

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

GUILHERME FELTRIN DE OLIVEIRA.

**ANÁLISE E ESTUDO DE ETE'S COM SISTEMA  
CÍCLICO DE LODOS ATIVADOS E REATOR  
ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO FIXO.**

BURI - SP

2023

GUILHERME FELTRIN DE OLIVEIRA

**ANÁLISE E ESTUDO DE ETE'S COM SISTEMA CÍCLICO DE LODOS ATIVADOS E  
REATOR ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO FIXO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial  
para a obtenção do grau de Bacharel  
em Engenharia Ambiental na  
Universidade Federal de São Carlos.

Orientador(a): Beatriz Cruz Gonzalez.

Buri - SP

2023

Oliveira, Guilherme Feltrin de

Análise e estudo de ETE's com sistema cíclico de lodos ativados e reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo. / Guilherme Feltrin de Oliveira -- 2023.

125 f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino,  
Buri

Orientador (a): Dr(a). Beatriz Cruz Gonzalez

Banca Examinadora: Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho;

Dr(a). Eloá Cristina Figueirinha Pelegrino.

1. Tratamento de esgoto. 2. Análise de eficiência. 3. Verificação de legislações. I.

Oliveira, Guilherme Feltrin de.

OLIVEIRA, Guilherme Feltrin de. **Análise e estudo de ETE's com sistema cíclico de lodos ativados e reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo.** 2022. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal de São Carlos, Buri, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**Folha de aprovação**

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do candidato Guilherme Feltrin de Oliveira, realizada em 05/04/2023.

Documento assinado digitalmente  
 BEATRIZ CRUZ GONZALEZ  
Data: 06/04/2023 22:28:39-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof(a) Dr(a). Beatriz Cruz Gonzalez  
**Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Orientadora.**

ELÓ CRISTINA FIGUEIRINHA PELEGRINO  
PELEGRINO:31179259882

Digitally signed by ELOA CRISTINA  
FIGUEIRINHA PELEGRINO:31179259882  
Date: 2023.04.10 16:51:53 -03'00'

---

Prof(a). Dr(a). Eloá Cristina Figueirinha Pelegrino  
**Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT Campus Cuiabá-MT.**

Jorge Luis Rodrigues Pantoja  
Filho

Assinado de forma digital por Jorge Luis  
Rodrigues Pantoja Filho  
Dados: 2023.04.07 09:28:01 -03'00'

---

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho  
**UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná**

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, sem eles nada seria possível; e aos meus amigos que estiveram comigo em toda esta trajetória. Minha eterna gratidão a todos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente um agradecimento especial a toda minha família, principalmente meus pais, Moises e Angela e ao meu irmão Felipe, muito obrigado pelo apoio, conselhos, esforço e dedicação para que eu pudesse fazer a graduação e ter uma formação universitária. Gostaria também de agradecer a todos meus familiares que me ajudaram nessa jornada.

Agradeço a Beatriz, pela sempre prestimosa orientação em iniciação científica, estágio e neste trabalho, pela amizade, confiança e conhecimentos passados sobre saneamento.

Agradeço ao Jorge, pelos conhecimentos passados sobre hidráulica enquanto meu professor, pela oportunidade de ser coautor em seu livro sobre Tecnologias Avançadas de Tratamento de Efluentes Líquidos, pela amizade, conselhos e incentivos em seguir carreira na área de saneamento.

Se hoje sigo carreira em saneamento, a Beatriz e Jorge são grandes responsáveis. Serei eternamente grato a vocês.

Agradeço a todos os professores que tive durante a vida, dentro e fora do meio acadêmico, do ensino fundamental à universidade. Serei sempre grato pelos ensinamentos, incentivos em estudar e por exercerem umas das profissões mais lindas da sociedade, vocês são a base de todas as outras profissões.

Agradeço a todos os moradores da República AcasaLar, que foram e sempre serão muito mais que amigos que compartilharam uma casa, e sim uma segunda família. Obrigado a todos os momentos vividos, sejam eles tristes ou felizes, e principalmente de muito companheirismo e amizade durante toda a graduação.

Um agradecimento especial ao Goiaba e Bugre, que entraram junto comigo na faculdade, onde fundamos a República AcasaLar e moramos juntos até o final da graduação. Obrigado pelos diversos momentos vividos, pela irmandade que temos, pelas aulas, trabalhos e integradoras juntos.

Agradeço ao Gru, amigo/primo pela amizade, conselhos e momentos compartilhados durante a graduação. Também agradeço a todos os amigos que fiz durante a jornada acadêmica.

Agradeço ao Grupo Águas do Brasil (GAB) e sua Concessão Águas de Jahu (CAJA), pela oportunidade de realizar o estágio na área de saneamento, a qual tive o desejo de seguir carreira.

Agradeço aos colaboradores da Águas de Jahu que fizeram parte do meu desenvolvimento enquanto estagiário da empresa e que colaboraram para a construção desta pesquisa.

Agradeço a todos os 12 trainees que foram aprovados e entraram comigo no GAB. Um agradecimento especial a todos que fizeram acontecer o Programa de Trainee.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho, para minha formação acadêmica e para meu aprendizado enquanto estagiário e trainee.

*“Creio firmemente em uma lei de compensação. As verdadeiras recompensas são sempre proporcionais ao esforço e aos sacrifícios feitos”*

Nikola Tesla

## RESUMO

Na ausência ou baixa eficiência de tratamento de esgoto doméstico, o excesso de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes leva a poluição dos recursos hídricos. Para verificar a eficiência de tratamento das ETE's SANEJ e Potunduva, localizadas no município de Jaú (SP), foram avaliados nos anos de 2020 e 2021 os parâmetros aferidos para o controle operacional no esgoto afluente e efluente das ETE's estudadas, que são: temperatura, pH, OD, turbidez, DBO, DQO, ST, SDT, SFT, SVT, SST, SSF, SSV, SDV, NT, N-Amon, nitrito, nitrato, fósforo total, fosfato, coliformes totais e *E. Coli*. A obrigação do tratamento de efluentes domésticos e consequentemente melhoria da qualidade dos recursos hídricos, tem previsão legal, conforme descrito nas Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011; e no estado de São Paulo através do Decreto 8.468/1976. Para cumprimento destas legislações, foram avaliados alguns dos parâmetros que as compõem, no segundo semestre de 2021 e primeiro semestre de 2022, que são: temperatura, pH, turbidez, OD, DBO, SDT, N-Amon, nitrito, nitrato, fósforo total e *E. Coli*. Tais parâmetros, foram analisados à montante e à jusante do ponto de lançamento de efluente no corpo hídrico receptor das ETE's SANEJ e Potunduva, que possuem respectivamente, os tipos de tratamento, CASS e RAALF. Realizou-se uma comparação entre ambas as ETE's, visando verificar qual delas apresentava as maiores eficiências de tratamento. Para a DBO, os resultados de eficiência média na ETE SANEJ e Potunduva, respectivamente, foram de 93% e 94%, já para a DQO a eficiência média de remoção na ETE SANEJ foi de 93% e na ETE Potunduva foi de 95%, e para o Nitrogênio Amoniacal, a primeira ETE apresentou eficiência média de 68% e a segunda de 74%. Concluiu-se que a ETE Potunduva apresenta maior eficiência na remoção de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes, porém a ETE SANEJ apresenta mais parâmetros em conformidade com as legislações, devido ao corpo hídrico receptor de seu efluente, ser de Classe 3, permitindo maiores concentrações de alguns parâmetros e também por conta de erros laboratoriais na aferição de determinados parâmetros. Por fim, foram sugeridos alguns pontos de melhorias nas ETE's, como por exemplo a inserção de um sistema de recirculação de efluente tratado na ETE Potunduva, de modo a aumentar a eficiência de remoção de N-Amon.

**Palavras-chave:** Estação de Tratamento de Esgoto. Eficiência. Parâmetros. Legislação.

## ABSTRACT.

In the absence or low efficiency of domestic sewage treatment, the excess of carbonaceous organic matter and nutrients leads to pollution of water resources. To verify the treatment efficiency of the SANEJ and Potunduva Wastewater Treatment Plants, located in the county of Jaú (SP), the parameters measured for operational control in the influent and effluent sewage of the studied plants were analyzed in 2020 and 2021, which are: temperature, pH, DO, turbidity, BOD, COD, TSS, TDS, FSS, VSS, TSS, FSS, VSS, SDV, NT, N-Ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus, phosphate, total coliforms and *E. coli*. The obligation of domestic effluent treatment and consequently the improvement of water resources quality is legally foreseen, as described in CONAMA Resolutions 357/2005 and 430/2011; and in the state of São Paulo through Decree 8,468/1976. To comply with these laws, some of the parameters that compose them were evaluated in the second semester of 2021 and the first semester of 2022, which are: temperature, pH, turbidity, DO, BOD, TDS, N-Ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus and *E. coli*. These parameters were analyzed upstream and downstream of the effluent discharge point into the receiving water body of the SANEJ and Potunduva Wastewater treatment plants (WWTPs), which have, respectively, the treatment types: CASS and RAALF. A comparison was made between both WWTPs to determine which one presented the highest treatment efficiencies. For BOD, the average efficiency results at SANEJ WWTP and Potunduva WWTP were, respectively, 93% and 94%, while for COD the average efficiency removal at SANEJ WWTP was 93% and 95% at Potunduva WWTP. Besides that, for the Ammoniacal Nitrogen the first WWTP showed an average efficiency removal of 68% and the second one of 74%. Concluding that the Potunduva WWTP has a higher efficiency in removing carbonaceous organic matter and nutrients, although the SANEJ WWTP has more parameters in compliance with the laws, due to its receiving water body being Class III, allowing higher concentrations of some parameters. Finally, some improvement points were suggested in this research, such as the insertion of a recirculation system of treated effluent in the Potunduva WWTP, in order to increase the efficiency of N-Ammonia removal.

**Keywords:** Wastewater Treatment Plant. Efficiency. Parameters. Laws.

**LISTA DE EQUAÇÕES.**

Equação 1 - Conversão aeróbia.....	35
Equação 2 - Conversão anaeróbia.....	35
Equação 3 - Oxidação da respiração aeróbia: .....	39
Equação 4 - Auto-oxidação: .....	39
Equação 5 - Relação entre a amônia e íon amônio: .....	41
Equação 6 – Nitritação: .....	42
Equação 7 – Nitratação:.....	42
Equação 8 - Reação global da nitrificação: .....	42
Equação 9 - Reação geral da desnitrificação: .....	43
Equação 10 - Redução de nitrato à nitrito: .....	43
Equação 11 - Redução de nitrito à nitrogênio gasoso:.....	44
Equação 12 - Cálculo de eficiência: .....	70
Equação 13 - Cálculo de remoção de carga orgânica poluidora: .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do esgoto sanitário.....	27
Figura 2 - Esquema da conversão biológica da digestão anaeróbia.....	36
Figura 3 - Etapas da digestão anaeróbia.....	36
Figura 4 - Fluxograma de transformação de nitrogênio em sistemas convencionais. .....	41
Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento de lodos ativados convencional.	47
Figura 6 - Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados com aeração prolongada.....	48
Figura 7 - Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados com fluxo intermitente (reatores em bateladas).....	49
Figura 8 - Fluxograma do sistema de lodos ativados em fluxo contínuo.....	50
Figura 9 - Sistema CASS.....	51
Figura 10 – Biobob®.....	55
Figura 11 - Esquema do RAALF.....	57
Figura 12 - Esquema do RALF.....	58
Figura 13 - Esquema do RAANLF.....	59
Figura 14 - Imagem aérea da ETE SANEJ.....	65
Figura 15 - Fluxograma do processo de tratamento - ETE SANEJ.....	65
Figura 16 - Imagem aérea - ETE Potunduva.....	66
Figura 17 - Fluxograma de tratamento - ETE Potunduva.....	68

**LISTA DE GRÁFICOS.**

Gráfico 1 - Eficiências de remoção de turbidez.....	81
Gráfico 2 - Eficiência de remoção de DBO.....	84
Gráfico 3 - Eficiência de remoção de DQO.....	87
Gráfico 4 - Eficiência de remoção de SDT.....	90
Gráfico 5 - Eficiência de remoção de ST.....	91
Gráfico 6 - Eficiência de remoção de SFT.....	92
Gráfico 7 - Eficiência de remoção de SVT.....	93
Gráfico 8 - Eficiência de remoção de SSF.....	94
Gráfico 9 - Eficiência de remoção de SSV.....	95
Gráfico 10 - Eficiência de remoção de SDV.....	96
Gráfico 11 - Eficiência de remoção de SST.....	97
Gráfico 12 - Eficiência de remoção de NT.....	101
Gráfico 13 - Eficiência de remoção de N-Amon.....	103
Gráfico 14 - Eficiência de remoção de fósforo.....	108
Gráfico 15 - Eficiência de remoção de fosfato.....	110
Gráfico 16 - Eficiência de remoção de coliformes totais.....	111
Gráfico 17 - Eficiência de remoção de E. Coli.....	114

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Enquadramento dos corpos hídricos.....	61
Quadro 2 - Parâmetros e metodologia de análise para controle operacional.....	69
Quadro 3 - Parâmetros requeridos pelas legislações vigentes. ....	70
Quadro 4 - Concentração de N-Amon de acordo com o pH.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de alguns parâmetros do esgoto sanitário. ....	34
Tabela 2 - Eficiência de tratamento das variações dos sistemas de lodos ativados. .....	54
Tabela 3 - Eficiência de tratamento das variações dos reatores de leito fixo.....	60
Tabela 4 - Parâmetros e legislações.....	72
Tabela 5 - Valores de temperatura no corpo hídrico receptor. ....	74
Tabela 6 - Valores de pH no corpo hídrico receptor.....	75
Tabela 7 – Valores de pH no esgoto afluente e efluente da ETE's .....	76
Tabela 8 - Concentração de OD no corpo hídrico receptor.....	77
Tabela 9 – Concentração de OD no esgoto afluente e efluente das ETE's. ....	78
Tabela 10 - Valores de turbidez no corpo hídrico receptor.....	79
Tabela 11 – Análise de turbidez no esgoto afluente e efluente.....	80
Tabela 12 - Concentração de DBO no corpo hídrico receptor. ....	82
Tabela 13 – Análise de DBO no esgoto afluente e efluente.....	83
Tabela 14 - Remoção de carga orgânica de DBO em 2020 na ETE SANEJ. ....	85
Tabela 15 – Remoção de carga orgânica de DBO em 2021 na ETE SANEJ. ....	85
Tabela 16 – Concentração de DQO no esgoto afluente e efluente das ETE's.....	87
Tabela 17 – Concentração de SDT no corpo hídrico receptor. ....	88
Tabela 18 – Concentração de SDT do esgoto afluente e efluente das ETE's.....	89
Tabela 19 – Concentração de ST no esgoto afluente e efluente das ETE's .....	91
Tabela 20 – Concentração de SFT no esgoto afluente e efluente das ETE's. ....	92
Tabela 21 – Concentração de SVT no esgoto afluente e efluente das ETE's. ....	93
Tabela 22 – Concentração de SSF no esgoto afluente e efluente das ETE's.....	94
Tabela 23 – Concentração de SSV no esgoto afluente e efluente das ETE's.....	95
Tabela 24 – Concentração de SDV no esgoto afluente e efluente das ETE's. ....	96
Tabela 25 – Concentração de SST no esgoto afluente e efluente das ETE's.....	97
Tabela 26 - Eficiências da série de sólidos. ....	98
Tabela 27 – Remoção da carga orgânica de SST na ETE SANEJ em 2020. ....	99
Tabela 28 – Remoção da carga orgânica de SST na ETE SANEJ em 2021. ....	99
Tabela 29 – Concentração de NT no esgoto afluente e efluente das ETE's .....	100
Tabela 30 - Concentração de N-Amon no corpo hídrico receptor. ....	102
Tabela 31 - Concentração de Nitrito no corpo hídrico receptor.....	105

Tabela 32 – Concentração de Nitrato no corpo receptor.....	105
Tabela 33 - Concentração de Nitrito e Nitrato no esgoto afluente e efluente das ETE's.....	106
Tabela 34 – Análise de Fósforo Total no corpo hídrico receptor.....	107
Tabela 35 – Concentração de Fósforo no esgoto afluente e efluente das ETE's..	108
Tabela 36 – Concentração de Fosfato no esgoto afluente e efluente das ETE's..	109
Tabela 37 – Análise de Coliformes Totais no esgoto afluente e efluente.....	111
Tabela 38 - Análise de E. Coli no corpo hídrico receptor. ....	112
Tabela 39 – Análise de E. Coli no esgoto afluente e efluente. ....	113
Tabela 40 - Comparação ETE's SANEJ e Potunduva – esgoto afluente e efluente. .....	115
Tabela 41 - Comparação ETE's SANEJ e Potunduva - atendimento a legislações. .....	116

## LISTA DE SIGLAS

- ANA – Agência Nacional das Águas.
- BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato.
- CAJA – Concessionária Águas de Jahu.
- CASS – *Cyclic Activated Sludge System*.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.
- DQO – Demanda Química de Oxigênio.
- ETE – Estação de Tratamento de esgoto.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- N-Amon – Nitrogênio Amoniacal.
- NT – Nitrogênio Total.
- OD – Oxigênio Dissolvido.
- pH – Potencial Hidrogeniônico.
- PTRATI – Pré Tratamento Integrado.
- RALF – Reator Anaeróbio de Leito Fixo.
- RAALF – Reator Anaeróbio – Aeróbio de Leito Fixo.
- RAANLF – Reator Aeróbio – Anóxico de Leito Fixo.
- SANEJ – Saneamento de Jaú.
- SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.
- SDV – Sólidos Dissolvidos Voláteis.
- SFT – Sólidos Fixos Totais.
- SSF – Sólidos Suspensos Fixos.
- SST – Sólidos Suspensos Totais.
- SSV – Sólidos Suspensos Voláteis.
- ST – Sólidos Totais.
- TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.
- TDH – Tempo de Detenção Hidráulica.
- UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket.*
- UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez.
- UFC – Unidades Formadoras de Colônia.

**LISTA DE SÍMBOLOS.**

$C_6H_{12}O_6$  – Glicose;

$CH_4$  – Metano;

$CO_2$  – Dióxido de carbono;

$H_2$  – Hidrogênio gasoso;

$H_2S$  – Sulfeto de hidrogênio;

$H_2O$  – Água;

$HCO_3$  – Bicarbonato de sódio;

$H^+$  - Íon de hidrogênio; cátion de hidrogênio ou íon  $H^+$ ;

$NH_3$  – Amônia;

$NH_4^+$  - Íon amônico;

$N_2$  – Nitrogênio gasoso;

$NO_3^-$  - Nitrato;

$NO_2^-$  - Nitrito;

$NO$  – Óxido nítrico;

$N_2O$  – Óxido nitroso;

$O_2$  – Oxigênio;

$OH^-$  - Hidróxido.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	23
2. OBJETIVOS.....	25
2.1. GERAIS.....	25
2.2. ESPECÍFICOS.....	25
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	26
3.1. ESGOTO SANITÁRIO E OS PARÂMETROS USUAIS.....	26
3.2. TRATAMENTO DE ESGOTO.....	29
3.2.1. Tratamento Preliminar.....	29
3.2.2. Tratamento Primário.....	29
3.2.3. Tratamento Secundário.....	30
3.2.4. Tratamento Terciário.....	31
3.2.5. Tratamento de Lodo.....	32
3.3. OBJETIVO PRINCIPAL DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	33
3.3.1. Remoção de Matéria Orgânica Carbonácea.....	34
3.3.1.1. Digestão Anaeróbia.....	35
3.3.1.2. Respiração Aeróbia.....	39
3.3.2. Remoção de Nitrogênio.....	40
3.3.2.1. Processo de Amonificação e Assimilação.....	41
3.3.2.2. Processo de Nitrificação.....	42
3.3.2.3. Processo de Desnitrificação.....	43
3.4. TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	45
3.4.1. Lodos Ativados.....	45
3.4.1.1. Variações do Processo de Lodos Ativados.....	46
3.4.1.1.1. <i>Lodos Ativados Convencional</i> .....	47
3.4.1.1.2. <i>Lodos Ativados com Aeração Prolongada</i> .....	47

3.4.1.1.3.	<i>Lodos Ativados com Fluxo Intermitente (Reatores em Bateladas)</i> .....	48
3.4.1.1.4.	<i>Lodos Ativados com Fluxo Contínuo</i> .....	49
3.4.1.1.5.	<i>Sistema Cíclico de Lodos Ativados</i> .....	50
3.4.1.2.	Eficiência de Tratamento – Lodos Ativados.....	52
3.4.2.	Reatores de Leito Fixo.....	54
3.4.2.1.	Eficiência de Tratamento – Reatores de Leito Fixo.....	56
3.5.	LEGISLAÇÕES DE EFLUENTES.....	60
4.	METODOLOGIA.....	62
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	62
4.1.1.	ETE – Saneamento de Jaú – SANEJ.....	62
4.1.1.1.	Processos Unitários de Tratamento da ETE SANEJ.....	63
4.1.2.	ETE Potunduva.....	66
4.1.2.1.	Processos Unitários de Tratamento da ETE Potunduva.....	67
4.2.	COLETA DE DADOS E PARÂMETROS ANALISADOS.....	69
4.2.1.	Cumprimento das Legislações Vigentes.....	72
4.2.2.	Resumo do panorama da pesquisa.....	73
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
5.1.	PARÂMETROS ANALISADOS.....	74
5.1.1.	Temperatura.....	74
5.1.2.	pH.....	75
5.1.3.	Oxigênio Dissolvido (OD).....	77
5.1.4.	Turbidez.....	79
5.1.5.	DBO.....	82
5.1.6.	DQO.....	86
5.1.7.	Série de Sólidos.....	88
5.1.8.	Nitrogênio Total (NT).....	100
5.1.9.	Nitrogênio Amoniacal (N-Amon).....	101

5.1.10. Nitrito e Nitrato.....	104
5.1.11. Fósforo Total.....	107
5.1.12. Fosfato.....	109
5.1.13. Coliformes Totais.....	110
5.1.14. Escherichia Coli.....	112
5.2. COMPARAÇÃO ETE SANEJ X ETE POTUNDUVA.....	114
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.

O uso dos recursos hídricos pela humanidade tem por objetivo atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas e sociais. Entretanto, quando a diversificação no uso da água é realizada inadequadamente, causa alterações de sua qualidade, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para diversos fins. A qualidade da água é indispensável para o abastecimento humano, e este uso tem sofrido limitações significativas devido aos prejuízos nos rios oriundos das ações antrópicas, as quais alteram os parâmetros de qualidade e quantidade de água disponível para o consumo (SOUZA et al., 2014).

Ainda segundo Souza, et al. (2014), diante do cenário de poluição e escassez dos recursos hídricos, torna-se cada vez mais necessário preservá-los, melhorando assim a qualidade de vida da população, protegendo os ecossistemas, dentre outros benefícios. Uma das principais formas de se preservar um rio, é tratar o esgoto de uma cidade ou comunidade antes de descartá-lo no mesmo, evitando a poluição de suas águas.

Na maioria das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), o efluente passa por um tratamento preliminar, primário, secundário e em alguns casos o terciário. Vale destacar que algumas ETE's não utilizam o tratamento primário e/ou terciário, onde nesses casos, o efluente passa diretamente da etapa preliminar para a secundária e é descartado no corpo hídrico receptor. O que irá determinar o uso das etapas preliminar e terciária, é a característica do esgoto bruto, os objetivos a serem atendidos e a classe do corpo hídrico receptor do efluente tratado, impactando diretamente na eficiência de remoção de determinados parâmetros do esgoto (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

É crescente o número de ETE's em operação que unem as características do tratamento anaeróbio e aeróbio, visando o aumento da eficiência dos processos e por consequência melhorando a qualidade final dos efluentes. O tratamento anaeróbio tem como características principais o menor consumo de energia, facilidade de operação em climas tropicais e menor geração de lodo. Já os sistemas aeróbios apresentam maiores eficiência de tratamento e um lodo mais estável organicamente. Unindo as características de ambos os processos, pode-se conceber estações com menores demandas por área e maior eficiência com pouco gasto

energético, fato de extrema importância devido ao rápido crescimento dos centros urbanos (FERRAZ, 2014).

Ainda segundo Ferraz (2014), a qualidade dos efluentes se relaciona com a carga orgânica e os nutrientes do esgoto, onde este último pode ser extremamente danoso aos corpos hídricos. A matéria orgânica carbonácea é removida nos processos convencionais anaeróbios e aeróbios. Já a remoção de nutrientes, os compostos nitrogenados (principalmente a amônia) são convertidos em nitrogênio gasoso pelos processos de nitrificação e desnitrificação, sendo que a última depende da limitação do fornecimento de oxigênio, ocorrendo em ambientes anóxicos. Quanto ao fósforo, são utilizados os tratamentos terciários para sua degradação, principalmente os flotadores, nos quais juntamente com a adição de produtos químicos (normalmente cloreto férrico), ocorre a remoção de fósforo.

São diversos os processos e particularidades de uma ETE que influenciam no grau de remoção de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes. A eficiência adotada na remoção destes compostos depende da classe do corpo hídrico receptor do efluente tratado, a qual é definida pela Resolução CONAMA 357/2005. Tal legislação também define o limite de alguns parâmetros para o enquadramento de classe do corpo hídrico receptor. Ainda existem outras duas legislações aplicáveis ao lançamento de efluentes, o Decreto 8.468/1976 que também define o limite de determinados parâmetros para o enquadramento de classe e a CONAMA 430/2011, que determina a concentração permitida de certos parâmetros para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, sejam eles de qualquer classe.

Apesar da constatação da importância de se tratar o esgoto para o aumento da qualidade de vida das pessoas e preservação do meio ambiente, cerca de 45% da população não tinham acesso aos serviços de coleta e tratamento de esgoto em 2020. No Nordeste brasileiro, apenas 30,3% da população é atendida por este tipo de serviço, enquanto que no Norte do país, estes números são de apenas 13,1% (SNIS, 2020).

O Brasil ainda tem muito a melhorar em seus números de saneamento básico, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Porém, mesmo no Centro Sul, onde os índices de saneamento são mais satisfatórios, se faz necessário que as ETE's tratem adequadamente seu efluente e atendam as legislações, de modo a garantir a

preservação do meio ambiente, recursos hídricos e ecossistemas, além de levar qualidade de vidas à população (VON SPERLING, 2017).

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1. GERAIS.**

Os objetivos gerais desta pesquisa são verificar, avaliar e comparar as eficiências de tratamento de esgoto ao longo dos anos de 2020 e 2021, bem como o atendimento das legislações de efluentes, das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) Saneamento de Jaú (SANEJ) e Potunduva, pertencentes, gerenciadas e operadas pela Concessionária Águas de Jahu (CAJA), que faz parte do Grupo Águas do Brasil (GAB).

### **2.2. ESPECÍFICOS.**

Este presente trabalho de conclusão de curso, tem por seus objetivos específicos:

- Analisar por um período de dois anos (2020 e 2021), os parâmetros operacionais descritos abaixo das ETE's SANEJ e Potunduva.
  - Temperatura;
  - Potencial Hidrogeniônico (pH);
  - Oxigênio Dissolvido (OD);
  - Turbidez;
  - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
  - Demanda Química de Oxigênio (DQO);
  - Sólidos Totais (ST);
  - Sólidos Fixos Totais (STF);
  - Sólidos Suspensos Totais (SST);
  - Sólidos Suspensos Fixos (SSF);
  - Sólidos Suspensos Voláteis (SSV);
  - Sólidos Dissolvidos Totais (SDT);
  - Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV);
  - Nitrogênio Total (NT);
  - Nitrogênio Amoniacal (N-Amon);
  - Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ );

- Nitrito (NO<sub>2</sub>);
  - Fósforo Total
  - Fosfato;
  - Coliformes Totais;
  - *Escherichia Coli* (Coliformes Fecais).
- 
- Verificar os valores afluentes e efluentes no esgoto sanitário dos parâmetros acima e avaliar as condições operacionais de ambas as ETE's estudadas no período de janeiro de 2020 a dezembro de 2021;
  - Analisar se os parâmetros exigidos pelas legislações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 430/2011, N° 357/2005 e pela legislação estadual Decreto 8.468/1976, estão dentro do padrão estipulado. Caso algum parâmetro não atenda as respectivas legislações, será investigado o motivo.
  - Sugerir melhorias, se necessário, a fim de que os parâmetros atendam às legislações citadas anteriormente;
  - Sugerir benfeitorias nos processos de tratamento, se necessário, para que os mesmos se tornem mais eficientes e economicamente rentáveis para a empresa Águas de Jahu.
  - Verificar qual das duas ETE's é a mais eficiente.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA.**

#### **3.1. ESGOTO SANITÁRIO E OS PARÂMETROS USUAIS.**

Esgoto sanitário é a água residuária que provém de uma comunidade, podendo ser puramente doméstico ou conter algum despejo industrial, ou de atividades agrícolas, ainda pode conter uma parcela de águas de infiltração e uma de águas pluviais. O esgoto doméstico é composto por 99,9% de água e 0,1% de sólidos, os quais se dividem em orgânicos e inorgânicos, conforme demonstra a Figura 1 a seguir (AVILA, 2005).

Figura 1 - Composição do esgoto sanitário.



Fonte: Ávila, 2005.

Os sólidos totais presentes no esgoto se subdividem em sólidos em suspensão (60%), que são pequenas partículas sólidas que se mantêm em suspensão na água e sólidos dissolvidos (40%), que se trata do conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas sob formas moleculares, ionizadas ou micro granulares, como por exemplo o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio e íons orgânicos. Ainda dentro dos dois tipos de sólidos apresentados, tem-se os voláteis, que representam uma estimativa de matéria orgânica e os fixos, que representam a matéria inorgânica (PIVELI, [s/d]).

A matéria orgânica presente no esgoto pode ser medida através da determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). A DBO consiste em verificar a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente. Já a DQO determina a quantidade de oxigênio consumida para oxidação da matéria orgânica contida no esgoto, estimada através de reação química, utilizando o dicromato de potássio como reagente (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

Além da DBO e DQO, existem outros parâmetros importantes que permitem caracterizar as águas residuárias, estes são a cor, temperatura, turbidez e odor (características físicas dos esgotos). Ainda se tem as características químicas, como pH, presença de nutrientes como fósforo e nitrogênio, alcalinidade e as características biológicas, como a presença de coliformes (VON SPERLING, 2017).

A coloração tem origem na decomposição da matéria orgânica, ou na presença de ferro e manganês, é formada pelos sólidos presentes nos esgotos. “Quando o esgoto está fresco, sua cor é cinza claro, já o esgoto séptico (velho) possui coloração cinza escura ou preta” (JOÃO & PESSÔA, 2011).

Turbidez pode ser entendida como a medida do espalhamento de luz através da água, produzido pela presença de sólidos em suspensão com origem em partículas de rocha, argila, silte e micro-organismos. Se trata de um parâmetro esteticamente degradável, porém pode apresentar risco à saúde devido à possibilidade de haver patógenos nos sólidos suspensos (GIMENES, 2014).

A temperatura é um fator físico muito importante, pois quando elevada aumenta a taxa das reações bioquímicas, diminuindo a solubilidade dos gases e aumentando a taxa de transferência dos mesmos, podendo causar odores desagradáveis, além de interferir no metabolismo das bactérias (GIMENES, 2014).

O pH mostra a concentração de íons  $H^+$ , indicando a condição de acidez, neutralidade e alcalinidade da água residuária, pode variar de 0 a 14, mas geralmente se mantém em torno de 7 para esgotos domésticos, sendo de suma importância o controle desse pH caso apresente valores discrepantes, pois afeta o crescimento microbiano (ÁVILA, 2005).

Os nutrientes (fósforo e nitrogênio, bem como os seus derivados), são vitais para manutenção da vida aquática, porém quando se apresentam em excesso ocasionam o fenômeno de eutrofização, colaborando com o crescimento de algas e diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido na água, interferindo como um todo no ecossistema aquático. Por isto, é extremamente necessário a verificação da concentração de tais parâmetros no tratamento de esgoto, antes de lançar o efluente no corpo hídrico receptor (OLIVEIRA NETTO, 2007).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) [s/d], as bactérias do tipo coliformes termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Esse grupo de micro-organismos não são patógenos, mas sua presença em grandes números indicam a possibilidade de existência de bactérias patogênicas responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

## 3.2. TRATAMENTO DE ESGOTO.

O tratamento dos esgotos é de suma importância para a saúde da população e para o meio ambiente, pois quando águas residuárias, sejam elas de origem doméstica ou de processos industriais, são descartadas de maneira incorreta em cursos d'água ou no solo, resultam em grande prejuízo para um ecossistema local. Em alguns casos, os rios demonstram terem condições de receber e decompor contaminantes através do processo de autodepuração, porém na maioria das vezes isto não ocorre, sendo imprescindível se tratar os efluentes antes do seu descarte (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

Ainda segundo Jordão e Pessôa (2011), um sistema de tratamento de esgoto se subdivide em níveis preliminar, primário, secundário e terciário, sendo que o último é utilizado eventualmente, assim como o tratamento em nível primário.

### 3.2.1. Tratamento Preliminar.

Esta fase tem por objetivo a remoção dos sólidos grosseiros e areia, evitando a danificação de tubulações e sistemas de bombeamento. Esta etapa envolve o processo de gradeamento, desarenação e por fim um medidor de vazão (geralmente do tipo calha Parshall), para se ter um controle do volume de efluente que irá para as próximas etapas (VON SPERLING, 2017).

O tratamento preliminar, no geral envolve somente processos físicos, porém dependendo do caso e da carga orgânica contida no esgoto, pode-se adicionar produtos químicos, para facilitar a remoção de sólidos grosseiros e diminuir o odor (GIMENES, 2014). A remoção dos sólidos é geralmente feita por meio de grades, que variam de acordo com as características do esgoto. Já a remoção de areia, é realizada através da sedimentação, devido a diferença de densidade entre os grãos de areia e a matéria orgânica em suspensão. (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

### 3.2.2. Tratamento Primário.

Após o tratamento preliminar, o esgoto ainda contém os sólidos em suspensão sedimentáveis e os sólidos flutuantes, os quais podem ser parcialmente removidos no tratamento primário. Nesta etapa utiliza-se decantadores, que

apresentam eficiência de remoção de sólidos entre 60 a 70 % e a de DBO em torno de 25 a 35 % (ABREU & ZAIAT, 2008)

No tanque de decantação, o esgoto flui vagarosamente proporcionando que os sólidos em suspensão, sedimentem gradualmente no fundo (devido a diferença de densidade dos sólidos e da fase líquida). A massa de sólidos sedimentada é denominada de lodo primário bruto (VON SPERLING, 2017).

Os decantadores primários, são utilizados principalmente antes da etapa biológica de processos de tratamento como lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Ainda ressalta-se que algumas ETE's estão substituindo o decantador primário por um reator UASB, aumentando-se assim a eficiência de remoção de DBO, pois enquanto um decantador remove cerca de 25 a 35 % de DBO, um reator UASB tem uma eficiência de até 70 % (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

### **3.2.3. Tratamento Secundário.**

Após o esgoto passar pelo tratamento preliminar e primário, ele segue para o tratamento secundário. Esta etapa, consiste na ocorrência de processos biológicos para a remoção de matéria orgânica, que se apresenta na forma dissolvida (DBO solúvel ou filtrada) e suspensa (DBO suspensa ou particulada), a qual é em grande parte removida no tratamento primário, porém alguns sólidos de sedimentabilidade lenta persistem na massa líquida (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

A principal característica do tratamento secundário é a inclusão da fase biológica (totalmente dependente de bactérias), visto que os micro-organismos removem a matéria orgânica através de reações bioquímicas. Existem diversos tipos de tratamento biológico, podendo ocorrer em ambientes aeróbios (presença de  $O_2$ ), anaeróbios (ausência de  $O_2$ ) ou combinados (combinação de ambos os processos). Estes tipos de tratamento são aplicados de acordo com a característica e quantidade do esgoto bruto, área disponível na ETE, custo de implementação, temperatura média do local, dentre outros fatores (OLIVEIRA, 2020).

Existe ainda uma outra condição que pode estar presente no tratamento de esgoto, o ambiente anóxico. Este se encontra em reatores com pouco oxigênio disponível ou nos combinados, onde é mais usual. Esta condição anóxica, é determinada quando não há presença do oxigênio em sua forma livre ( $O_2$ ), mas sim

em combinação com outros elementos na forma de íons, como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ). Normalmente o ambiente anóxico é utilizado para realizar a desnitrificação, removendo os compostos nitrogenados do esgoto (FERRO, 2018).

Após o tratamento secundário, por algumas vezes, o efluente já está apto para ser descartado no corpo hídrico, pois normalmente nesta etapa a eficiência de remoção da matéria orgânica fica entre 70 e 90%, sendo que o restante que não foi removido é depurado no próprio rio de maneira natural. Porém dependendo da classe do corpo receptor e das características do esgoto bruto, é necessário o emprego de técnicas avançadas no tratamento secundário ou até mesmo o emprego do tratamento terciário (MELLO, 2007).

Existem diversos tipos de tratamentos secundários e tecnologias aplicáveis ao tratamento de efluentes. Todas elas abordam processos anaeróbios e/ou aeróbios e algumas o anóxico. Mais adiante nesta pesquisa, esse assunto será discutido detalhadamente.

#### **3.2.4. Tratamento Terciário.**

Esse tipo de tratamento tem por objetivo a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis), organismos patogênicos, nutrientes e alguns sólidos remanescentes do tratamento secundário. Existe certa discussão sobre o tratamento terciário, onde alguns autores trazem que a partir do momento que o tratamento de esgoto remove nutrientes (nitrogênio e fósforo), é caracterizado como terciário. Em contrapartida, outros autores relatam que o tratamento terciário consiste na incorporação de produtos químicos ao efluente após a etapa biológica ou quando o esgoto é tratado puramente por processos químicos (MELLO, 2007; PANTOJA FILHO, 2011).

Pantoja Filho (2011), utilizou um Reator Aeróbio-Anóxico de Leito Fixo (RAANLF) aplicado ao pós tratamento de efluentes de reator UASB com o intuito de remover matéria orgânica carbonácea e nitrogênio do esgoto sanitário. Neste caso, devido a remoção de nitrogênio e o RAANLF ser utilizado como pós tratamento, o autor o considera como tratamento terciário e não utiliza de produtos ou processos químicos no tratamento.

Mello (2007), relata que a principal característica do tratamento terciário é a remoção de poluentes específicos que não foram removidos no tratamento secundário. Para removê-los, é necessário a adição de produtos químicos no efluente, como por exemplo alguns coagulantes (sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato de alumínio). Dentre os processos mais comuns de tratamento terciário, destacam-se: as lagoas de maturação e polimento, desinfecção, flotação, processos de remoção de nutrientes específicos e filtração final.

### **3.2.5. Tratamento de Lodo.**

Cada processo de tratamento de efluentes irá gerar um lodo característico. Os sistemas anaeróbios geram lodos em menor volume, porém com alto teor de matéria orgânica, já os sistemas aeróbios tem grande volume de lodo produzido, porém este é um resíduo mais estável organicamente (LUNA, et al., 2019).

O lodo de esgoto pode apresentar alto teor de matéria orgânica, conseqüentemente uma instabilidade biológica e uma possibilidade de transmissão de patógenos, portanto deve-se tratar este resíduo. O objetivo do tratamento de lodo é gerar um produto mais estável e com menor volume, a fim de facilitar seu manuseio e transporte, além da redução de custos com os processos subsequentes. Os processos de tratamento de lodo são de ordem física, química e biológica, usualmente incluindo uma ou mais das seguintes etapas (PEDROZA, et al., 2010):

- **Adensamento:** Consiste na redução da umidade do lodo, diminuindo assim o seu volume e aumentando a concentração de sólidos, desta forma consegue reduzir a capacidade volumétrica das unidades subsequentes, como volume dos digestores e tamanho de bombas. Ainda nesta etapa, existem alguns benefícios como a redução de consumo de produtos químicos no desaguamento e menor gasto de energia com aquecimento dos digestores. Os processos mais utilizados para o adensamento de lodo são: por gravidade, flotação com ar dissolvido, centrífuga, adensador de esteira e tambor rotativo.
- **Estabilização:** É o processo de redução da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis), a fim de mineralizar a fração biodegradável, diminuindo os riscos de putrefação e reduzindo a concentração de patógenos. A estabilização do lodo ocorre através dos seguintes processos: digestão

anaeróbia, digestão aeróbia, compostagem, estabilização química e estabilização térmica.

- **Condicionamento:** É a preparação do lodo para a desidratação (principalmente mecânica), se trata de um processo realizado para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida, que ocorre por meio de processos físicos e químicos.
- **Desidratação:** É um processo adicional de secagem, objetivando reduzir ainda mais a umidade do lodo e seu volume. Os equipamentos mais utilizados neste processo são: filtro prensa, decanter e prensa parafuso.
- **Disposição final:** É a destinação final do lodo tratado, após passar pelos processos citados anteriormente, o resíduo é encaminhado para o seu destino final, geralmente para aterros sanitários. Porém, as empresas de saneamento têm buscado outras alternativas para a destinação de seu lodo, pois este subproduto possui um valor agregado e outras utilizações economicamente viáveis são buscadas, como utilização na agricultura, em reflorestamentos, fabricação de tijolos, dentre outros fins.

### 3.3. OBJETIVO PRINCIPAL DO TRATAMENTO DE ESGOTO.

O objetivo principal do tratamento de esgoto é remoção de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes, principalmente o nitrogênio. Tal matéria orgânica pode ser medida indiretamente a partir da DBO e DQO, normalmente se utiliza a DQO, pois sua medição é mais rápida e aplicável a qualquer tipo de tratamento (FONTANA, 2007). Já o nitrogênio, está presente no esgoto sob diferentes formas, sendo que sua remoção pode ser medida em todas elas. Na Tabela 1 a seguir, constam os parâmetros presentes no esgoto sanitário, bem como as concentrações dos mesmos, classificando o efluente em fraco, médio ou forte.

Tabela 1 - Valores de alguns parâmetros do esgoto sanitário.

Parâmetro	Composição do esgoto sanitário		
	Fraco	Média	Forte
Demanda química de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	250	430	800
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	110	190	350
Sólidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	390	720	1230
Sólidos suspensos totais (mg L <sup>-1</sup> )	120	210	400
Nitrogênio total kjeldahl (mg L <sup>-1</sup> )	20	40	70
Nitrogênio amoniacal (mg L <sup>-1</sup> )	12	25	45
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	0	0	0
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0	0	0
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	4	7	12

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003.

Através da tabela acima ressalta-se que os valores das concentrações de nitrito e nitrato no esgoto são iguais a zero, pois tais elementos irão se formar durante o tratamento, através das reações de nitrificação. O grande problema do nitrogênio no esgoto, é que a maioria dos processos de tratamento não realizam a sua remoção completa, transformando compostos prejudiciais ao meio ambiente como a amônia em compostos menos agressivos como o nitrito, nitrato e N<sub>2</sub>. Porém, a conversão completa até o nitrogênio gasoso, que é um composto inerte, geralmente não ocorre nos processos convencionais (METCALF & EDDY, 2003).

### 3.3.1. Remoção de Matéria Orgânica Carbonácea

A matéria orgânica carbonácea causa a poluição das águas, reduzindo o OD nos corpos hídricos, pois os micro-organismos consomem o oxigênio para estabilizar o carbono, diminuindo o OD das águas, podendo causar a destruição dos ecossistemas aquáticos. Por isto, a remoção da matéria orgânica carbonácea é essencial no tratamento de esgoto, bem como a melhora nos processos operacionais, buscando uma melhor eficiência de remoção deste composto (VON SPERLING, 2017).

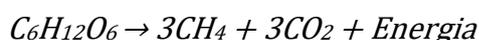
A eficiência de remoção da matéria orgânica carbonácea (expressa em termos de DBO e/ou DQO) irá variar dependendo do ambiente utilizado, características do esgoto bruto e operacionais de cada reator, dentre outros fatores. Porém, considerando-se os tratamentos anaeróbios, tem-se que a média de remoção de DQO varia entre 70 a 80%, enquanto que para os sistemas aeróbios, tal valor se encontra entre 85 e 95% e na combinação dos dois processos, essa eficiência tende a apresentar médias superiores a 95% (FONTANA, 2007; PANTOJA FILHO, 2011; CORREA, 2014).

Para remover essa matéria orgânica presente nos efluentes, temos basicamente dois processos, são eles a respiração aeróbia e/ou digestão anaeróbia (CORREA 2014). As Equações 1 e 2 a seguir, demonstram em linhas gerais e simplificada a conversão da matéria orgânica aerobiamente e anaerobiamente.

Equação 1 - Conversão aeróbia.



Equação 2 - Conversão anaeróbia.



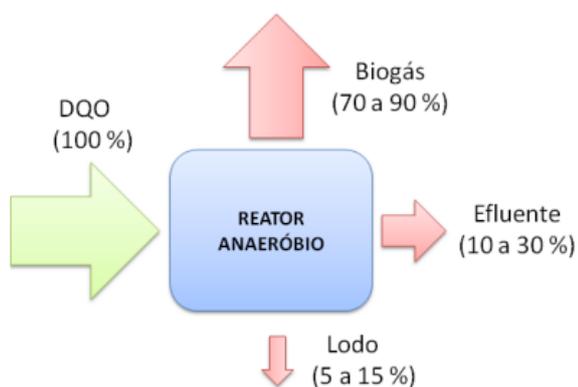
### 3.3.1.1. Digestão Anaeróbia.

Na digestão anaeróbia, as condições do meio são propícias ou mesmo exclusivas para o desenvolvimento e crescimento de micro-organismos adaptados à ausência do oxigênio. Nesta condição, a comunidade microbiana converte a matéria orgânica em CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S e CH<sub>4</sub>. Dentre esses compostos, o metano é o principal subproduto gerado, de forma que, quanto maior for a sua produção, maior será a eficiência do processo (FERRAZ, 2014).

Nos reatores anaeróbios, constata-se que grande parte da matéria orgânica biodegradável é removida e convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), o qual é removido da fase líquida e é retirado do reator na forma gasosa. Somente uma pequena fração do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (de 5 a 15%), que é constituída no lodo excedente do sistema, o qual se apresenta mais concentrado e com melhores características de desidratação. Quanto a parcela que

não foi convertida em biogás e nem em biomassa, essa deixa o reator como efluente tratado (10 a 30%) (FERRAZ, 2014; TEOBALDO, 2017). Na Figura 2 é apresentado o esquema do processo de digestão anaeróbia.

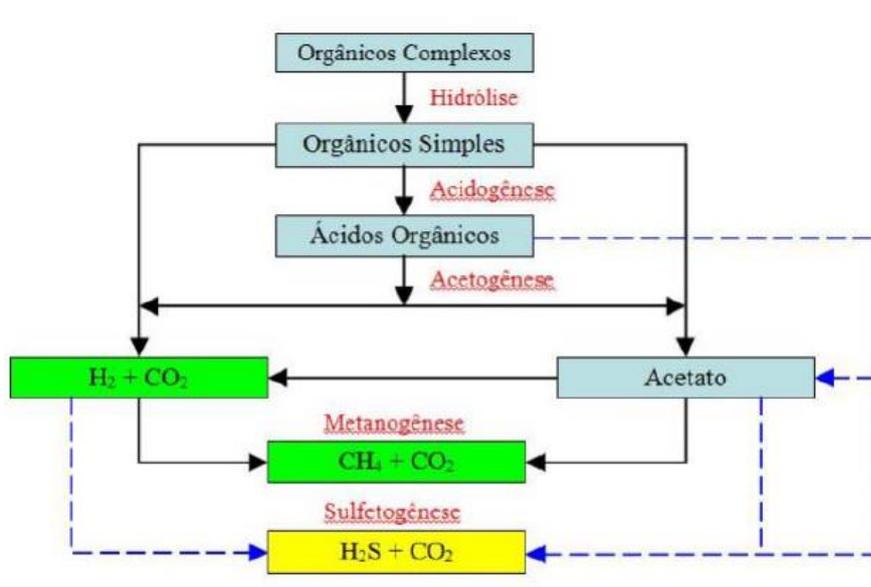
Figura 2 - Esquema da conversão biológica da digestão anaeróbia.



Fonte: Ferraz, 2014.

O processo de digestão anaeróbia é realizado em quatro etapas principais, sendo elas: a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (ou sulfetogênese), conforme demonstrado na Figura 3 (TEOBALDO, 2017).

Figura 3 - Etapas da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado, Teobaldo 2017.

Na hidrólise, ocorre a transformação de compostos orgânicos complexos (polissacarídeos, proteínas e lipídeos) em substâncias dissolvidas mais simples de cadeia carbônica menores (açúcares simples, ácidos graxos e fenóis). Esta transformação ocorre devido a ação de exo-enzimas excretadas por bactérias hidrolíticas-fermentativas, pertencentes ao gênero *Clostridium*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Escherichia* (FERRAZ, 2014).

A próxima etapa da digestão anaeróbia é a acidogênese, que é quando os compostos orgânicos hidrolisados são transportados para o interior da célula das bactérias fermentativas, onde são metabolizados e transformados em ácidos graxos de cadeia mais curta, como álcoois, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S. As bactérias que são responsáveis pela acidogênese, em sua maioria são anaeróbias estritas, porém algumas bactérias facultativas também atuam no processo de forma oxidativa, tornando-se fundamental, pois removem o oxigênio que porventura possa estar presente no meio e ser tóxico para as bactérias metanogênicas (FERRAZ, 2014 *apud* ANDRADE NETO, 2004).

Na etapa da acetogênese, os produtos resultantes da acidogênese são degradados em compostos que facilitarão a formação de metano, produzindo ácido acético, CO<sub>2</sub> e hidrogênio. Durante este período, uma grande quantidade de hidrogênio é liberada, fazendo com que o pH do meio e a pressão de hidrogênio aumente. As bactérias responsáveis pelos processos da acidogênese e acetogênese são: *Lactobacillales*, *Clostridium botulinum*, *Acetobacter*, *Syntrophonas wolfe*, *Syntrophonas wolinii*, *Clostridium aceticum*, *Clostridium thermoaceticum*, *Acetobacter woodii* (ANDRADE NETO, 2004).

A metanogênese é a etapa final do processo, é onde ocorre a conversão de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. Este processo pode acontecer de duas formas: a primeira é denominada de metanogênese hidrogenofílica, que ocorre a partir da redução de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, a segunda é a metanogênese acetoclástica, realizada através da oxirredução do acetato (FERRAZ, 2014). Segundo Andrade Neto (2004), na presença de grandes concentrações de substratos orgânicos, cerca de 2/3 da produção de metano ocorrem através da metanogênese acetoclástica e 1/3 por meio da metanogênese hidrogenofílica.

Como descrito anteriormente, a produção de metano ocorre por meio de dois tipos de metanogênese, onde cada uma delas está associada a um determinado grupo de micro-organismos. A metanogênese acetoclástica é realizada pelas bactérias metanogênicas acetotróficas, as quais utilizam acetato e convertem ácidos orgânicos voláteis em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Já a metanogênese hidrogenofílica ocorre através da ação das bactérias hidrogenotróficas, que utilizam CO<sub>2</sub> e H para produzir CH<sub>4</sub>. Dentre as bactérias metanogênicas acetotróficas encontram-se espécies do gênero *Methanothrix* e *Methanococcus* e dentre as bactérias hidrogenotróficas encontram-se as *Methanospirillum hungatei*, *Methanobacterium bryantii*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanococcus mazei*, e *Methanothrix soehngenii* (LIMA RIZZO; LEITE, 2004).

Além dos processos fermentativos de conversão de substratos, a digestão anaeróbia pode apresentar uma outra etapa final, a sulfetogênese (produção de sulfetos), que ocorre quando o efluente a ser tratado apresenta alta concentração de sulfato. A sulfetogênese é um processo em que o sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de bactérias anaeróbias estritas, chamadas de bactérias redutoras de sulfato (BRS) (FREITAS LIMA, et al., 2015).

As BRS são um grupo de micro-organismos capacitados para utilizar diversos tipos de substratos. Na presença do sulfato no meio, diversos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas BRS, provocando uma alteração nas rotas metabólicas do reator, resultando em uma competição entre as BRS e as bactérias fermentativas acetogênicas e metanogênicas pelos substratos disponíveis. Com isso, pode acontecer a inibição da metanogênese pela sulfetogênese, causando um grande problema no tratamento anaeróbio, devido a formação de ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), que é um gás altamente corrosivo e tóxico, além de liberar maus odores na atmosfera. Dentre as espécies de BRS, podemos destacar as: *Thiosphaera pantotropha*, *Thiobacillus versutus*, algumas dos gêneros *Thiotrix*, *Beggiatoa*, *Desulfobacterium*, *Desulfococcus* (PANTOJA FILHO, 2011).

### 3.3.1.2. Respiração Aeróbia.

Nos tratamentos aeróbios, é realizada a oxidação da matéria orgânica na presença do oxigênio, convertendo-a em biomassa, CO<sub>2</sub> e água. Para esta conversão, são necessários poucos doadores de elétrons na geração de energia, que é suficiente para sintetizar a biomassa, comprovando que os micro-organismos aeróbios são mais eficientes do que os anaeróbios (WOSIACK, 2014).

A respiração aeróbia é realizada através de três etapas, sendo elas: oxidação, síntese e auto-oxidação. Na oxidação, ocorre a degradação e remoção da matéria orgânica pelos micro-organismos aeróbios. Uma parte desta matéria orgânica é oxidada CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, proporcionando energia para o metabolismo e funções vitais das bactérias (SANTOS, 2004). Na Equação 3 a seguir, temos uma representação simplificada da fase de oxidação da respiração aeróbia.

Equação 3 - Oxidação da respiração aeróbia:



Uma outra parcela da matéria orgânica que não foi utilizada na oxidação, é consumida para sintetizar novos micro-organismos, resultando no aumento de biomassa, essa etapa é denominada de síntese. Na auto-oxidação ocorre o esgotamento da fonte externa de carbono, que foi utilizada nas etapas anteriores, então os micro-organismos iniciam a respiração endógena, na qual o material celular é oxidado, com o objetivo de atender a demanda energética metabólica para se evitar a morte das bactérias (WOSIACK, 2014). O processo de auto-oxidação pode ser representado pela Equação 4 a seguir.

Equação 4 - Auto-oxidação:



Na microbiota responsável pela respiração aeróbia, são encontrados diversos gêneros de bactérias, além de micro-organismos filamentosos, bactérias nitrificantes, protozoários, dentre outros. Podemos observar as heterotróficas *Zooglea*, *Achromobacterium*, *Chromobacterium*, e *Pseudomonas*, as filamentosas *Sphaerotilus natans*, *Microthrix parvicella*, além de algumas dos gêneros *Thiothrix*, *Beggiatoa* e *Nocardia* (MENDONÇA, 2002; COUTO 2017).

### 3.3.2. Remoção de Nitrogênio.

Conforme já relatado anteriormente, além da remoção da matéria orgânica carbonácea, o tratamento de esgoto também tem por objetivo a remoção de nutrientes, sobretudo o nitrogênio, onde o composto não é eliminado totalmente nos processos convencionais de tratamento (FERRAZ, 2014).

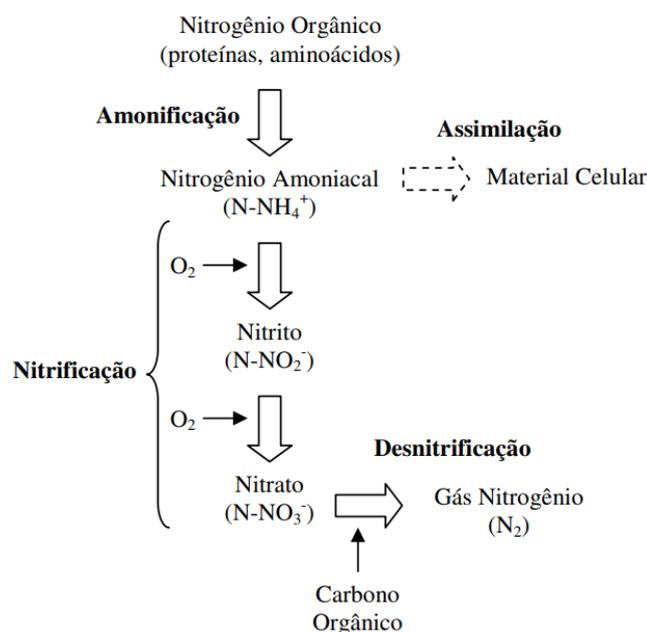
Para a remoção completa do nitrogênio é necessário o emprego de tecnologias mais avançadas, combinando os processos de tratamento, como por exemplo um reator UASB e lodos ativados ou um reator de leito fixo combinado (anaeróbio + aeróbio). Adotando essas técnicas, melhora-se a eficiência na remoção de matéria orgânica carbonácea e de nitrogênio, com a possibilidade de remoção do ciclo completo do  $N_2$  (METCALF & EDDY, 2003).

Com relação à eficiência de remoção de nitrogênio, tem-se uma faixa mais ampla do que na remoção carbonácea, situando-se entre 35 e 70%. Para reatores e processos operacionais que foram projetados especificamente para remover nitrogênio, essa eficiência pode apresentar valores próximos ou até mesmo superiores a 90% (GARBOSSA, 2006; NETTO, 2007; ABREU & ZAIAT, 2008).

É importante destacar que a remoção completa do nitrogênio não ocorre em ambiente estritamente anaeróbio, pois é necessário a presença do oxigênio para que a reação de nitrificação/desnitrificação ocorra, transformando os compostos nitrogenados em gás nitrogênio ( $N_2$ ) e expelindo-o do efluente. O oxigênio, deve estar presente em sua forma livre ( $O_2$ ) nos ambientes aeróbios ou em sua forma combinada ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $HCO_3^-$ ) nos processos anóxicos (PANTOJA FILHO, 2011).

A metodologia convencional de remoção do nitrogênio dos efluentes através da ação biológica, é realizada por quatro etapas, sendo elas: amonificação, assimilação, nitrificação e desnitrificação, conforme demonstrado no fluxograma a seguir.

Figura 4 - Fluxograma de transformação de nitrogênio em sistemas convencionais.

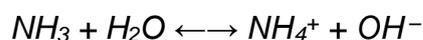


Fonte: Junior, 2006.

### 3.3.2.1. Processo de Amonificação e Assimilação.

O processo de amonificação (ou, o inverso: assimilação de amônia) corresponde a conversão biológica de materiais orgânicos presentes no esgoto, tais como proteínas, aminoácidos e ureia em nitrogênio amoniacal, que pode ser representado na forma de amônia (NH<sub>3</sub>) ou íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). A equação química que guia a relação entre NH<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> está representada a seguir (JUNIOR, 2006).

Equação 5 - Relação entre a amônia e íon amônio:



A proporção que determina a concentração de amônia e íon amônio é o pH e temperatura. Em reatores biológicos com pH controlado em torno de 7,0 e a temperatura do efluente variando de 20°C a 35°C, 99% do nitrogênio amoniacal está representado na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (JUNIOR, 2006).

Segundo Junior (2006), para cada 1g de biomassa bacteriana formada, 0,12g de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é assimilado na síntese celular, mostrando que a remoção de nitrogênio nesta etapa é pequena. Por isso, em processos biológicos com remoção de nitrogênio, as etapas de nitrificação e desnitrificação são essenciais.

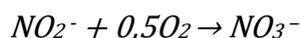
### 3.3.2.2. Processo de Nitrificação.

A nitrificação pode ser definida como a oxidação biológica do nitrogênio amoniacal ( $N-NH_4^+$ ), utilizando o oxigênio como acceptor final de elétrons, resultando na formação do nitrato ( $NO_3^-$ ) como produto final. O processo de nitrificação pode ser dividido em duas etapas, sendo a nitritação e nitratação, primeiramente o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito ( $NO_2^-$ ), conforme demonstra a Equação 6 (nitritação). Na segunda etapa, o nitrito formado é oxidado em nitrato ( $NO_3^-$ ), demonstrado na Equação 7 (nitratação). Por fim, a reação global da nitrificação está representada pela Equação 8 (WOSIACK, 2014).

Equação 6 – Nitritação:



Equação 7 – Nitratação:



Equação 8 - Reação global da nitrificação:



Dentre as bactérias principais responsáveis pela nitrificação, podemos destacar *Nitrossomonas Nitrobacter*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* e *Nitrosorobrio*. A nitritação ocorre dentro da membrana citoplasmática dos micro-organismos, onde a amônia é oxidada para nitrito através da ação bioquímica das bactérias *Nitrossomonas*. Ao final, dois pares de elétrons são liberados, sendo um par utilizado na primeira etapa de oxidação da amônia e o segundo utilizado para produção de energia e redução do oxigênio molecular em água. No passo seguinte, as bactérias do gênero *Nitrobacter* realizam a oxidação de nitrito para nitrato (ARAÚJO JR, 2006).

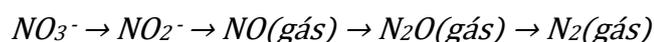
A nitrificação pode apresentar instabilidade devido a alteração de alguns fatores ambientais, como pH, temperatura e oxigênio dissolvido (OD). Pois esses fatores podem reagir diretamente na atividade enzimática e na velocidade de crescimento dos micro-organismos, ou indiretamente, na estrutura do biofilme presente nos reatores biológicos e na velocidade de difusão do oxigênio (VON SPERLING, 2017). A seguir são apresentadas as faixas ótimas de pH, temperatura e OD para a nitrificação.

- pH: A faixa ótima de pH para a nitrificação é entre 7,5 e 8,0 e sua taxa pode cair significativamente se pH for reduzido abaixo de 7,0;
- Temperatura: Faixa ótima se apresenta entre 25°C e 35°C, em temperaturas inferiores a esta faixa, a taxa de nitrificação começa a decair;
- OD: Valores de OD para qual a nitrificação é limitada, podem ser de 0,5 a 2,5 mg/L, então determina-se que uma faixa ótima de OD, apresente valores superiores a 2,0 mg/L, para que não ocorra a redução de taxa de nitrificação.

### 3.3.2.3. Processo de Desnitrificação.

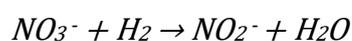
A desnitrificação é um processo anóxico que consiste na redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ), onde são utilizados óxidos de nitrogênio ao invés do oxigênio como receptor de elétrons, além da matéria orgânica como fonte de carbono e energia para o metabolismo celular. Em alguns casos, essa matéria orgânica pode ser de origem endógena, em outros é necessária uma fonte de carbono externa como metanol, etanol, lactato e glicose (WOSIACK, 2014). A reação química geral que representa o processo de desnitrificação está equacionada a seguir.

Equação 9 - Reação geral da desnitrificação:



Segundo Gusmão (2005), a desnitrificação ocorre em duas etapas, primeiramente ocorre a redução de nitrato a nitrito (Equação 10), pois nem todo nitrato foi convertido em nitrito na nitrificação, ou através de uma nitrificação parcial, onde o processo cessou-se antes da formação do nitrito. A segunda etapa é a conversão de nitrito à nitrogênio gasoso (Equação 11), tais reações químicas e processos podem ser observados a seguir.

Equação 10 - Redução de nitrato à nitrito:



Equação 11 - Redução de nitrito à nitrogênio gasoso:



Os micro-organismos responsáveis pela desnitrificação, são as bactérias heterotróficas aeróbias facultativas, as quais podem realizar suas atividades metabólicas na presença e ausência do oxigênio, dentre elas podemos destacar as dos gêneros: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Hypomicrobium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodopseudomonas*, *Spirillum*, *Vibrio*, *Halobacterium* e *Methanomonas* (ARAUJO JR, 2006).

Relata-se a possibilidade de bactérias nitrificantes autotróficas atuarem como desnitrificantes, realizando a produção de  $N_2O$ ,  $NO$  ou  $N_2$ . Entretanto, as velocidades de conversão por essa via, são extremamente baixas quando comparadas às vias ditas convencionais de nitrificação e desnitrificação, não apresentando papel significativo no tratamento de efluentes (ARAUJO JR, 2006 *apud* COLLIVER & STENPHENSON, 2000).

Assim como na nitrificação, a desnitrificação também possui parâmetros que influenciam em sua reação. Fatores como pH, temperatura, concentração de OD e as fontes exógenas de energia interferem na velocidade de desnitrificação. Um dos fatores essenciais para a desnitrificação, é a concentração de oxigênio dissolvido, visto que o processo ocorre em ambiente anóxico (BUENO, 2011; WOSIACK, 2014). Abaixo seguem as faixas ótimas de pH, temperatura e OD para que a desnitrificação ocorra da melhor forma possível.

- pH: Temos uma velocidade máxima da desnitrificação com o pH na faixa de 7,0 e 7,5. Para valores de pH abaixo de 6,0 e acima de 8,0 a atividade desnitrificante diminuí consideravelmente.
- Temperatura: Bueno (2011), relata que a velocidade da desnitrificação aumenta com a temperatura até atingir um valor ótimo de 40°C. Já Wosiack (2014), descreve que a temperatura ótima da desnitrificação pode variar entre 10°C e 30°C.

- OD: Fator essencial para a ocorrência da desnitrificação, como o processo ocorre em ambiente anóxico, a concentração ótima de OD é de 0,5 mg/L. Para valores superiores a 1,0 mgO<sub>2</sub>/L ocorre a inibição da desnitrificação.

### 3.4. TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES.

Existem diversas tecnologias que são utilizadas no tratamento de efluentes, estas são aplicadas conforme a necessidade do local, área disponível para construção, capital a ser investido, clima do local e a principal delas, o corpo hídrico receptor do efluente. Este último é de suma importância, pois através da classe do corpo hídrico, definido pela Resolução CONAMA N° 357/2005, as concentrações dos parâmetros de tratamento de efluentes, serão menores ou maiores, impactando diretamente na tecnologia de tratamento adotada e por consequência em sua eficiência.

Dentre as principais tecnologias utilizadas no Brasil, destacam-se: as lagoas facultativas, reator UASB, lodos ativados, reatores de leito fixo, reatores de leito fluidizado, dentre outros. Cada tecnologia possui suas vantagens e desvantagens e são aplicadas conforme a necessidade do local (WOSIACK, 2014). No trabalho de conclusão de curso vigente, serão abordados os processos de lodos ativados e reator combinado de leito fixo, pois são as tecnologias utilizadas nas ETE's analisadas.

#### 3.4.1. Lodos Ativados.

Lodo ativado é o floco produzido no esgoto bruto ou decantado, resultante do crescimento de bactérias aeróbias e é acumulado em concentração suficiente devido ao retorno de outros flocos produzidos (JORDÃO & PESSOA, 2011).

O sistema de lodos ativados é realizado através de processos biológicos aeróbios, que apresentam elevada eficiência de tratamento, tendo sua remoção de matéria orgânica carbonácea em torno de 90%. O processo consiste em depurar aerobiamente a matéria orgânica com a ação de colônias de micro-organismos específicos, formando uma massa, denominada de lodo (lodo ativado ou biológico). Este lodo juntamente com o esgoto afluente, são estritamente misturados, agitados

e aerados dentro do tanque de aeração, que possui sopradores de ar, os quais são responsáveis pela inserção do  $O_2$  no meio e pelo alto consumo energético do sistema. Após a mistura do lodo e esgoto dentro do tanque de aeração, ocorre a separação por sedimentação em decantadores, o lodo, em sua maior parte retorna para o processo e uma parcela menor é destinada para um tratamento específico. Quanto ao esgoto tratado que foi separado, é dito como efluente final (JORDÃO E PESSÔA, 2011; VON SPERLING, 2017).

Segundo Jordão e Pessoa (2011), a aplicação do processo de lodos ativados apresenta diversas situações favoráveis e algumas desfavoráveis. Entre as vantagens principais, destacam-se:

- Maior eficiência de tratamento quando comparado a processos anaeróbios;
- Maior flexibilidade de operação;
- Menor área ocupada comparada com filtração biológica e lagoas de estabilização.
- Lodo mais estabilizado comparado a processos anaeróbios.

Entre as desvantagens do processo encontram-se:

- Operação mais delicada;
- Necessidade de completo controle de laboratório;
- Alto consumo energético;
- Maior custo de operação comparado a filtração biológica.
- Maior volume de lodo gerado comparado aos processos anaeróbios.

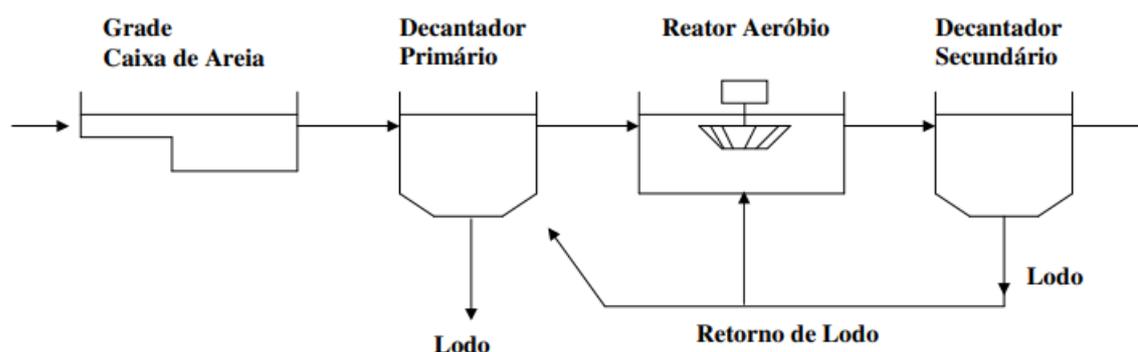
#### 3.4.1.1. Variações do Processo de Lodos Ativados.

No tópico anterior foi abordado o sistema de lodos ativados de uma maneira geral, mas existem diversas variações neste processo, que impactará diretamente no tratamento do efluente. Algumas dessas variações serão abordadas e discutidas sucintamente nos tópicos abaixo.

### 3.4.1.1.1. Lodos Ativados Convencional.

O processo de lodos ativados convencional apresenta fluxo contínuo e possui todo o sistema preliminar, primário e secundário. Antes do tanque de aeração, o sistema convencional deve apresentar um decantador primário, que tem a função de retirar a matéria orgânica sedimentável antes de prosseguir para etapa seguinte, possibilitando uma diminuição de gasto energético com aeração, bem como o volume e tamanho do sistema a ser dimensionado (OLIVEIRA, 2014). Na Figura 5 a seguir, é apresentado o fluxograma deste tipo de tratamento.

Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento de lodos ativados convencional.



Fonte: Silva, [s/d].

Neste sistema de tratamento, a idade do lodo é de 4 a 10 dias, com um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) variando entre 6 e 8 horas. Devido à idade do lodo, é necessária uma etapa para o seu tratamento, a fim de estabilizá-lo, pois, este resíduo possui um alto teor de matéria orgânica armazenada em suas células, conseqüentemente apresentando diversos patógenos que coloca em risco a saúde humana e o meio ambiente (VON SPERLING, 2002).

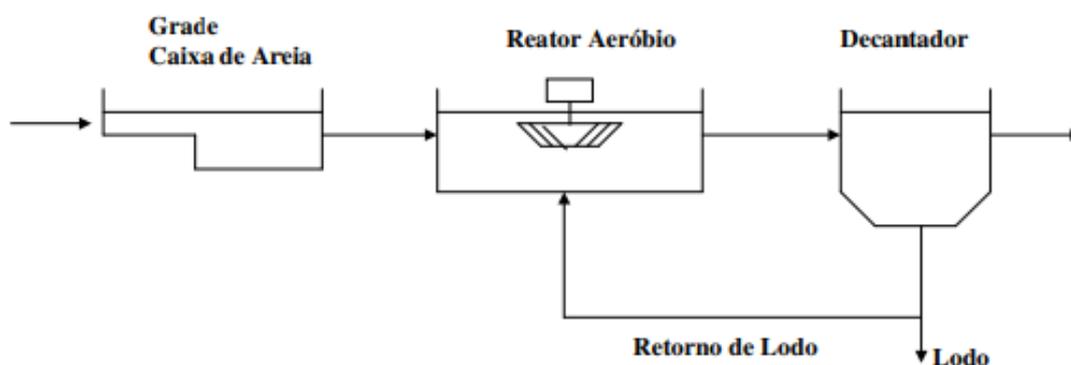
### 3.4.1.1.2. Lodos Ativados com Aeração Prolongada.

A diferença do processo de lodos ativados com aeração prolongada para o convencional, é o tempo que a biomassa permanece no sistema, pois enquanto no convencional essa permanência de biomassa é de 4 a 10 dias, com a aeração prolongada, este tempo passa a ser de 18 a 30 dias (OLIVEIRA, 2014).

Como a biomassa fica mais tempo dentro do sistema, recebendo a mesma carga de DBO afluente de um sistema convencional, a disponibilidade de alimentos para os micro-organismos é reduzida. Por consequência, haverá menor matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator, provocando o aumento do TDH (16 a 24 horas) (VON SPERLING, 2002).

O diferencial de uma ETE que utiliza o sistema de lodos ativados com aeração prolongada comparando com o sistema convencional, é a ausência de uma fase de estabilização de lodo. Tal diferença, é devido ao intenso processamento da matéria orgânica pelos micro-organismos presentes neste sistema, que a degradam através de sua respiração, convertendo essa matéria orgânica em gás carbônico e água. A não existência de um decantador primário, colabora com o fato de não precisar de uma etapa isolada de estabilização de lodo primário, obtendo um sistema de tratamento simplificado (VON SPERLING, 2017). Na figura abaixo, é apresentado um fluxograma simplificado do processo de lodos ativados com aeração prolongada.

Figura 6 - Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados com aeração prolongada.

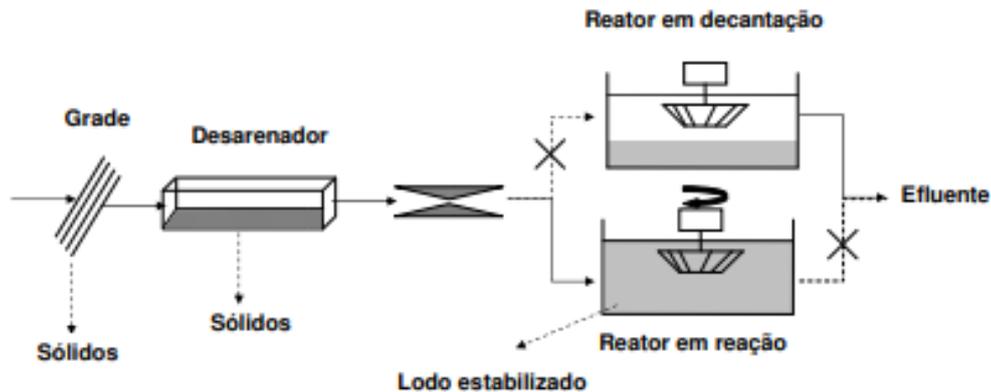


Fonte: Silva, [s/d].

#### 3.4.1.1.3. Lodos Ativados com Fluxo Intermitente (Reatores em Bateladas).

No sistema de lodos ativados por bateladas, todo o processo é realizado em apenas um reator, ou seja, as etapas de decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, ocorre somente em um único tanque (JORDÃO & PESSÔA, 2011)). Na Figura 7, é apresentado um fluxograma do funcionamento do processo de lodos ativados por bateladas.

Figura 7 - Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados com fluxo intermitente (reatores em bateladas).



Fonte: Silva, [s/d].

O sistema de lodos ativados por bateladas, consiste na utilização de um reator de mistura completa, onde todas as etapas do tratamento são processadas através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. A biomassa permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando a necessidade da existência de decantadores separados e estações elevatórias de recirculação de lodo. É importante frisar que a duração de cada ciclo deste tratamento é diretamente influenciada pela variação dos efluentes, especificidade do tratamento, característica do esgoto e a biomassa presente no sistema (VON SPERLING, 2002). Nos tópicos abaixo, seguem os ciclos presentes neste sistema.

- Enchimento – ocorre a entrada de esgoto bruto ou decantado no reator;
- Reação – aeração e mistura da massa líquida contida no reator;
- Sedimentação – sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado;
- Esvaziamento – retirado do esgoto tratado do reator;
- Repouso – ajustes de ciclo e remoção de lodo excedente.

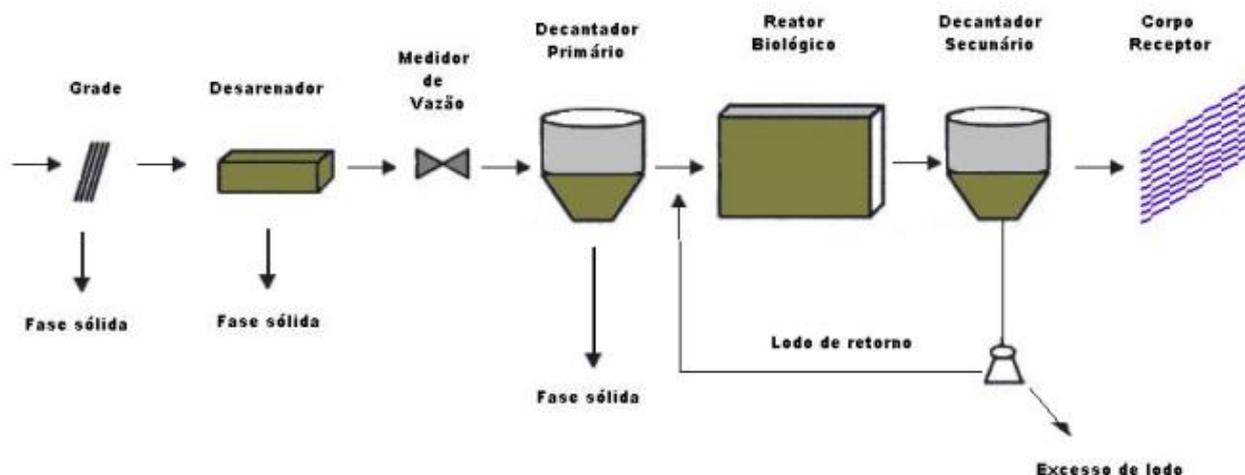
#### 3.4.1.1.4. Lodos Ativados com Fluxo Contínuo.

A principal característica do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo, é de que os reatores recebem vazão afluyente ininterruptamente durante sua operação, onde as entradas e as saídas são contínuas. O fluxo do sistema, pode ser através de pistão (em que as partículas passam pelo tanque e são descarregadas na mesma

sequência em que entraram, como um êmbolo, sem misturas longitudinais) ou de mistura completa (em que as partículas que entram no tanque se misturam rapidamente a toda a massa líquida do reator) (VON SPERLING, 2002; SOUZA, 2011).

Segundo Medeiros (2005), a manutenção da biomassa ativa no sistema de lodos ativados de fluxo contínuo, se dá pela recirculação de lodo sedimentado no decantador secundário para o reator aeróbio. Neste sistema, estão presentes pelo menos duas unidades básicas: o reator aeróbio e o decantador secundário, que são constantemente alimentados pelo esgoto sanitário a ser tratado. Na figura a seguir, é demonstrado o fluxograma do sistema de lodos ativados operado em fluxo contínuo.

Figura 8 - Fluxograma do sistema de lodos ativados em fluxo contínuo.

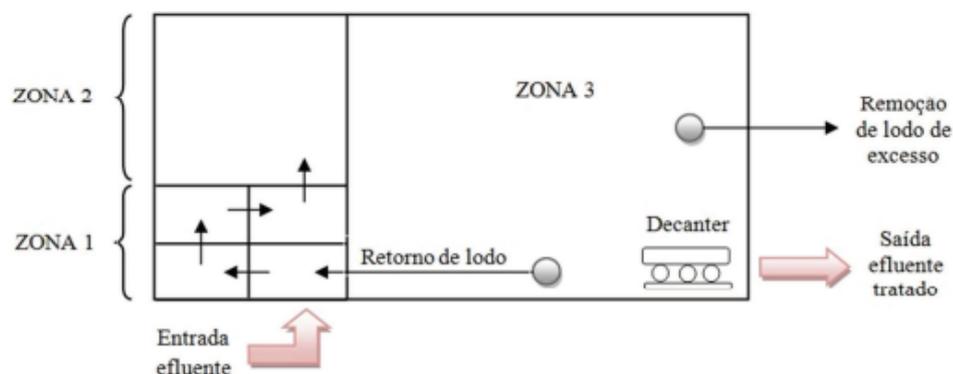


Fonte: Medeiros, 2005.

#### 3.4.1.1.5. Sistema Cíclico de Lodos Ativados.

O sistema cíclico de lodos ativados ou *Cyclic Activated Sludge System (CASS)*, apresenta benefícios do sistema em fluxo contínuo e intermitente, o tratamento é realizado em único tanque operado em regime de batelada. O tanque de tratamento é compartimentado em três partes, associados a uma recirculação de efluente tratado (MARTINS NETO, 2014). Na figura a seguir, é apresentado o esquema de tratamento mencionado.

Figura 9 - Sistema CASS.



Fonte: Martins Neto, 2014.

Através da figura acima verifica-se que o sistema CASS é dividido em 3 zonas (cada uma delas possui determinada função), uma saída para remoção de lodo em excesso, retorno de lodo para o sistema e decanter para saída do efluente tratado (MARTINS NETO, 2014).

A zona 1, anaeróbia, recebe o esgoto bruto oriundo do tratamento preliminar ou primário, além do efluente recirculado tratado proveniente da zona 3 (aeróbia). A zona 1 possui grande importância neste sistema de tratamento, pois opera como um seletor biológico com presença de micro-organismos acumuladores de fósforo, que são favorecidos por acumular substratos mais rapidamente do que outros micro-organismos não acumuladores, resultando no aumento da remoção de compostos fosforados (MARTINS NETO, 2014 *apud* VAN HAANDEL & MARAIS, 1999; BUENO et al., 2015).

A zona 2, é responsável pela mistura completa do efluente sem aeração, se apresentando em estado anóxico, ou seja, sem a presença do oxigênio molecular em sua forma livre ( $O_2$ ), porém rica em óxidos de nitrogênio como o nitrato ( $NO_2^-$ ), que será utilizado como receptor de elétrons. A zona 2 é responsável pela maior parcela da remoção de nitrogênio, por meio do processo de desnitrificação (MARTINS NETO, 2014).

Ainda segundo Martins Neto (2014), a zona 3, estritamente aeróbia devido ao sistema de aeração, possui alta concentração de biomassa sendo responsável pela maior parcela de remoção de matéria orgânica carbonácea. Nesta zona, ocorre os processos de assimilação da matéria orgânica e a nitrificação (conversão do

nitrogênio amoniacal para nitrato), que posteriormente devido a recirculação para a zona anóxica, o composto irá ser transformado em nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>), por meio da desnitrificação (BUENO, et al., 2015).

#### 3.4.1.2. Eficiência de Tratamento – Lodos Ativados.

Os sistemas de lodos ativados, por se tratarem de processos aeróbios de tratamento de esgoto, apresentam alta eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea, com médias entre 80% e 90%, ou até mesmos superiores. Quanto aos nutrientes, a média de remoção é mais ampla e totalmente dependente das características operacionais do reator e do esgoto bruto, apresentando eficiência média de remoção variando entre 30 e 80% (MARTINS NETO, 2014; AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2017).

Gonçalves, et al. (2015), avaliou a eficiência de uma ETE por lodos ativados convencional, onde a mesma alcançou eficiência média de remoção de DBO de 85,6% e de DQO 83,5%. Quanto ao nitrogênio amoniacal, a ETE avaliada alcançou eficiência média de 58%, ainda vale ressaltar que algumas amostras analisadas apresentaram valores acima do permitido pela Resolução CONAMA 430/2011, de 20 mg/L. O autor justificou em seu trabalho, que os valores de nitrogênio amoniacal que ficaram acima do limite estipulado pela legislação, se devem a obras de ampliação do sistema de tratamento realizadas na estação no período estudado.

Rocha, Pereira Neto e Sobrinho (2019), avaliaram o desempenho de sistemas de lodos ativados por aeração prolongada e a qualidade final dos efluentes tratados em uma ETE, analisando a remoção de DQO e DBO entre dezembro de 2018 fevereiro de 2019. A eficiência média de remoção de DBO entre o período estudado foi de 97,93%, enquanto de DQO foi de 92%.

Ferreira e Coraiola [s/d], analisaram a eficiência de tratamento de um sistema de lodo ativado em fluxo contínuo entre julho de 2006 a maio de 2007. A remoção de matéria orgânica entre o período estudado apresentou resultados de eficiência média de remoção de DBO em 97,62% e de DQO em 92,86%.

Sobrinho e Samudio [s/d], realizaram um estudo sobre a remoção biológica de fósforo de esgoto sanitário, através de processo de lodos ativados operado em bateladas em escala piloto. A remoção de matéria orgânica carbonácea, apresentou

valores de eficiência média de DBO em 92,58% e DQO em 77,84%. Já para os nutrientes, a eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 67,23% e de fósforo total 64%.

Bueno, et al. (2015), analisou o tratamento de esgoto sanitário em um sistema cíclico de lodos ativados em escala piloto, verificando a remoção de carbono, nitrogênio e fósforo. A matéria orgânica foi reduzida por meio da avaliação da eficiência de remoção de DQO, que foi de 91%. Os nutrientes foram analisados através da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo, respectivamente, com valores de 88% e 79,5%. Segundo o autor responsável pelo experimento, a remoção de fósforo, apesar de apresentar alta eficiência, em determinados corpos d'água esse valor pode se tornar restritivo, não atingindo os valores estipulados na CONAMA 357/2005 que variam entre 0,02 a 0,1 mgP/L. Sendo assim, Bueno, et al. (2015), concluiu que mesmo que a remoção de nutrientes seja eficiente em sua pesquisa, ainda é necessário um período maior de análises e ajustes operacionais, a fim de atender as legislações.

Moretti, et al. [s/d], também estudou um sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário em um sistema cíclico de lodos ativados, avaliando a remoção de carbono e nutrientes. A eficiência média de remoção de matéria orgânica carbonácea foi expressa em termos de DQO com 91%. Quanto aos nutrientes, a eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 85% e de fósforo 90%.

Através dos resultados experimentais de alguns autores exemplificados anteriormente, é possível verificar que os valores de eficiência do sistema lodos ativados é satisfatório. Na Tabela 2, se encontra o resumo dos dados de eficiência dos sistemas que foram apresentados.

Tabela 2 - Eficiência de tratamento das variações dos sistemas de lodos ativados.

Autor	Processos de lodos ativados	Escala	DBO	DQO	N-Amon	Fósforo
GONÇALVES, et al., (2015).	Convencional	Real	85,60%	83,50%	58%	-
ROCHA, et al., (2019).	Aeração prolongada	Real	97,30%	92%	-	-
FERREIRA e CARIOLA, [s/d].	Fluxo contínuo	Real	97,60%	92,90%	-	-
SOBRINHO e SAMUDIO, [s/d].	Bateladas	Piloto	92,60%	77,80%	67,20%	64%
BUENO, et al., (2015).	Cíclico	Piloto	-	91%	88%	79,50%
MORETTI, et al., [s/d].	Cíclico	Piloto	-	91%	85%	90%

Fonte: Adaptado, Bueno, et al. (2015); Golçalves, et al. (2015); Rocha, et al. (2019); Ferreira e Coraiola, [s/d]; Moretti, et al. [s/d]; Sobrinho e Samudio, [s/d].

### 3.4.2. Reatores de Leito Fixo.

O reator de leito fixo consiste em sistema de tratamento biológico anaeróbio e/ou aeróbio, cujo principal objetivo é a degradação da matéria orgânica carbonácea e eventualmente, nitrogênio e fósforo. O ambiente de tratamento neste tipo de reator, pode ocorrer em uma ou mais câmaras, sendo: anaeróbia, aeróbia, anaeróbia-aeróbia, anaeróbia-anóxica ou aeróbia-anóxica (OLIVEIRA NETTO, 2007; PANTOJA FILHO, 2011).

A principal característica destes reatores é o crescimento dos micro-organismos aderidos a um meio suporte imóvel (leito fixo), onde degradam a matéria orgânica do efluente, que pode entrar no sistema por meio de um fluxo ascendente (mais fácil de gerenciar) ou de um fluxo descendente. Além disto, podem apresentar orientação vertical ou horizontal (OLIVEIRA, 2001; JORDÃO & PESSÔA, 2011).

Existem diversos tipos de materiais/meios suportes que podem ser utilizados para o leito fixo, os quais podem interferir no crescimento microbiano e conseqüentemente na eficiência do tratamento. Dentre os materiais suportes mais utilizados para a aderência dos micro-organismos, destacam-se: PVC, polipropileno, borracha, plástico, bambu, argila expandida e espuma de poliuretano, sendo este

último o mais utilizado. Alguns reatores fazem o uso de materiais inertes em forma de matrizes cúbicas e em forma de Biobob® (espuma de poliuretano envolvida por plástico), o qual é exemplificado na figura a seguir (ARAÚJO JR, et al., 2017; SILVA, 2018).

Figura 10 – Biobob®.



Fonte: Bioproj, [s/d].

O reator de leito fixo é uma tecnologia muito promissora em escala industrial e que tende a ser cada vez mais utilizada nas ETE's, pois possui processos mais simplificados com custos mais reduzidos de manutenção e operação, devido à ausência de equipamentos mecânicos (ANDRADE NETO, 2014). Além de apresentar diversas outras vantagens relatadas abaixo (RODRIGUES, 2011):

- Grande capacidade de retenção de biomassa;
- Microbiota estável sob condições adversas, como: flutuações nas condições da vazão, mudanças nas condições de operação e até mesmo na presença de substâncias tóxicas;
- Simplicidade de operação;
- Baixo custo de construção e manutenção;
- Pouca necessidade de equipamentos auxiliares devido a fixação das partículas no leito, o que não exige unidades custosas de separação a jusante;
- Larga flexibilidade de operação;
- Alta eficiência de tratamento;
- Grande economia energética em comparação ao sistema de lodos ativados.
- Instalações mais compactas;

- Menor produção de lodo e conseqüentemente menor dependência da fase de sedimentação;

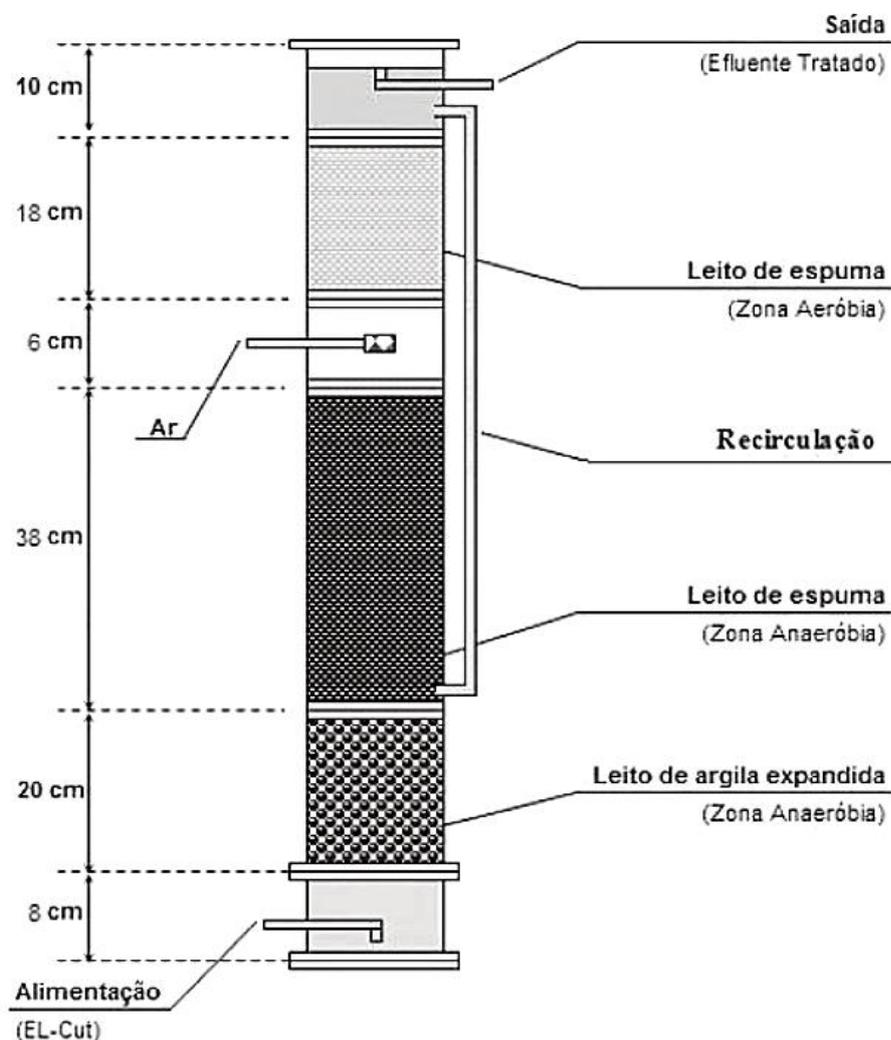
Quanto às desvantagens associadas a estes reatores, podemos citar:

- Criação de caminhos preferencias no meio suporte;
- Entupimento do leito fixo;
- Dificuldade de controle de temperatura, podendo afetar na cinética dos micro-organismos.

#### 3.4.2.1. Eficiência de Tratamento – Reatores de Leito Fixo.

Como citado anteriormente, este tipo de reator apresenta alta eficiência de tratamento, que pode ser afetada pelas suas características operacionais. Oliveira Netto (2007), analisou um Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo de fluxo ascendente (RAALF) dividido em câmeras anaeróbias e aeróbias em escala de bancada. O autor trabalhou com diferentes TDH's e utilizou a recirculação do efluente tratado a fim de aumentar a eficiência do tratamento, principalmente para remover maiores concentrações de nitrogênio. O experimento resultou na melhor eficiência de remoção com um TDH de 11 horas (8 horas no trecho anaeróbio e 3 horas no trecho aeróbio), quando apresentou uma eficiência de remoção de DQO bruta de 95% e a remoção de nitrogênio amoniacal de 92%. Na Figura 11 encontra-se o esquema do reator exemplificado.

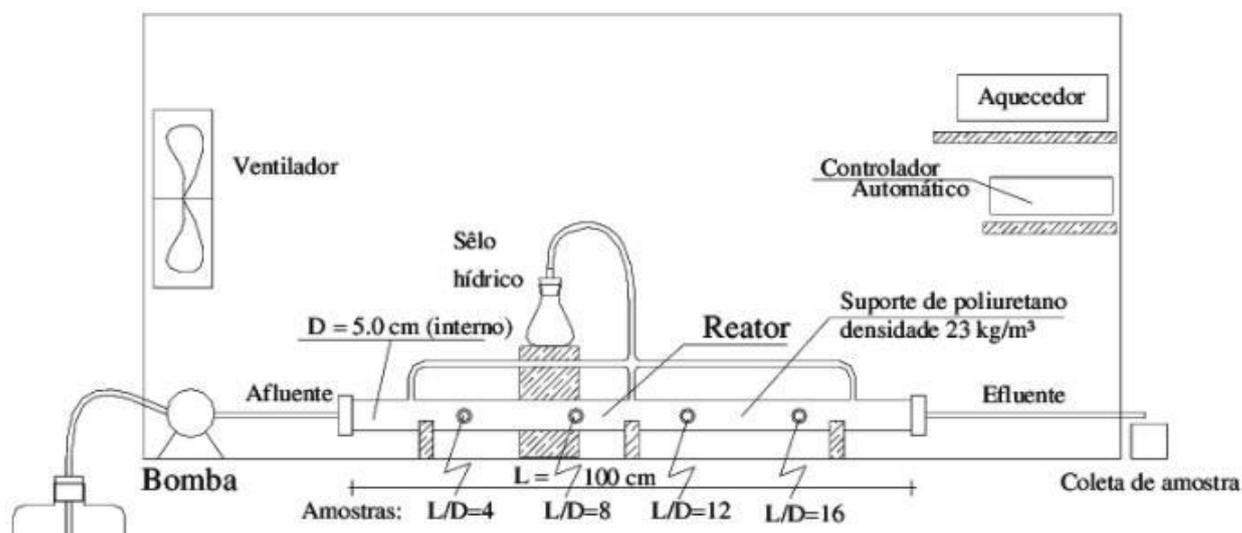
Figura 11 - Esquema do RAALF.



Fonte: Oliveira Netto, 2007.

Raimondi (2011), avaliou a remoção de matéria orgânica carbonácea de um Reator Anaeróbio de Leito Fixo (RALF) em escala de bancada, que foi de 78% e 87%, referente aos TDH's de 5 e 10 horas, respectivamente. Neste caso, verificamos a melhor eficiência de tratamento para o mais alto TDH, onde os micro-organismos ficam mais tempo realizando a degradação da matéria orgânica. Ainda vale ressaltar que não temos remoção de nitrogênio no RALF por se tratar de um reator anaeróbio. Na Figura 12 é demonstrado o esquema do reator em questão.

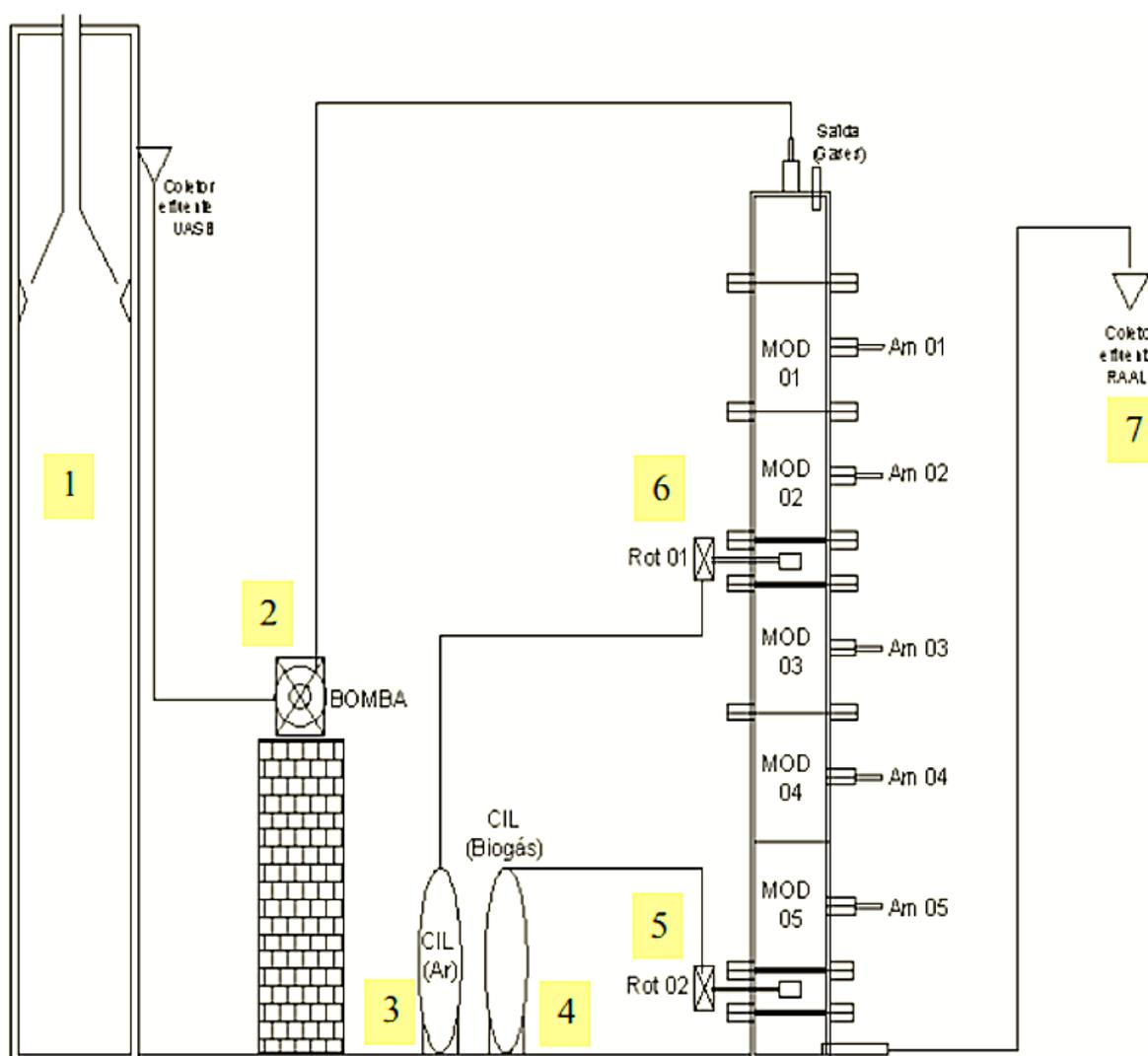
Figura 12 - Esquema do RALF.



Fonte: Raimondi, 2011.

Pantoja Filho (2011), analisou o desempenho de um Reator Aeróbio-Anóxico de Leito Fixo (RAANLF) com fluxo descendente, aplicado como pós tratamento de reator UASB. A eficiência de remoção de DQO ficou em 98% de média de 3 diferentes TDH's (7,5; 5 e 2,5 horas). Quanto a remoção de nitrogênio amoniacal, o reator apresentou eficiência de 95,3%. Esta alta remoção de N-Amon, se deve a presença do biogás ( $H_2S=50 \text{ g/m}^3$  e  $CH_4=380 \text{ g/m}^3$ ), que foi utilizado como doador de elétrons para a desnitrificação. Na Figura 13 é apresentado o esquema do reator utilizado por Pantoja Filho (2011).

Figura 13 - Esquema do RAANLF.



Fonte: Pantoja Filho, 2011.

Analisando o esquema do reator proposto por Pantoja Filho (2011), temos as seguintes legendas para a Figura 13:

- 1 – Reator UASB;
- 2 – Bomba peristáltica: Bombeia o esgoto tratado proveniente do reator UASB para o RAANLF.
- 3 – Cilindro de ar comprimido;
- 4 – Cilindro de biogás sintético;
- 5 – Rotômetro (linha de ar comprimido)
- 6 – Rotômetro (linha de biogás sintético)
- 7 – Coletor de efluente do RAANLF.

- MOD (módulos do reator), sendo MOD 1-2 referentes à câmara aeróbia e MOD 3-5 referentes à câmara anóxica;
- Am (amostradores do reator), sendo Am 1-2 referentes à câmara aeróbia e Am 3-5 referentes à câmara anóxica.

Anteriormente foram apresentadas três diferentes tipos e configurações de reatores de leito fixo, sendo que cada um apresentou as suas particularidades e características operacionais e conseqüentemente eficiência de tratamento. Vale ressaltar que ainda existem diversas outras características de reatores, que devem ser analisadas individualmente de acordo com a necessidade do local de aplicação do sistema. Na tabela abaixo, seguem resumidamente os dados de eficiência apresentados dos reatores de leito fixo discutidos (OLIVEIRA NETTO, 2007; PANTOJA FILHO, 2011; RAIMONDI, 2011).

Tabela 3 - Eficiência de tratamento das variações dos reatores de leito fixo.

<b>Autor</b>	<b>Variações de reatores de leito fixo</b>	<b>Escala</b>	<b>TDH</b>	<b>DQO</b>	<b>N-Amon</b>	<b>Obs.</b>
OLIVEIRA NETTO, 2007.	RAALF	Bancada	11	95%	92%	*
RAIMONDI, 2011.	RALF	Bancada	5 e 10	78% e 87%	-	**
PANTOJA FILHO, 2011.	RAANLF	Bancada	7,5; 5 e 2	98%	95,30%	***

Fonte: Adaptado, Oliveira Netto, 2007; Pantoja Filho, 2011; Raimondi, 2011.

\* TDH separado em 8 horas trecho anaeróbio e 3 horas trecho aeróbio

\*\* Dois TDH's diferentes, primeiro valor de DQO - TDH de 5 horas, segundo valor - TDH de 10 horas

\*\*\* Os valores de eficiência apresentados são referentes a uma média entre os 3 TDH's trabalhados

### 3.5. LEGISLAÇÕES DE EFLUENTES.

Dentre as legislações ambientais que regem e controlam o lançamento de efluentes em âmbito federal, redigidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), podemos citar a Resolução CONAMA 357/2005 e Resolução CONAMA 430/2011. Em âmbito estadual, no caso de São Paulo, encontra-se o Decreto 8.468/1976.

A CONAMA 357/2005, "dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências” (CONAMA, 2005, p. 1). A principal característica desta legislação é o enquadramento em classes dos corpos hídricos, como definido no quadro a seguir.

Quadro 1 - Enquadramento dos corpos hídricos.

<b>Classe especial</b>	<p>Águas destinadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento humano, com desinfecção;</li> <li>b) À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>c) À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>
<b>Classe 1</b>	<p>Águas que podem ser destinadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado;</li> <li>b) À Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;</li> <li>d) À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas;</li> <li>e) Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.</li> </ul>
<b>Classe 2</b>	<p>Águas que podem ser destinadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>b) À proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;</li> <li>d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com quais o público possa vir a ter contato direto;</li> <li>e) À agricultura e à atividade de pesca;</li> </ul>
<b>Classe 3</b>	<p>Águas que podem ser destinadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>b) À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>c) À pesca amadora;</li> <li>d) À recreação de contato secundário;</li> <li>e) À dessedentação de animais.</li> </ul>
<b>Classe 4</b>	<p>Águas que podem ser destinadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) À navegação;</li> <li>b) À harmonia paisagística.</li> </ul>

Fonte: CONAMA, 2005.

Além do enquadramento, conforme demonstrado no quadro acima, a CONAMA 357/2005 estabelece quais são os valores dos parâmetros permitidos para que determinado corpo hídrico se encaixe em cada classe da Resolução.

A CONAMA 430/2011, “dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente” (CONAMA, 2011, p. 1).

Quando comparam-se os limites dos parâmetros estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011, verifica-se que a primeira é mais restritiva e detalhada, a mais atual não contempla todos os parâmetros de sua antecessora. A principal característica da CONAMA 430/2011, é a permissão de concentrações maiores dos parâmetros de lançamento de efluentes, desde que haja um estudo sobre o impacto dos mesmos e que não haverá mudança na classe do corpo hídrico receptor. É importante ressaltar que para uma ETE estar em conformidade com a sua obrigatoriedade legal, a mesma deve seguir as condições estabelecidas pela CONAMA 430/2011, que é a legislação de efluentes atual e como já dito, vem para alterar e complementar a sua antecessora.

O Decreto 8.468/1976, “dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente” (Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, p. 1). Este Decreto, também define limites dos parâmetros para o enquadramento de classe do corpo hídrico receptor, sendo tão restritivo quanto à CONAMA 357/2005, onde quase todos os parâmetros possuem os mesmos limites de concentração em ambas as legislações.

#### **4. METODOLOGIA.**

##### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.**

O estudo em questão, foi realizado em duas estações de tratamento de esgoto da empresa Águas de Jahu situada no município de Jaú – SP.

##### **4.1.1. ETE – Saneamento de Jaú – SANEJ**

Composta por processos físico-químicos e biológicos, a ETE SANEJ atende a uma população estimada de 152.100 habitantes, em operação desde 2003. Trata

em média atualmente cerca de 280 L/s com 340 L/s de pico de esgoto sanitário (sendo classificado como médio a forte) proveniente da área urbana da cidade de Jaú, lançando seu efluente tratado no Rio Jaú, principal rio do município, caracterizado como de Classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005. O TDH de todo o sistema de tratamento da ETE SANEJ, varia de 11 a 14 horas, dependendo da vazão de entrada de esgoto sanitário.

O processo utilizado no tratamento é o sistema cíclico de lodos ativados (CASS), o qual foi introduzido no Brasil pela SANEJ. O conceito utiliza reatores biológicos por batelada compartimentado em zonas distintas, sendo elas anaeróbia, anóxica e aeróbia, associados a uma recirculação interna de licor misto.

A dinâmica operacional dos reatores, eliminam a necessidade de unidades específicas de decantação por gravidade. A decantação se processa como em um sistema convencional por batelada simples com o diferencial do reciclo de lodo para a cabeceira dos reatores, onde estão posicionados seletores anóxico e anaeróbio com objetivos de minimizar a deflagração de *bulking* filamentoso e promover maior remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Estas condições favorecem o crescimento das bactérias formadoras de flocos e a inibição das bactérias filamentosas, o que melhora a sedimentabilidade e o adensamento do lodo.

#### 4.1.1.1. Processos Unitários de Tratamento da ETE SANEJ.

O esgoto sanitário, proveniente do sistema de esgotamento da cidade de Jaú, segue de modo contínuo ao canal de chegada de esgoto bruto, sendo direcionado ao tratamento preliminar, promovendo assim a remoção dos materiais grosseiros e sólidos sedimentáveis por meio dos processos unitários de gradeamento e desarenação, respectivamente. Posteriormente o esgoto é direcionado ao sistema de medição de vazão composto por uma calha parshall, responsável pela quantificação do volume do efluente a ser tratado.

Após a etapa preliminar, o esgoto sanitário segue então para o tratamento biológico (secundário) composto por três linhas de tratamento, sendo cada linha constituída de um seletor anaeróbio/anóxico e um seletor aeróbio, operados em batelada sequencial (CASS) com 6 ciclos diários de 4h em cada reator. Cada ciclo é constituído por uma etapa de alimentação (3h), uma etapa de aeração (2h), uma

etapa de decantação (1h), uma etapa de retirada do clarificado (1h), uma etapa de descarte de lodo (0,5h) e por fim, quando necessário faz-se a recirculação do efluente tratado (0,5h).

Nas primeiras três horas de cada ciclo, ocorrem simultaneamente a alimentação (3h), a aeração (2h) e a decantação (1h). Na última hora faltante para completar um ciclo, se dá simultaneamente a retirada do clarificado (1h), o descarte de lodo (0,5h) e quando necessário, a recirculação do efluente tratado (0,5h). O clarificado retirado do sistema, segue para descarte no Rio Jau.

Vale ressaltar que o esgoto bruto entra no sistema CASS, após o tratamento preliminar, pelo seletor anaeróbio. Posteriormente, o efluente é distribuído por meio de chicanas para então ser encaminhado ao seletor aeróbio com o processo de lodos ativados. Por vezes, dependendo dos resultados de remoção de nitrogênio amoniacal e das concentrações de nitrito e nitrato do efluente final, o esgoto pode ser recirculado do seletor aeróbio para o anaeróbio, tornando-o anóxico, devido à presença de óxidos de nitrogênio provenientes do tratamento aeróbico. O intuito desta recirculação é realizar a desnitrificação no seletor anóxico do sistema, aumentando a eficiência de remoção de nitrogênio.

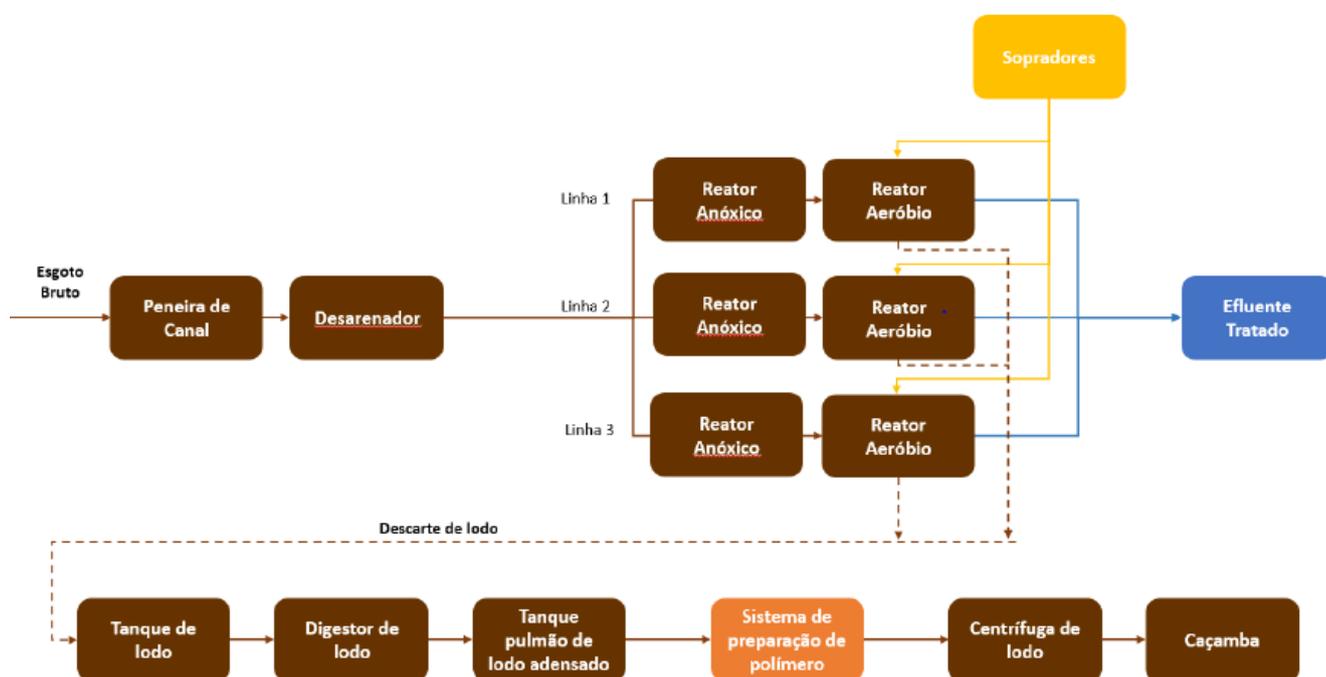
Os rejeitos gerados no tratamento preliminar (sólidos grosseiros e areia) são encaminhados separadamente para caçambas e dispostos de modo adequado em aterro sanitário. Quanto aos resíduos gerados no tratamento biológico, estes são encaminhados primeiramente ao tanque de lodo, posteriormente ao digestor, onde ocorre o adensamento. Após essa etapa o resíduo segue para o tanque pulmão de lodo adensado, onde é adicionado um polímero, responsável por pré-condicionar o lodo para a sua secagem em centrífuga, visando uma redução mais efetiva da umidade do lodo. A seguir o resíduo é armazenado em caçambas e destinado ao aterro sanitário. Nas Figuras 14 e 15 abaixo, respectivamente, são apresentadas uma imagem aérea da ETE SANEJ e um fluxograma básico do seu processo de tratamento.

Figura 14 - Imagem aérea da ETE SANEJ.



Fonte: Águas de Jahu, 2021.

Figura 15 - Fluxograma do processo de tratamento - ETE SANEJ.



Fonte: Águas de Jahu, 2021.

#### 4.1.2. ETE Potunduva.

Composta por processos físico-químicos e biológicos, a ETE Potunduva atende a uma população estimada de 12.500 habitantes. Em operação desde setembro de 2019, a estação trata em média cerca de 20 L/s com 30 L/s de pico de esgoto sanitário (sendo classificado como médio a forte) proveniente da área do distrito de Potunduva na cidade de Jaú, lançando seu efluente tratado no Córrego dos Grassis, caracterizado como Rio de Classe 2, segundo a CONAMA 357/2005. O TDH de todo o sistema de tratamento da ETE, varia de 5 a 7 horas, dependendo da vazão de entrada de esgoto sanitário. Na Figura 16 abaixo, consta uma imagem aérea da estação.

Figura 16 - Imagem aérea - ETE Potunduva.



Fonte: Águas de Jahu, 2021.

O sistema da ETE Potunduva é composto por tratamento preliminar integrado mecanizado através de um equipamento denominado como PTRATI, Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo (RAALF), decantador secundário lamelar de alta taxa, filtração em filtros tipo cesto e desidratação de lodo em centrífuga.

O RAALF possui fluxo ascendente contendo uma etapa anaeróbia de tratamento seguido por uma etapa aeróbia. Esse sistema utiliza-se de dispositivos

imobilizadores de biomassa (Biobob®), promovendo o aumento de sua concentração nos reatores. A recirculação de lodo do decantador para o RAALF tem o objetivo de manter uma concentração adequada de biomassa em suspensão nos interstícios do leito fixo, proporcionando assim o aumento da capacidade do reator quanto a remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogênio amoniacal.

#### 4.1.2.1. Processos Unitários de Tratamento da ETE Potunduva.

O esgoto sanitário, proveniente da rede coletora de esgoto, chega de modo contínuo ao Pré Tratamento Integrado (PTRATI), responsável pela remoção dos materiais grosseiros, areia, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas não dissolvidos. Em paralelo ao PTRATI, existe um tratamento preliminar manual, composto por grades (abertura de 10 e 25 mm) e desarenador manuais, que funcionam como sistema reserva. Posteriormente, o esgoto sanitário segue para a elevatória de esgoto pré-tratado, responsável por transportar o efluente até o tratamento biológico.

Após o tratamento preliminar, o esgoto sanitário é encaminhado para o RAALF, composto por uma etapa anaeróbia seguida de aeróbia dentro do mesmo reator. O tratamento anaeróbio é responsável pela remoção inicial da matéria orgânica carbonácea, enquanto a fase aeróbia fica responsável pela remoção da matéria orgânica remanescente e de nitrogênio amoniacal. Posteriormente ao tratamento no RAALF, o esgoto segue para o decantador secundário laminar de alta taxa, que é responsável pela separação do lodo biológico do efluente tratado, proporcionando assim a qualidade desejada e visando atender às exigências legais quanto ao lançamento no corpo hídrico receptor. Vale ressaltar que uma parcela do lodo gerado no RAALF é recirculado para o sistema, de modo a aumentar a sua eficiência de tratamento.

Posteriormente a etapa de decantação, o efluente tratado segue para o sistema de medição de vazão composto por calha parshall acoplada a medidor de nível ultrassônico. Após a medição de vazão, uma parcela do efluente tratado segue para o corpo hídrico receptor por meio de uma escada hidráulica, a fim de aumentar a oxigenação e facilitar a autodepuração do rio, enquanto outra parcela do efluente passa por uma filtração tipo cesto e posteriormente é armazenada como água de reuso. Ressalta-se que antes do efluente final seguir para o descarte no Córrego dos



#### 4.2. COLETA DE DADOS E PARÂMETROS ANALISADOS.

Os dados analisados neste trabalho foram disponibilizados pela empresa Águas de Jahu. No Quadro 2 abaixo, seguem os parâmetros analisados nos anos de 2020 e 2021, bem como as suas respectivas metodologias de análise.

Quadro 2 - Parâmetros e metodologia de análise para controle operacional.

<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia de Análise</b>
Temperatura	Eletrométrico
pH	Eletrométrico
OD	Eletrométrico
Turbidez	Nefelométrico
DBO	Respirométrica
DQO	Espectrofotometria
Sólidos totais	Gravimétrico
Sólidos fixos totais	Gravimétrico
Sólidos voláteis totais	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais	Gravimétrico
Sólidos suspensos fixos	Gravimétrico
Sólidos suspensos voláteis	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos totais	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos voláteis	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos totais	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos fixos	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos voláteis	Gravimétrico
Nitrogênio total	Espectrofotometria
Nitrogênio amoniacal	Espectrofotometria
Nitrato	Espectrofotometria
Nitrito	Espectrofotometria
Fosforo total	Espectrofotometria
Fosfato	Espectrofotometria
Coliformes Totais	Ensaio de Tubos Múltiplos
<i>E. Coli</i>	Ensaio de Tubos Múltiplos

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os parâmetros expostos no quadro acima, são referentes ao esgoto afluente e efluente das ETE's SANEJ e Potunduva, ou seja, não estão relacionados com o corpo hídrico receptor. A aferição destes parâmetros é realizada no laboratório próprio da empresa, com frequência diária na ETE SANEJ, com exceção da DBO, que sua metodologia consiste em 5 dias para a aferição, já na ETE Potunduva todos os parâmetros são aferidos a cada 5 dias. Essa frequência na análise, tem como intuito obter um melhor controle operacional das referidas ETE's.

Para a elaboração deste trabalho, foi traçado um gráfico de eficiência no Microsoft Excel com os resultados de cada parâmetro descrito no Quadro 2, exceto temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nitrito e nitrato. Para a geração dos gráficos, foi calculada a eficiência por meio da equação a seguir.

Equação 12 - Cálculo de eficiência:

$$Efic. (\%) = \frac{\text{parâmetro afluente} \left(\frac{mg}{L}\right) - \text{parâmetro efluente} \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{parâmetro afluente} \left(\frac{mg}{L}\right)} * 100$$

Com o objetivo de verificar se os resultados do tratamento de esgoto das duas ETE's estudadas, estavam de acordo com os limites estabelecidos pelas legislações vigentes (Decreto 8.468/1976, CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011), foram analisadas também amostras do corpo hídrico receptor a montante e jusante do ponto de lançamento de efluente, sendo 50 metros acima e 100 metros abaixo deste ponto. Os parâmetros exigidos pelas legislações citadas, seguem apresentados abaixo:

Quadro 3 - Parâmetros requeridos pelas legislações vigentes.

<p><b>Parâmetros requeridos pelas legislações: Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011 e Decreto 8.468/1976.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH;</li> <li>• OD;</li> <li>• Temperatura;</li> <li>• DBO;</li> <li>• Turbidez;</li> <li>• Sólidos Dissolvidos Totais (SDT);</li> <li>• Fósforo Total;</li> <li>• Coliformes fecais (<i>E. Coli</i>);</li> <li>• Nitrogênio Amoniacal (N-Amon);</li> <li>• Nitrato;</li> <li>• Nitrito.</li> </ul>
---	---

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os parâmetros descritos acima foram analisados por laboratório terceirizado e credenciado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Como o laboratório da Águas de Jahu não possui o credenciamento no MAPA, suas análises não são válidas para atestar a conformidade das legislações. Assim as análises realizadas no laboratório próprio de CAJA, são utilizadas somente para controle operacional das ETE's e se necessário, para contestar os resultados do laboratório terceirizado.

Vale ressaltar que as análises do laboratório terceirizado, foram realizadas somente no segundo semestre de 2021 e primeiro semestre de 2022. Em 2020 e início de 2021, devido a pandemia de Covid-19, tais análises foram suspensas.

Os resultados gerados pelo laboratório credenciado no MAPA, são armazenados digitalmente no sistema de CAJA e impressos nas ETE's, pois nas ocasiões de fiscalizações da CETESB, os mesmos são apresentados. É importante destacar que para efeitos das fiscalizações da CETESB, os parâmetros das ETE's devem estar em conformidade somente com a Resolução CONAMA 430/2011, que é legislação de efluentes atual.

Para monitoramento das ETE's, a CETESB pede anualmente uma declaração de remoção de carga orgânica poluidora para os parâmetros de DBO e SST, conforme disposto no artigo 28 da Resolução CONAMA 430/2011. Essa declaração é enviada ao órgão por meio de ofício, registrando as cargas removidas mensais do respectivo ano solicitado. Abaixo, segue a equação de como é calculado a remoção da carga orgânica poluidora.

Equação 13 - Cálculo de remoção de carga orgânica poluidora:

$$C. Pol. = \frac{Qe * (MO. aflu. - MO. eflu.)}{1000}$$

- *C. Pol.* = Carga Poluidora (Kg/mês);
- *Qe* = Vazão de entrada ( $m^3/mês$ );
- *MO. aflu.* = Matéria Orgânica afluenta (mg/L);
- *MO. eflu.* = Matéria Orgânica efluente (mg/L);

Para calcular a carga orgânica poluidora removida, foram disponibilizados pela Águas de Jahu os dados necessários para tanto, que são: vazão efluente e

concentração de DBO e SST de entrada e saídas das ETE SANEJ para os anos de 2020 e 2021. Quanto a 2022, os dados só serão computados e enviados à CETESB em 2023.

Os dados de carga orgânica para ETE Potunduva, não foram analisados, pois a Águas de Jahu começou a enviá-los somente em setembro de 2021, não tendo dados comparativos anuais para avaliar o aumento ou diminuição da remoção de poluentes.

#### 4.2.1. Cumprimento das Legislações Vigentes.

Como já dito anteriormente neste trabalho, existem três legislações que regem o lançamento de efluentes, sendo duas federais (CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011) e uma para o Estado de São Paulo (Decreto 8.468/1976).

Para comparar os resultados dos laudos gerados pelo laboratório credenciado no MAPA e disponibilizados pela Águas de Jahu, com os respectivos valores permitidos nas legislações, seguem na tabela abaixo o limite de cada parâmetro que foi comparado, bem como a respectiva legislação.

Tabela 4 - Parâmetros e legislações

Parâmetro	Unidade	Classe do corpo hídrico receptor	CONAMA 357/2005	CONAMA 430/2011	Decreto 8.468/1976
Temperatura	°C	2 e 3	40	40	40
pH	-	2 e 3	6,0 a 9,0	5,0 a 9,0	5,0 a 9,0
Turbidez	UNT	2 e 3	100	-	-
DBO	mg/L	2	5	120 (60%)	5
		3	10	120 (60%)	10
SDT	mg/L	2 e 3	500	-	-
N-Amon	mg/L	2	3,7	20	0,5
		3	13,7	20	0,5
Nitrito	mg/L	2 e 3	1	-	1
Nitrato	mg/L	2 e 3	10	-	10
Fósforo	mg/L	2	0,1	-	-
		3	0,15	-	-
E. Coli	UFC/100 mL	2	1000	-	1000
		3	4000	-	4000

Fonte: Adaptada, Decreto 8.468/1976; CONAMA 357/2005; CONAMA 430/2011.

Conforme demonstrado na tabela acima, os limites de alguns parâmetros são distintos para cada legislação. Vale ressaltar que o limite permitido de N-Amon na CONAMA 357/2005 é dependente do pH, conforme demonstra o Quadro 4 abaixo. Porém, na Tabela 4, foi inserido o limite de N-Amon para pH correspondente a esgoto doméstico ( $\leq 7,5$ ).

Quadro 4 - Concentração de N-Amon de acordo com o pH.

<b>Rios de Classe 2</b>	a) [N-Amon] = 3,7 mg/L, para $\text{pH} \leq 7,5$ . b) [N-Amon] = 2,0 mg/L, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ . c) [N-Amon] = 1,0 mg/L para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ . d) [N-Amon] = 0,5 mg/L para $\text{pH} > 8,5$ .
<b>Rios de Classe 3</b>	a) [N-Amon] = 13,7 mg/L, para $\text{pH} \leq 7,5$ . b) [N-Amon] = 5,6 mg/L, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ . c) [N-Amon] = 2,2 mg/L para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ . d) [N-Amon] = 1,0 mg/L para $\text{pH} > 8,5$ .

Fonte: Adaptada, CONAMA 357/2005.

Apesar de nesta pesquisa ser verificado se o efluente final das ETE's está de acordo com os padrões estipulados nas 3 legislações já citadas, para efeitos de obrigatoriedade legal e fiscalização da CETESB, é considerada somente a legislação mais atual, a Resolução CONAMA 430/2011. Logo os parâmetros de lançamento de efluente tratado no corpo hídrico receptor, devem estar de acordo com o que é estipulado nesta Resolução.

#### 4.2.2. Resumo do panorama da pesquisa

A coleta dos dados analisados foi iniciada em 2020 perdurando até o primeiro semestre de 2022. Para facilitar a leitura e compreensão dos resultados, segue listado abaixo, o que foi avaliado em cada etapa do estudo.

- 2020: Dados do controle operacional das ETE's, aferindo as concentrações de todos os parâmetros citados anteriormente no esgoto afluente e efluente, bem como a eficiência de remoção para os parâmetros pertinentes;
- 2021: Idem a 2020, porém ainda no segundo semestre foram avaliados os laudos emitidos pelo laboratório credenciado no MAPA, atestando a conformidade com as legislações vigentes. Ainda neste ano, também foi

avaliado a remoção da carga orgânica poluidora de DBO e SST na ETE SANEJ;

- 2022: Idem ao segundo semestre de 2021, avaliando os laudos emitidos pelo laboratório credenciado no MAPA, atestando a conformidade com as legislações vigentes.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os resultados relacionados aos parâmetros descritos na metodologia, serão apresentados aqui em forma de tópicos. Para cada tópico/parâmetro avaliou-se e discutiu-se o atendimento às legislações vigentes quando pertinente, os resultados operacionais, eficiência e por último a carga poluidora para a DBO e SST.

### 5.1. PARÂMETROS ANALISADOS.

#### 5.1.1. Temperatura.

As três legislações vigentes para o lançamento de efluentes dispõem que a temperatura deverá ser inferior a 40°C a jusante do corpo hídrico receptor. A Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011, ainda relatam que a temperatura não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. Na tabela a seguir, são demonstrados os resultados das análises do corpo hídrico receptor a montante e a jusante do ponto de lançamento de efluente das duas ETE's estudadas, no primeiro semestre de 2021 e segundo semestre de 2022.

Tabela 5 - Valores de temperatura no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	26,4	26,9	23,5	24,9
Potunduva - Córrego dos Grassis	25,3	27,4	23,3	25,4

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Analisando os resultados amostrais da tabela acima, identifica-se que ambas as ETE's estão dentro do limite estabelecido pelas legislações vigentes já citadas.

Quanto os valores das temperaturas aferidas no laboratório próprio de CAJA, observando-se o parâmetro em questão no esgoto afluente e efluente de ambas as ETE's estudadas, verificou-se uma constância ao longo dos dois períodos

analisados. Pois tanto a temperatura do esgoto de entrada e de saída, se manteve em 25°C em todos os meses de 2020 e 2021 para a ETE SANEJ. Para a ETE Potunduva, também foi observado essa constância, porém com temperaturas afluentes em 24,5°C e efluentes em 25°C.

### 5.1.2. pH.

A Resolução CONAMA 357/2005 dispõe que para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, os valores de pH devem ficar entre 6,0 e 9,0. Já a CONAMA 430/2011 e Decreto 8.468/1976 definem que os valores de pH devem permanecer entre 5,0 e 9,0. Para verificar se as ETE's estavam respeitando os limites estipulado por tais legislações, foram analisados os valores de pH a montante e a jusante de lançamento no corpo hídrico receptor, a fim de constatar se o lançamento de efluentes não estava causando impactos nos rios. Tais resultados seguem apresentados na tabela a seguir.

Tabela 6 - Valores de pH no corpo hídrico receptor.

<b>ETE - Corpo hídrico receptor</b>	<b>pH Mon/21</b>	<b>pH Jus/21</b>	<b>pH Mon/22</b>	<b>pH Jus/22</b>
SANEJ - Rio Jaú	6,71	6,94	7,33	7,49
Potunduva - Córrego dos Grassis	7,18	7,29	7,03	7,06

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Analisando os resultados da tabela acima, verifica-se que os valores de pH a jusante das ETE's, tanto no Rio Jaú como no Córrego dos Grassis, encontravam-se dentro do permitido pelas legislações vigentes, mostrando que o lançamento de efluente tratado nos corpos hídricos não causaram impactos ambientais significativos.

Além da análise de pH no corpo hídrico receptor, o parâmetro também foi aferido no esgoto afluente e efluente das ETE's SANEJ e Potunduva. Essa análise é muito importante para o controle operacional das estações, verificando se o meio está com condições ótimas para a ação dos micro-organismos. Tais resultados, seguem apresentados na tabela a seguir.

Tabela 7 – Valores de pH no esgoto afluente e efluente da ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	pH aflu.	pH eflu.	pH aflu.	pH eflu.
jan/20	6,78	6,98	7,56	7,68
fev/20	6,87	6,81	7,33	7,59
mar/20	6,77	6,82	7,42	7,62
abr/20	6,91	6,93	7,15	7,63
mai/20	6,79	6,92	6,97	7,53
jun/20	6,84	6,90	7,10	7,57
jul/20	6,80	7,03	7,31	7,64
ago/20	6,78	6,73	7,12	7,59
set/20	6,99	7,15	7,36	7,88
out/20	6,97	7,15	7,33	7,77
nov/20	6,95	7,05	7,40	7,81
dez/20	6,94	7,04	7,45	7,78
jan/21	6,76	6,94	7,38	7,81
fev/21	6,95	6,99	7,52	7,68
mar/21	6,93	7,07	7,48	7,80
abr/21	7,03	7,29	7,78	7,86
mai/21	7,08	7,05	7,57	7,77
jun/21	7,06	6,94	7,48	7,66
jul/21	7,19	7,03	7,34	7,63
ago/21	7,18	7,15	7,29	7,66
set/21	7,15	7,09	7,27	7,64
out/21	7,27	7,12	7,10	7,46
nov/21	7,24	7,15	7,21	7,48
dez/21	7,05	7,36	7,19	7,50

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021

Os resultados da tabela acima, mostram que os valores de pH no esgoto afluente e efluente das ETE's estão próximos a neutralidade, indicando excelentes condições para os micro-organismos degradarem a matéria orgânica e nutrientes.

Ainda é importante observar na Tabela 7 que os valores de pH efluente na ETE Potunduva, são sempre maiores do que os valores afluentes. Presume-se que o referido aumento foi devido à produção de alcalinidade que ocorre durante o processo de conversão de nitrato a nitrogênio gasoso provocando um aumento no pH (Metcalf & Eddy, 2003). Por meio dos valores de eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal alcançados pelas duas ETEs estudadas (apresentados aqui

posteriormente), estima-se que tal processo tenha ocorrido em ambas as estações, justificando os resultados observados para o parâmetro em questão.

### 5.1.3. Oxigênio Dissolvido (OD).

As concentrações de oxigênio dissolvido são estabelecidas pelas legislações CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976. Para rios de Classe 3 (Rio Jaú), a concentração de OD deve ser superior a 4 mg/L e para os rios de Classe 2 (Córrego dos Grassis), a 5 mg/L. Na Tabela 8 são demonstrados os resultados de OD do corpo hídrico receptor a montante e a jusante do ponto de lançamento de efluente das duas ETE's estudadas.

Tabela 8 - Concentração de OD no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	OD (mg/L)	OD (mg/L)	OD (mg/L)	OD (mg/L)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	5,19	4,95	6,77	7,67
Potunduva - Córrego dos Grassis	5,15	5,27	6,44	6,78

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Analisando a tabela acima, é possível afirmar que ambas as ETE's estão dentro do limite estipulado pelas legislações vigentes, visto que a ETE SANEJ, descarta seu efluente em um Rio de Classe 3, enquanto a ETE Potunduva realiza o descarte em um corpo hídrico de Classe 2. É possível afirmar que o lançamento de efluente tratado, não altera significativamente a concentração de OD no Rio Jaú e Córregos dos Grassis.

Ainda é importante destacar o aumento nos valores de OD que se deu nos corpos receptores do ano de 2021 para o ano de 2022. Conjecturou-se que tal fato pode ser justificado porque em 2022, as medições deste parâmetro passaram a ser realizadas *in loco* e em tempo real por meio de equipamentos automáticos e não por meio de análises laboratoriais, onde as amostras eram coletadas e armazenadas até o momento da realização da análise, período este em que já existia um consumo de oxigênio, degradando parte da matéria orgânica e interferindo nos resultados.

O monitoramento da concentração de OD no esgoto afluente e efluente de ambas as ETE's estudadas também foi realizado, com o intuito de se obter um

controle operacional diário. Esse monitoramento foi realizado entre os anos de 2020 e 2021 e seus resultados seguem apresentados na tabela a seguir.

Tabela 9 – Concentração de OD no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	OD aflu. (mg/L)	OD eflu. (mg/L)	OD aflu. (mg/L)	OD eflu. (mg/L)
jan/20	0,43	4,83	0,20	6,00
fev/20	0,41	4,65	0,32	6,00
mar/20	0,42	4,95	0,35	5,50
abr/20	0,46	4,87	0,37	5,50
mai/20	0,50	5,46	0,32	5,70
jun/20	0,51	6,30	0,32	5,80
jul/20	0,51	5,40	0,30	6,00
ago/20	0,55	6,60	0,38	6,50
set/20	0,60	6,30	0,40	5,70
out/20	0,64	6,00	0,33	6,00
nov/20	0,65	5,70	0,37	6,50
dez/20	0,66	5,70	0,28	5,50
jan/21	0,62	6,50	0,29	6,00
fev/21	0,55	6,00	0,31	6,00
mar/21	0,46	5,40	0,38	5,90
abr/21	0,59	6,90	0,34	5,50
mai/21	0,62	6,00	0,35	6,00
jun/21	0,64	5,10	0,38	5,50
jul/21	0,67	6,60	0,37	6,00
ago/21	0,71	6,50	0,31	6,10
set/21	0,69	6,77	0,37	5,80
out/21	0,58	6,00	0,28	6,00
nov/21	0,59	6,00	0,34	6,00
dez/21	0,59	6,30	0,22	5,80

Fonte: Adaptado, Águas de Jahu, 2021.

Por meio dos resultados da tabela acima, conclui-se que ambas as ETE's apresentaram valores superiores a 5 mg/L O<sub>2</sub> em seu efluente tratado, com exceção dos meses de janeiro a abril de 2020 na ETE SANEJ. Tal fato, em que os valores das concentrações de OD se encontraram abaixo de 5 mg/L, pode ser justificado devido à troca dos sopradores de ar do tanque de lodos ativados. Porém, mesmo com essa manutenção no sistema, os valores de OD registrados pela ETE ainda estavam dentro do previsto e do exigido pelas legislações pertinentes.

É importante observar que os valores de OD acima de 5 mg/L, se devem ao fato da etapa aeróbia em ambos os sistemas de tratamento, além de diversos pontos de turbulência do esgoto durante sua trajetória até a medição do parâmetro, elevando a oxigenação do efluente.

#### 5.1.4. Turbidez.

De acordo com a legislação CONAMA 357/2005, os valores de turbidez devem ser menores ou iguais a 100 UNT para os rios de Classe 2 e 3. Vale ressaltar que o parâmetro não foi mencionado na CONAMA 430/2011 e no Decreto 8.468/1976. Na Tabela 10 a seguir, são demonstrados os valores de turbidez analisados a montante e a jusante do ponto de lançamento de efluente no corpo hídrico receptor respectivo a cada ETE estudada.

Tabela 10 - Valores de turbidez no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	Turbidez	Turbidez	Turbidez	Turbidez
	(UNT)	(UNT)	(UNT)	(UNT)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	60,0	55,0	41,0	42,0
Potunduva - Córrego dos Grassis	14,4	14,5	26,4	20,0

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Analisando os valores de turbidez apresentados acima, verifica-se que ambas as ETE's estão dentro do que é permitido pela Resolução CONAMA 357/2005. Também é possível constatar a diferença na qualidade da água do Rio Jaú e Córrego dos Grassis, onde no primeiro, a água se apresenta mais turva do que no segundo, devido a diferença de classes entre ambos os rios.

Para verificar o controle operacional das ETE's estudadas, os valores de turbidez também foram analisados no esgoto afluente e efluente da ETE SANEJ e ETE Potunduva. A Tabela 11 a seguir, apresenta os resultados aferidos dessas análises.

Tabela 11 – Análise de turbidez no esgoto afluente e efluente.

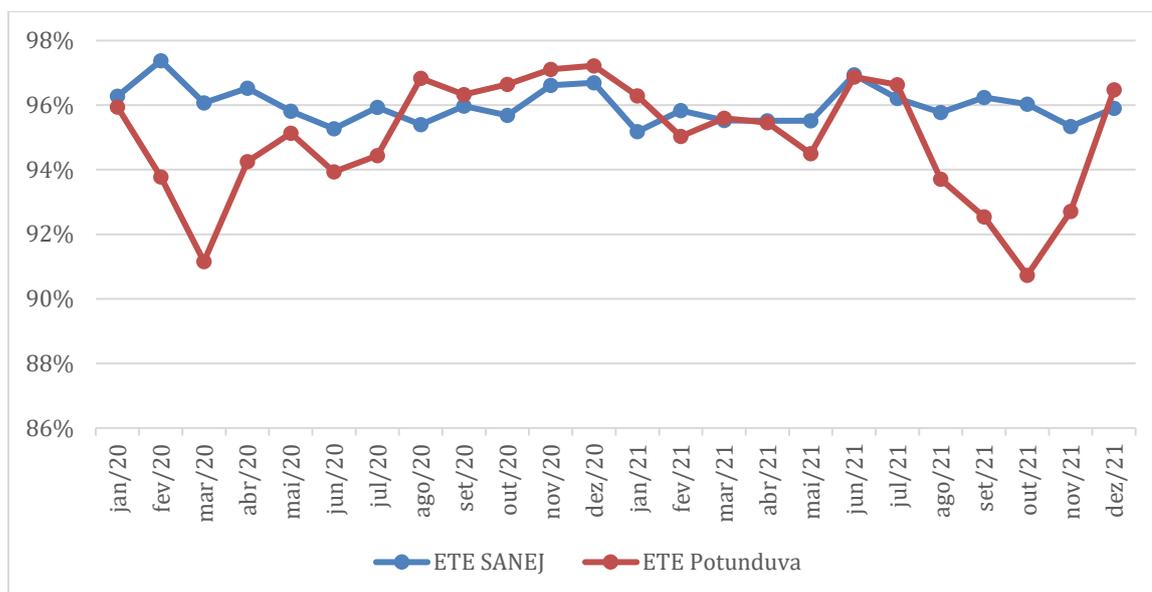
Data	SANEJ		Potunduva	
	Turb aflu. (UNT)	Turb eflu. (UNT)	Turb aflu. (UNT)	Turb eflu. (UNT)
jan/20	185,55	6,90	148,00	6,00
fev/20	177,41	4,65	192,67	12,00
mar/20	180,27	7,08	118,67	10,50
abr/20	200,20	6,95	182,67	10,50
mai/20	217,53	9,10	198,67	9,67
jun/20	222,13	10,50	206,00	12,50
jul/20	221,00	9,00	206,67	11,50
ago/20	239,20	11,00	268,67	8,50
set/20	260,87	10,50	272,67	10,00
out/20	278,20	12,00	238,67	8,00
nov/20	280,80	9,50	224,67	6,50
dez/20	287,73	9,50	180,00	5,00
jan/21	269,53	13,00	188,67	7,00
fev/21	240,07	10,00	211,33	10,50
mar/21	201,07	9,00	261,33	11,50
abr/21	256,53	11,50	209,33	9,50
mai/21	267,80	12,00	200,00	11,00
jun/21	278,20	8,50	144,00	4,50
jul/21	290,33	11,00	148,67	5,00
ago/21	307,67	13,00	113,33	7,13
set/21	300,11	11,29	117,33	8,75
out/21	251,83	10,00	118,67	11,00
nov/21	257,40	12,00	144,00	10,50
dez/21	256,53	10,50	142,00	5,00

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Analisando os valores da tabela acima, é possível constatar que ambas as ETE's estão em excelentes condições operacionais, apresentando alta remoção e já atendendo no efluente final, os valores que são exigidos no corpo hídrico receptor. Ainda é possível afirmar que em termos de turbidez, a qualidade dos efluentes tratados das duas ETE's são superiores a qualidade da água bruta do Rio Jaú e Córrego dos Grassis.

Os dados da Tabela 11 foram plotados, resultando no Gráfico 1 abaixo, que apresenta os valores das eficiências de remoção de turbidez das ETE's estudadas.

Gráfico 1 - Eficiências de remoção de turbidez.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando-se o gráfico acima, constata-se que as ETE's estão em excelentes condições de eficiência de remoção de turbidez, apresentando valores superiores a 90%. As ETE's SANEJ e Potunduva, respectivamente, obtiveram eficiência média de 96% e 95%, e eficiência máxima de 97% para ambas as ETE's.

É possível verificar maior constância de remoção na ETE SANEJ, enquanto que na ETE Potunduva, houve uma pequena variação na remoção de turbidez nos meses de janeiro a abril de 2020 e de julho a dezembro de 2021. Conjecturou-se que tal variação foi devida às características do próprio esgoto bruto. Ademais, como a ETE Potunduva possui baixa vazão de esgoto afluente, as alterações nas características desse esgoto apresentam um maior impacto na eficiência do seu tratamento.

Este fato pode ser comprovado analisando-se os meses de março e dezembro de 2020 e outubro de 2021 na ETE Potunduva. Nos três meses citados o esgoto afluente apresentava baixa turbidez em comparação com o restante do período analisado, em torno de 118 UNT, o que resulta em uma eficiência menor, com exceção de dezembro de 2020, onde a turbidez do efluente também apresentou valor bem reduzido (5 UNT), resultando em uma eficiência maior.

### 5.1.5. DBO.

A remoção de DBO está relacionada com a quantidade de matéria orgânica que está sendo removida biologicamente, trata-se de um indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio exercida por micro-organismos através da respiração.

A Resolução CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976 definem que para Rios de Classe 2 o limite da concentração de DBO não deve exceder 5 mg/L a jusante, enquanto que para Rios de Classe 3 esse limite é de 10 mg/L. Já a Resolução CONAMA 430/2011, estipula que para lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, a concentração de DBO deve ser inferior a 120 mg/L e a eficiência mínima exigida de remoção do parâmetro é de 60%. Na tabela a seguir, são apresentados os resultados das análises de matéria orgânica nos corpos hídricos receptores a montante e jusante do ponto de lançamento do efluente tratado.

Tabela 12 - Concentração de DBO no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	DBO	DBO	DBO	DBO
	(mg/L) Mon/21	(mg/L) Jus/21	(mg/L) Mon/22	(mg/L) Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	<1,70	<1,70	<3,0	<3,0
Potunduva - Córrego dos Grassis	<1,70	27,02	<3,0	<3,0

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Segundo dados da tabela acima, verifica-se o Rio Jaú está dentro do permitido de todas as legislações vigentes. Já o Córrego dos Grassis, a concentração de DBO a jusante, foi acima do limite permitido do Decreto 8.468/1976 e CONAMA 357/2005 (5 mg/L) no segundo semestre de 2021. Quanto a CONAMA 430/2011 as concentrações do corpo hídrico receptor estão dentro dos padrões.

Além de verificação de DBO a montante e jusante das ETE's nos rios, também foram analisados os valores de DBO no esgoto afluente e efluente de ambas as ETE's estudadas, a fim de monitorar e controlar a operação das mesmas. Os dados mencionados seguem apresentados na tabela a seguir.

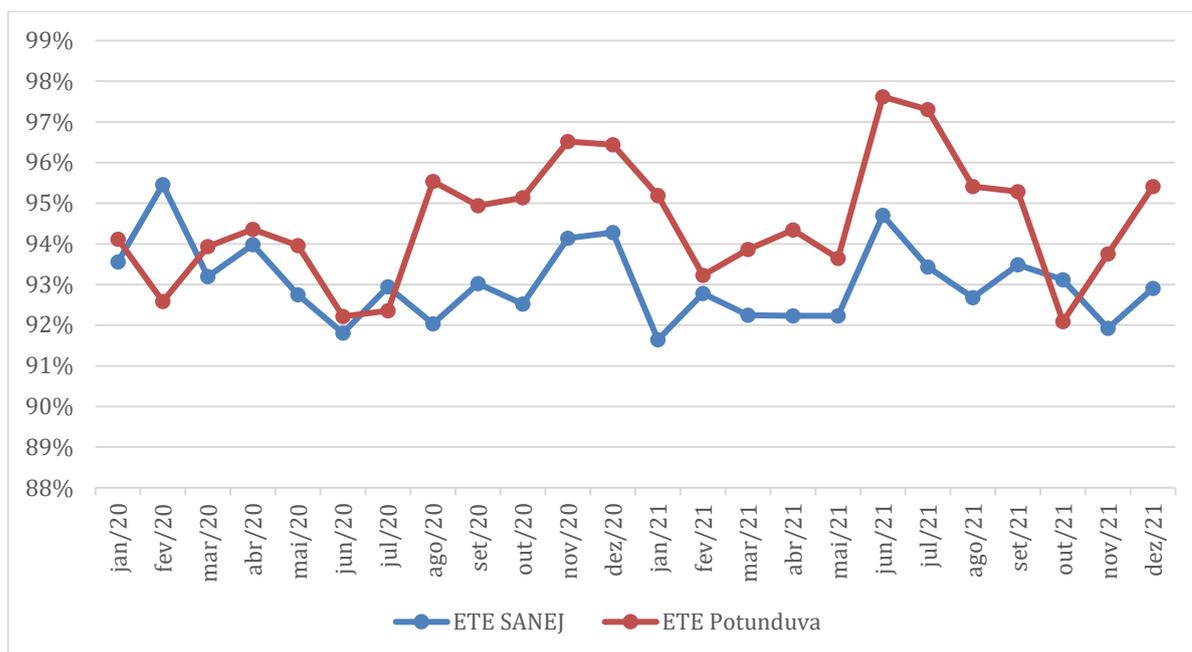
Tabela 13 – Análise de DBO no esgoto afluente e efluente.

Data	SANEJ		Potunduva	
	DBO aflu. (mg/L)	DBO eflu. (mg/L)	DBO aflu. (mg/L)	DBO eflu. (mg/L)
jan/20	214,10	13,80	204,00	12,00
fev/20	204,70	9,30	323,50	24,00
mar/20	208,00	14,15	346,00	21,00
abr/20	231,00	13,90	372,00	21,00
mai/20	251,00	18,20	320,00	19,33
jun/20	256,30	21,00	321,00	25,00
jul/20	255,00	18,00	301,00	23,00
ago/20	276,00	22,00	381,00	17,00
set/20	301,00	21,00	395,00	20,00
out/20	321,00	24,00	329,00	16,00
nov/20	324,00	19,00	373,50	13,00
dez/20	332,00	19,00	281,00	10,00
jan/21	311,00	26,00	291,00	14,00
fev/21	277,00	20,00	310,00	21,00
mar/21	232,00	18,00	375,00	23,00
abr/21	296,00	23,00	336,00	19,00
mai/21	309,00	24,00	346,00	22,00
jun/21	321,00	17,00	378,00	9,00
jul/21	335,00	22,00	371,00	10,00
ago/21	355,00	26,00	310,50	14,26
set/21	346,28	22,57	371,25	17,50
out/21	290,57	20,00	278,00	22,00
nov/21	297,00	24,00	336,00	21,00
dez/21	296,00	21,00	218,00	10,00

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Através da tabela acima verificou-se uma ótima remoção de DBO em ambas as ETE's. Plotou-se também, para facilitar a compreensão dos resultados, um gráfico de eficiência de remoção da DBO nas ETE's SANEJ e Potunduva, o qual segue apresentado a seguir.

Gráfico 2 - Eficiência de remoção de DBO



Fonte: Autoria própria, 2021.

Analisando o gráfico acima, verifica-se que as ETE's estudadas estão em excelência na eficiência de remoção de DBO, com valores superiores a 90% e atendendo o que é estipulado pela Resolução CONAMA 430/2011. As ETE's SANEJ e Potunduva, respectivamente, apresentaram eficiência médias de remoção de DBO de 93% e 94%, já de eficiência máxima os valores foram de 95 e 98%, sendo possível observar uma eficiência maior de remoção de DBO na ETE Potunduva.

Comparando os resultados da Tabela 12, 13 e Gráfico 2, verifica-se uma discrepância no valor aferido de DBO a jusante de lançamento da ETE Potunduva em 2021, que foi de 27,02 mg/L. As remoções de DBO na Tabela 13, estão todas dentro do esperado, a eficiência do tratamento está alta (Gráfico 2) e a concentração de DBO a montante do Córrego dos Grassis em 2021, está baixa.

Analisando o conjunto dos resultados descritos acima, verifica-se que o valor aferido de DBO a jusante do lançamento da ETE Potunduva, é incoerente. Para a investigação deste resultado, foi questionado a Águas de Jahu e foi informado pela empresa que houve erro de análise pelo laboratório terceirizado, o que levou a empresa a realizar a troca do mesmo.

Em cumprimento a Resolução CONAMA 430/2011, a Águas de Jahu envia anualmente à CETESB a declaração da remoção da carga orgânica removida de

DBO. Os resultados desta declaração dos anos de 2020 e 2021 seguem nas Tabelas 14 e 15 a seguir.

Tabela 14 - Remoção de carga orgânica de DBO em 2020 na ETE SANEJ.

Data	Vazão Mensal efluente (m <sup>3</sup> /mês)	DBO aflu. (mg/L)	DBO eflu. (mg/L)	Carga Orgânica DBO removida (Ton/mês)	Carga Orgânica DBO removida (Ton/ano)
jan/20	767.779	214,10	13,80	153,79	
fev/20	802.099	204,70	9,30	156,73	
mar/20	853.308	208,00	14,15	165,41	
abr/20	721.239	231,00	13,90	156,58	
mai/20	711.548	251,00	18,20	165,65	
jun/20	737.085	256,30	21,00	173,44	
jul/20	735.129	255,00	18,00	174,23	2.195,05
ago/20	721.523	276,00	22,00	183,27	
set/20	694.724	301,00	21,00	194,52	
out/20	732.212	321,00	24,00	217,47	
nov/20	693.380	324,00	19,00	211,48	
dez/20	774.724	332,00	19,00	242,49	

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Tabela 15 – Remoção de carga orgânica de DBO em 2021 na ETE SANEJ.

Data	Vazão Mensal efluente (m <sup>3</sup> /mês)	DBO aflu. (mg/L)	DBO eflu. (mg/L)	Carga Orgânica DBO removida (Ton/mês)	Carga Orgânica DBO removida (Ton/ano)
jan/21	794.411	311,00	26,00	226,41	
fev/21	706.960	277,00	20,00	181,69	
mar/21	773.108	232,00	18,00	165,45	
abr/21	712.963	296,00	23,00	194,64	
mai/21	693.540	309,00	24,00	197,66	
jun/21	677.926	321,00	17,00	206,09	
jul/21	719.842	335,00	22,00	225,31	2.398,84
ago/21	684.009	355,00	26,00	225,04	
set/21	664.461	346,28	22,57	215,09	
out/21	668.302	290,57	20,00	180,82	
nov/21	676.523	297,00	24,00	184,69	
dez/21	712.573	296,00	21,00	195,96	

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Analisando os dados das Tabelas 14 e 15, verifica-se um aumento de 203,79 Ton de remoção de carga orgânica poluidora do ano de 2020 para 2021. Esse fato pode estar associado a mudança na característica do esgoto bruto.

Vale ressaltar que os dados da carga orgânica poluidora da ETE Potunduva, não foram avaliados, pois os dados começaram a ser declarados à CETESB em setembro de 2021, não havendo um período anual comparativo na estação.

#### **5.1.6. DQO.**

A DQO não é exigida pelas legislações vigentes já citadas anteriormente, pois o parâmetro refere-se à remoção da matéria orgânica do esgoto, onde a mesma é medida e exigida por lei através da DBO. Em definição, a DQO se trata de um indicador de matéria orgânica baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido e condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte.

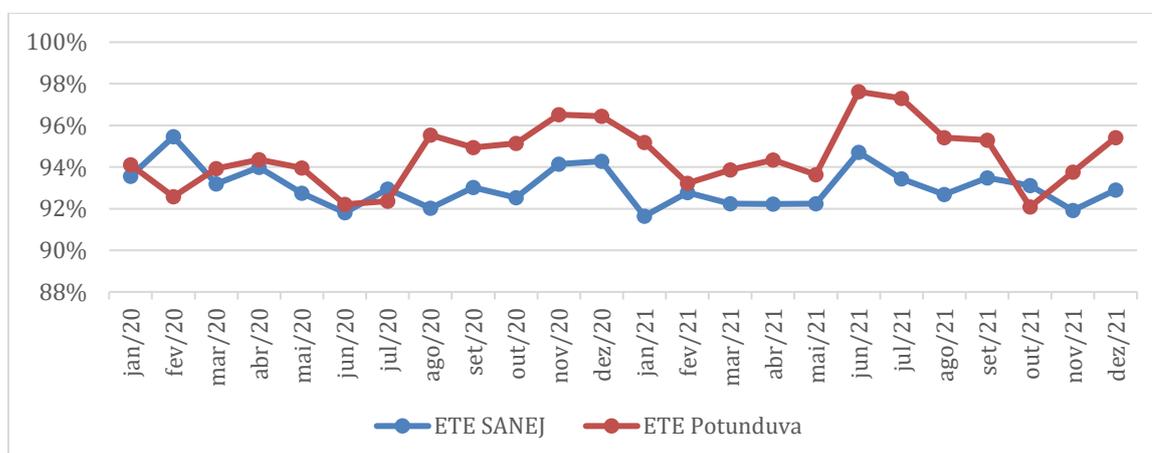
A Águas de Jahu, realiza a medição de DQO a fim de obter um controle operacional nas ETE's, visto que a análise do parâmetro é realizada diariamente, enquanto que a DBO leva 5 dias para a sua aferição. Na Tabela 16 a seguir, é apresentada a remoção de DQO em mg/L das ETE's SANEJ e Potunduva, analisando as concentrações do parâmetro no esgoto afluente e efluente. Após a Tabela 16, segue o Gráfico 3, apresentando a eficiência de remoção de DQO.

Tabela 16 – Concentração de DQO no esgoto afluente e efluente das ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	DQO aflu. (mg/L)	DQO eflu. (mg/L)	DQO aflu. (mg/L)	DQO eflu. (mg/L)
jan/20	428,20	27,60	408,00	24,00
fev/20	409,40	18,60	647,00	48,00
mar/20	416,00	28,30	692,00	42,00
abr/20	462,00	27,80	744,00	42,00
mai/20	502,00	36,40	640,00	38,66
jun/20	512,60	42,00	642,00	50,00
jul/20	510,00	36,00	602,00	46,00
ago/20	552,00	44,00	762,00	34,00
set/20	602,00	42,00	790,00	40,00
out/20	642,00	48,00	658,00	32,00
nov/20	648,00	38,00	747,00	26,00
dez/20	664,00	38,00	562,00	20,00
jan/21	622,00	52,00	582,00	28,00
fev/21	554,00	40,00	620,00	42,00
mar/21	464,00	36,00	750,00	46,00
abr/21	592,00	46,00	672,00	38,00
mai/21	618,00	48,00	692,00	44,00
jun/21	642,00	34,00	756,00	18,00
jul/21	670,00	44,00	742,00	20,00
ago/21	710,00	52,00	621,00	28,52
set/21	692,56	45,14	742,50	35,00
out/21	581,14	40,00	556,00	44,00
nov/21	594,00	48,00	672,00	42,00
dez/21	592,00	42,00	436,00	20,00

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 3 - Eficiência de remoção de DQO.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Através da análise da tabela e gráfico acima, é possível verificar que a eficiência de remoção de DQO é ligeiramente maior na ETE Potunduva, fato que também aconteceu com a DBO. Este fato é devido a própria característica do reator de leito fixo, onde os micro-organismos ficam protegidos por um biofilme, aumentando assim a eficiência de remoção de matéria orgânica neste tipo de tratamento. As eficiências médias de remoção de DQO, foram de 93% para a ETE SANEJ e 95% para a ETE Potunduva, já para eficiência máxima a primeira apresentou 95%, enquanto a segunda relatou 98%.

Ambas as ETE's têm eficiência superior a 90%, indicando condições excelentes do tratamento. Ainda é possível constatar que o gráfico de eficiência de remoção de DQO (Gráfico 4) tem o mesmo comportamento do gráfico de eficiência de remoção da DBO (Gráfico 3), visto que ambos os parâmetros se referem a matéria orgânica carbonácea presente no esgoto sanitário.

#### 5.1.7. Série de Sólidos.

Da série de sólidos aferidas em uma ETE, somente os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) são mencionados diretamente em legislação, na CONAMA 357/2005, que define o limite de 500 mg/L para os Rios de Classe 2 e 3. Na Tabela 17 a seguir, são apresentados os resultados de análise de SDT à montante e jusante dos corpos hídricos receptores de efluente das ETE's SANEJ e Potunduva no segundo semestre de 2021 e primeiro semestre de 2022.

Tabela 17 – Concentração de SDT no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	SDT (mg/L)	SDT (mg/L)	SDT (mg/L)	SDT (mg/L)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	62,0	62,0	86,0	87,0
Potunduva - Córrego dos Grassis	18,0	86,0	129,0	138,0

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Segundo os dados da Tabela 17, a qualidade de ambos corpos hídricos receptores de efluente, quanto aos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), encontra-se em bom estado, visto que as concentrações de SDT situam-se bem abaixo do limite de 500 mg/L.

Além das análises dos corpos hídricos receptores para verificar se a concentração de SDT está dentro do padrão da CONAMA 357/2005. Também foram aferidos os valores das concentrações de SDT do esgoto afluente e efluente de ambas as ETE's estudadas, a fim de realizar o controle operacional, avaliando a remoção do parâmetro durante o tratamento. Os resultados, seguem na tabela abaixo.

Tabela 18 – Concentração de SDT do esgoto afluente e efluente das ETE's

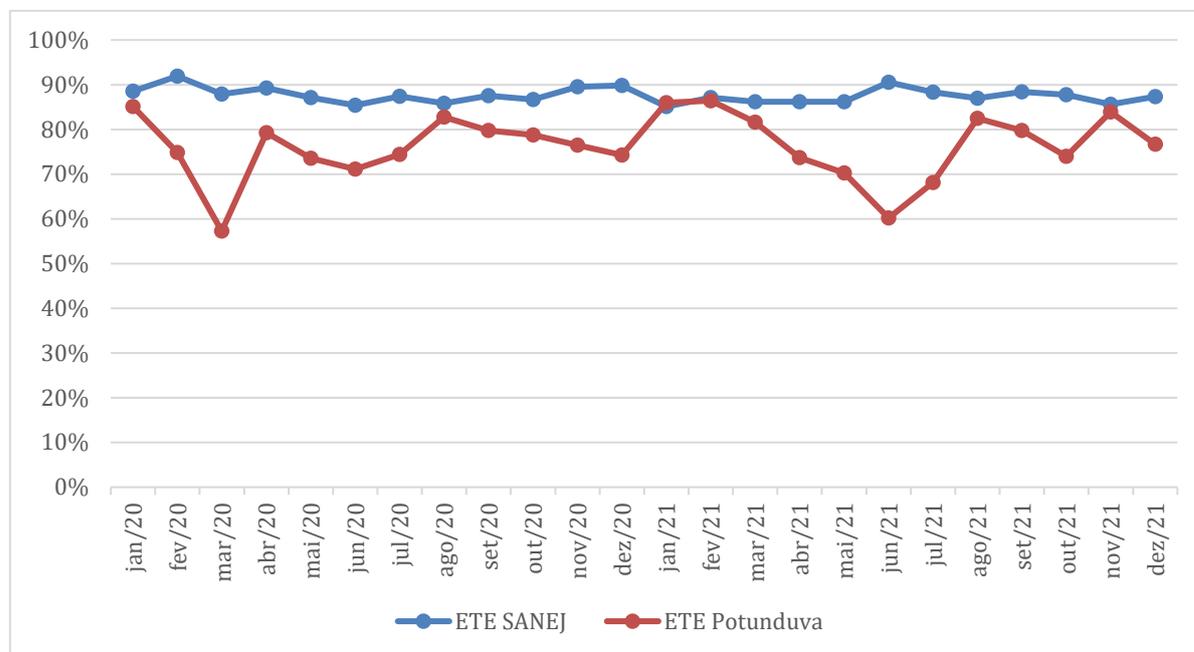
Data	SANEJ		Potunduva	
	SDT aflu. (mg/L)	SDT eflu. (mg/L)	SDT aflu. (mg/L)	SDT eflu. (mg/L)
jan/20	647,28	74,31	516,28	76,92
fev/20	618,86	50,08	672,09	169,23
mar/20	628,84	76,19	413,95	176,92
abr/20	698,37	74,85	637,21	132,08
mai/20	758,84	98,00	693,02	183,08
jun/20	774,86	113,08	718,60	207,69
jul/20	770,93	96,92	720,93	184,62
ago/20	834,42	118,46	937,21	161,54
set/20	910,00	113,08	951,16	192,31
out/20	970,47	129,23	832,56	176,92
nov/20	979,53	102,31	783,72	184,62
dez/20	1003,72	102,31	627,91	161,54
jan/21	940,23	140,00	658,14	92,31
fev/21	837,44	107,69	737,21	100,00
mar/21	701,40	96,92	911,63	167,69
abr/21	894,88	123,85	730,23	192,31
mai/21	934,19	129,23	697,67	207,69
jun/21	970,47	91,54	502,33	200,00
jul/21	1012,79	118,46	518,60	165,38
ago/21	1073,26	140,00	395,35	69,23
set/21	1046,89	121,53	409,30	82,69
out/21	878,47	107,69	413,95	107,69
nov/21	897,91	129,23	502,33	80,77
dez/21	894,88	113,08	495,35	115,38

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Através da tabela acima, verificou-se que as ETE's mostram excelentes resultados de remoção de SDT, apresentando já em seu efluente final, valores inferiores aos estabelecidos pelas legislações vigentes a jusante do ponto de

lançamento de efluente do corpo hídrico receptor. Com os dados da Tabela 18, foi traçado um gráfico de eficiência de remoção de SDT (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Eficiência de remoção de SDT.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando o gráfico acima, verifica-se eficiência média de remoção de SDT de 87% para a ETE SANEJ e 77% para a ETE Potunduva. Já com relação à eficiência máxima, os valores foram de 92% para a primeira e 86% para a segunda.

Verificando os resultados do Gráfico 4, constata-se que a ETE SANEJ é mais eficiente, além de possuir maior constância em seus resultados. A ETE Potunduva, apresenta eficiência satisfatória, pois também está dentro do que é estabelecido por legislação, porém observam-se algumas quedas repentinas nos valores das eficiências de remoção de SDT, como por exemplo em março de 2020 e junho de 2021. Esse fato pode estar relacionado as próprias característica do esgoto bruto e condições climáticas, como por exemplo altos índices de pluviosidade.

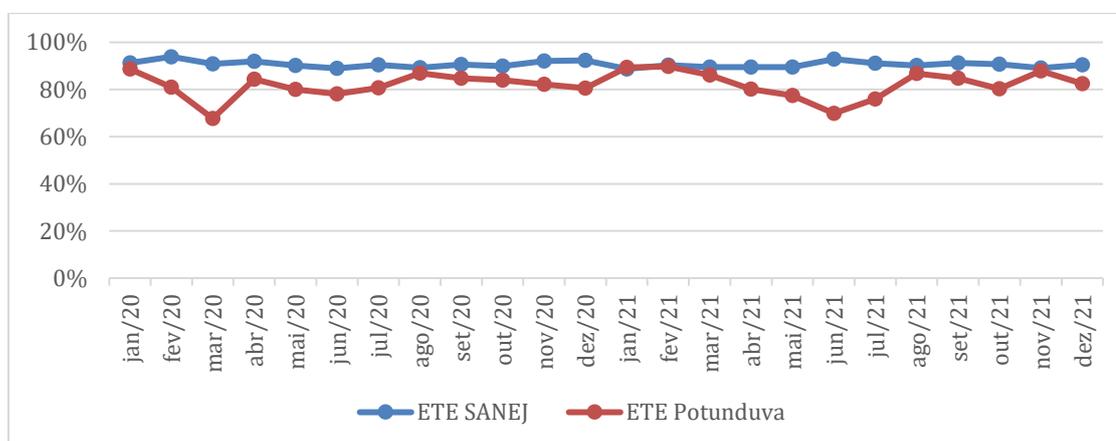
Além dos SDT, existem diversas outras análises que compõe a série de sólidos e que estarão apresentados em forma de tabelas e gráficos a seguir, seguidos de comentários. Os resultados que serão apresentados são: Sólidos Totais (ST); Sólidos Fixos Totais (SFT); Sólidos Voláteis Totais (SVT); Sólidos Suspensos Totais (SST); Sólidos Suspensos Fixos (SSF); Sólidos Suspensos Voláteis (SSV); Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV).

Tabela 19 – Concentração de ST no esgoto afluente e efluente das ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	ST aflu. (mg/L)	ST eflu. (mg/L)	ST aflu. (mg/L)	ST eflu. (mg/L)
jan/20	927,77	80,50	740,00	83,33
fev/20	887,03	54,25	963,33	183,33
mar/20	901,33	82,54	593,33	191,67
abr/20	1001,00	81,08	913,33	143,08
mai/20	1087,67	106,17	993,33	198,33
jun/20	1110,63	122,50	1030,00	225,00
jul/20	1105,00	105,00	1033,33	200,00
ago/20	1196,00	128,33	1343,33	175,00
set/20	1304,33	122,50	1363,33	208,33
out/20	1391,00	140,00	1193,33	191,67
nov/20	1404,00	110,83	1123,33	200,00
dez/20	1438,67	110,83	900,00	175,00
jan/21	1347,67	151,67	943,33	100,00
fev/21	1200,33	116,67	1056,67	108,33
mar/21	1005,33	105,00	1306,67	181,67
abr/21	1282,67	134,17	1046,67	208,33
mai/21	1339,00	140,00	1000,00	225,00
jun/21	1391,00	99,17	720,00	216,67
jul/21	1451,67	128,33	743,33	179,17
ago/21	1538,33	151,67	566,67	75,00
set/21	1500,55	131,66	586,67	89,58
out/21	1259,14	116,67	593,33	116,67
nov/21	1287,00	140,00	720,00	87,50
dez/21	1282,67	122,50	710,00	125,00

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 5 - Eficiência de remoção de ST.



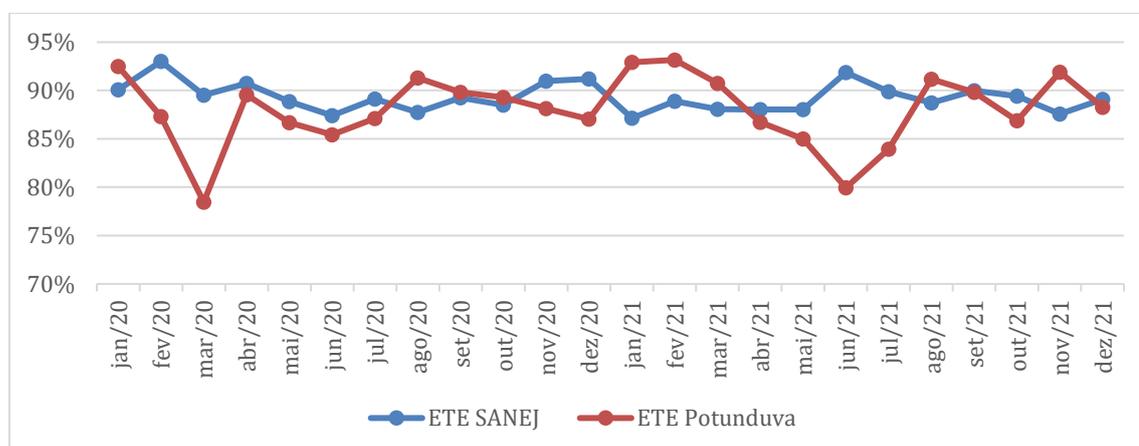
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 20 – Concentração de SFT no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	SFT aflu. (mg/L)	SFT eflu. (mg/L)	SFT aflu. (mg/L)	SFT eflu. (mg/L)
jan/20	556,66	55,20	333,00	25,00
fev/20	532,22	37,20	433,50	55,00
mar/20	540,80	56,60	267,00	57,50
abr/20	600,60	55,60	411,00	42,93
mai/20	652,60	72,80	447,00	59,50
jun/20	666,38	84,00	463,50	67,50
jul/20	663,00	72,00	465,00	60,00
ago/20	717,60	88,00	604,50	52,50
set/20	782,60	84,00	613,50	62,50
out/20	834,60	96,00	537,00	57,50
nov/20	842,40	76,00	505,50	60,00
dez/20	863,20	76,00	405,00	52,50
jan/21	808,60	104,00	424,50	30,00
fev/21	720,20	80,00	475,50	32,50
mar/21	603,20	72,00	588,00	54,50
abr/21	769,60	92,00	471,00	62,50
mai/21	803,40	96,00	450,00	67,50
jun/21	834,60	68,00	324,00	65,00
jul/21	871,00	88,00	334,50	53,75
ago/21	923,00	104,00	255,00	22,50
set/21	900,33	90,28	264,00	26,88
out/21	755,48	80,00	267,00	35,00
nov/21	772,20	96,00	324,00	26,25
dez/21	769,60	84,00	319,50	37,50

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 6 - Eficiência de remoção de SFT.



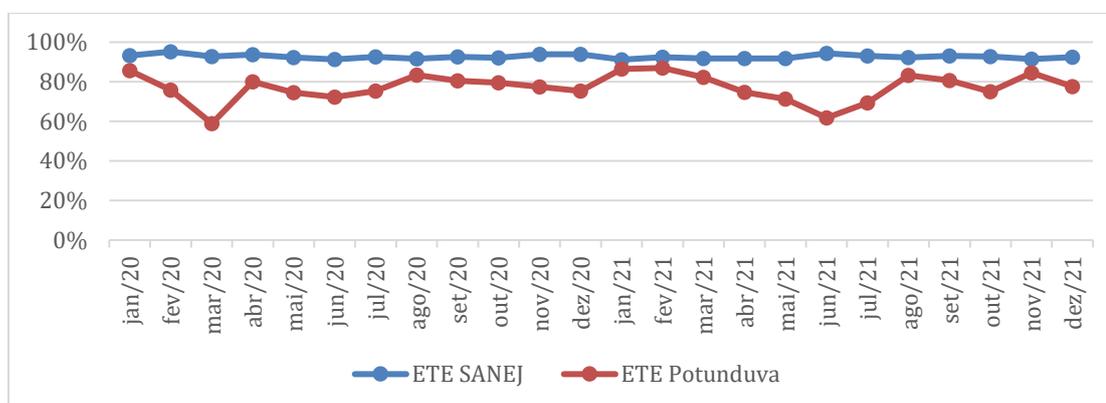
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 21 – Concentração de SVT no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	SVT aflu. (mg/L)	SVT eflu. (mg/L)	SVT aflu. (mg/L)	SVT eflu. (mg/L)
jan/20	371,11	25,30	407,00	58,33
fev/20	354,81	17,05	529,83	128,33
mar/20	360,53	25,94	326,33	134,17
abr/20	400,40	25,48	502,33	100,16
mai/20	435,07	33,37	546,33	138,83
jun/20	444,25	38,50	566,50	157,50
jul/20	442,00	33,00	568,33	140,00
ago/20	478,40	40,33	738,83	122,50
set/20	521,73	38,50	749,83	145,83
out/20	556,40	44,00	656,33	134,17
nov/20	561,60	34,83	617,83	140,00
dez/20	575,47	34,83	495,00	122,50
jan/21	539,07	47,67	518,83	70,00
fev/21	480,13	36,67	581,17	75,83
mar/21	402,13	33,00	718,67	127,17
abr/21	513,07	42,17	575,67	145,83
mai/21	535,60	44,00	550,00	157,50
jun/21	556,40	31,17	396,00	151,67
jul/21	580,67	40,33	408,83	125,42
ago/21	615,33	47,67	311,67	52,50
set/21	600,22	41,38	322,67	62,71
out/21	503,65	36,67	326,33	81,67
nov/21	514,80	44,00	396,00	61,25
dez/21	513,07	38,50	390,50	87,50

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 7 - Eficiência de remoção de SVT.



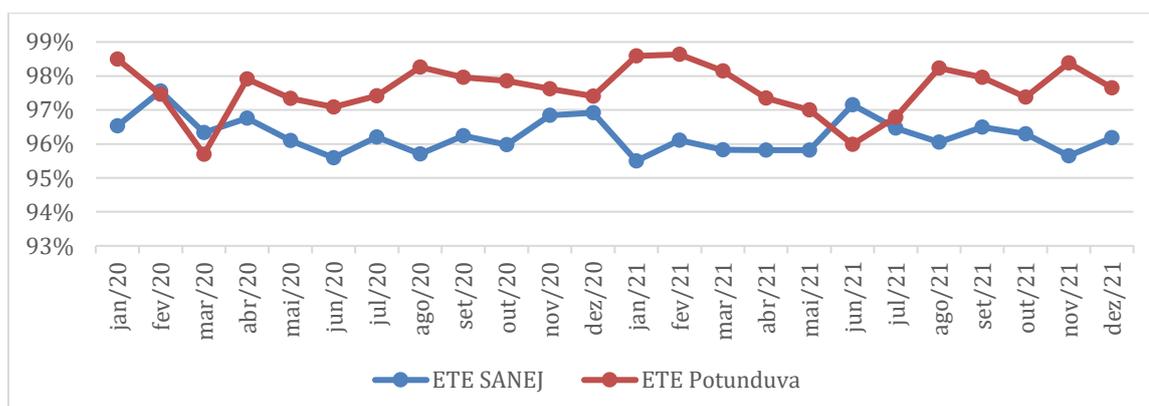
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 22 – Concentração de SSF no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	SSF aflu. (mg/L)	SSF eflu. (mg/L)	SSF aflu. (mg/L)	SSF eflu. (mg/L)
jan/20	55,67	1,93	66,60	1,00
fev/20	53,22	1,30	86,70	2,20
mar/20	54,08	1,98	53,40	2,30
abr/20	60,06	1,95	82,20	1,72
mai/20	65,26	2,55	89,40	2,38
jun/20	66,64	2,94	92,70	2,70
jul/20	66,30	2,52	93,00	2,40
ago/20	71,76	3,08	120,90	2,10
set/20	78,26	2,94	122,70	2,50
out/20	83,46	3,36	107,40	2,30
nov/20	84,24	2,66	101,10	2,40
dez/20	86,32	2,66	81,00	2,10
jan/21	80,86	3,64	84,90	1,20
fev/21	72,02	2,80	95,10	1,30
mar/21	60,32	2,52	117,60	2,18
abr/21	76,96	3,22	94,20	2,50
mai/21	80,34	3,36	90,00	2,70
jun/21	83,46	2,38	64,80	2,60
jul/21	87,10	3,08	66,90	2,15
ago/21	92,30	3,64	51,00	0,90
set/21	90,03	3,16	52,80	1,08
out/21	75,55	2,80	53,40	1,40
nov/21	77,22	3,36	64,80	1,05
dez/21	76,96	2,94	63,90	1,50

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 8 - Eficiência de remoção de SSF.



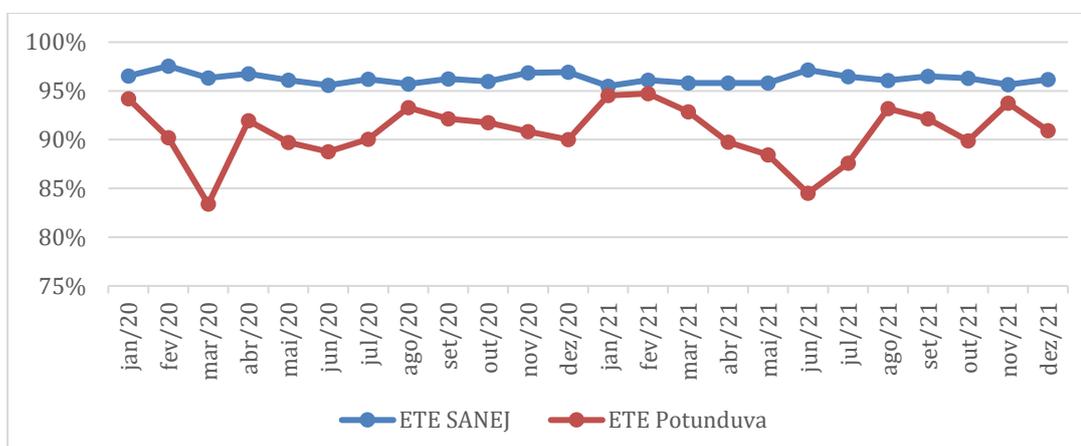
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 23 – Concentração de SSV no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	SSV aflu. (mg/L)	SSV eflu. (mg/L)	SSV aflu. (mg/L)	SSV eflu. (mg/L)
jan/20	222,66	7,73	155,40	9,00
fev/20	212,89	5,21	202,30	19,80
mar/20	216,32	7,92	124,60	20,70
abr/20	240,24	7,78	191,80	15,45
mai/20	261,04	10,19	208,60	21,42
jun/20	266,55	11,76	216,30	24,30
jul/20	265,20	10,08	217,00	21,60
ago/20	287,04	12,32	282,10	18,90
set/20	313,04	11,76	286,30	22,50
out/20	333,84	13,44	250,60	20,70
nov/20	336,96	10,64	235,90	21,60
dez/20	345,28	10,64	189,00	18,90
jan/21	323,44	14,56	198,10	10,80
fev/21	288,08	11,20	221,90	11,70
mar/21	241,28	10,08	274,40	19,62
abr/21	307,84	12,88	219,80	22,50
mai/21	321,36	13,44	210,00	24,30
jun/21	333,84	9,52	151,20	23,40
jul/21	348,40	12,32	156,10	19,35
ago/21	369,20	14,56	119,00	8,10
set/21	360,13	12,64	123,20	9,68
out/21	302,19	11,20	124,60	12,60
nov/21	308,88	13,44	151,20	9,45
dez/21	307,84	11,76	149,10	13,50

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 9 - Eficiência de remoção de SSV.



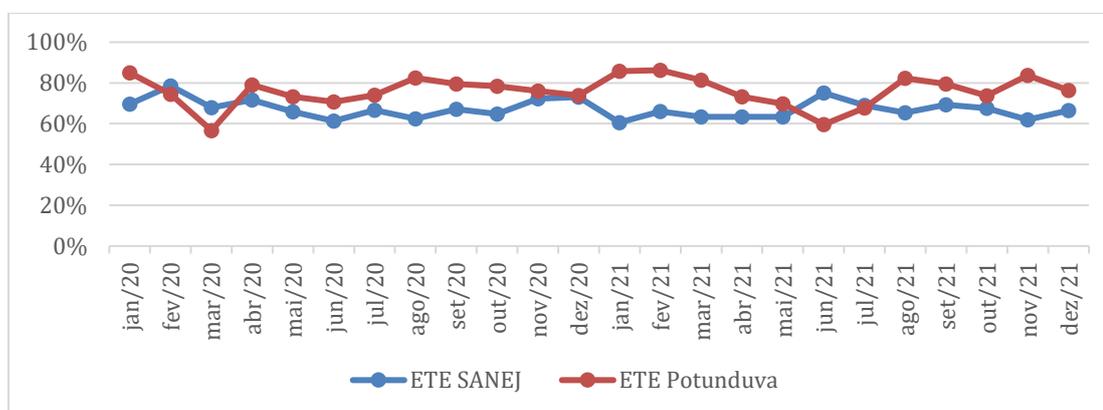
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 24 – Concentração de SDV no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	SDV aflu. (mg/L)	SDV eflu. (mg/L)	SDV aflu. (mg/L)	SDV eflu. (mg/L)
jan/20	219,08	66,58	449,68	67,92
fev/20	209,46	44,87	585,39	149,43
mar/20	212,84	68,27	360,55	156,22
abr/20	236,37	67,06	555,01	116,62
mai/20	256,84	87,81	603,62	161,66
jun/20	262,26	101,32	625,90	183,39
jul/20	260,93	86,84	627,93	163,02
ago/20	282,42	106,14	816,31	142,64
set/20	308,00	101,32	828,46	169,81
out/20	328,47	115,79	725,16	156,22
nov/20	331,53	91,67	682,62	163,02
dez/20	339,72	91,67	546,91	142,64
jan/21	318,23	125,44	573,24	81,51
fev/21	283,44	96,49	642,11	88,30
mar/21	237,40	86,84	794,03	148,07
abr/21	302,88	110,97	636,03	169,81
mai/21	316,19	115,79	607,67	183,39
jun/21	328,47	82,02	437,53	176,60
jul/21	342,79	106,14	451,70	146,03
ago/21	363,26	125,44	344,35	61,13
set/21	354,33	108,89	356,50	73,02
out/21	297,33	96,49	360,55	95,09
nov/21	303,91	115,79	437,53	71,32
dez/21	302,88	101,32	431,45	101,88

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 10 - Eficiência de remoção de SDV



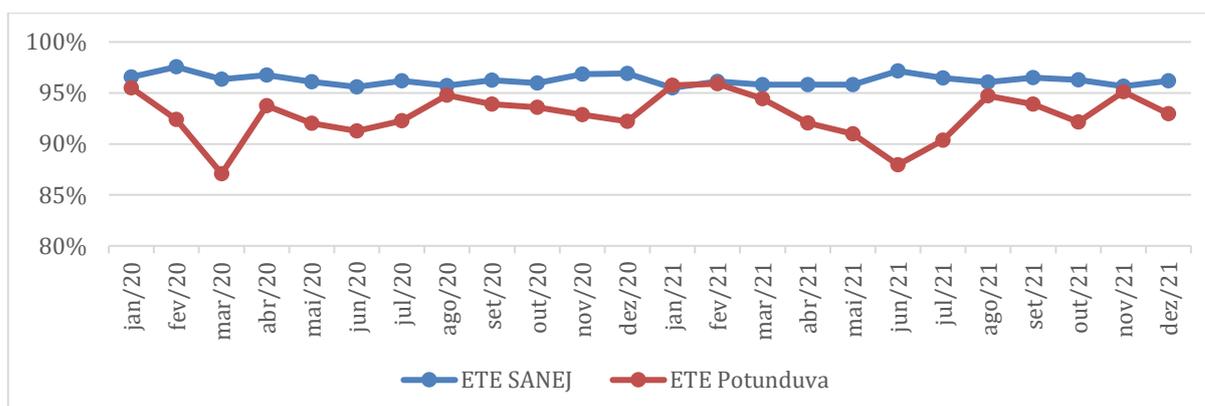
Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 25 – Concentração de SST no esgoto afluente e efluente das ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	SST aflu. (mg/L)	SST eflu. (mg/L)	SST aflu. (mg/L)	SST eflu. (mg/L)
jan/20	280,00	9,66	222,00	10,00
fev/20	266,11	6,51	289,00	22,00
mar/20	270,40	9,91	178,00	23,00
abr/20	300,30	9,73	274,00	17,17
mai/20	326,30	12,74	298,00	23,80
jun/20	333,19	14,70	309,00	27,00
jul/20	331,50	12,60	310,00	24,00
ago/20	358,80	15,40	403,00	21,00
set/20	391,30	14,70	409,00	25,00
out/20	417,30	16,80	358,00	23,00
nov/20	421,20	13,30	337,00	24,00
dez/20	431,60	13,30	270,00	21,00
jan/21	404,30	18,20	283,00	12,00
fev/21	360,10	14,00	317,00	13,00
mar/21	301,60	12,60	392,00	21,80
abr/21	384,80	16,10	314,00	25,00
mai/21	401,70	16,80	300,00	27,00
jun/21	417,30	11,90	216,00	26,00
jul/21	435,50	15,40	223,00	21,50
ago/21	461,50	18,20	170,00	9,00
set/21	450,16	15,80	176,00	10,75
out/21	377,74	14,00	178,00	14,00
nov/21	386,10	16,80	216,00	10,50
dez/21	384,80	14,70	213,00	15,00

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 11 - Eficiência de remoção de SST.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando a série de sólidos para o controle operacional (Tabelas 18 a 25 e Gráficos 4 ao 11), constata-se que quase todos os parâmetros apresentaram a mesma tendência, na qual a ETE SANEJ se mostrou com maior constância e eficiência, já a ETE Potunduva registrou quedas acentuadas nos meses de março de 2020 e junho de 2021 para toda série, exceto para os SDV e SSF que foram removidos de forma mais eficiente na ETE Potunduva (Gráficos 8 e 10).

Para melhor análise dos resultados da série de sólidos, segue na Tabela 26 os valores de eficiência média e máxima de cada parâmetro.

Tabela 26 - Eficiências da série de sólidos.

Parâmetro	ETE SANEJ		ETE Potunduva.	
	E. Max. (%)	E. Med. (%)	E. Max. (%)	E. Med. (%)
<b>SDT</b>	92	87	86	77
<b>ST</b>	94	90	90	82
<b>SFT</b>	93	89	93	88
<b>SVT</b>	95	93	87	77
<b>SST</b>	98	96	96	93
<b>SSF</b>	98	96	99	98
<b>SSV</b>	98	96	95	91
<b>SDV</b>	79	67	86	76

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Como observado na tabela acima e nos Gráfico 9 e 11, os SDV e os SSF apresentaram comportamento distintos dos demais parâmetros da série de sólidos, onde as suas eficiências foram menores na ETE SANEJ.

Foi informado pela Águas de Jahu, que por vezes pode ocorrer o despejo de esgoto clandestino nas redes coletoras de esgoto da ETE SANEJ, o que impacta diretamente na coloração do efluente e por consequência no SDV, deixando o parâmetro com baixa eficiência de remoção em comparação à ETE Potunduva.

Os SST (Tabela 25 e Gráfico 11), além do controle operacional realizado para este parâmetro, fazendo a aferição dos resultados no esgoto afluente e efluente, também é elaborada a declaração da remoção de carga orgânica poluidora na ETE SANEJ para a CETESB, a qual segue apresentada nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 – Remoção da carga orgânica de SST na ETE SANEJ em 2020.

Data	Vazão Mensal efluente (m <sup>3</sup> /mês)	SST aflu. (mg/L)	SST eflu. (mg/L)	Carga Orgânica SST removida (Ton/mês)	Carga Orgânica SST removida (Ton/ano)
jan/20	767.779	280,00	9,66	207,56	
fev/20	802.099	266,11	6,51	208,22	
mar/20	853.308	270,40	9,91	222,28	
abr/20	721.239	300,30	9,73	209,57	
mai/20	711.548	326,30	12,74	223,11	
jun/20	737.085	333,19	14,70	234,75	
jul/20	735.129	331,50	12,60	234,43	2.949,49
ago/20	721.523	358,80	15,40	247,77	
set/20	694.724	391,30	14,70	261,63	
out/20	732.212	417,30	16,80	293,25	
nov/20	693.380	421,20	13,30	282,83	
dez/20	774.724	431,60	13,30	324,07	

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Tabela 28 – Remoção da carga orgânica de SST na ETE SANEJ em 2021.

Data	Vazão Mensal efluente (m <sup>3</sup> /mês)	SST aflu. (mg/L)	SST eflu. (mg/L)	Carga Orgânica SST removida (Ton/mês)	Carga Orgânica SST removida (Ton/ano)
jan/21	794.411	404,30	18,20	306,72	
fev/21	706.960	360,10	14,00	244,68	
mar/21	773.108	301,60	12,60	223,43	
abr/21	712.963	384,80	16,10	262,87	
mai/21	693.540	401,70	16,80	266,94	
jun/21	677.926	417,30	11,90	274,83	
jul/21	719.842	435,50	15,40	302,41	3.230,37
ago/21	684.009	461,50	18,20	303,22	
set/21	664.461	450,16	15,80	288,62	
out/21	668.302	377,74	14,00	243,09	
nov/21	676.523	386,10	16,80	249,84	
dez/21	712.573	384,80	14,70	263,72	

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2022.

Analisando os resultados das Tabelas 27 e 28, verifica-se um aumento de 280, 88 Ton de remoção de carga orgânica poluidora do ano de 2020 para 2021. Esse fato pode estar relacionado as próprias características do esgoto bruto.

Vale ressaltar que os dados da carga orgânica poluidora da ETE Potunduva, não foram avaliados, pois os mesmos começaram a ser declarados à CETESB em setembro de 2021, não havendo um período anual comparativo na estação.

### 5.1.8. Nitrogênio Total (NT)

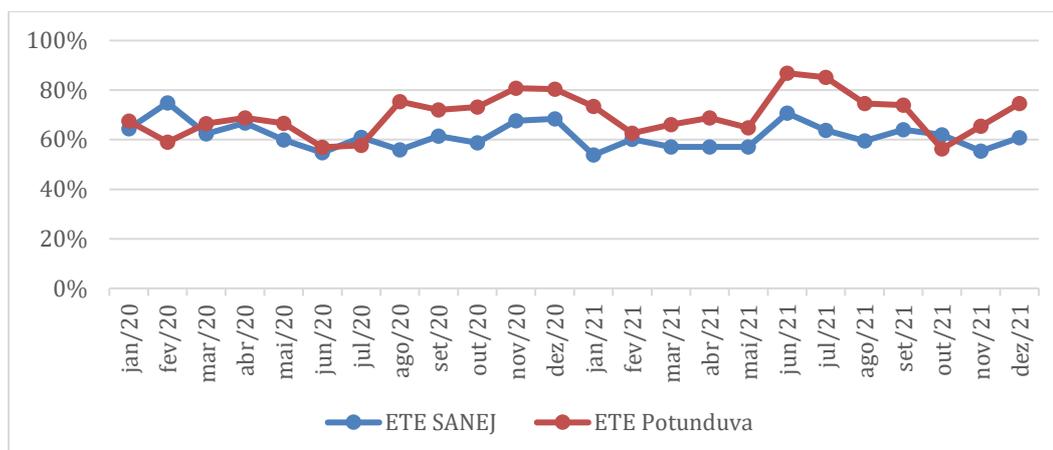
As legislações não mencionam diretamente as concentrações permitidas de nitrogênio total. Porém, ainda assim a Águas de Jahu realiza a medição das concentrações de NT do esgoto afluente e efluente de suas ETE's, com o intuito de monitorar o tratamento e realizar o controle operacional, conforme apresentado na Tabela 29 e no Gráfico 12.

Tabela 29 – Concentração de NT no esgoto afluente e efluente das ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	NT aflu. (mg/L)	NT eflu. (mg/L)	NT aflu. (mg/L)	NT eflu. (mg/L)
jan/20	31,68	11,28	30,19	9,81
fev/20	30,29	7,60	47,87	19,62
mar/20	30,78	11,57	51,20	17,17
abr/20	34,18	11,36	55,05	17,17
mai/20	37,14	14,88	47,35	15,80
jun/20	37,93	17,17	47,50	20,44
jul/20	37,73	14,72	44,54	18,81
ago/20	40,84	17,99	56,38	13,90
set/20	44,54	17,17	58,45	16,35
out/20	47,50	19,62	48,68	13,08
nov/20	47,94	15,53	55,27	10,63
dez/20	49,13	15,53	41,58	8,18
jan/21	46,02	21,26	43,06	11,45
fev/21	40,99	16,35	45,87	17,17
mar/21	34,33	14,72	55,49	18,81
abr/21	43,80	18,81	49,72	15,53
mai/21	45,72	19,62	51,20	17,99
jun/21	47,50	13,90	55,93	7,36
jul/21	49,57	17,99	54,90	8,18
ago/21	52,53	21,26	45,95	11,66
set/21	51,24	18,45	54,93	14,31
out/21	43,00	16,35	41,14	17,99
nov/21	43,95	19,62	49,72	17,17
dez/21	43,80	17,17	32,26	8,18

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 12 - Eficiência de remoção de NT.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Através da análise da tabela e gráfico acima, verificou-se que a ETE Potunduva é a mais eficiente, atingindo uma remoção máxima de 87%, enquanto que a ETE SANEJ atingiu 75%. Quanto a eficiência média, os valores ficaram em 69% para a ETE Potunduva e 61% para a ETE SANEJ.

### 5.1.9. Nitrogênio Amoniacal (N-Amon).

O limite da concentração de nitrogênio amoniacal é definido nas três legislações trabalhadas nesta pesquisa, onde cada uma delas estabelece limites distintos. O Decreto 8.468/1976 define que a concentração de N-Amon para lançamento de efluentes em águas de Classe 2 e 3 não deve ultrapassar 0,5 mg/L.

A Resolução CONAMA 357/2005 define o limite da concentração de N-Amon de acordo com o pH e classe do corpo receptor (conforme demonstrado no Quadro 4). Para rios de classe 2 e  $\text{pH} \leq 7,5$  o limite de N-Amon é de 3,7 mg/L, já para rios de classe 3 com o mesmo pH, o limite é de 13,7 mg/L.

Quanto a Resolução CONAMA 430/2011, define que para lançamentos de efluentes, seja qual for a classe do corpo receptor, a concentração de N-Amon não deve ultrapassar 20 mg/L. Na tabela a seguir, são apresentados os resultados das análises do Rio Jaú e Córrego dos Grassis a montante e jusante do ponto de lançamento de efluente tratado.

Tabela 30 - Concentração de N-Amon no corpo hídrico receptor.

<b>ETE - Corpo hídrico receptor</b>	<b>N-Amon (mg/L) Mon/21</b>	<b>N-Amon (mg/L) Jus/21</b>	<b>N-Amon (mg/L) Mon/22</b>	<b>N-Amon (mg/L) Jus/22</b>
SANEJ - Rio Jaú	<0,082	2,73	<0,05	0,813
Potunduva - Córrego dos Grassis	0,142	5,525	0,0718	1,62

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Analisando a tabela acima, verifica-se que ambas as ETE's não estão em conformidade com o Decreto 8.468/1976, em sua concentração de N-Amon a jusante das ETE's, pois ultrapassam o limite estabelecido de 0,5 mg/L.

Quanto a CONAMA 357/2005, onde o limite da concentração de N-Amon depende do pH, que possui valores abaixo de 7,5 para ambas as ETE's (Tabela 6), somente o corpo hídrico receptor do esgoto da ETE SANEJ está dentro do limite estipulado, pois o córrego receptor do efluente da ETE Potunduva apresentou concentração de N-Amon acima de 3,7 mg/L no ano de 2021. Em 2022 ambos os rios receptores dos efluentes estão dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/2005. Com relação a CONAMA 430/2011, ambos os corpos hídricos estão de acordo com o limite estipulado na resolução.

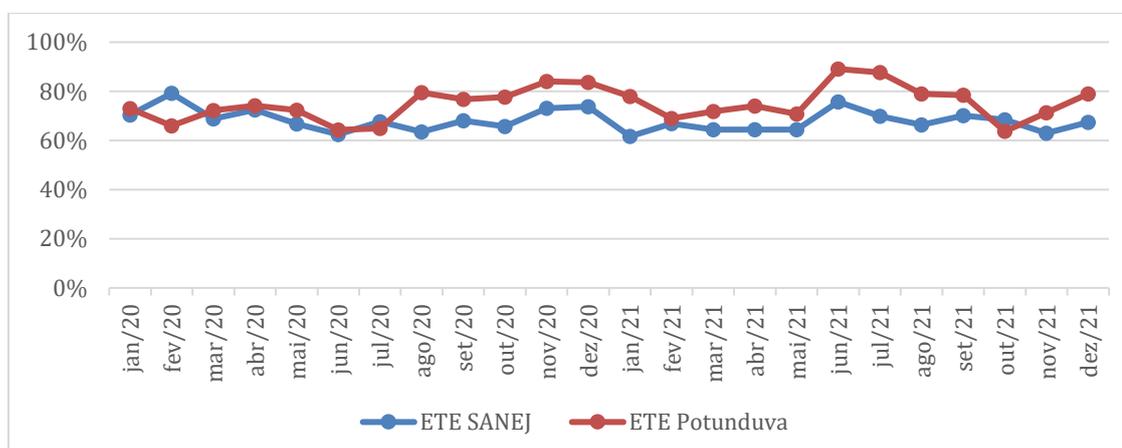
Além da verificação de conformidade com legislações, é realizado o monitoramento das concentrações de N-Amon do esgoto afluente e efluente de ambas as ETE's, com o intuito de controlar operacionalmente o sistema de tratamento. A Tabela 31 a seguir, apresenta a concentração de N-Amon do esgoto afluente e efluente e o Gráfico 13, mostra a eficiência de remoção.

Tabela 31 – Concentração de N-Amon no esgoto afluente e efluente das ETEs

Data	SANEJ		Potunduva	
	N-Amon aflu. (mg/L)	N-Amon eflu. (mg/L)	N-Amon aflu. (mg/L)	N-Amon eflu. (mg/L)
jan/20	31,12	9,20	29,65	8,00
fev/20	29,75	6,20	47,02	16,00
mar/20	30,23	9,43	50,29	14,00
abr/20	33,58	9,27	54,07	14,00
mai/20	36,48	12,13	46,51	12,89
jun/20	37,25	14,00	46,66	16,67
jul/20	37,06	12,00	43,75	15,33
ago/20	40,12	14,67	55,38	11,33
set/20	43,75	14,00	57,41	13,33
out/20	46,66	16,00	47,82	10,67
nov/20	47,09	12,67	54,29	8,67
dez/20	48,26	12,67	40,84	6,67
jan/21	45,20	17,33	42,30	9,33
fev/21	40,26	13,33	45,06	14,00
mar/21	33,72	12,00	54,51	15,33
abr/21	43,02	15,33	48,84	12,67
mai/21	44,91	16,00	50,29	14,67
jun/21	46,66	11,33	54,94	6,00
jul/21	48,69	14,67	53,92	6,67
ago/21	51,60	17,33	45,13	9,51
set/21	50,33	15,05	53,96	11,67
out/21	42,23	13,33	40,41	14,67
nov/21	43,17	16,00	48,84	14,00
dez/21	43,02	14,00	31,69	6,67

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 13 - Eficiência de remoção de N-Amon.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Através da análise da tabela e gráfico acima, verificamos certa igualdade na remoção de N-Amon em ambas as ETE's, com pequena superioridade na ETE Potunduva. As eficiências médias ficaram em 68% na SANEJ e 74% em Potunduva, já para a eficiência máxima os valores foram de 79% para a primeira e de 89% para a segunda. Verifica-se altas eficiências de remoção de N-Amon nas ETE's estudadas, pois ambas possuem uma etapa aeróbia, a qual é responsável pela conversão do nitrogênio amoniacal em nitrito e nitrato por meio da nitrificação.

Apesar da jusante de lançamento no Córrego dos Grassis estar acima do limite de 3,7 mg/L em 2021 (Tabela 30), os valores das concentrações de N-Amon no esgoto afluente e efluente às ETE's, bem como as eficiências de remoção desse parâmetro, estão satisfatórios. Foi investigado o motivo da jusante estar acima dos padrões em 2021 e foi constatado que, de maneira similar a DBO, pode ter ocorrido erros na aferição dos resultados pelo laboratório terceirizado.

Existe uma outra hipótese, para o limite de N-Amon no corpo hídrico receptor do efluente tratado da ETE Potunduva estar acima do limite, que é por conta da vazão do Córrego dos Grassis ser pequena, assim qualquer descarte de efluente impacta significativamente na qualidade das águas do córrego em questão.

#### **5.1.10. Nitrito e Nitrato.**

As legislações que discorrem sobre a concentração de nitrito e nitrato permitida no corpo receptor para o lançamento de efluentes, são CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976. Tais legislações, mencionam que o limite da concentração de nitrito e nitrato, respectivamente, permitido para rios de Classe 2 e 3, é de 1 mg/L e 10 mg/L. Nas Tabelas 31 e 32 a seguir, são apresentados os resultados das análises no corpo hídrico receptor de efluente das ETE's estudadas, avaliando a concentração de ambos os parâmetros citados.

Tabela 31 - Concentração de Nitrito no corpo hídrico receptor

ETE - Corpo hídrico receptor	Nitrito	Nitrito	Nitrito	Nitrito
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	0,046	0,014	1,2	<0,01
Potunduva - Córrego dos Grassis	0,057	0,501	0,0191	0,0301

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Tabela 32 – Concentração de Nitrato no corpo receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	Nitrato	Nitrato	Nitrato	Nitrato
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	Mon/21	Jus/21	Mon/22	Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	1,374	1,181	<0,01	<0,01
Potunduva - Córrego dos Grassis	0,548	<0,114	2,26	4,41

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Conferindo os resultados da Tabela 31, constata-se que a montante do Rio Jaú em 2022 está acima do permitido pela CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976 (1 mg/L) e a jusante está abaixo. Este resultado está incoerente, pois ao receber esgoto da ETE, a concentração da jusante deveria ser maior do que a montante. Foi questionado à Águas de Jahu sobre tais resultados e foi informado que houve erro na aferição do parâmetro pelo laboratório terceirizado. Quanto a Tabela 32, análise de nitrato, constata-se que os resultados estão dentro dos padrões estipulados pelas legislações vigentes.

Além da verificação dos resultados relacionando-os com as legislações de efluentes, também foi verificado a concentração de Nitrito e Nitrato no esgoto de entrada e saída de ambas as ETE's, com o objetivo de realizar um melhor controle operacional, como por exemplo a necessidade de recirculação de lodo no sistema e utilização do seletor anóxico na ETE SANEJ. A tabela a seguir, apresenta as concentrações afluente e efluente de nitrito e nitrato das ETE's SANEJ e Potunduva.

Tabela 33 - Concentração de Nitrito e Nitrato no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ				Potunduva			
	Nitrito aflu. (mg/L)	Nitrito eflu. (mg/L)	Nitrato aflu. (mg/L)	Nitrato eflu. (mg/L)	Nitrito aflu. (mg/L)	Nitrito eflu. (mg/L)	Nitrato aflu. (mg/L)	Nitrato eflu. (mg/L)
jan/20	0,053	0,347	0,508	1,736	0,050	0,302	0,484	1,509
fev/20	0,051	0,234	0,486	1,170	0,080	0,604	0,768	3,019
mar/20	0,051	0,356	0,494	1,780	0,086	0,528	0,822	2,642
abr/20	0,057	0,350	0,549	1,748	0,092	0,528	0,883	2,642
mai/20	0,062	0,458	0,596	2,289	0,079	0,486	0,760	2,431
jun/20	0,063	0,528	0,609	2,642	0,079	0,629	0,762	3,145
jul/20	0,063	0,453	0,606	2,264	0,074	0,579	0,715	2,893
ago/20	0,068	0,553	0,655	2,767	0,094	0,428	0,905	2,138
set/20	0,074	0,528	0,715	2,642	0,098	0,503	0,938	2,516
out/20	0,079	0,604	0,762	3,019	0,081	0,403	0,781	2,013
nov/20	0,080	0,478	0,769	2,390	0,092	0,327	0,887	1,635
dez/20	0,082	0,478	0,788	2,390	0,070	0,252	0,667	1,258
jan/21	0,077	0,654	0,739	3,270	0,072	0,352	0,691	1,761
fev/21	0,069	0,503	0,658	2,516	0,077	0,528	0,736	2,642
mar/21	0,057	0,453	0,551	2,264	0,093	0,579	0,891	2,893
abr/21	0,073	0,579	0,703	2,893	0,083	0,478	0,798	2,390
mai/21	0,076	0,604	0,734	3,019	0,086	0,553	0,822	2,767
jun/21	0,079	0,428	0,762	2,138	0,094	0,226	0,898	1,132
jul/21	0,083	0,553	0,796	2,767	0,092	0,252	0,881	1,258
ago/21	0,088	0,654	0,843	3,270	0,077	0,359	0,737	1,794
set/21	0,086	0,568	0,822	2,839	0,092	0,440	0,882	2,201
out/21	0,072	0,503	0,690	2,516	0,069	0,553	0,660	2,767
nov/21	0,073	0,604	0,705	3,019	0,083	0,528	0,798	2,642
dez/21	0,073	0,528	0,703	2,642	0,054	0,252	0,518	1,258

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Através da tabela acima, verificou-se que as concentrações de nitrito e nitrato das duas ETE's analisadas estão dentro do que é permitido pelas legislações vigentes antes mesmo do descarte no corpo hídrico receptor, indicando um bom controle operacional e conseqüentemente ótimos resultados, não sendo necessária a utilização do seletor anóxico da ETE SANEJ para remoção de maiores concentrações de nitrito e nitrato.

### 5.1.11. Fósforo Total.

A Resolução CONAMA 430/2011 e o Decreto 8.468/1976 não mencionam valores limitantes para o fósforo total no lançamento de efluentes. Porém, a Resolução CONAMA 357/2005 dispõe que para ambientes lóticos (rios e córregos) de Classe 2, o limite estabelecido de fósforo total é de 0,1 mg/L, já para os rios de Classe 3, este limite é estipulado em 0,15 mg/L. Na tabela a seguir, é apresentado a análise a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente no corpo hídrico receptor de ambas as ETE's estudadas.

Tabela 34 – Análise de Fósforo Total no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	Fósforo (mg/L) Mon/21	Fósforo (mg/L) Jus/21	Fósforo (mg/L) Mon/22	Fósforo (mg/L) Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	0,103	0,257	<0,05	<0,05
Potunduva - Córrego dos Grassis	0,082	0,458	<0,05	<0,05

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Segundo os dados de fósforo apresentados na Tabela 34 acima, verifica-se que em 2021 ambos os corpos hídricos apresentaram em sua jusante, valores acima do que é permitido na Resolução CONAMA 357/2005. O motivo pode ser que ambas as ETE's são de nível secundário, ou seja, o tratamento não foca em remoção de nutrientes, logo dificilmente a remoção de fósforo será satisfatória.

Outra hipótese é a troca de laboratório terceirizado de 2021 para 2022, pois como em 2022 os resultados foram satisfatórios, existe a possibilidade de erros na aferição dos resultados em 2021. Principalmente levando-se em conta que na análise de outros parâmetros, esse mesmo erro já foi constatado.

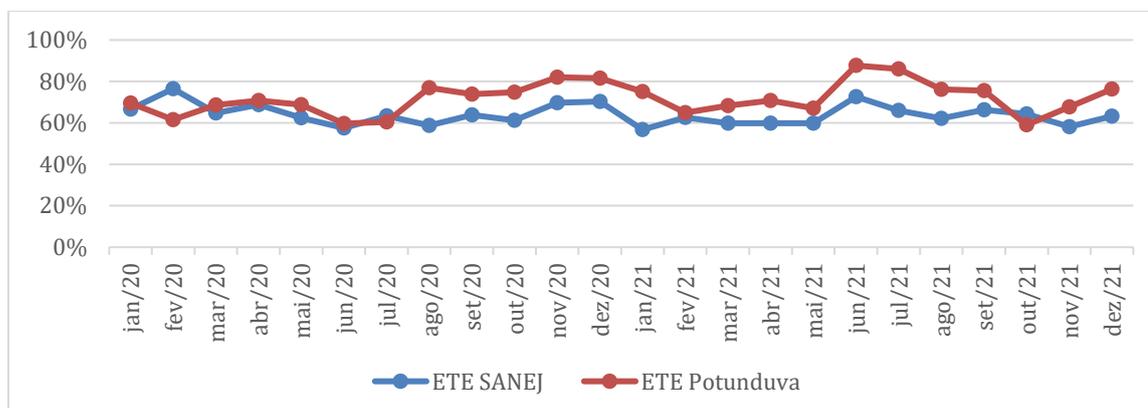
Além da verificação com a legislação, também foram analisadas as concentrações de fósforo total no esgoto afluente e efluente das ETE's estudadas, bem como a eficiência de remoção do parâmetro em questão, conforme demonstrados na Tabela 35 e Gráfico 14 a seguir.

Tabela 35 – Concentração de Fósforo no esgoto afluente e efluente das ETE's

Data	SANEJ		Potunduva	
	Fósforo aflu. (mg/L)	Fósforo eflu. (mg/L)	Fósforo aflu. (mg/L)	Fósforo eflu. (mg/L)
jan/20	6,35	2,12	6,05	1,84
fev/20	6,07	1,43	9,60	3,69
mar/20	6,17	2,17	10,26	3,23
abr/20	6,85	2,14	11,03	3,23
mai/20	7,45	2,80	9,49	2,97
jun/20	7,60	3,23	9,52	3,84
jul/20	7,56	2,76	8,93	3,53
ago/20	8,19	3,38	11,30	2,61
set/20	8,93	3,23	11,72	3,07
out/20	9,52	3,69	9,76	2,46
nov/20	9,61	2,92	11,08	2,00
dez/20	9,85	2,92	8,34	1,54
jan/21	9,23	3,99	8,63	2,15
fev/21	8,22	3,07	9,20	3,23
mar/21	6,88	2,76	11,12	3,53
abr/21	8,78	3,53	9,97	2,92
mai/21	9,17	3,69	10,26	3,38
jun/21	9,52	2,61	11,21	1,38
jul/21	9,94	3,38	11,00	1,54
ago/21	10,53	3,99	9,21	2,19
set/21	10,27	3,47	11,01	2,69
out/21	8,62	3,07	8,25	3,38
nov/21	8,81	3,69	9,97	3,23
dez/21	8,78	3,23	6,47	1,54

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 14 - Eficiência de remoção de fósforo.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Através do Gráfico 14, verifica-se que a ETE Potunduva possui maior eficiência na remoção de fósforo, tendo uma eficiência média de 71% contra 63% na ETE SANEJ. Quanto a eficiência máxima, a primeira relata 88% e a segunda 76%.

### 5.1.12. Fosfato.

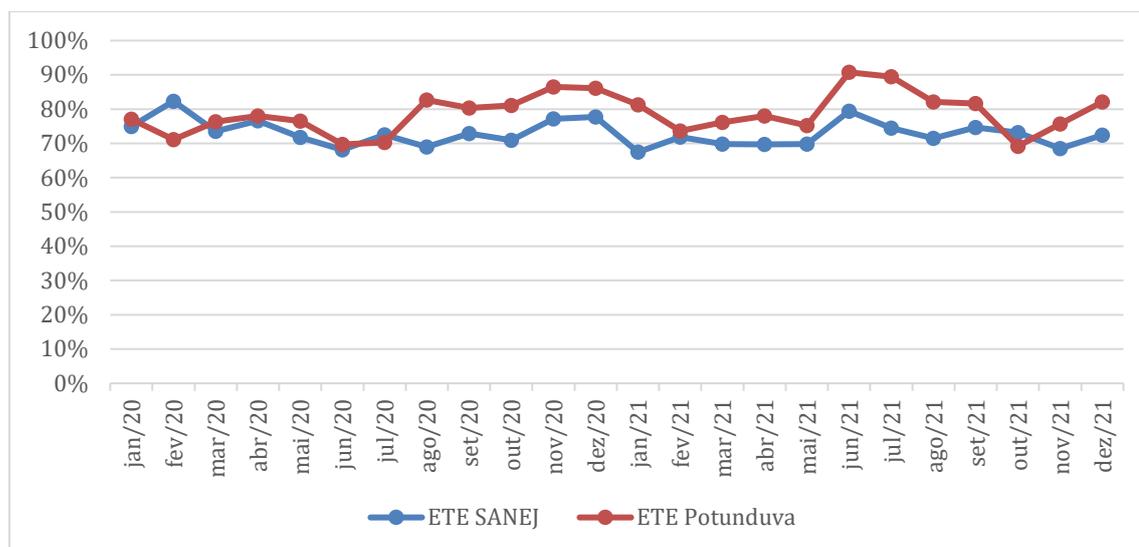
As legislações vigentes mencionam somente o fósforo total e não o fosfato, porém, mensurou-se as concentrações de fosfato no esgoto afluente e efluente nas duas ETE's estudadas (Tabela 36). Também foi traçado o Gráfico 15, para avaliar a eficiência de remoção de fosfato.

Tabela 36 – Concentração de Fosfato no esgoto afluente e efluente das ETE's.

Data	SANEJ		Potunduva	
	Fosfato aflu. (mg/L)	Fosfato eflu. (mg/L)	Fosfato aflu. (mg/L)	Fosfato eflu. (mg/L)
jan/20	19,43	4,88	18,52	4,24
fev/20	18,58	3,29	29,36	8,48
mar/20	18,88	5,00	31,41	7,42
abr/20	20,97	4,91	33,77	7,42
mai/20	22,78	6,43	29,05	6,83
jun/20	23,26	7,42	29,14	8,83
jul/20	23,15	6,36	27,32	8,13
ago/20	25,05	7,77	34,58	6,01
set/20	27,32	7,42	35,85	7,07
out/20	29,14	8,48	29,86	5,65
nov/20	29,41	6,71	33,90	4,59
dez/20	30,14	6,71	25,51	3,53
jan/21	28,23	9,19	26,41	4,95
fev/21	25,14	7,07	28,14	7,42
mar/21	21,06	6,36	34,04	8,13
abr/21	26,87	8,13	30,50	6,71
mai/21	28,05	8,48	31,41	7,77
jun/21	29,14	6,01	34,31	3,18
jul/21	30,41	7,77	33,68	3,53
ago/21	32,22	9,19	28,18	5,04
set/21	31,43	7,97	33,70	6,18
out/21	26,37	7,07	25,23	7,77
nov/21	26,96	8,48	30,50	7,42
dez/21	26,87	7,42	19,79	3,53

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 15 - Eficiência de remoção de fosfato.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando a tabela e gráfico acima, de maneira similar ao fósforo, verifica-se maior eficiência na ETE Potunduva. A eficiência média de remoção de fosfato na ETE SANEJ foi de 72% e na ETE Potunduva 78%, enquanto a eficiência máxima, na primeira atinge 82% e na segunda 91%. Verificou-se valores e comportamento semelhantes nos Gráficos 14 e 15, pois ambos se tratam de compostos fosforados.

### 5.1.13. Coliformes Totais.

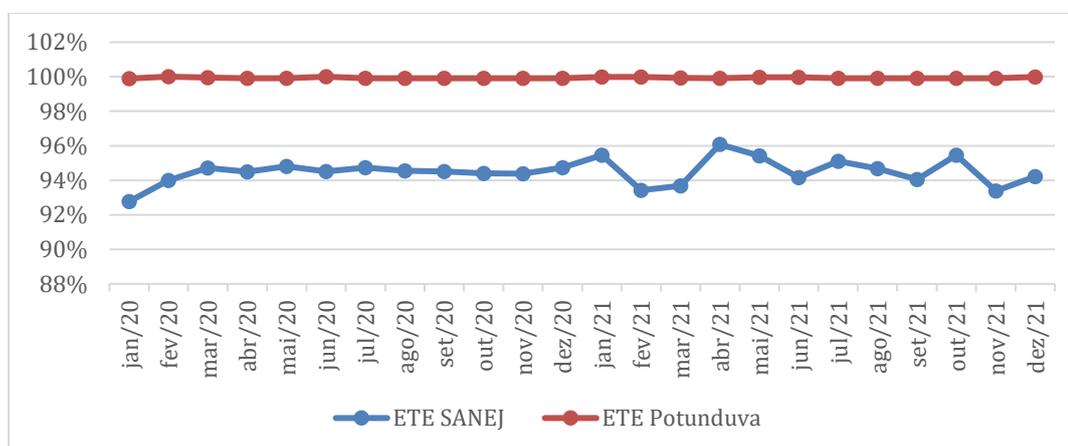
Os coliformes totais, não são mencionados de forma direta nas legislações vigentes de esgoto, pois o que é mencionado são os coliformes termotolerantes (*Escherichia Coli*). Apesar dos coliformes totais não serem controlados por legislação, a Águas de Jahu realiza o controle operacional de suas ETE's analisando o esgoto afluente e efluente. Na Tabela 37 a seguir, são apresentados os resultados de coliformes totais em UFC/100 mL das ETE's SANEJ e Potunduva e no Gráfico 16 é apresentado a eficiência de remoção destes micro-organismos.

Tabela 37 – Análise de Coliformes Totais no esgoto afluente e efluente.

Data	SANEJ		Potunduva	
	Col. Totais aflu. (UFC/100 mL)	Col. Totais eflu. (UFC/100 mL)	Col. Totais aflu. (UFC/100 mL)	Col. Totais eflu. (UFC/100 mL)
jan/20	4,36E+07	3,15E+06	2,81E+08	2,98E+05
fev/20	3,48E+07	2,09E+06	7,81E+09	2,50E+05
mar/20	3,43E+07	1,81E+06	4,42E+08	2,58E+05
abr/20	3,51E+07	1,94E+06	2,82E+08	2,50E+05
mai/20	3,63E+07	1,88E+06	2,60E+08	2,50E+05
jun/20	3,81E+07	2,09E+06	1,07E+09	1,00E+00
jul/20	4,02E+07	2,12E+06	2,60E+08	2,50E+05
ago/20	3,97E+07	2,16E+06	2,62E+08	2,50E+05
set/20	3,56E+07	1,95E+06	2,61E+08	2,50E+05
out/20	4,05E+07	2,27E+06	2,58E+08	2,50E+05
nov/20	3,90E+07	2,19E+06	2,75E+08	2,53E+05
dez/20	4,02E+07	2,12E+06	2,64E+08	2,50E+05
jan/21	1,54E+08	6,99E+06	4,05E+09	2,74E+05
fev/21	9,44E+07	6,21E+06	4,13E+09	2,54E+05
mar/21	6,94E+07	4,39E+06	3,62E+08	2,54E+05
abr/21	9,10E+07	3,57E+06	2,71E+08	2,50E+05
mai/21	3,89E+07	1,79E+06	6,65E+08	2,50E+05
jun/21	3,82E+07	2,23E+06	6,65E+08	2,50E+05
jul/21	1,33E+08	6,51E+06	2,61E+08	2,50E+05
ago/21	3,41E+07	1,81E+06	2,62E+08	2,50E+05
set/21	5,40E+07	3,21E+06	2,60E+08	2,50E+05
out/21	8,34E+07	3,79E+06	2,67E+08	2,51E+05
nov/21	4,61E+07	3,05E+06	2,70E+08	2,51E+05
dez/21	4,22E+07	2,44E+06	2,15E+09	2,62E+05

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 16 - Eficiência de remoção de coliformes totais.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Por meio das análises da Tabela 37 e Gráfico 16 acima, verifica-se que a ETE Potunduva apresenta melhores resultados de remoção de coliformes totais do que a ETE SANEJ. Enquanto que a primeira apresenta eficiências média e máxima de 100%, a segunda mostra resultados de eficiência máxima de 96% e média de 95%.

Vale ressaltar que a ETE SANEJ não apresenta resultados de 100%, porque não é realizada a cloração de seu efluente antes do descarte no corpo hídrico. Como a ETE Potunduva é uma estação recente, foi adotado um sistema de cloração antes do descarte de efluente no corpo hídrico receptor, fato que impacta diretamente na remoção de coliformes totais.

#### 5.1.14. Escherichia Coli.

As legislações que mencionam os limites estabelecidos de *E. Coli* ou Coliformes Termotolerantes são o Decreto 8.468/1976 e CONAMA 357/2005, as quais definem que para rios de Classe 2 o limite estipulado é de 1000 UFC/100 mL e para rios de Classe 3, 4000 UFC/100 mL. Na tabela a seguir, são apresentados os resultados de análises do corpo hídrico receptor a montante e jusante do ponto de lançamento de efluente tratado de ambas as ETE's estudadas.

Tabela 38 - Análise de E. Coli no corpo hídrico receptor.

ETE - Corpo hídrico receptor	E. Coli (UFC/100 mL) Mon/21	E. Coli (UFC/100 mL) Jus/21	E. Coli (UFC/100 mL) Mon/22	E. Coli (UFC/100 mL) Jus/22
SANEJ - Rio Jaú	5,60E+04	9,10E+05	2,20E+03	3,40E+03
Potunduva - Córrego dos Grassis	5,90E+04	6,30E+04	3,10E+03	4,20E+03

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Analisando os resultados apresentados na tabela acima, verifica-se que ambas as ETE's não estão em conformidade com as legislações vigentes no ano de 2021. Porém, vale ressaltar que os resultados nos corpos hídricos, já se encontram fora dos padrões a montante do ponto de lançamento, ou seja, a água dos rios já vem com quantidade excessiva de coliformes termotolerantes antes de receber o efluente tratado das ETE's.

O fato descrito acima, indica a possível presença de descarte de esgoto clandestino no rio, ou por conta de fazendas de criação de gado ao entorno, onde os animais contribuem para a poluição das águas.

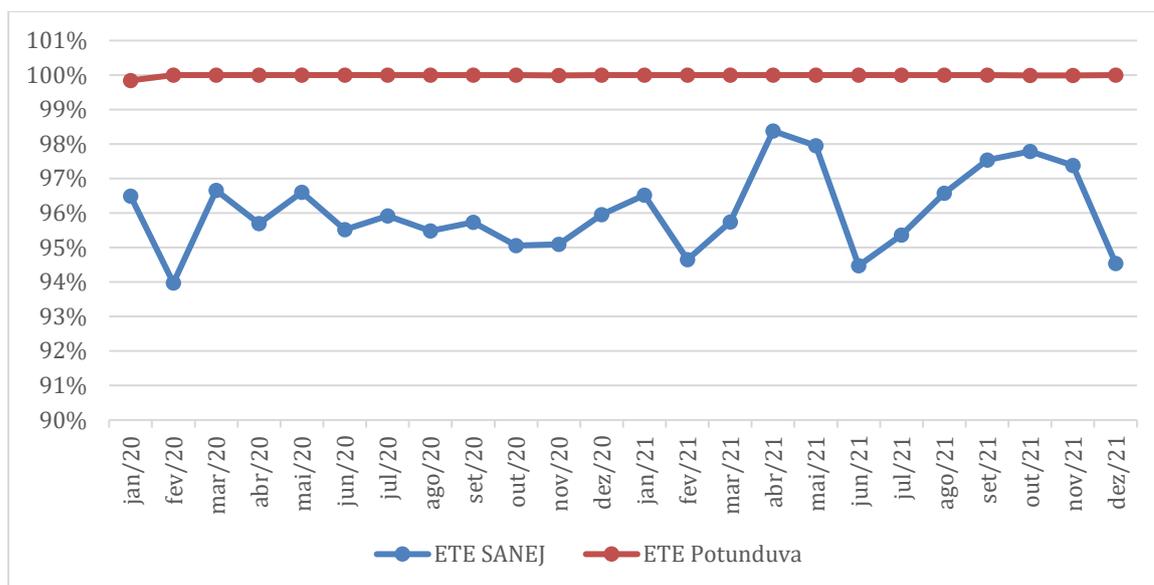
No ano de 2022, os resultados da ETE SANEJ se encontraram dentro dos padrões estipulados pela CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976. Porém, a ETE Potunduva está acima desses padrões em sua montante e jusante, significando que a água já sofre poluição antes do ponto de lançamento de efluente, além de que a vazão do Córrego dos Grassis é baixa, não tendo a diluição desejada do efluente descartado, deixando o corpo hídrico mais vulnerável à poluição.

Além da averiguação dos resultados com as legislações, também é realizada análises no esgoto afluente e efluente das ETE's para monitorar e auxiliar no controle operacional, bem como avaliar a eficiência de remoção de *E. Coli*.

Tabela 39 – Análise de *E. Coli* no esgoto afluente e efluente.

Data	SANEJ		Potunduva	
	E. Coli aflu. (UFC/100 mL)	E. Coli eflu. (UFC/100 mL)	E. Coli aflu. (UFC/100 mL)	E. Coli eflu. (UFC/100 mL)
jan/20	1,86E+07	6,53E+05	3,10E+07	4,79E+04
fev/20	9,84E+06	5,93E+05	7,56E+09	4,10E+02
mar/20	9,27E+06	3,10E+05	1,92E+08	7,71E+03
abr/20	1,01E+07	4,35E+05	3,17E+07	0,00E+00
mai/20	1,13E+07	3,84E+05	1,00E+07	2,00E+01
jun/20	1,31E+07	5,87E+05	8,20E+08	1,00E+00
jul/20	1,52E+07	6,20E+05	9,70E+06	1,00E+00
ago/20	1,47E+07	6,64E+05	1,20E+07	1,00E+00
set/20	1,06E+07	4,52E+05	1,12E+07	1,00E+00
out/20	1,55E+07	7,66E+05	8,40E+06	1,00E+00
nov/20	1,40E+07	6,87E+05	2,54E+07	2,53E+03
dez/20	1,52E+07	6,15E+05	1,37E+07	8,70E+01
jan/21	1,29E+08	4,49E+06	3,80E+09	2,42E+04
fev/21	6,94E+07	3,71E+06	3,88E+09	4,06E+03
mar/21	4,44E+07	1,89E+06	1,12E+08	3,86E+03
abr/21	6,60E+07	1,07E+06	2,09E+07	1,00E+01
mai/21	1,39E+07	2,85E+05	4,15E+08	1,05E+01
jun/21	1,32E+07	7,29E+05	4,15E+08	1,00E+00
jul/21	1,08E+08	5,01E+06	1,09E+07	1,00E+00
ago/21	9,06E+06	3,10E+05	1,16E+07	1,00E+00
set/21	2,90E+07	7,14E+05	9,80E+06	1,00E+00
out/21	5,84E+07	1,29E+06	1,69E+07	1,26E+03
nov/21	2,11E+07	5,53E+05	1,96E+07	1,31E+03
dez/21	1,72E+07	9,39E+05	1,90E+09	1,21E+04

Fonte: Adaptada, Águas de Jahu, 2021.

Gráfico 17 - Eficiência de remoção de *E. Coli*.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando a Tabela 39 e Gráfico 17 acima, verifica-se boa remoção de *E. Coli*, principalmente na ETE Potunduva, onde as eficiências média e máxima são de 100%. Na ETE SANEJ, as eficiências média e máxima, respectivamente, são de 96% e 98%. Da mesma forma que os coliformes totais, pelo motivo de não haver a cloração do efluente na ETE SANEJ, os resultados não ficam com 100% de eficiência.

Apesar dos bons resultados de eficiência, não é o suficiente para cumprir os padrões definidos nas legislações vigentes, principalmente pelo fato de que os corpos hídricos, já apresentam resultados em sua montante, superiores aos requeridos pelas legislações.

## 5.2. COMPARAÇÃO ETE SANEJ X ETE POTUNDUVA.

Com os resultados apresentados e discutidos até aqui, segue na tabela abaixo, uma comparação entre as duas ETE's estudadas, a afim de verificar qual é a mais eficiente para os parâmetros analisados no esgoto afluente e efluente. Vale ressaltar que o "X" indica qual ETE é a mais eficiente para o respectivo parâmetro.

Tabela 40 - Comparação ETE's SANEJ e Potunduva – esgoto afluente e efluente.

Parâmetro	ETE SANEJ	ETE Potunduva
Turbidez	X	
DBO		X
DQO		X
SDT	X	
ST	X	
SFT	X	
SVT	X	
SST	X	
SSF	X	X
SSV	X	
SDV		X
NT		X
N-Amon		X
Fósforo		X
Fosfato		X
Coliformes Totais		X
<i>E. Coli</i>		X

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com os dados da tabela acima, verifica-se que a ETE Potunduva é a mais eficiente de modo geral, principalmente na remoção da matéria orgânica carbonácea e de nutrientes. A ETE SANEJ, por sua vez, apresentou melhores resultados na remoção de sólidos, com exceção dos SDV e os SSF, os quais já foram discutidos anteriormente.

Os dados de temperatura, OD, pH, nitrito e nitrato não foram avaliados na Tabela 40, pois não existe um gráfico de eficiência para tais parâmetros, o que dificulta avaliação de qual ETE é a mais eficiente.

Com o intuito de verificar qual a ETE é a mais eficiente no quesito atendimento às legislações, segue na tabela abaixo uma comparação entre as ETE's SANEJ e Potunduva. A letra "S" indica atendimento às legislações e a letra "N" significa que o parâmetro não atende.

Tabela 41 - Comparação ETE's SANEJ e Potunduva - atendimento a legislações.

Parâmetro	ETE SANEJ	ETE Potunduva
Temperatura	S	S
pH	S	S
OD	S	S
Turbidez	S	S
DBO	S	S
SDT	S	S
N-Amon	S	N
Nitrito	S	S
Nitrato	S	S
Fósforo	N	N
<i>E. Coli.</i>	N	N

Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando a tabela acima, verifica-se que a ETE SANEJ não atende o parâmetro fósforo e *E. Coli.* Já a ETE Potunduva apresenta não conformidade com o N-Amon, fósforo e *E. Coli.*

Em relação ao N-Amon, foi desconsiderado o Decreto 8.468/1976, visto que ambas não atendem ao padrão estipulado, para a comparação proposta na Tabela 41, foi avaliado somente a CONAMA 357/2005. Vale ressaltar que na ETE Potunduva, conforme já discutido anteriormente, o não atendimento do N-Amon pode estar relacionado a baixa vazão do Córrego dos Grassis e/ou erro na aferição dos resultados do laboratório terceirizado.

Em relação a DBO na ETE SANEJ, foi constatado erro na aferição dos resultados. Por isso, para a comparação na Tabela 41, foi considerado que a ETE atende aos padrões esperados nas legislações.

Analisando os resultados do atendimento a legislações, concluiu-se que a ETE SANEJ apresenta superioridade, pois atende a todos os parâmetros com exceção de *E. Coli* e fósforo total, enquanto que a ETE Potunduva deixa de atender aos mesmos parâmetros, além de N-Amon.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.

Todos os parâmetros avaliados tiveram resultados adequados quanto as análises realizadas no esgoto afluente e efluente das ETE's estudadas, bem como a eficiência de remoção destes parâmetros.

De modo geral, a ETE SANEJ apresentou melhores resultados na remoção de sólidos. Já a ETE Potunduva, apresentou melhores resultados na remoção de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes, fato este que já era esperado devido ao tipo de tratamento empregado, o RAALF, que teoricamente é mais eficiente do que o sistema de lodos ativados e as suas variações.

Em relação ao atendimento das legislações vigentes, ocorreram alguns erros de aferição de resultados do laboratório terceirizado em relação a DBO na ETE SANEJ, o que inviabilizou uma análise mais assertiva. Porém, comparando com os resultados operacionais, conclui-se que a ETE está em excelentes condições e atendendo as legislações. Para o N-Amon superior aos limites estipulados pelas legislações na ETE Potunduva, se deve ao fato da vazão baixa do Córrego dos Grassis e/ou por erro do laboratório terceirizado.

Quanto ao fósforo total e *E. Coli*, também ficaram fora dos padrões esperados pelas legislações CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976 em ambas as ETE's estudadas. O fósforo justifica-se pelo fato de o tratamento ser de nível secundário, onde o foco não é a remoção deste composto e/ou por erro do laboratório terceirizado. A *E. Coli*, se deve ao fato de os mananciais já estarem fora dos padrões esperados a montante da ETE, indicando que os rios já sofrem poluição antes mesmo do descarte de efluente tratado.

Apesar de alguns parâmetros não estarem conforme com a CONAMA 357/2005 e Decreto 8.468/1976, temos que todos os parâmetros exigidos pela CONAMA 430/2011 estão sendo atendidos, logo as ETE's estão dentro de suas obrigações legais para efeitos de fiscalização, uma vez que a legislação para lançamento de efluentes atual, é a CONAMA 430/2011.

A remoção de carga orgânica poluidora de DBO e SST aumentaram de 2020 para 2021, fato que pode estar associado as próprias características do esgoto bruto e operacionais das ETE's.

Para maior precisão analítica dos resultados apresentados neste trabalho, seria de grande valia que houvessem laudos atestando a conformidade com as legislações vigentes no ano de 2020. Além dos dados analisando o esgoto afluente e efluente das ETE's no ano de 2022, de modo a garantir um período padronizado para todas as análises realizadas.

Por fim, seguem as recomendações propostas pelo autor:

1. Credenciar o laboratório próprio da Águas de Jahu no MAPA, de modo a não depender de análises de terceiros e correr o risco de inconsistência nos resultados;
2. Um projeto de reforma no RAALF da ETE Potunduva, inserindo um sistema de bombeamento para recirculação do efluente tratado da fase aeróbia para a fase anaeróbia. Este projeto, deverá aumentar a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal, bem como em realizar a conversão de nitrato e nitrito em  $N_2$ , por meio da desnitrificação, visto que ao levar  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$  provenientes do efluente da fase aeróbia para a etapa anaeróbia, transforma-se a mesma em uma câmara anóxica, que é essencial para a desnitrificação.
3. Inserção de um sistema terciário de tratamento para a remoção de fósforo nas duas ETE's estudadas, como por exemplo um flotador;
4. Realizar análises em diversos pontos do Rio Jaú e Córrego dos Grassis, de modo a localizar quais pontos estão sofrendo poluição e deixando a concentração de *E. Coli* fora dos padrões estipulados pelas legislações vigentes. Esta ação está fora do escopo de trabalho da Águas de Jahu, porém poderiam ser realizadas parcerias com outras empresas tanto para descobrir estes pontos, quanto para tomar as ações de remediação.
5. Continuar este estudo, analisando por um período de pelo menos mais dois anos avaliando todos os parâmetros afluentes e efluentes, comparando com as legislações vigentes e avaliando a remoção de carga orgânica poluidora para todos os parâmetros. Também seria importante o incremento de mais dados na pesquisa, como a vazão mensal afluente nas ETE's e dados de pluviosidade, de modo a verificar se o clima tem grande interferência nas características do esgoto bruto, além de ser possível estimar um índice de

contribuição de águas pluviais no esgoto doméstico. Também seria importante avaliar a alcalinidade do efluente, visto que a mesma tem interferência na nitrificação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABREU, Sérgio Brasil; ZAIAT, Marcelo. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Scielo Brasil**, [s. l.], 13 jun. 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/yQTTTrDJGJkQ5qfbShMwYqjF/?lang=pt>. Acesso em: 1 abr. 2022.

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Portal Qualidade das Águas**: Indicadores de qualidade – índice de Qualidade das Águas (IQA). [s/d]. Disponível em:

[http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#:~:text=Coliformes%20termotolerantes,-As%20bact%C3%A9rias%20coliformes&text=Elas%20n%C3%A3o%20s%C3%A3o%20patog%C3%AAnicas%20\(n%C3%A3o,%2C%20febre%20tif%C3%B3ide%2C%20c%C3%B3lera\)](http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#:~:text=Coliformes%20termotolerantes,-As%20bact%C3%A9rias%20coliformes&text=Elas%20n%C3%A3o%20s%C3%A3o%20patog%C3%AAnicas%20(n%C3%A3o,%2C%20febre%20tif%C3%B3ide%2C%20c%C3%B3lera).). Acesso em: 20 out. 2022.

ARAUJO Jr, Moacir Messias, *et al.*, CONGRESSO ABES FENASAN, 2017, São Paulo. **Biorreator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para tratamento de esgoto sanitário** [...]. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em:

<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/05/II-413.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2022.

ARAUJO JR., Moacir Messias de. **Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de lisina**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zaiat. 2006. 160 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil: Área Hidráulica e Saneamento.) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em:

[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-22092006-105702/publico/Araujo\\_Jr\\_MM.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-22092006-105702/publico/Araujo_Jr_MM.pdf). Acesso em: 29 abr. 2022.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **Filtro anaeróbio aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. Orientador: Prof. Dr. Adrianus Cornelius van Haandel. 2004. 190 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004. Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/16837/C%20CDCERO%20ONOFRE%20DE%20ANDRADE%20NETO%20-%20TESE%20PPGRN%202004.pdf?sequence=3>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto nº 8.468, de 31 de maio de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. [S. l.], 31 maio 1976. Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>. Acesso em: 13 jul. 2022.

ÁVILA, R, O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. Disponível em:

<<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/teses/RenataOliveiradeAvila.pdf>>. Acesso em: 20. Abr. 2022.

BIOPROJ. **Tecnologia Ambiental – Biobob**. [s/d]. São Carlos – SP. Disponível em: <http://bioproj.tecnologia.ws/tecnologia/biobob>. Acesso em: 10. Jun. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 430/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005.**

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como esclarecer as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e de outras providências.**

BUENO, Rodrigo de Freitas. **Nitrificação e desnitrificação simultânea em reator com biomassa em suspensão e fluxo contínuo de esgoto**. Orientador: Prof. Associado Roque Passos Piveli. 2011. 143 f. Dissertação (Mestre em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-09092011-153620/publico/Rodrigo.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2022.

BUENO, Rodrigo Freitas *et al.* Tratamento de esgoto sanitário em um sistema cíclico de lodo ativado (SCLA). **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, 8 out. 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletosPDF/II-304.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

CORREA, Camila Zoe. **Uso de micro-organismos eficientes (EM's) na formação de biofilmes em espuma de poliuretano no tratamento de esgoto sanitário**. 2014. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2457/1/LD\\_COEAM\\_2013\\_2\\_05.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2457/1/LD_COEAM_2013_2_05.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2022.

COLLIVER, B.B. & STEPHENSON, T. (2000). Production of nitrogen oxide and dinitrogen oxide by autotrophic nitrifiers. *Biotechnology Advances*, 18: 219-232.

COUTO, Gustavo. **Microbiologia do lodo ativado**. 2017. Disponível em: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/gustavocouto/microbiologia-ambiental/Microbiologia%20do%20lodo%20ativado.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/gustavocouto/microbiologia-ambiental/Microbiologia%20do%20lodo%20ativado.pdf/at_download/file). Acesso em: 02 jun. 2022.

FERRAZ, Danillo Luiz de Magalhães. **Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado**. Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo. 2014. 79 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/16013/1/DanilloLMF\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/16013/1/DanilloLMF_DISSERT.pdf). > Acesso em: 2 out. 2022.

FERREIRA, Fabiana Dian; CORAIOLA, Marcio. Eficiência do Lodo Ativado em Fluxo Contínuo para Tratamento de Esgoto. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, ano 2008, v. 6, ed. 2, p. 259-279, 1 jun. 2008. Disponível

em:<<https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/10514/9911>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FERRO, Leandro Medeiros. **Reator anaeróbio - aeróbio de leito fixo aplicado ao tratamento de esgoto doméstico utilizando conchas de sururu como material suporte**. Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto. 2018. 66 f. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, 2018. Disponível em: <http://200.17.114.109/bitstream/riufal/5239/1/Reator%20anaer%c3%b3bio-aer%c3%b3bio%20de%20leito%20fixo%20aplicado%20ao%20tratamento%20de%20esgoto%20dom%c3%a9stico.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2022.

FONTANA, Hallan. **Pós-Tratamento de esgoto sanitário com biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granulado: Desempenho técnico e estudo de viabilidade econômica**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel. 2007. 151 f. Dissertação (Mestre em Hidráulica em Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-20012009-135058/publico/HallanFontana.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2022.

FREITAS LIMA, Jéssyca de *et al.* Remoção de sulfetos em reator anaeróbio com presença de oxidante. **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], 8 out. 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/II-020.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2022.

GARBOSSA, Luis Hamilton Porpissil. **Avaliação de sistemas anaeróbios - aeróbios com biomassa imobilizada para remoção de nitrogênio de esgoto sanitário e uso do biogás na desnitrificação**. Orientador: Prof. Dr. Tit. Eugenio Foresti. 2006. 144 f. Tese (Doutor em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2006. Disponível em: 48 [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23112006-214314/publico/TESE\\_G214a.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23112006-214314/publico/TESE_G214a.pdf). Acesso em: 25 fev. 2022.

GIMENES, Guilherme. **Disposição de lodo de estação de tratamento de água em reator UASB**. Orientador: Prof. Dr. Edson Aparecido Abdoul Nour. 2014. 83 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/937474>. Acesso em: 4 jun. 2022.

GONÇALVES, Carlos Alberto Menezes; MARQUES, Jefferson Rafael; SARAIVA SOARES, Alexandra Fátima. Avaliação da eficiência de duas modalidades de tratamento de esgoto em escala real e de grande porte. **Periódico Científico do Núcleo de Biociências**, Belo Horizonte, 1 dez. 2015. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas-izabela/index.php/bio/article/view/833/734>. Acesso em: 6 out. 2022.

JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgoto domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

JUNIOR, M. M. A.; **Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de resina**. 2006. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Área Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

LIMA RIZZO, Andrea Camardella de; LEITE, Selma Gomes Ferreira. Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes. **Série Tecnologia Ambiental**, [s. l.], 2004. Disponível em: [http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/339/1/sta-32\\_1.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/339/1/sta-32_1.pdf). Acesso em: 6 abr. 2022.

LUNA, Ysa Helena Diniz Morais de *et al.* Caracterização de lodo anaeróbio produzido em reatores de manta de lodo de baixo tempo de retenção de sólidos. **Revista DAE**, [s. l.], v. 67, n. 218, 26 fev. 2019. Disponível em: [http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_218\\_n\\_1803.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_218_n_1803.pdf). Acesso em: 29 abr. 2022.

MACIEL, Estéfani Barros. **Análise da eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do município de Corrente Piauí**. Orientador: Prof<sup>a</sup>. Esp. Marcília Martins de Silva. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Científica e Tecnologia do Piauí, Corrente - PI, 2019. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/153/2/PDF%20-%20ESTEFANI%20BARROS%20MACIEL.pdf>. Acesso em: 1 out. 2022.

MARTINS NETO, Henrique. **Sistema cíclico de lodo ativado empregado para remoção biológica de nutrientes de esgoto sanitário**. Orientador: Prof. Associado Roque passos Piveli. 2014. 145 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-22052015-151245/publico/Dissertacao\\_HENRIQUE.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-22052015-151245/publico/Dissertacao_HENRIQUE.pdf). Acesso em: 20 maio 2022.

MEDEIROS, Daniel Reis. **Eficiência, Sedimentabilidade e Composição da Microfauna de Sistemas de Lodos Ativados de Fluxo Contínuo e em Batelada, Removendo Nitrogênio**. Orientador: Luiz Fernando Cibys. 2005. 153 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4923/000461534.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como pós tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido**. 2002. 219 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, Sp, 2002. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/eb04/3beadc75d6ba049c2614c6f3e5af90d1668c.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

METCALF & EDDY, Inc.; **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th edition, 1819p, 2003, McGraw-Hill, New York.

MELLO, Edson José Rezende de. **Tratamento de esgoto sanitário: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG**. Orientador: Prof. Dr. Kleber Lúcio Borges. 2007. 99 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária) - UNIMINAS, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://docplayer.com.br/1071642-Tratamento-de-esgoto-sanitario.html>. Acesso em: 11 abr. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Agência Nacional das Águas (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília: [s. n.], 2017.

1 Atlas. Disponível em:

[https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf). Acesso em: 25 maio 2022.

MORETTI, Ronny da Silva *et al.* Tratamento de esgoto sanitário em um reator em bateladas sequenciais compartimentado. **XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], [s/d]. Disponível em:

[https://abesnacional.com.br/XP/XP-](https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento32/TrabalhosCompletoPDF/II-162.pdf)

[EasyArtigos/Site/Uploads/Evento32/TrabalhosCompletoPDF/II-162.pdf](https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento32/TrabalhosCompletoPDF/II-162.pdf). Acesso em: 29 jun. 2022.

OLIVEIRA, George Matheus Dionisio de. **Proposta de uma estação de tratamento de esgoto para o município de Poço Branco/RN**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha. 2020. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em:

[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40503/3/PropostadeumaETE\\_Oliveira\\_2020.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40503/3/PropostadeumaETE_Oliveira_2020.pdf). Acesso em: 3 abr. 2022.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Avaliação da degradação e toxicidade de formaldeído em reator anaeróbio horizontal de leito fixo**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zaiat. 2001. 112 f. Dissertação (Mestre em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em:

[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-29032007-104904/publico/SONIAVALLE\\_M2001.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-29032007-104904/publico/SONIAVALLE_M2001.pdf). Acesso em: 30 maio 2022.

OLIVEIRA NETTO, Antonio Pedro de. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zaiat. 2007. 207 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil - Área de concentração Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-07052007-143501/publico/OLIVEIRANETTO2007.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2022.

PANTOJA FILHO, Jorge Luis Rodrigues. **Remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogênio em reator Aeróbio-Anóxico de leito fixo (RAALF) aplicado ao pós tratamento de efluente de reator anaeróbio**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em:<

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-08022012-105734/publico/pantojafilho.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

PEDROZA, Marcelo Mendes *et al.* Produção e tratamento de lodo de esgoto - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, ed. 16, p. 89-188, 11 nov. 2010. Disponível em:

[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40835/1/Produ%c3%a7%c3%a3oETratamentoDeLodo\\_Sousa\\_2010.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40835/1/Produ%c3%a7%c3%a3oETratamentoDeLodo_Sousa_2010.pdf). Acesso em: 28 abr. 2022.

PIVELI, Roque Passos. **Curso: “Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos físico-químicos”** [s/d]. Disponível em:

[http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo\\_5 - Características Físicas das Aguas.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo_5_-_Características_Físicas_das_Aguas.pdf). Acesso em: 15. Jun. 2022.

ROCHA, Thayse Ferraz da; PEREIRA NETO, Luiz Martins; SOBRINHO, Mauricio Alves da Motta. Avaliação do desempenho de sistemas de lodos ativados por aeração prolongada e qualidade final dos efluentes tratados. **30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/II-198.pdf>. Acesso em: 27 maio 2022.

RODRIGUES, Caroline. **Modelagem e simulação dinâmica de reatores de leito fixo**. Orientador: Dr. Wu Hong Kwong. 2011. 64 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4068/3506.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 mai. 2022.

SANTOS, Pedro Ivo de Almeida. **Remoção de DQO e de Nitrogênio, e estudo dos consórcios microbianos em sistemas com três reatores sobrepostos, em série, alimentado com esgoto sanitário**. Orientador: Prof. Tit. José Roberto Campos. 2004. 190 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-25052005-003933/publico/1\\_Tese\\_PedroIvoSantos.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-25052005-003933/publico/1_Tese_PedroIvoSantos.pdf). Acesso em: 25 abr. 2022.

SILVA, Carlos Ernando. **Sistemas de lodos ativados**. [s/d]. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A4.pdf>>. Acessado em 18 jun. 2022.

SILVA, Natanna Tayná de Melo. **Remoção de carbono e nitrogênio de efluente de matadouro em reator anaeróbio - aeróbio de leito fixo**. Orientador: Prof. Dr. Sávia Gavazza. 2018. 92 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29760/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Natanna%20Tayn%c3%a1%20de%20Melo%20Silva.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.

SINIS, 2020. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2020**. Disponível em: <<https://www.aegea.com.br/2022/03/29/aegea-discute-o-papel-do-marco-do-saneamento-no-xxiv-congresso-nacional-do-ministerio-publico/>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

SOBRINHO, Pedro Alem; SAMUDIO, Edgar Manuel Miranda. Estudo sobre remoção biológica de fósforo de esgoto sanitário, através do processo de lodos ativados operado em bateladas. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], [s/d]. Disponível em: <http://www.ingenieroambiental.com/informesseptiembre/eliminaciondelfosforoportugues.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.

SOUZA, Cristiano Costa de. **Estudo do Desempenho de Reatores de Lodos Ativados de Fluxo Contínuo e de Bateladas no Tratamento de Águas Residuárias em Regime Não Estacionário**. Orientador: Luiz Olinto Monteggia. 2011. 126 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) -

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34519/000789671.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 8 jul. 2022.

SOUZA, J, R, et al. **A importância da qualidade da água e seus múltiplos usos: Caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil.** 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/rede/article/view/1115/1074>>. Acesso em: 10. Jun.

TEOBALDO, Maria Clara Seabra. **Avaliação do desempenho de reatores combinados anaeróbio-aeróbio na remoção de matéria orgânica carbonácea utilizando diferentes meios suportes.** Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Cristiane Kreutz. 2017. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7022/1/avaliacaodesempenhoreatorescombinados.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2022.

VALIM, Patrick Cláudio Nascimento. **Avaliação da ETE Pirapora (MG): Análise da carga orgânica removida e cumprimento da legislação.** Orientador: Prof. Dr. Marcos Erick Rodrigues da Silva. 2016. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Gerenciamento de Projetos para gestão Municipal de Recursos Hídricos.) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://dspace.ana.gov.br/conhecerc/bitstream/ana/1803/1/TCC%20Patrick%20Valim%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, GERRIT “**O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para projetos e operação**”. Campina Grande, UFCG, 1999; 472p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4<sup>a</sup> ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológicos de águas residuárias.** Vol. 4, 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2002.

WOSIACK, Priscila Arcoverde. **Remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada de águas residuárias da indústria de ração animal em reator de leito estruturado.** Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Cláudia Barana. 2014. 93 f. Dissertação (Mestre em Ciência e tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/709/1/Priscila%20Arcoverde%20Wosiac.k.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.