, dependendo do parâmetro analisado.

Os parâmetros coliformes termotolerantes, cor e turbidez apresentaram um decréscimo, por decorrência natural, na água do Arroio Peão após o lançamento do efluente da ETE Feitoria

Os parâmetros pH e temperatura apresentam o comportamento semelhante antes e depois do lançamento.

O parâmetro oxigênio dissolvido apresentou concentrações mais baixas após o lançamento do efluente da ETE, uma vez que durante o fluxo do arroio a carga orgânica aumentou, sem influência do esgoto tratado lançado no corpo receptor.

Os demais parâmetros analisados, DBO_5^{20} , fósforo total, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, SDT e SST apresentaram maiores concentrações após o lançamento do efluente da ETE no Arroio Peão, porém nenhum destes acréscimos é consequência exclusiva da entrada do efluente tratado no corpo hídrico.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – procedimento**. Rio de Janeiro. ABNT. 1986.

ACCUWEATHER – **Site meteorológico**. Disponível em:
<<https://www.accuweather.com/pt/br/sao-leopoldo/45542/december-weather/45542>>

ALÉM SOBRINHO, P. **Tratamento de esgotos domésticos através de filtros biológicos de alta taxa. Comparação experimental de meios de suporte de biomassa**. Revista DAE. Edição nº 135. 1983.

ALÉM SOBRINHO, P.; RODRIGUEZ, M. M. **Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas aeróbias para o tratamento de esgotos domésticos**. Revista DAE. Edição nº 128. 1982.

ALVES, I. C. C. et al. **Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil)**. Acta Amazônica. Volume 42. 2012.

ANDRADE, L. N. **Autodepuração dos corpos d'água**. Revista da Biologia. Volume 5. 2010.

ARAÚJO, M. C.; OLIVEIRA, M. B. M. **Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil**. Revista Ambiente & Água. Volume 8. 2013.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Aspectos construtivos de lagoas de estabilização**. Revista DAE. Edição nº 140. 1985.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Curso de tratamento de águas residuárias**. Revista DAE. Edição nº 62. 1966.

BARBIERI, E. et al. **Concentrações do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em áreas de engorda de ostras no município de Cananeia-SP.** Revista O Mundo da Saúde. 2014.

BARRETO, L. V. et al. **Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio.** Revista Ambiente & Água. Volume 9. 2014.

BARROS, F. M. et al. **Variação da turbidez em pontos distintos de um perfil transversal do rio Catolé-BA, sob diferentes níveis de vazão.** Enciclopédia Biosfera. Volume 7. 2011.

BATALHA, B. L.; ROCHA, A. A. **Autodepuração nos cursos da água.** Revista DAE. Edição nº 144. 1986.

BOHRER, G. J. K. **A Influência de Águas Pluviais na Qualidade do Afluente e no Desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto UNISINOS São Leopoldo / RS.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014.** Brasília: SNSA/MCIDADES. 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357 – Classificação de águas doces, salobras e salinas em território nacional.** D.O.U. 2005.

CABRAL, V. A. L.; VIANA, D. B.; BASTOS, R. K. X. **Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos.** Revista DAE. Edição nº 203. 2016.

CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro. Prosab. 1999.

CEMADEN – **Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais**. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/>>. Brasil. 2018.

COLARIS, C. J. G.; SANDRI, D. **Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte**. Revista Ambiente & Água. Volume 8. 2013.

CRESPO, P. G. **Manual de projeto de estações de tratamento de esgoto**. Belo Horizonte. ABES. 2ª edição. 2005.

CUNHA, R. W. et al. **Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Volume 17. 2013.

DAMASCENO, M. C. S. et al. **Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil**. Revista Ambiente & Água. Volume 10. 2015.

DICK, R. **Role of activated sludge final settling tanks**. Journal of the Sanitary Engineering Division. 1970.

FERNANDES, C. **Esgotos sanitários**. João Pessoa. Editora Universitária UFPB. 1997.

FERREIRA FILHO, S. S. **Dimensionamento de decantadores secundários de sistema de lodos ativados: uma abordagem computacional**. Revista DAE. Edição nº 171. 1993.

FIA, R. et al. **Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil**. Revista Ambiente & Água. Volume 4. 2009.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. **Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Bonito em Descalvado – SP**. Revista do Instituto Adolfo Lutz. Volume 64. 2005.

HADDAD, E. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais.** Geosul. Volume 25. 2010.

HERNÁNDEZ-CRESPO, C. et al. **Performance of surface and subsurface flow constructed wetlands treating eutrophic waters.** Elsevier. 2017.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <www.ibge.gov.br> . Acesso em: 22 set. 2018.

IWAI, S.; KITAO, T. **Wastewater treatment with microbial films.** Lancaster (EUA). Technomic Publishing Co. 1994.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. **Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água.** Rio de Janeiro. ABES. 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro. ABES. 4ª edição. 2005.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação.** Rio de Janeiro. ABES. 1988.

KLUSENER, J. J. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas.** TCC (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Santa Maria. 2006.

KURODA, E. K. et al. **Drenagem/secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil.** Revista Dae. Edição nº 194. 2014.

LEMONS, W. E. D.; SOUZA FILHO, F. A.; SALES, F. A. T. C. **Valoração dos serviços ambientais a partir de uma abordagem quantitativa: aplicação ao rio Jaguaribe.** Revista DAE. Edição nº 198. 2014.

LIMA, J. F. et al. **Controle e remoção de sulfetos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário.** Revista DAE. Edição nº 202. 2015.

MADDEN, N.; LEWIS, A.; DAVIS, M. **Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature.** Environmental Research Letters, Volume 8. 2013.

MASINI, A. C.; NEVES, V. A. P. L. **Relação entre a presença de coliformes com a turbidez e o cloro residual livre.** Revista DAE. Edição nº 150. 1983.

MEDEIROS, R. C. & DANIEL, L. A. **Cloração de esgoto sanitário: variação de cloro residual e o uso de parâmetros facilmente mensuráveis na indicação de breakpoint.** Revista DAE. Edição nº 206. 2016.

MENDES, C. G. N.; NAVARRO, F.; GUIMARÃES, J. R. **Tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de embalagens plásticas de óleos lubrificantes: processo biológico e físico-químico.** Revista DAE. Edição nº 184. 2010.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** Porto Alegre. AMGH. 5ª Edição. 2016.

MIRANDA, M. V. T. et al. **Índices de qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA.** Revista DAE. Edição nº 201. 2015.

MOURA, A. C.; ASSUMPÇÃO, R. A. B.; BUSCHOFF, J. **Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do rio cascavel durante o período de 2003 a 2006.** Arquivos do Instituto Biológico. Volume 76. 2009.

NICOLODI, F. K. **Estudo de caso: avaliação da eficiência do tratamento de esgoto sanitário da ETE Feitoria – São Leopoldo/RS.** TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2012.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola.** São Paulo. E. Blucher. 2003.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2ª Edição.** São Paulo. E. Blucher. 2011.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. **Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá.** Revista Ambiente & Água. Volume 9. 2014.

OLIVEIRA, E. P. et al. **Avaliação e desenvolvimento experimental para testes de barreiras flutuantes visando à contenção de sólidos suspensos.** Revista DAE. Edição nº 213. 2018.

PASTANA FILHO, A. P. et al. **Aspectos biológicos do filtro biológico.** Revista DAE. Edição nº 93. 1973.

PATERNIANI, J. E. S.; MATSUMOTO, T. **Eficiência das lagoas de estabilização.** Revista DAE. Edição nº 154. 1989.

PEREIRA, L. C. C. et al. **Seasonal effects of wastewater to the water quality of the Caeté river estuary, Brazilian Amazon.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. Volume 82. 2010.

PIRATOBA, A. R. A. et al. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Revista Ambiente Água. Volume 12. Nº 3. 2017.

PONTES, P. P. et al. **Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem.** Revista Água e Ambiente. Volume 7. Nº 3. 2012.

PROSINOS. **Elaboração dos planos municipais e regional de saneamento básico dos municípios do consórcio Pró-Sinos. Subproduto 2.8. Situação dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais.** Volume 1. São Leopoldo. 2013.

REALI, M. A. P. et al. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro. ABES. 1999.

ROCHA, J. M. et al. **Avaliação da retenção de sólidos em inovadora configuração de reator UASB tratando esgoto doméstico.** Revista DAE. Edição nº 205. 2016.

ROCHA, A. R.; FUKUDA, F. **Considerações sobre a técnica de análise de demanda química (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD).** Revista DAE. Edição nº 93. 1973.

SALLA, M. R. et al. **Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados.** Rio de Janeiro. ABES. 2013.

SARDINHA, D. S. et al. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio (SP).** Revista ESA. Volume 13. Nº 3. 2008.

SCHLUSAZ, M. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes (ETE – Ronda, Ponta Grossa – PR) através da análise de parâmetros físico-químicos.** TCC (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.

SEMAE – **Serviço municipal de água e esgoto** – São Leopoldo. Rio Grande do Sul. 2018.

SENA, O. L. S. **Lagoas de estabilização mecanicamente aeradas.** Revista DAE. Edição nº 80. 1971.

SEZERINO, P. H. et al. **Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Rio de Janeiro. ABES. 2015.

SILVA, A. L. et al. **Comparação entre os métodos de medição de oxigênio dissolvido por sensor eletroquímico (membrana) e óptico, quanto ao seu desempenho em sistemas de tratamento de esgoto.** Revista DAE. Edição nº 187. 2011.

SILVA FILHO, H. A.; HAANDEL, A. V.; MOTA, L. S. **Otimização da modelação de remoção de nitrogênio em sistemas de lodo ativado.** Revista DAE. Edição nº 209. 2017.

SOARES, G. T.; TÁVORA, F.; NUNES, R. O. **Índice de qualidade das águas claras, Alvorada do Oeste RO.** TCC (Graduação em Ciências Biomédicas) - Faculdade de Ciências Biomédicas. Cacoal. 2009.

SOUZA, J. A. R. et al. **Análise das condições de potabilidade das águas de surgências em Ubá, MG.** Revista Ambiente & Água. Volume 10. Nº 3. 2015.

SPERLING, M. V. **Princípios básicos do tratamento de esgoto.** Belo Horizonte. UFMG. 1996.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Belo Horizonte. UFMG. 2ª edição. 2002.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte. UFMG. 2007.

VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil.** Revista Ambiente & Água. Volume 6. 2011.

WANG, M. et al. **Constructed wetlands for wastewater treatment in coldclimate - A review.** Elsevier. 2017.

WU, H. et al. **A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation.** Elsevier. 2014