

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IX-001>

Pâmella Raphaella Alphonsus Machado de Paiva Rodrigues Melo *, Carlos Roberto A. dos Santos, Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann

* Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG), e-mail: pamellamelo@discente.ufg.br

RESUMO

O processo de lodos ativados é um dos mais utilizados no tratamento de efluentes, sendo a comunidade microbiana a responsável pela degradação da matéria orgânica, nutrientes e contaminantes nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), impedindo que eles contaminem o solo ou os corpos receptores. Este estudo objetivou analisar a comunidade microbiológica existente no tanque de aeração de uma estação piloto de tratamento de esgoto sanitário urbano, permitindo examinar a eficiência no tratamento. Realizou-se análises microbiológicas qualitativas para caracterizar os grupos de protozoários presentes, bactérias filamentosas e flocos biológicos, e também se realizou análises físico-químicas para diagnosticar a eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes no afluente e efluente. Os resultados mostraram que a espécie de protozoários mais dominante foi a *Vorticella* sp., a estrutura dos flocos biológicos foi caracterizada como densa, dispersa e de cor preta-amarronzada, havia presença de matéria orgânica e de inúmeras bactérias filamentosas, além de alguns vermes e algas não identificados. A média da eficiência de remoção de DBO e DQO foi de 17,64% e 15,17% respectivamente. A partir das análises dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos foi possível observar relações significativas, ressaltando a importância dos microrganismos para a correta eficiência de funcionamento do sistema. Conclui-se a partir das análises microbiológicas e físico-químicas que o sistema não atingiu a eficiência esperada de remoção de matéria orgânica e nutrientes conforme as resoluções CONAMA, sendo necessário o aperfeiçoamento desse sistema antes do lançamento no corpo receptor.

PALAVRAS-CHAVE: Protozoários, flocos biológicos, ETE, análise microbiológica, análise físico-química.

INTRODUÇÃO

O esgoto doméstico que chega às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é rico em matéria orgânica, nutrientes, patógenos e principalmente contaminantes (DEL-GUERCIO, 2017), apresentando geralmente valores de DQO entre 400 a 800 mg/L e DBO entre 200 a 500 mg/L (VON SPERLING, 2005). Somente depois de minucioso tratamento atendendo as condições padrões e exigências da Resolução CONAMA nº 430, o efluente pode ser lançado nos corpos receptores.

Quando não tratados ou não tratados adequadamente, eles contaminam os solos, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e, principalmente, desencadeiam patologias à sociedade, como verminoses, elefantíase, leptospirose e até óbitos, contrariando o que está estabelecido no artigo 2º, inciso XI da Lei Federal 11.445/07: “os serviços públicos de saneamento básico devam ser prestados com segurança, qualidade, regularidade e continuidade”.

A ETE Goiânia atende a uma parcela significativa da população, tratando aproximadamente 57% do esgoto coletado no município e produzindo grandes volumes de lodo primário.

• Panorama do esgotamento sanitário no Brasil, Centro-Oeste, Goiás e Goiânia

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do Brasil de 2010 e 2022 indicaram o aumento da coleta de esgoto e tratamento de esgoto da população brasileira na região Centro-Oeste, no estado de Goiás e no município de Goiânia (tabela 1), influenciando na diminuição das internações totais e óbitos por doenças de veiculação hídrica (tabela 2), demonstrando a relação essencial entre saneamento básico, principalmente o tratamento de esgoto sanitário, a saúde e longevidade populacional.

Tabela 1: Parcela da população sem coleta de esgoto e índice de esgoto tratado referida à água consumida em diferentes localidades. Fonte: SNIS (2010 e 2022).

Localidade	Parcela da população sem coleta de esgoto	Índice de esgoto tratado referido à água consumida
------------	---	--

	2010	2022	2010	2022
Brasil	54,6%	44,5%	36,2%	52,2%
Centro-Oeste	57,9%	38,2%	38,6%	59,3%
Goiás	63,2%	37,0%	40,7%	60,3%
Goiânia	23,4%	2,0%	64,3%	73,4%

Tabela 2: Internações totais e óbitos por doenças de veiculação hídrica em diferentes localidades. Fonte: SNIS (2010 e 2022).

Localidade	Internações totais por doenças de veiculação hídrica		Óbitos por doenças de veiculação hídrica	
	2010	2022	2010	2022
Brasil	603.623	191.418	2.903	2.306
Centro-Oeste	60.539	23.307	241	212
Goiás	32.529	11.792	91	126
Goiânia	4.131	1.568	20	25

- **Etapas do tratamento de efluentes domésticos**

O tratamento do esgoto doméstico, o esgoto bruto percorre diversas etapas até se transformar em esgoto tratado e ser direcionado ao corpo receptor.

A primeira etapa é o tratamento preliminar em que se removem os sólidos de maiores granulometrias, areia e medição de vazão (VON SPERLING, 2014).

A segunda etapa é o tratamento primário em que se removem os sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes com o auxílio de decantadores ou tanques sépticos (VON SPERLING, 2014). A eficiência de remoção de DBO após essa etapa varia de 25% a 35%, a remoção de sólidos em suspensão varia de 60 a 70% e eliminação de coliformes varia de 30 a 40% (VON SPERLING, 2014).

A terceira etapa é o tratamento secundário em que se removem principalmente a matéria orgânica em suspensão e dissolvida, mas pode haver remoção de nitrogênio, fósforo e alguns patógenos. A eficiência de remoção de DBO após essa etapa varia de 60 a 98 %, atendendo a Resolução CONAMA nº 457 e a eliminação de coliformes varia de 60 a 99% (VON SPERLING, 2014).

Essa etapa ocorre através de reatores aeróbios ou anaeróbios, com microrganismos que utilizam ou não o oxigênio para degradação da matéria orgânica, respectivamente. A escolha do reator adequado ao tratamento do esgoto doméstico depende de fatores como volume de esgoto produzido pela população, custos de operação e manutenção, produção de lodo biológico, entre outros. Alguns tipos de sistemas incluem: disposição no solo, como infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração subsuperficial, escoamento superficial; lagoas de estabilização, como lagoa facultativa, lagoa anaeróbia, lagoa aerada de mistura completa, lagoas de alta taxa, lagoas de maturação; sistemas de lodos ativados, como lodos ativados convencional, lodos ativados por aeração prolongada, lodos ativados de fluxo intermitente, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio e fósforo; reatores aeróbios com biofilmes, como filtro de baixa carga, filtro de alta carga, biofiltro aerado submerso e biodisco; sistemas anaeróbios como reator UASB e filtro anaeróbio; sistemas alagados construídos (wetlands), como sistemas alagados construídos, sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial e sistemas alagados construídos de escoamento vertical.

Em algumas situações, pode-se ter a quarta etapa, o tratamento terciário, em que são removidos nutrientes, microrganismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes dos tratamentos anteriores (VON SPERLING, 2014).

- **Tratamento secundário do tipo lodo ativado convencional**

Os sistemas de lodos ativados são uma das tecnologias mais eficazes para o tratamento de águas residuais, e os microrganismos ali presentes desempenham um papel crucial nesse processo. O lodo ativado é um processo biológico no qual os microrganismos consomem a matéria orgânica presente na água, transformando-a em uma biomassa rica em microrganismos, e é responsável pela depuração da água (FERREIRA, 2008). Mas existem também algumas desvantagens, como a necessidade de haver um tratamento complementar, para que o efluente atenda aos padrões da norma vigente (VON SPERLING, 2014).

Os sistemas de lodos ativados podem ser convencionais, com aeração prolongada ou com sistemas de fluxo intermitente. Os sistemas de lodos ativados convencionais contam com uma elevada eficiência em remoção de DBO, podendo remover biologicamente o nitrogênio e fósforo com menor área de instalação (DINIZ, 2021). Os sistemas de lodo ativado com aeração prolongada apresentam os mesmos benefícios que os sistemas de lodos ativados convencionais, mas com menor produção de lodo biológico, constante nitrificação, consumindo mais energia elétrica (DINIZ, 2021). Enquanto que os sistemas de lodo ativado com sistemas de fluxo intermitente, contam com uma elevada eficiência de remoção de DBO empregando menos equipamentos que os sistemas de lodo ativado convencional, mas com custos de implantação e operação mais elevados (DINIZ, 2021).

Em geral, o processo de tratamento do esgoto sanitário com lodo ativado ocorre em três etapas: a aeração, a decantação, a recirculação do lodo biológico e a retirada do lodo biológico excedente no sistema. Na aeração mistura-se a água a ser tratada no lodo ativado nos tanques de aeração compostos de oxigênio, é necessário que haja oxigênio dissolvido suficiente para que haja oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos presentes no tanque de aeração. Na decantação, o lodo biológico juntamente com a água são direcionados a um decantador para que o lodo se deposite no fundo. Em seguida, o lodo biológico sedimentado é recirculado para os tanques de aeração e o seu excesso é removido do sistema.

O tratamento secundário do tipo lodo ativado convencional não necessita de ser operado em grandes áreas, mas apresenta custos mais elevados de implantação, operação e energia elétrica. Ele também apresenta elevada eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) variando entre 85 a 93%, elevada eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) variando entre 80 a 90%, além de menor manifestação de insetos, vermes e odores desagradáveis, contudo, ele apresenta uma baixa eficiência de remoção de coliformes totais e elevada sensibilidade a efluentes contaminados.

- **Parâmetros físico-químicos no tratamento de efluentes domésticos**

No tratamento de efluentes domésticos, é necessário a análise de determinados parâmetros físico-químicos a fim de garantir o adequado lançamento do efluente tratado no corpo receptor, tais como temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos totais (ST).

A temperatura, pH e oxigênio dissolvidos são cruciais para o crescimento e metabolismo dos microrganismos que degradam a matéria orgânica, se não zelados podem interferir no tratamento biológico e nos microrganismos que ali vivem.

O nitrogênio e o fósforo podem ser indicadores de eutrofização do sistema, quando não removidos adequadamente podem poluir as águas subterrâneas e superficiais e provocar efeitos tóxicos aos animais aquáticos.

Os sólidos suspensos voláteis e sólidos totais influenciam na penetração da luz solar no corpo receptor, quando em altas concentrações, eles impedem essa penetração e diminuem a produção de fotossíntese dos organismos fotossintetizadores, afetando a sua sobrevivência.

A demanda bioquímica de oxigênio e a demanda química de oxigênio são indicativos do consumo de oxigênio para a degradação da matéria orgânica, quando em altas concentrações ocasionam a morte de organismos aquáticos e gerar condições sépticas no ambiente (VON SPERLING, 2014).

- **Parâmetros para lançamento de efluentes de acordo com a Resolução Conama nº 430/2011 e Resolução Consema 128/2006**

De acordo com a Resolução Conama nº 430/2011 os valores máximos permitidos de alguns parâmetros físico-químicos para lançamento nos corpos receptores do efluente final oriundo das estações de tratamento de esgoto (ETE), são:

- DBO 5 dias a 20°C: 120 mg/L O₂.
- Eficiência de remoção de DBO: remoção mínima de 60%.
- Temperatura: inferior a 40°C.
- pH: entre 5,0 e 9,0.

De acordo com a Resolução Consema 128/2006 os valores máximos permitidos de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos para lançamento nos corpos receptores do efluente final no Estado do Rio Grande do Sul.

- *E coli*: 10^5 NMP/100 mL.
- DBO 5 dias a 20°C (para vazões menores que 20 m³/dia): 180 mg/L O₂.
- DQO (para vazões menores que 20 m³/dia): 400 mg/L O₂.
- Nitrogênio total Kjeldahl (para vazões menores que 100 m³/dia): 20 mg P/L.
- Fósforo total (para vazões menores que 100 m³/dia): 4 mg P/L.

- **Parâmetros biológicos no tratamento de efluentes domésticos**

No tratamento de efluentes domésticos, é necessário a análise também de determinados parâmetros microbiológicos, tais como coliformes totais e *Escherichia coli* e caracterização dos flocos biológicos e dos microrganismos presentes no tratamento secundário.

As bactérias coliformes totais e *Escherichia coli* são microrganismos propagadores de doenças como desintéria, hepatite A, infecções urinárias, por essa razão precisam ser removidos com eficiência de no mínimo 99% (VON SPERLING, 2014).

Os flocos biológicos provenientes do sistema de lodo ativado possuem uma matriz de polissacarídeos com milhares de bactérias filamentosas formadoras de flocos, protozoários e partículas coloidais, sendo um importante indicador da eficiência do tratamento biológico, permitindo a análise de sua qualidade e a verificação da necessidade de modificações no processo.

As *Vorticella* sp. são protozoários ciliados que se fixam ao lodo ativado e se alimentam de bactérias. Elas desempenham um papel fundamental na manutenção da saúde e eficiência do sistema, pois conseguem controlar a população bacteriana, ao se alimentarem de bactérias, as *Vorticella* sp. ajudam a evitar o crescimento excessivo de algumas espécies, o que pode levar a problemas como o bulking (intumescimento do lodo), também melhoram a qualidade do floco biológico, já que as *Vorticella* sp. selecionam as bactérias mais saudáveis e eficientes, contribuindo para a formação de um floco mais denso e com maior capacidade de sedimentação, *Vorticella* sp. são bioindicadores da qualidade do sistema, pois elas são sensíveis às mudanças nas condições ambientais e só se desenvolvem em ambientes estáveis e com boa qualidade de água, sendo assim a presença de *Vorticella* sp. em um floco biológico é um indicativo de que o sistema está funcionando bem.

A relação entre o lodo ativado e as *Vorticella* sp. é uma simbiose benéfica para ambos. O lodo fornece um habitat e alimento para as *Vorticella* sp., enquanto as *Vorticella* sp. contribuem para a saúde e eficiência do sistema de tratamento de águas residuais. Os sistemas de lodo ativado são essenciais para a proteção do meio ambiente, e as *Vorticella* sp. desempenham um papel crucial nesse processo.

OBJETIVOS

A presente pesquisa objetivou analisar os parâmetros físico-químicos, a microbiota e os flocos presentes no tanque de aeração de um sistema piloto de lodos ativados com a finalidade de avaliar a eficiência do sistema de tratamento biológico.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em um sistema piloto de esgotamento sanitário do tipo lodos ativados na Estação de Tratamento de Esgoto em operação na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dr. Hélio Seixo de Britto em Goiânia, Goiás, aonde foram conduzidas, nos meses de julho, setembro e outubro de 2024, três coletas de amostra do afluente e efluente na entrada e saída do tanque de aeração para as análises físico-químicas e diretamente do tanque de aeração para as análises microbiológicas.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Totais (ST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Oxigênio Dissolvido (OD), Temperatura e Potencial Hidrogeniônico (pH), analisados conforme o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition (APHA, 2012). Os parâmetros microbiológicos analisados foram *Escherichia coli* (*E. coli*), coliformes totais, protozoários presentes no tanque de aeração, flocos biológicos, e bactérias filamentosas, cujos métodos de identificação estão descritos na literatura especializada (LYNN, 2008) e o Systema Naturae 2.000 (BRANDS 1989-2005).

Calculou-se a eficiência (E) de remoção da Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO) usando a fórmula 1.

$$E = \left(\frac{DBO_{afluente} - DBO_{efluente}}{DBO_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (1)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) usando a fórmula 2.

$$E = \left(\frac{DQO_{afluente} - DQO_{efluente}}{DQO_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (2)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção de Nitrogênio Total (N) usando a fórmula 3.

$$E = \left(\frac{N_{afluente} - N_{efluente}}{N_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (3)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção de Fósforo Total (P) usando a fórmula 4.

$$E = \left(\frac{P_{afluente} - P_{efluente}}{P_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (4)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção dos Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) usando a fórmula 5.

$$E = \left(\frac{SSV_{afluente} - SSV_{efluente}}{SSV_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (5)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção de Sólidos Total (ST) usando a fórmula 6.

$$E = \left(\frac{ST_{afluente} - S_{efluente}}{ST_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (6)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de remoção de *Escherichia coli* (*E. coli*) usando a fórmula 7.

$$E = \left(\frac{E.coli_{afluente} - E.coli_{efluente}}{E.coli_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (7)}$$

Calculou-se a eficiência (E) de Coliformes Totais (CT) usando a fórmula 8.

$$E = \left(\frac{CT_{afluente} - CT_{efluente}}{CT_{afluente}} \right) \cdot 100\% \quad \text{equação (8)}$$

RESULTADOS

• Primeira coleta

Realizou-se a primeira coleta no dia 04/07/24, no qual se obteve da amostra do tanque de aeração os valores de OD de 4 mg/l, temperatura de 24° C e o pH de 7.

Na análise qualitativa do lodo biológico observou-se o predomínio no tanque de aeração da espécie de protozoários *Vorticella* sp, figuras 1 e 2, e presença de anelídeos, figura 3. Em geral, os flocos biológicos apresentavam cor preta e marrom, estavam menos densos e dispersos em diversas regiões. Nessa coleta não foi analisado as bactérias filamentosas presentes no lodo biológico.

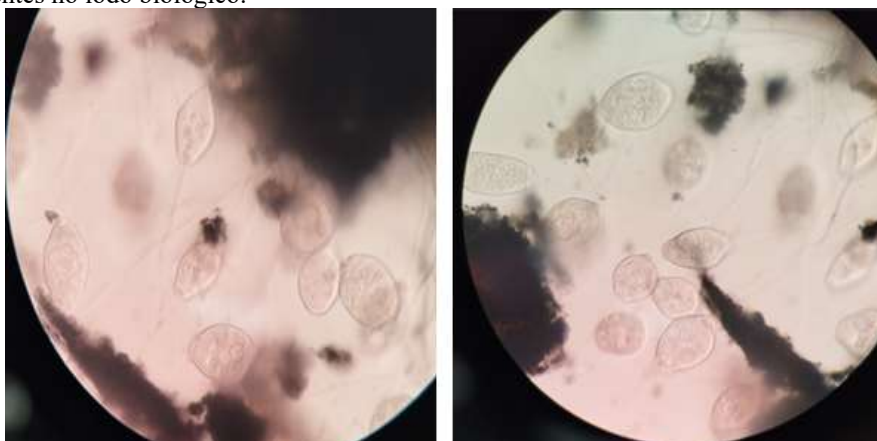


Figura 1: Protozoários *Vorticella* sp. Fonte: Autores (2024).



Figura 2: Protozoários *Vorticella* sp. Fonte: Autores (2024).

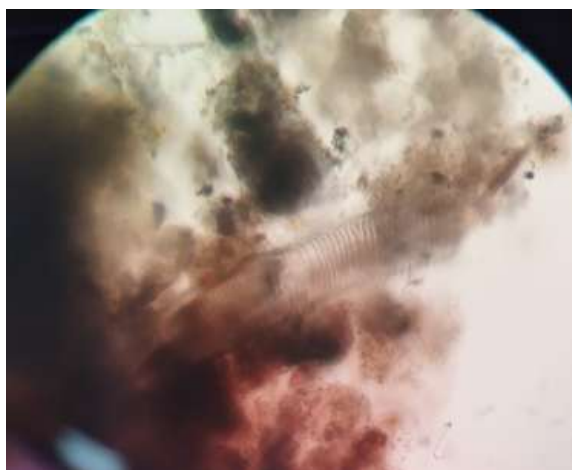


Figura 3: Anelídeo no lodo biológico. Fonte: Autores (2024).

Tabela 3: Resultado da análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos na 1ª coleta. Fonte: Autores (2024).

Parâmetros físico-químicos	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C)	198,00 mg O ₂ /L	158,00 mg O ₂ /L	20,20 %
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	462,30 mg O ₂ /L	375,10 mg O ₂ /L	18,86%
Nitrogênio Total	13,71 mg/L	6,72 mg/L	50,98%
Fósforo Total	9,20 mg P/L	15,10 mg P/L	-64,13%
Sólidos Totais (ST)	506,00 mg/L	458,00 mg/L	9,49%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	40,00 mg/L	30,00 mg/L	25,00%
Coliformes Totais	9,2 x 10 ⁴ NMP/100 mL	9,2 x 10 ³ NMP/100 mL	90,00%
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	9,2 x 10 ⁴ NMP/100 mL	9,2 x 10 ³ NMP/100 mL	90,00%

Os resultados das análises quantitativas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras de afluente e efluente estão na tabela 3. Observa-se que todos os parâmetros, com exceção do fósforo, reduziram após o tratamento biológico.

- **Segunda coleta**

Realizou-se a segunda coleta no dia 13/09/24, no qual se obteve da amostra do tanque de aeração os valores de OD de 0,7 mg/l e o pH de 7,4, a temperatura não foi medida.

Na análise qualitativa do lodo biológico observou-se o predomínio no tanque de aeração da espécie de protozoários *Vorticella* sp. figura 4 e 6. Em geral, os flocos biológicos, figura 5 e 7, apresentavam cor preta e marrom, estavam densos e dispersos em diversas regiões. Havia enorme quantidade de bactérias filamentosas próximas aos flocos biológicos, figura 7.

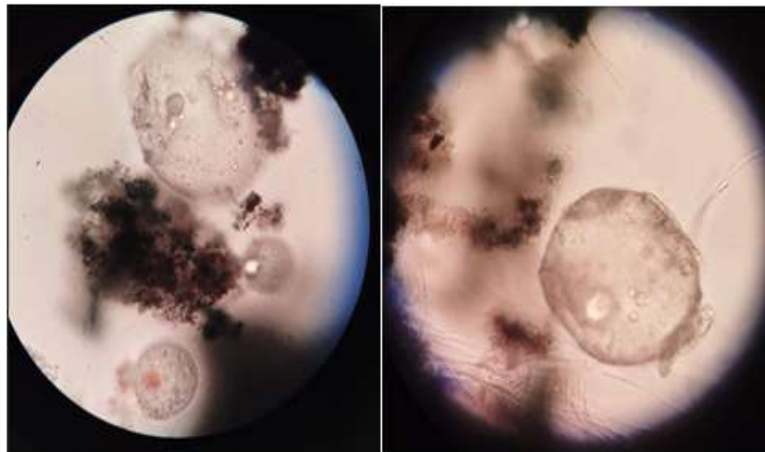


Figura 4: Protozoários *Vorticella* sp. Fonte: Autores (2024).



Figura 5: Flocos biológicos. Fonte: Autores (2024).

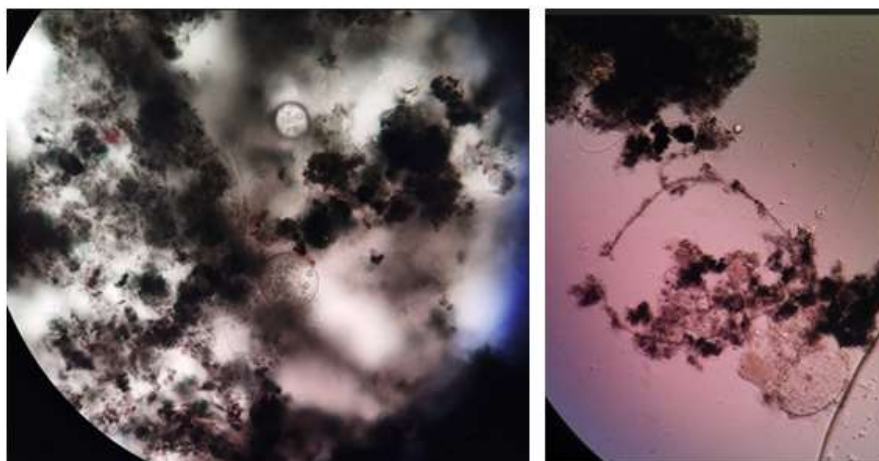


Figura 6: Protozoários *Vorticella* sp. e flocos biológicos. Fonte: Autores (2024).

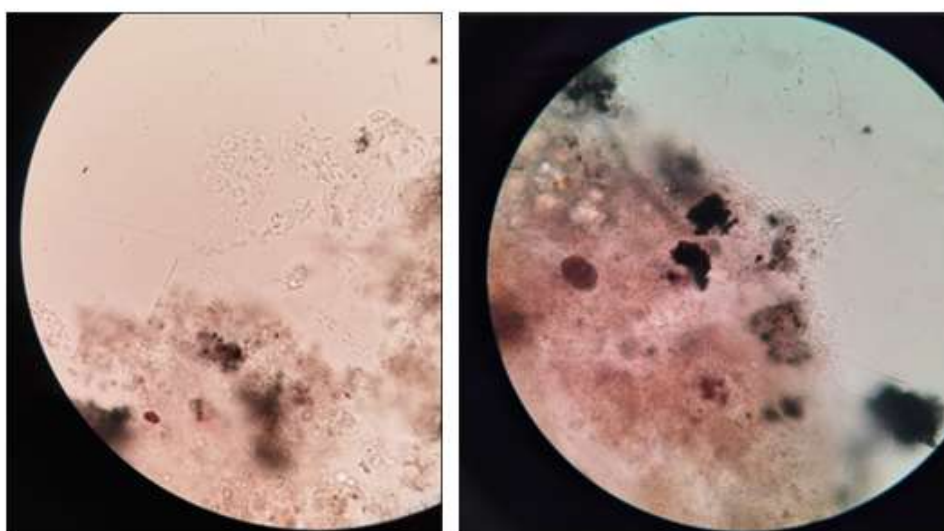


Figura 7: Bactérias filamentosas e flocos biológicos. Fonte: Autores (2024).

Tabela 4: Resultado da análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos na 2ª coleta. Fonte: Autores (2024).

Parâmetros físico-químicos	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C)	180,00 mg O ₂ /L	144,60 mg O ₂ /L	19,67%
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	352,90 mg O ₂ /L	295,70 mg O ₂ /L	16,21%
Nitrogênio Total	38,50 mg/L	28,52 mg/L	25,92%
Fósforo Total	1,00 mg P/L	1,60 mg P/L	-60,00%
Sólidos Totais (ST)	423,00 mg/L	252,00 mg/L	40,43%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	34,00 mg/L	24,00 mg/L	29,41%
Coliformes Totais	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	9,2 x 10 ³ NMP/100 mL	100,00%
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	ausente	100,00%

Os resultados das análises quantitativas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras de afluente e efluente estão na tabela 4. Observa-se que todos os parâmetros, com exceção do fósforo, reduziram após o tratamento biológico.

Terceira coleta

Realizou-se a terceira coleta no dia 23/10/24, no qual se obteve da amostra do tanque de aeração a temperatura de 23°C, pH 7,4 no afluente; pH 7,5 no tanque de aeração e pH 7,6 no efluente, o OD não foi medida.

Na análise qualitativa do lodo biológico observou-se o predomínio no tanque de aeração da espécie de protozoários *Vorticella* sp. figura 8 e 9 e presença de anelídeos, figura 12. De modo geral, os flocos biológicos, figura 10, apresentavam cor preta e marrom claro, estavam muito mais densos com aspecto viscoso e disperso em diversas regiões. Havia enorme quantidade de bactérias filamentosas figura 11.

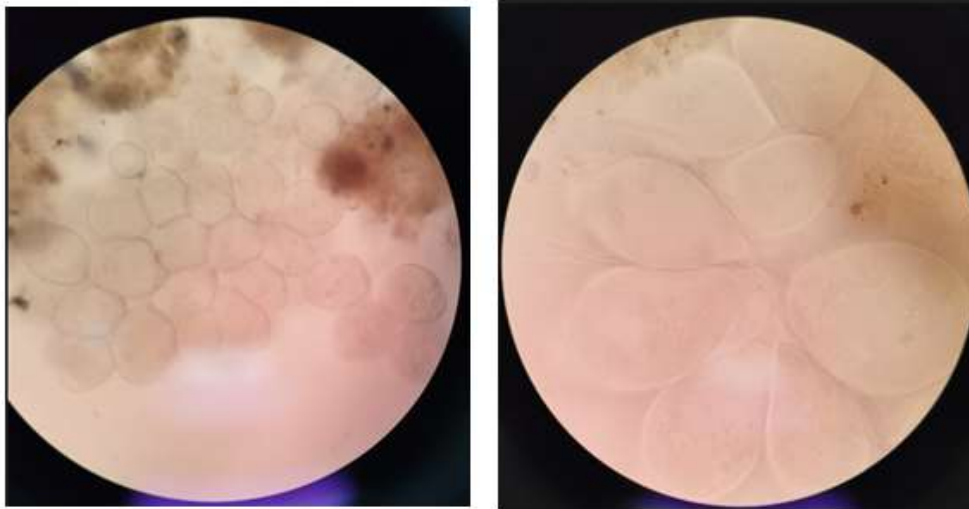


Figura 8: Protozoários *Vorticella* sp. Fonte: Autores (2024).

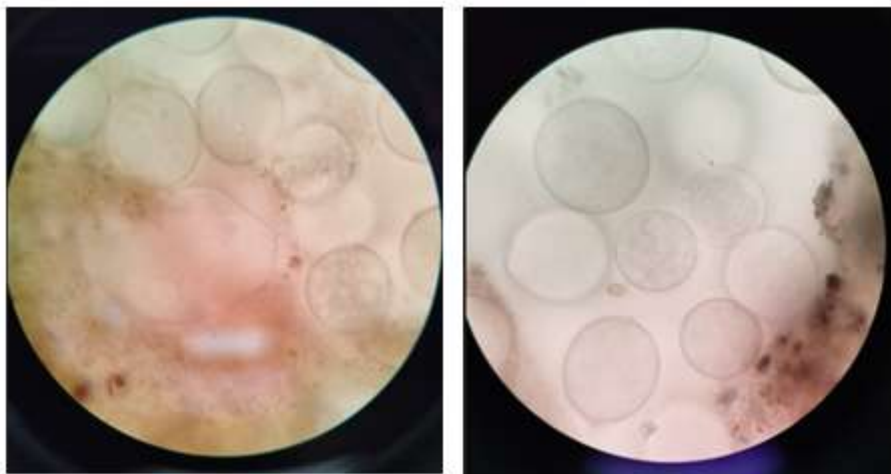


Figura 9: Protozoários *Vorticella* sp. Fonte: Autores (2024).

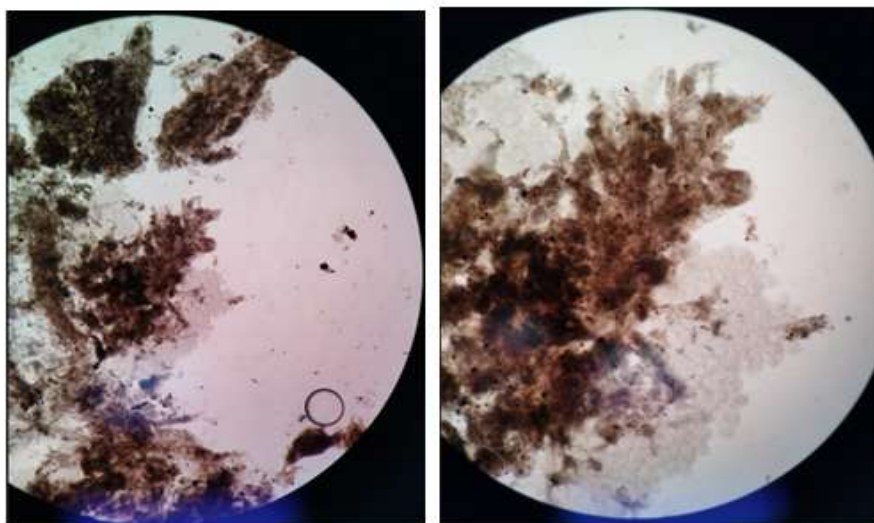


Figura 10: Flocos biológicos. Fonte: Autores (2024).

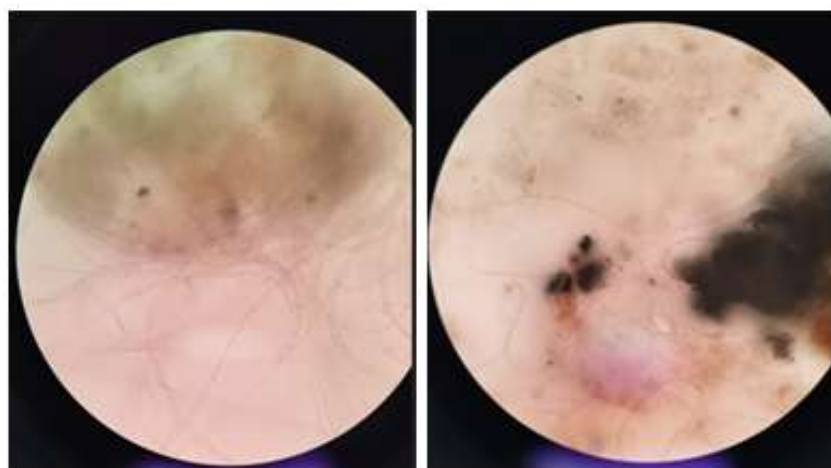


Figura 11: Bactérias filamentosas. Fonte: Autores (2024).

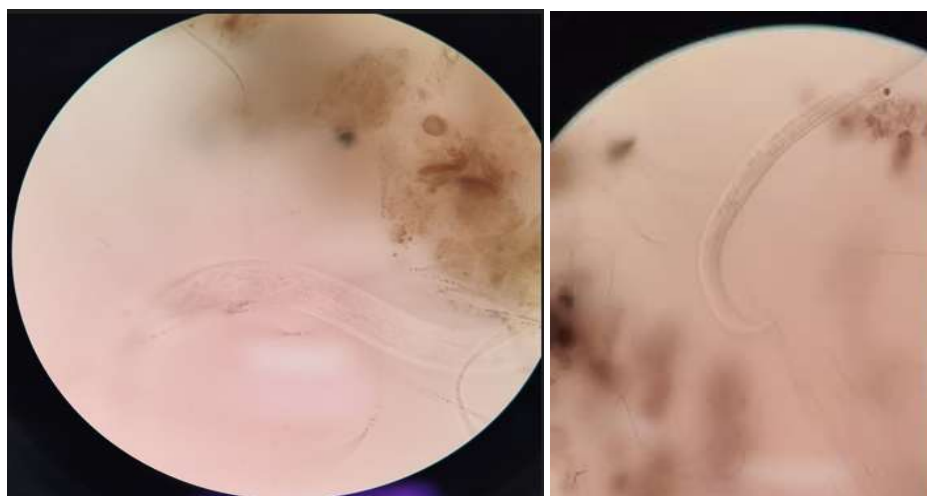


Figura 12: Anelídeos no lodo biológico. Fonte: Autores (2024).

Tabela 5: Resultado da análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos na 3ª coleta. Fonte: Autores (2024).

Parâmetros físico-químicos	Afluentes	Efluentes	Eficiência de remoção
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C)	112,71 mg O ₂ /L	101,57 mg O ₂ /L	9,88 %
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	312,00 mg O ₂ /L	285,40 mg O ₂ /L	8,53%
Nitrogênio Total	12,60 mg/L	7,00 mg/L	44,44%
Fósforo Total	45,20 mg P/L	21,70 mg P/L	51,99%
Sólidos Totais (ST)	1013,00 mg/L	868,00 mg/L	14,31%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	< 2,5 mg/L	< 2,5 mg/L	0,00%
Coliformes Totais	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	0,00%
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	9,2 x 10 ⁸ NMP/100 mL	0,00%

Os resultados das análises quantitativas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras de afluentes e efluentes estão na tabela 5. Observa-se que todos os parâmetros, com exceção dos coliformes totais e *E. coli*, reduziram após o tratamento biológico.

- Média dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos**

Na tabela 6, estão descritos as médias dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas amostras de afluentes e efluentes do sistema de tratamento.

Tabela 6: Média dos resultados da análise dos parâmetros físico-químicos realizados nas três coletas. Fonte: Autores (2024).

Parâmetros físico-químicos	Afluentes	Efluentes	Eficiência de remoção
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C)	163,57 mg O ₂ /L	134,72 mg O ₂ /L	17,64%
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	375,73 mg O ₂ /L	318,73 mg O ₂ /L	18,86%
Nitrogênio Total	21,6 mg/L	14,08 mg/L	34,81%
Fósforo Total	18,47 mg P/L	12,80 mg P/L	30,69%
Sólidos Totais (ST)	647,33 mg/L	526,00 mg/L	18,74%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	25,50 mg/L	18,83 mg/L	26,16%
pH	7,3	7,3	-
Temperatura	23,5 °C	23,5 °C	-
Oxigênio Dissolvido (OD)	2,35 mg/L	2,35 mg/L	-

- Resolução CONAMA nº 430/2011**

No art. 21 da Resolução CONAMA nº 430/2011 é abordado às condições e padrões de lançamento de efluentes diretamente no corpo receptor.

Para o parâmetro temperatura, a resolução afirma que deve ser “inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura”, os resultados das três coletas demonstraram que esse parâmetro está em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro pH, a resolução afirma que deve ser estar “entre 5 a 9”, os resultados das três coletas demonstraram que esse parâmetro está em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro nitrogênio amoniacal total, a resolução afirma que os valores máximos não podem exceder 20,0 mg/L, apenas os resultados da primeira e terceira coleta estão em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro DBO₅ (DBO 5 dias a 20°C), a resolução afirma que deve ter valor “máximo de 120 mg/L”, apenas o resultado da terceira coleta está em conformidade com essa Resolução. Contudo, a resolução também afirma que “sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor”, os resultados de nenhuma das coletas possuem eficiência de remoção mínima de 60% apresentando remoção de 20,20%, 19,67% e 9,88% em cada coleta.

Não existem menções aos parâmetros sólidos suspensos voláteis, sólidos totais, oxigênio dissolvido, fósforo total, DQO, coliformes totais e *Escherichia coli* nessa Resolução.

- **Resolução CONSEMA nº 128/2006**

No art. 20 da Resolução CONSEMA nº 128/2006 é abordado os padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul em função da vazão:

Para o parâmetro Nitrogênio total, a resolução afirma que para vazões menores que 100 m³/dia, o Nitrogênio Total Kjeldah “deve atender ao valor de concentração de 20 mg/L”, apenas os resultados da primeira e terceira coleta estão em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro DQO, a resolução afirma que para vazões menores que 20 m³/dia, “o padrão de emissão do parâmetro DQO é de 400 mg O₂/L, os resultados das três coletas demonstraram que esse parâmetro está em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro DBO, a resolução afirma que para vazões menores que 20 m³/dia, o padrão de emissão do parâmetro DBO₅ é de 180 mg O₂/L, os resultados das três coletas demonstraram que esse parâmetro está em conformidade com a Resolução.

Para o parâmetro Fósforo total, a resolução afirma que para vazões menores que 100 m³/dia, o fósforo “deve atender ao valor de concentração de 4 mg/L”, apenas o resultado da segunda coleta está em conformidade com a Resolução.

Para a *E. coli* e coliformes totais, a resolução afirma que para vazões menores que 100 m³/dia “o padrão de emissão de coliformes termotolerantes ou *E. coli* deve atender ao valor de concentração de 10⁵ NMP/100 mL”, apenas os resultados da primeira e segunda coleta estão em conformidade com a Resolução.

Não existem menções aos parâmetros sólidos suspensos voláteis, sólidos totais, oxigênio dissolvido, pH e temperatura nessa Resolução.

De acordo com Von Sperling (1995), sistemas de tratamento de esgoto sanitário com eficiência de remoção de DQO inferior a 20% é um indicativo que está havendo uma baixa degradação da matéria orgânica, os resultados de nenhuma das coletas estão possuem eficiência de remoção de DQO superior a 20% apresentando remoção de 18,86%, 16,21% e 8,53% respectivamente.

Para Von Sperling (1995), o nitrogênio e o fósforo em altas concentrações podem indicar o fenômeno de eutrofização do sistema, o sistema de tratamento avaliado teve apenas o valor de nitrogênio e fósforo na segunda coleta diferentes das Resoluções, quando foi observado algas, sinalizando baixa propensão de eutrofização nesse sistema.

Os resultados das eficiências de remoção de SSV foram de 25%, 29,41% e 0,00% respectivamente em cada coleta, de acordo com Von Sperling (1995), valores baixos de eficiência de remoção de SSV podem evidenciar fragilidades na eficiência no sistema de tratamento de esgoto sanitário. Já os resultados das eficiências de remoção de ST foram de 9,49%, 40,43% e 14,31% respectivamente em cada coleta; de acordo com Von Sperling (1995), valores baixos de eficiência de remoção de ST podem evidenciar problemas no funcionamento do sistema, precisando de reajustes.

Para o sistema de lodos ativados funcione corretamente, Giordano e Sureus (2015) afirmam que eles precisam que a sua temperatura esteja entre 26 e 35° C, pH entre 6,8 e 8,2 e OD entre 0,5 e 2 mg O₂/L. Ao avaliar esses parâmetros em cada coleta, observou-se que apenas o parâmetro pH nas três coletas está em conformidade com os autores. O valor de 0,7 mg/L de OD da segunda coleta demonstrou baixo consumo de oxigênio pelos microrganismos para a degradação da matéria orgânica, caso esse oxigênio dissolvido não aumentar poderia levar esses microrganismos a morte, interferindo na qualidade do sistema de tratamento. Mas ao avaliar a média desses parâmetros, tabela 4, o pH está em conformidade

com os autores, o OD demonstrou-se um pouco acima com 2,35 mg/L, e a temperatura demonstrou-se um pouco abaixo com 23,5 °C.

As baixas eficiências de remoção de DBO e DQO evidenciam, possivelmente, dificuldades dos microrganismos em degradar a matéria orgânica, é esperado que para compensar isso, o OD estivesse elevado, assim aumentaria a multiplicação dos microrganismos e eles aumentariam a degradação de matéria orgânica, contudo o baixo valor de OD obtido na segunda coleta sugeriu que esses microrganismos estavam em decaimento celular, por isso, possivelmente a baixa eficiência de remoção.

A presença dos protozoários *Vorticella* sp no sistema de tratamento pode ser uma evidência de baixa oxigenação no sistema e baixa variedade de gêneros de protozoários pode ser um indicativo de que os problemas operacionais desse sistema de tratamento estão selecionando os microrganismos menos sensíveis (ALMEIDA, 2008).

A relação DQO/DBO do esgoto bruto encontrada foi de 2,3, por ser abaixo de 2,5, ele é caracterizado como águas residuárias passíveis de tratamento biológico (MIGUEL, 2020) e pode indicar elevada fração biodegradável passível de tratamento biológico (BRAILE E CAVALCANTI, 1979).

CONCLUSÕES

Por meio do presente trabalho foi possível analisar os parâmetros físico-químicos Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Suspensos Voláteis, Sólidos Totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Temperatura e Potencial Hidrogeniônico e observou que estão em conformidade com a Resolução CONAMA nº 430 os parâmetros temperatura, pH e nitrogênio total estão em conformidade com essa resolução e o parâmetros DBO não está em conformidade com essa resolução.

Quanto a Resolução CONSEMA nº 128, os parâmetros nitrogênio total, DBO, DQO, *E. coli* e coliformes totais estão em conformidade com essa resolução, o parâmetro fósforo total está parcialmente conforme com essa resolução. Os demais parâmetros que não foram abordados nessas Resoluções, de acordo com a literatura demonstraram possuir valores elevados.

A eficiência de remoção de SSV e ST está abaixo do esperado pela literatura, evidenciando fragilidades na eficiência no sistema de tratamento de esgoto sanitário e problemas no funcionamento do sistema.

A partir dos resultados de nitrogênio e fósforo observou-se que dificilmente o sistema de tratamento está passando por um processo de eutrofização.

Também foi possível analisar os parâmetros microbiológicos, no afluente e efluente observou-se a presença de coliformes totais e *E. coli*, com eficiência de remoção alta na primeira e segunda coleta e ausência de remoção na terceira coleta, observou-se a presença de anelídeos, bactérias filamentosas e flocos biológicos dispersos, densos e de cor entre marrom e preto.

Já quanto aos protozoários observou-se dominância da espécie *Vorticella* sp e presença de diversas bactérias filamentosas nos flocos biológicos no tanque de aeração do sistema piloto da estação de tratamento de esgoto do tipo lodos ativados convencional.

As baixas eficiências de remoção de DBO e DQO demonstraram que os microrganismos estão passando por dificuldades para degradar a matéria orgânica, isso somado ao baixo valor de OD da segunda coleta evidenciou que possivelmente esses microrganismos estavam em decaimento celular.

A avaliação da eficiência do sistema de tratamento biológico demonstrou que o sistema ainda não foi capaz de atingir a eficiência esperada na maioria dos seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos conforme a Resolução CONAMA nº 357 e a literatura, recomendando-se que o sistema passe por melhorias antes que o efluente seja disposto no corpo receptor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almeida, Paulo Rogério Menezes de; ARAUJO, R. A. **Microfauna de protozoários como indicador de eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto do tipo lodo ativado**. Feira de Santana-BA, v. 117, 2008.
2. Apha, A. P. H. A. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: Byrd Prepress Springfield, p.1134, 2005.

3. Braile, P. M.; Cavalcanti, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, CETESB, 1979.
4. Brands, S.J. 1989-2005. *Systema Naturae 2000*. Amsterdam, The Netherlands. Disponível em: <http://sn2000.taxonomy.nl>. Acesso: 15 de abril de 2025.
5. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
6. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.
7. Del-Guercio, A. M. F.; Christofolletti, C. A.; Fontanetti, C. S. **Avaliação da eficiência do tratamento de efluente doméstico pelo teste do micronúcleo em *Oreochromis niloticus* (Cichlidae)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1121-1128, 2017.
8. Diniz, R. B. **Lodos ativados aplicados no tratamento de esgoto doméstico e industrial: avaliação de duas ETEs localizadas no município de Juiz de Fora – MG**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2021.
9. Ferreira, Fabiana Dian; CORAIOLA Márcio. **Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto**. Rev. Acad. Ciênc. Anim. 15 de abril de 2008; 6(2):259-7.
10. Giordano, G; Sureus, V. **Efluentes industriais: Estudo tratabilidade**, PUBLIT, Rio de Janeiro, 2015.
11. Lynn, D.H. 2008. **The ciliated Protozoa - characterization, classification, and guide to the literature**. 3rd ed. Springer, 605p. PMid:16325540.
12. Miguel, A. A.; Paschoalato, C. F. P. R.; Novaes, L. F. **Proposição de reuso da água residuária de uma usina sucroalcooleira situada no interior de São Paulo**.
13. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>>.
14. VON SPERLING, M.V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de efluentes**. 2. ed. Belo Horizonte: ed. UFMG, 1995.
15. VON SPERLING, M.V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de efluentes**. 4. ed. Belo Horizonte: ed. UFMG, 2014..