

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA MUDANÇA DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO PARA REATOR AERÓBIO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE MATELÂNDIA – PR

HEERDT, Matheus¹
MULLER JUNIOR, Nelson²

RESUMO: O pensamento voltado à preservação do meio ambiente, o lançamento criterioso de efluente de esgoto tratado no corpo receptor, assim como outros avanços na área do saneamento proporcionam melhor qualidade de vida as pessoas afetadas. Diante disso, este artigo apresenta o estudo de caso da mudança de reator anaeróbico de leito fluidizado para reator aeróbico na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Matelândia – PR. O objetivo foi analisar quão significativas foram as melhorias no tratamento do esgoto após essa alteração. Para tanto, realizou-se um levantamento de dados quanto às possíveis melhorias, uma descrição da funcionalidade da ETE, comparando-se os dados operacionais e os indicadores antes e após a troca do reator, com auxílio de programas de computador e gráficos para quantificar e expor as mudanças de forma compreensível. Os resultados revelaram que houve uma melhoria no tratamento de esgoto por meio de efluentes lançados no corpo receptor, com valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio reduzidos em 91,09% e Demanda Química de Oxigênio notavelmente inferiores ao período anterior à troca. Constatou-se também o aumento da eficiência da ETE em si, porém, ao custo de grande elevação no consumo de energia elétrica devido ao uso de bombas de recirculação de lodo entre o decantador secundário e o reator aeróbico, assim como o sistema de aeração em si.

Palavras-chave: Indicadores. Saneamento. Afluente. Efluente.

1. INTRODUÇÃO

Devido as inúmeras alterações que o ser humano causa no meio ambiente, são necessárias ações que têm por objetivo prevenir doenças e garantir a saúde humana. Nesse sentido, o saneamento constitui-se como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, que confere à população uma melhor qualidade de vida. Com o avanço do conhecimento, de tecnologias e de investimentos na área do saneamento, muitas são as inovações desenvolvidas para proporcionar uma vida melhor a todos (BRASIL, 2019).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: matheushee@hotmail.com.

² Docente, Especialista, Engenheiro civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

A Norma Brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) apresenta a definição de esgoto sanitário como sendo o despejo líquido formado por quatro partes: o esgoto doméstico proveniente das necessidades fisiológicas e higiênicas humanas; o esgoto industrial, gerado por processos industriais, desde que respeitem os padrões impostos; as águas e infiltrações vindas de maneira indesejável por penetrações; e as contribuições pluviais parasitárias, provindas da chuva, sendo uma pequena parte absorvida pela rede de coleta de esgoto.

Independentemente da relação entre a carga poluente a ser lançada e a vazão do corpo receptor, é aconselhado que se faça um lançamento do líquido de forma criteriosa. Após o tratamento, deve-se levar o esgoto tratado até um local de lançamento que não cause danos estéticos ou sanitários ao corpo receptor, de modo que seja possível reutilizar a água tratada (NUVOLARI, 2011).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS - (BRASIL, 2020), o município de Matelândia, localizado na região Oeste do Paraná, tem 18.107 habitantes. Com relação à rede de esgoto, há um atendimento urbano de 93,47% e de 67,52% se considerado também a parte não urbana, ou seja, a totalidade do município, sendo que 100% de todo esse esgoto coletado é tratado. A produtividade é de 913,80 ligações por empregado, muito acima da média nacional, que é de 370,62 ligações.

Expostas essas informações, a realização deste trabalho justifica-se pela busca por conhecimento e pela necessidade do atendimento aos parâmetros ambientais, para que se tenha um ambiente salubre à fauna, à flora e à população humana.

Tendo-se a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Matelândia (PR) como *locus* de pesquisa, buscou-se entender a funcionalidade e a finalidade das estruturas utilizadas para tratamento, demonstrando-se as possíveis melhorias decorrentes da substituição de um reator anaeróbio de leito fluidizado com filtro anaeróbio por um reator aeróbio com decantador secundário. Em âmbito de saneamento, a melhoria da qualidade do efluente significa um avanço na qualidade de vida das pessoas afetadas pelas ações.

Institucionalmente, a realização de um trabalho na área de saneamento demonstra a valorização do pensamento voltado à preservação do meio ambiente, assim como a consequente melhoria na qualidade de vida humana, reforçando o desenvolvimento de investigações nessa área que representa uma das muitas na quais atuam os engenheiros civis.



A pergunta que motivou este estudo foi: quão significativa foi a melhora do tratamento de esgoto após a mudança dos reatores e demais unidades de tratamento na ETE na cidade de Matelândia, localizada na região Oeste do Paraná?

O estudo foi limitado à análise dos dados de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, sólidos, vazão, geração de lodo, identificação das estruturas presentes na ETE, consumo de energia elétrica, licença de operação e outorga do corpo receptor, informações avaliadas antes e depois das mudanças na forma de tratamento da ETE em questão. O levantamento dos dados foi realizado por meio de solicitação no portal da transparência da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Não foram feitos testes laboratoriais, mas utilizados os disponibilizados por essa Companhia. Assim, a pesquisa restringiu-se ao levantamento e à análise de dados, visualizados por meio de gráficos que revelam ou não a melhora no tratamento de esgoto, descrevem a funcionalidade da ETE e comparam os dados antes e após a substituição do reator.

Diante disso, o objetivo geral foi analisar dados laboratoriais dos indicadores da qualidade do esgoto e funcionais, antes e depois da mudança de reatores e demais estruturas de tratamento na ETE de Matelândia (PR).

Os objetivos específicos, por sua vez, foram:

- a) Levantar dados dos indicadores da qualidade do esgoto e funcionais da ETE;
- b) Descrever a funcionalidade da ETE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indicadores da qualidade do esgoto

2.1.1 Demanda bioquímica de oxigênio – DBO

A DBO diz respeito um teste empírico cuja função é medir a quantidade de oxigênio necessária para que micróbios oxidem compostos orgânicos de uma determinada amostra aquosa, como a do esgoto. Geralmente, esse teste necessita de um período de incubação de cinco dias para apresentar resultados (PATNIAK, 1997).



Dacach (1979), considera que a DBO depende do teor da matéria orgânica, assim como da natureza e da quantidade de bactérias presentes. Assim, quanto maior for a DBO, maior será o teor de matéria orgânica presente. É possível, desse modo, medir a eficiência de uma estação de tratamento de esgoto por meio da redução causada na DBO, que geralmente é expressa em porcentagem.

2.1.2 Demanda química de oxigênio – DQO

A DQO é a medição do oxigênio equivalente da matéria orgânica, em uma determinada amostra, que seja sujeita à oxidação (PATNIAK, 1997). Pelo fato de que a DQO apresenta um resultado em cerca de três horas, muito mais rápido que a DBO, é um teste mais utilizado quando monitoramentos mais frequentes são necessários (CARNEIRO; ANDREOLI, 2013).

2.1.3 Comparativo entre DBO e DQO e a importância do oxigênio dissolvido

A DBO apresenta processos parecidos com os da natureza, pois oxida por meio de microrganismos, porém, são necessários cinco dias para a análise e apresenta pouca repetibilidade. A DQO, por sua vez, é pouco parecida com os processos naturais, e a oxidação se dá por meio da utilização de reagentes químicos. É um teste rápido e com uma repetibilidade superior à DBO (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Rocha, Rosa e Cardoso (2004), explicam que o oxigênio é necessário para organismos aquáticos, como bactérias aeróbias, os quais o utilizam como aceptor de elétrons, degradando os poluentes que estejam no sistema aquático.

2.1.4 Resíduos sólidos

Na obra organizada por Nuvolari (2011), verifica-se que a consequência de haver resíduos sólidos na água, principalmente se forem provenientes de esgoto sanitário, é um aumento na turbidez da água, o que acarreta a diminuição da admissão de luz e reduz a saturação do oxigênio dissolvido.



2.2 Níveis de tratamento de efluente de esgoto

O esgoto a ser tratado tem os poluentes removidos em diferentes níveis de tratamento, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar está provavelmente presente em todas as estações de tratamento de esgoto, ao passo que o primário pode ou não estar presente. Considerando que, no Brasil, o esgoto geralmente é tratado somente até o nível secundário, pouco se adota o nível terciário de tratamento (BRASIL, 2008).

Com base no documento produzido pela Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (BRASIL, 2008), os níveis de tratamento podem ser assim escritos:

- No tratamento preliminar, visa-se à remoção principalmente de sólidos grosseiros e areia, o primeiro é removido por grades, sendo elas de diferentes tamanhos, e o segundo por meio de caixas de areia, conhecidas como desarenadores;
- No tratamento primário, os sólidos não grosseiros que ainda se encontram em suspensão podem ser removidos por intermédio de sedimentação, utilizando-se, para isso, decantadores primários, que separam os sedimentos, ao fundo e os óleos e as graxas, ao topo;
- No tratamento secundário, é realizada uma aceleração de processos naturais de degradação que ocorreriam nos corpos receptores, utilizando-se, por exemplo, sistemas de lodo ativado, reatores aeróbios, anaeróbios e filtros biológicos;
- No tratamento terciário, segundo Araújo (2013), o objetivo é remover poluentes que permaneceram no efluente, mesmo após as etapas de tratamento anteriores.

2.3 Estruturas de tratamento de esgoto

Na ETE em Matelândia (PR), são usadas as seguintes estruturas, explicadas na sequência: (i) Gradeamento; (ii) Desarenador; (iii) Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF); (iv) Filtro anaeróbio; (v) Lodo ativado: Reator aeróbio com decantador secundário; (vi) Adensador de lodo e (vii) Leito de secagem de lodo.



2.3.1 Gradeamento

O gradeamento tem a finalidade de proteger as peças, os equipamentos e as tubulações do sistema de tratamento de esgoto. Utiliza-se de barras de ferro ou aço dispostas paralelamente, sendo verticais ou inclinadas, com espaçamento dimensionado (CETESB, 2018).

De acordo com Além Sobrinho e Tsutiya (1999), as grades podem ser classificadas com base em seus espaçamentos, sendo finas, quando têm entre 10 e 20mm, médias, entre 20 e 40mm, e grossas, entre 40 e 100mm.

2.3.2 Desarenador

O desarenador, quando do tipo canal retangular, é composto por dois canais dispostos paralelamente que intercalam sua utilização e, com isso, possibilitam a manutenção. A sua função é remover areia por meio da sedimentação, nesse processo, não são eliminados os sólidos orgânicos (MIZUMO, 2015).

2.3.3 Reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF)

O RALF é um tanque cilíndrico, em fibra de vidro, chapas metálicas ou concreto, que contém um sistema de distribuição do afluente. Essa estrutura pode ser composta por tubos que distribuem o lodo ao fundo do reator, fazendo com que o fluxo do líquido seja ascendente, além de ter separador de fases na parte de cima, com possibilidade de coleta e remoção do biogás formado. Devido ao fluxo ascendente, o peso das partículas no reator se iguala à força de arraste, tornando o leito fluidizado, com as partículas movimentando-se de forma independente.

Esse reator, quando em funcionamento, é considerado trifásico, sendo a primeira a fase sólida, de material inerte, que permite a retenção dos sólidos e fixação da biomassa, podendo aderir e fixar microrganismos. A segunda fase consiste na imersão dos sólidos, sendo renovados devido ao fluxo do efluente. Por fim, a terceira é caracterizada pela formação do biogás (CHERNICHARO, 2001).



2.3.4 Filtro anaeróbio

O filtro anaeróbio é uma unidade de tratamento entendida como opção viável para pós-tratamento de reatores tipo RALF. Opera com leito fixo submerso e fluxo ascendente, em que as bactérias anaeróbias garantem a decomposição da matéria orgânica, promovendo o contato dos compostos presentes no esgoto com a biomassa. Utiliza-se de pedra brita número quatro ou cinco como meio suporte, esse que é mantido em um tanque cilíndrico ou retangular, cuja altura pode variar o suficiente para garantir a melhor remoção da matéria orgânica (BRASIL, 2019).

2.3.5 Lodo ativado: reator aeróbio com decantador secundário

O lodo ativado, composto por reator e decantador secundário, tem o objetivo de remover a matéria orgânica com a utilização de bactérias aeróbias. O sistema de aeração fornece oxigênio e homogeneiza o esgoto a ser tratado dentro do reator. Nele, as bactérias que crescem se encarregam de remover a matéria orgânica. A chamada biomassa sedimentará no decantador secundário, no qual o efluente poderá ir ao corpo receptor. Já o lodo que sedimentou ao fundo do decantador será bombeado ao reator, garantindo eficiência ao sistema de tratamento (BELO HORIZONTE, 2015).

Na obra organizada por Nuvolari (2011), descreve-se que o processo aeróbio tende a ser mais eficiente, rápido e controlável, porém, consome notável quantidade de energia elétrica devido às bombas de recirculação e ao sistema de aeração, sendo também compreendidos como grande gerador de lodo.

2.3.6 Adensador de lodo

O adensador de lodo tem a função de retirar do lodo a umidade, diminuindo o seu volume e deixando maior o teor de sólidos. Quando trabalha por gravidade, os adensadores tendem a serem circulares, alimentados pelo centro e com a saída do lodo por baixo da estrutura. O material sobrenadante, por sua vez, escoará pelas laterais, retornando ao processo de tratamento de esgoto (CETESB, 2018).



2.3.7 Leito de secagem de lodo

O leito de secagem de lodo é uma estrutura que apresenta condições para a disposição final dos lodos. Basicamente, separa o sólido do líquido, utilizando de um meio com areia, permitindo o escoamento da água e a sua evaporação, dada a exposição ao ambiente. Deve-se remover o lodo do leito quando apresentar-se seco, retornando à água que percolou ao sistema de tratamento de esgoto (BELO HORIZONTE, 2015).

2.4 Lodo proveniente do tratamento de esgoto

Quando tratado, o esgoto gera um resíduo conhecido genericamente por lodo de esgoto, o qual precisa de uma destinação que seja aceitável ambientalmente (ANDREOLI, 2001).

A quantidade e as características do lodo produzido pelo tratamento do esgoto dependem da sua qualidade, assim como da forma com que foi realizado o tratamento. No tratamento anaeróbio, o contato intenso entre os flocos de lodo e as partículas orgânicas do esgoto fazem com que seja floculado e se torne parte da fase sólida, do lodo em si. A parte não biodegradável se acumulará como parte inerte, sendo descartada como lodo de excesso. O sistema anaeróbio opera com superior concentração de lodo, se comparado ao aeróbio, porém, a fração biodegradável do lodo desse último é superior, pois o próprio lodo ativado é composto por massa bacteriana aeróbia (ANDREOLI, 2001).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e localização da pesquisa

Esta pesquisa, é um estudo de caso descritivo com abordagem qualitativa e quantitativa, analisando-se os indicadores da qualidade de esgoto por meio de dados solicitados à SANEPAR, empresa responsável pelo tratamento de esgoto na cidade de Matelândia (PR).

O estudo foi realizado por meio da análise de dados relacionados à qualidade dos afluentes e efluentes de esgoto na estação em estudo, buscando-se verificar a melhoria no tratamento desse processo após a substituição de um reator, descrever a funcionalidade da ETE,

com auxílio de revisões bibliográficas para os momentos de antes e depois das mudanças na estação e demonstrar, com comparativos, as possíveis alterações ligadas aos dados operacionais e aos indicadores da qualidade do esgoto.

3.2 Caracterização da amostra

Este estudo foi efetuado na ETE de Matelândia (PR), visualizada na Figura 1, que se localiza próxima à BR-277, ao Sul da cidade.

Figura 1: Localização da estação de tratamento de esgoto em Matelândia, Paraná



Fonte: Google Maps (2022).

Os dados selecionados variam quanto ao intervalo das realizações das análises laboratoriais, por exemplo: análises semanais ou mensais. O recorte temporal compreende os anos de 2017 a 2022. A seleção desse período possibilitou análise entre o momento em que se utilizava o RALF e após a substituição pelo reator aeróbio. As análises laboratoriais envolveram seguintes indicadores referentes aos afluentes e efluentes da ETE: DBO; DQO; Sólidos; Temperatura; pH; Vazão.

Também foram considerados dados para análise a licença de operação da ETE, a outorga referente ao corpo receptor, a geração de lodo, os gastos com energia elétrica e a identificação

das estruturas utilizadas na ETE referentes aos momentos anteriores e posteriores às principais mudanças na estação em avaliação.

3.3 Procedimentos e instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de pedido enviado pelo portal da transparência, o qual solicitava as informações necessárias à realização deste estudo e explicava as motivações da pesquisa. Esse procedimento ocorreu no mês de abril de 2022, recebeu-se a resposta da SANEPAR, empresa responsável, no mês de maio de 2022.

Além das informações mencionadas, recorreu-se a materiais bibliográficos já publicados, de modo a fornecer o embasamento teórico e metodológico para o entendimento das funcionalidades das estruturas utilizadas no tratamento de esgoto e para descrever o funcionamento da ETE em si.

Os dados fornecidos pela empresa responsável pela ETE de Matelândia (PR) foram organizados quanto ao tipo. Por exemplo, separam-se os dados de demanda bioquímica de oxigênio da demanda química de oxigênio. Além disso, também foram organizados quanto à data de realização da análise laboratorial das amostras, sendo adaptados com relação à frequência da realização das análises laboratoriais (testes mensais, semestrais, anuais etc.), e quanto ao período total referente aos dados fornecidos, de 2017 até o ano de 2022.

Os dados das análises laboratoriais foram estruturados conforme a planilha exposta na Tabela 1. A partir das categorizações supracitadas, as informações foram divididas em momentos anteriores e posteriores às mudanças na estação de tratamento de esgoto, sobretudo pelo início da utilização de reator aeróbio e decantador secundário como tratamento secundário.

Tabela 1: Planilha para organização de dados laboratoriais

[illegible]

Fonte: Autor (2022).

Os dados relativos ao consumo de energia elétrica e descarte de lodo foram sistematizados com auxílio da planilha visualizada na Tabela 2, sendo ordenados por data e separados por períodos de antes e depois da mudança principal na ETE. Na primeira linha, consta o nome do dado correspondente aos valores. A coluna da esquerda foi preenchida com as datas referentes ao valor numérico do dado em si e na coluna da direita o valor numérico e unidade de medida.

A funcionalidade da ETE foi descrita com auxílio de materiais bibliográficos. Para tanto, foram separados os períodos de antes e depois da mudança principal na ETE, descrevendo-se o fluxo do esgoto a ser tratado pelas estruturas presentes em ambos os períodos, assim como a indicação dos níveis de tratamento dessas estruturas presentes nos citados momentos. Foram desenvolvidos fluxogramas que auxiliaram na descrição da funcionalidade.

A vazão foi verificada quanto ao atendimento dos parâmetros impostos pela outorga referente ao corpo receptor e se houve alteração em seu valor numérico após a mudança na ETE.

Os dados de pH e temperatura foram verificados quanto à existência ou não de mudança notável em seus valores numéricos, selecionando uma quantidade amostral idêntica dos anos de 2018 e 2020 para análise da temperatura. Para o pH, selecionaram-se os valores de antes e após a mudança principal, calculando-se a média entre esses e comparando os dois valores. Ressalta-se que aumento ou a diminuição desses não representa melhora no tratamento de esgoto, apenas deveriam se enquadrar nos limites pré-definidos.

Os valores numéricos referentes aos dados de consumo de energia elétrica e descarte de lodo foram calculados utilizando o programa *Excel*, obtendo-se a média desses valores referentes ao período de antes e após a mudança principal na ETE, o que possibilitou verificar se a mudança causou variação numérica nos dados.

Os dados de antes e depois da mudança principal na estação de tratamento de esgoto em Matelândia (PR) foram comparados considerando-se o consumo de energia elétrica e a quantificação da geração de lodo, a fim de se avaliar a possível melhora no tratamento de esgoto representada pelos indicadores fornecidos.

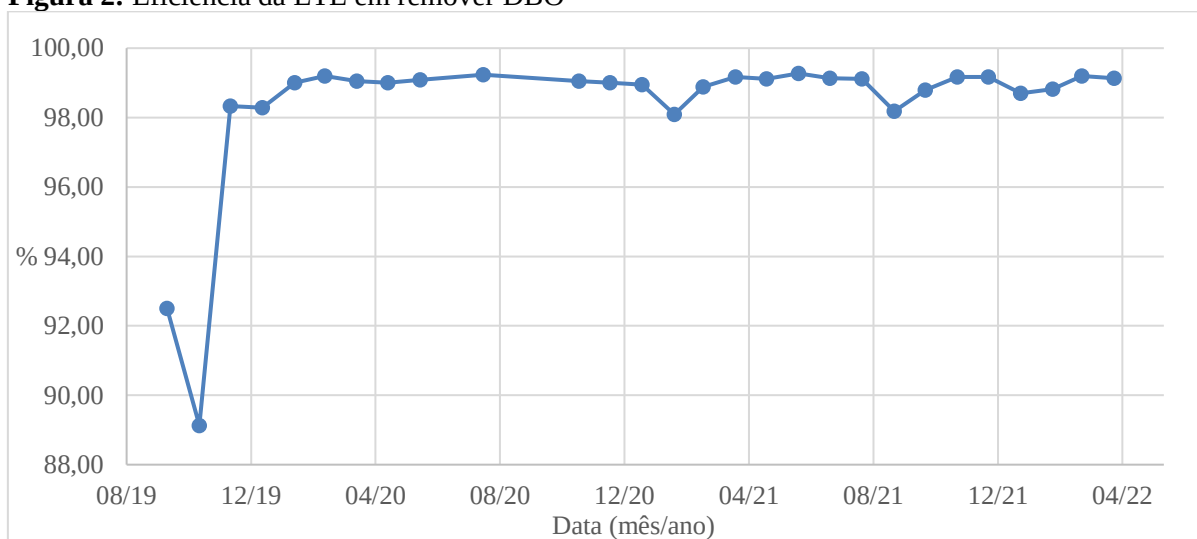
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados gerados para este estudo foram fornecidos pela SANEPAR, os quais, após tratados e analisados, culminaram na elaboração deste artigo. As especificidades de cada verificação, descrição e comparação, assim como as dificuldades encontradas, constam nesta seção.

4.1 Eficiência da estação de tratamento de esgoto

A verificação da eficiência da ETE, conforme o explicado por Dacach (1979), resultou na Figura 2, que demonstra as reduções causadas pela ETE na DBO.

Figura 2: Eficiência da ETE em remover DBO

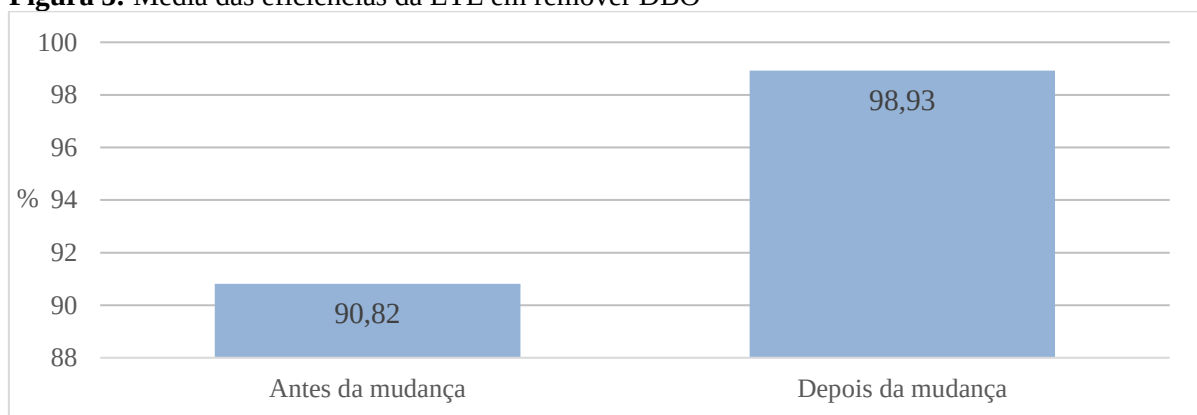


Fonte: Autor (2022).

Verificou-se notável aumento na eficiência da ETE após o mês de novembro de 2019, representando o início das operações do reator aeróbio com decantador secundário. Após a mudança, não foram encontradas amostras que resultassem em uma eficiência inferior a 98,10%, mas superior ao maior valor de 92,5% obtido antes da mudança. Verificou-se a veracidade do apresentado na obra organizada por Nuvolari (2011), de que processos aeróbios tem maior eficiência.

Em 11 amostras pós-mudança na ETE, os valores de DBO em mg/L foram disponibilizados pela SANEPAR sem um valor numérico, mas informou-se que seriam menores do que 4 mg/L, muito inferior à média de 49,22 mg/L com desvio padrão de 2,63 lançada anteriormente à mudança. Foi necessário arbitrar o valor numeral quatro para aqueles que se encontravam na situação citada antes, o que possibilitou o cálculo das eficiências, deixando constatado que elas, assim como a média geral de depois da mudança (Figura 3), tendem a ser maiores à medida que o valor de DBO poderia se apresentar como inferior a quatro.

Figura 3: Média das eficiências da ETE em remover DBO

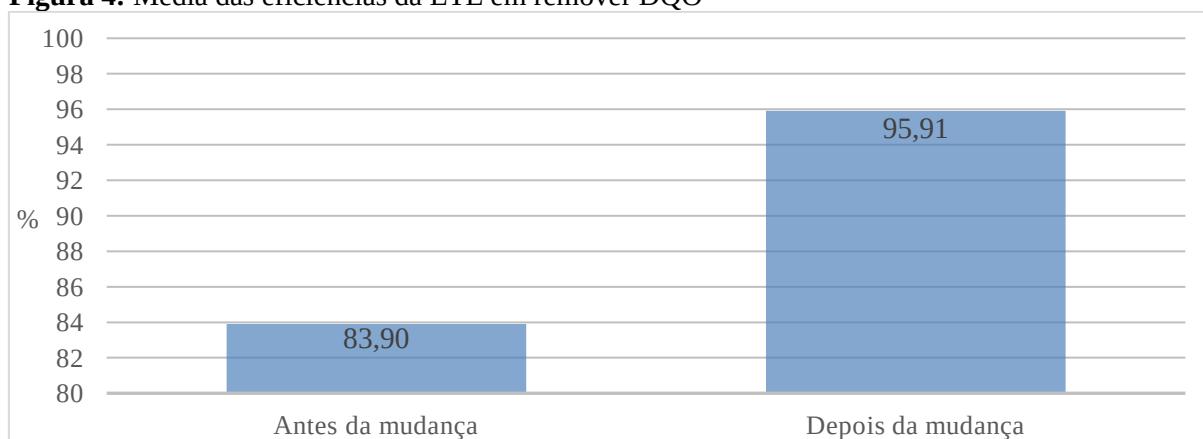


Fonte: Autor (2022).

Devido à existência de apenas dois dados anteriores à mudança na ETE que continham ambos os valores de afluente e efluente, foi possível obter somente duas medidas de eficiência, o que diminui a confiança quanto à sua eficiência média no respectivo momento, verificando-se uma média de $90,82 \pm 2,34\%$ de eficiência, consolidando 8,93%, como o aumento na eficiência da ETE em remover DBO após a mudança, passando para $98,93 \pm 0,34\%$.

A eficiência da estação em eliminar DQO também demonstrou mudança, como visualizado no Figura 4, passando de $83,9 \pm 0,65\%$ para $95,91 \pm 2,04\%$.

Figura 4: Média das eficiências da ETE em remover DQO



Fonte: Autor (2022).

Houve uma elevação significativa de 14,32% na média das eficiências em remover DQO após a mudança na ETE, sendo superior ao aumento de mesma capacidade em relação à DBO, porém, com os valores das médias apresentando-se como inferiores ao encontrado no tocante à DBO.

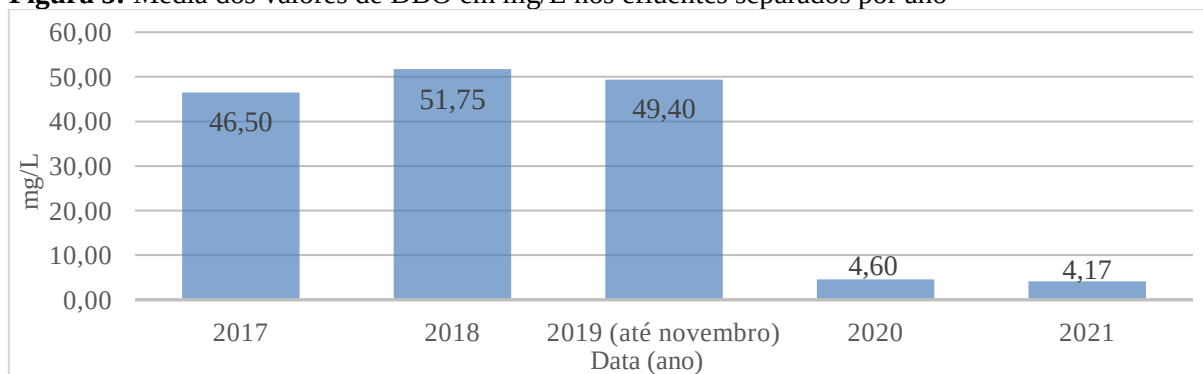


4.2 Verificação dos indicadores

4.2.1 DBO

As médias dos valores de DBO nos efluentes foram organizadas na Figura 5, que apresenta os respectivos valores por ano, com exceção de dezembro de 2019, sendo esse após a mudança e detendo apenas uma amostra, impossibilitando cálculo de média para tratamento de dados.

Figura 5: Média dos valores de DBO em mg/L nos efluentes separados por ano



Fonte: Autor (2022).

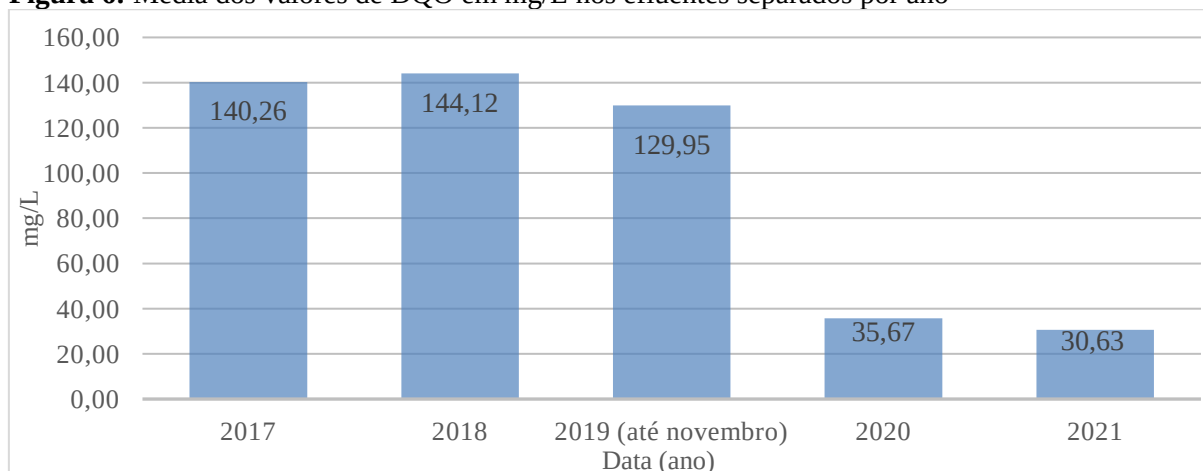
Com base no gráfico da Figura 5, atesta-se uma expressiva melhoria no tratamento de esgoto, representada pela diminuição na média dos valores de DBO nos efluentes de esgoto da ETE após a mudança, em que a média era de $49,22 \pm 2,63$ mg/L e passou para $4,38 \pm 0,31$ mg/L, uma diminuição média de 91,09%, atingindo valores notavelmente abaixo do limite máximo de 60 mg/L imposto pela licença de operação da ETE. Ressalta-se que, após a mudança, houve amostras com valor de DBO arbitrado para 4 mg/L, pois os dados apenas informavam que eram menores que 4 mg/L, o que gera o entendimento de que a diminuição na média dos valores de DBO após a mudança tendem a serem ainda maiores que 91,09% em relação ao período anterior à mudança.

4.2.2 DQO

O mesmo procedimento da DBO foi realizado com relação à DQO, resultando na Figura

6.

Figura 6: Média dos valores de DQO em mg/L nos efluentes separados por ano



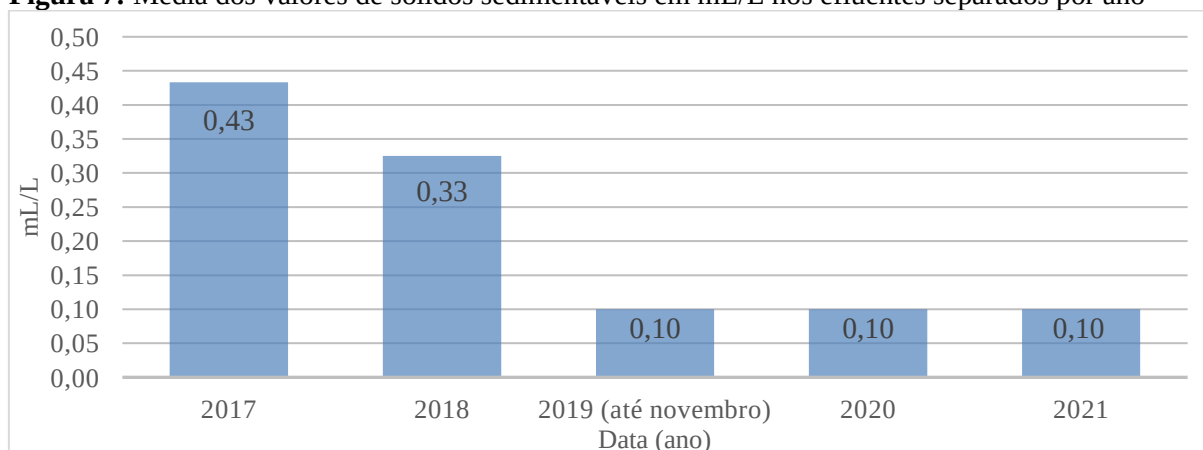
Fonte: Autor (2022).

Notou-se que, assim como a DBO, a DQO sofreu grande redução em seu valor médio nos efluentes após a mudança na ETE, passando de, em média, $138,11 \pm 7,32$ mg/L para $33,15 \pm 3,56$ mg/L, representando notável melhoria constatada pela redução de, em média, 76,00% no valor desse indicador. Foram atingidos valores notavelmente abaixo do limite máximo de 150 mg/L imposto pela licença de operação da ETE.

4.2.3 Sólidos sedimentáveis

Os valores de sólidos sedimentáveis em mL/L apresentaram, em média, os valores no efluente demonstrados na Figura 7.

Figura 7: Média dos valores de sólidos sedimentáveis em mL/L nos efluentes separados por ano



Fonte: Autor (2022).

Visualiza-se uma possível melhoria na remoção dos sólidos sedimentáveis já no ano de 2019, antes mesmo da mudança na ETE, entretanto, a sua quantificação é muito imprecisa, visto que parte considerável das amostras foi dada como valor inferior a 0,1 mL/L. Como não foram apresentados números exatos, os valores foram obtidos por meio de arbitragem para 0,1 mL/L, tornando imprecisas as médias obtidas, que podem ser inferiores ao demonstrado. Desse modo, consideraram-se impossíveis a quantificação e a confirmação de que a diminuição dos sólidos sedimentáveis presentes no efluente de esgoto provenientes da ETE foram causados pelas suas mudanças.

4.2.4 Vazão

A vazão aferida no efluente de esgoto tratado pela ETE teve um aumento de 8,99%, indicando pequena elevação na sua capacidade. Todavia, após a mudança, manteve-se uma vazão 1,17% inferior à máxima permitida na outorga para o lançamento de efluentes da ETE, demonstrando estar operando próxima ao limite permitido para esse dado.

4.2.5 pH

Antes da mudança, a média do pH era de $7,89 \pm 0,18$, depois passou a ser de $7,24 \pm 0,2$, caracterizando um decréscimo médio de 8,20%. Como explanado na metodologia, essa diminuição não caracteriza melhora ou piora no tratamento do esgoto, mas que ambos os valores, assim como as amostras individuais, se encontram, dentro do intervalo de 5 a 9 imposto na licença de operação da ETE, demonstrando atendimento ao parâmetro ambiental.

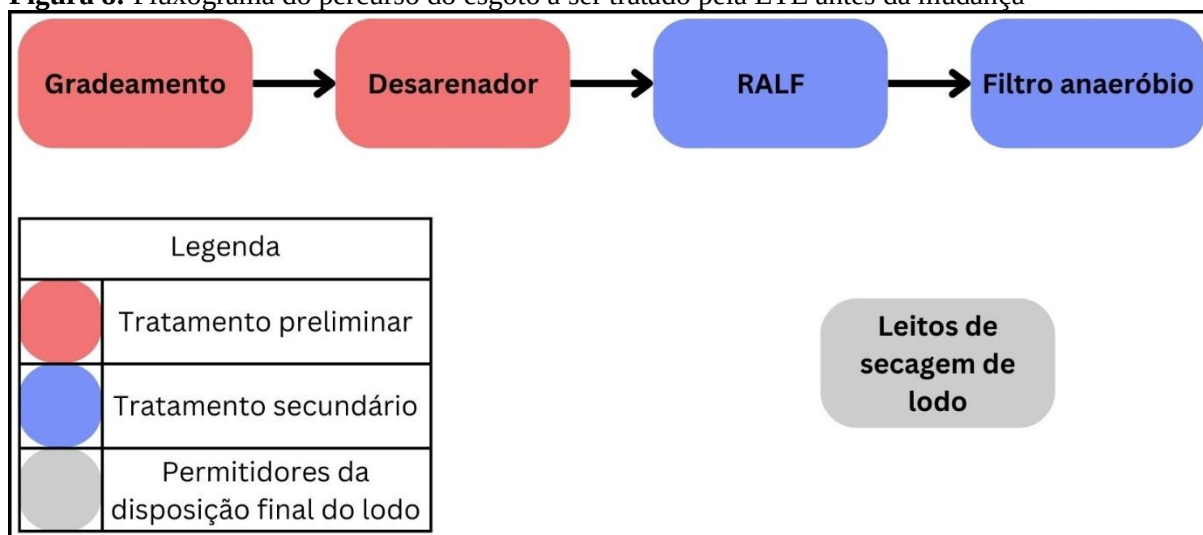
4.2.6 Temperatura

A temperatura média do efluente de esgoto tratado foi de $22,78 \pm 2,83$ °C no ano de 2018 e de $26,02 \pm 2,55$ °C em 2020, logo, verifica-se um aumento de 14,19%. Contudo, assim como no caso do pH, a alteração dos valores não representa melhora ou piora no tratamento do esgoto, pois ambas as médias calculadas, assim como os valores individuais das amostras, enquadram-se abaixo do limite máximo imposto de 40°C pela licença de operação da ETE.

4.3 Descrição da funcionalidade da ETE

Antes da mudança na ETE (Figura 8), o esgoto passava pelo tratamento preliminar, composto por gradeamento e desarenador, partindo para o tratamento secundário, por meio do reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) e filtro anaeróbio, permitindo que o efluente de esgoto tratado fosse ao lançamento no corpo receptor. O lodo proveniente do tratamento do esgoto utilizava-se de leitos de secagem para ter sua disposição final permitida.

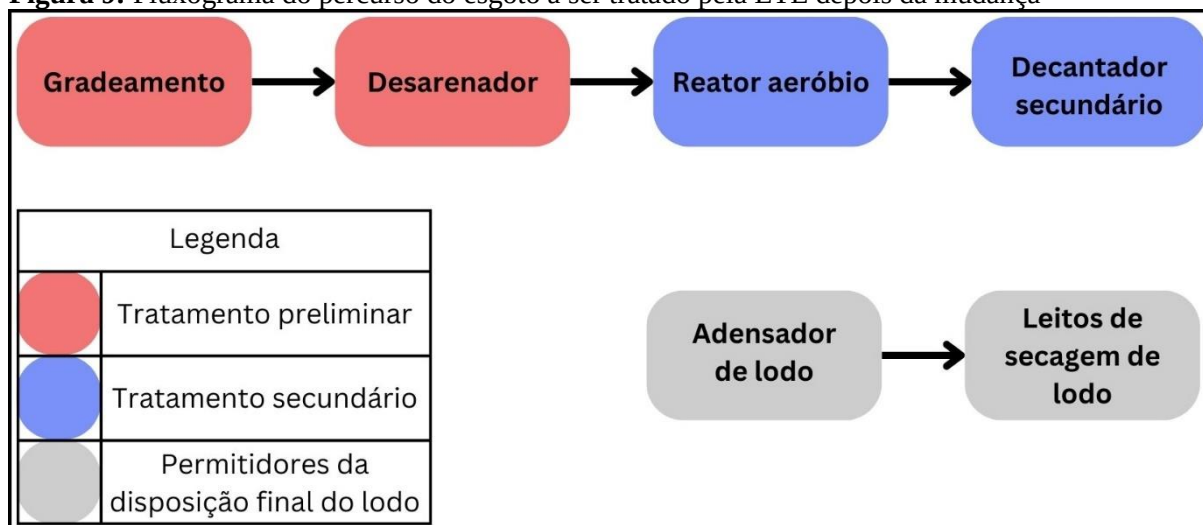
Figura 8: Fluxograma do percurso do esgoto a ser tratado pela ETE antes da mudança



Fonte: Autor (2022).

Depois da mudança na ETE (Figura 9), o esgoto continuou tendo o tratamento preliminar realizado por gradeamento e desarenador, porém, o tratamento secundário é realizado por tanque de aeração (reator aeróbio) e decantador secundário, fazendo com que o efluente de esgoto tratado seja direcionado ao corpo receptor. Constatou-se que ocorre a passagem do lodo proveniente do tratamento de esgoto pelo adensador de lodo antes de ser disposto nos leitos de secagem para que, posteriormente, tenha sua disposição final permitida.

Figura 9: Fluxograma do percurso do esgoto a ser tratado pela ETE depois da mudança



Fonte: Autor (2022).

Com base nesses dados, pode-se confirmar a premissa de que a mudança na ETE se caracterizou pela mudança de RALF e filtro anaeróbio para reator aeróbio e decantador secundário, ou seja, uma mudança total no tratamento secundário da ETE.

4.4 Dados operacionais

4.4.1 Consumo de energia elétrica

Verificou-se que, antes da mudança, a ETE tinha um consumo médio diário de energia elétrica de $6,57 \pm 0,58$ kWh. Após as alterações realizadas, esse valor passou para $546,97 \pm 58,20$ kWh, um aumento de 8.220,17%. Isso comprova que a mudança na ETE causou uma mudança negativa representada pelo aumento do consumo de energia elétrica, resultante da utilização de bombas de recirculação entre o reator aeróbio e decantador secundário, assim como a incorporação de oxigênio no reator aeróbio pelo sistema de aeração.

4.4.2 Quantidade de lodo proveniente do tratamento

Esperava-se comprovar, como indicado nos referenciais bibliográficos, que o sistema adotado na ETE após a mudança geraria mais lodo proveniente do tratamento do esgoto, porém,



após verificação dos dados sobre o descarte de lodo, confirmou-se a impossibilidade de afirmar quanto à mudança ocorrida nesse quesito, seja aumento ou diminuição da geração do lodo.

4.5 Comparativo entre antes e depois da mudança na ETE

Após a mudança ocorrida na ETE (Tabela 3), pode-se afirmar a existência de melhoria quanto ao aumento da eficiência da ETE e da diminuição do impacto ambiental em relação ao efluente de esgoto tratado, confirmado pela diminuição dos valores de DBO e DQO lançados no corpo receptor. Os sólidos sedimentáveis, mesmo apresentando valores inferiores após a mudança, não permitiram a quantificação com confiança, evidenciando valores menores antes mesmo da mudança na ETE. A alteração na quantidade de lodo descartado proveniente do tratamento também não pôde ser confirmada por impossibilidade de verificação confiável dos dados levantados. O consumo de energia elétrica aumentou expressivamente devido à utilização do novo sistema, o que é compreensível, se considerar o aperfeiçoamento na qualidade do saneamento.

Tabela 3: Comparativo entre antes e depois da mudança na ETE

Dado em questão	Valor anterior a mudança	Valor posterior a mudança	Resultado encontrado
Média das eficiências da ETE em remover DBO	90,82±2,34%	98,93±0,34%	Aumento de 8,93%
Média das eficiências da ETE em remover DQO	83,9±0,65%	95,91±2,04%	Aumento de 14,32%
DBO no efluente	49,22±2,63 mg/L	4,38±0,31 mg/L	Redução de 91,09%
DQO no efluente	138,11±7,32 mg/L	33,15±3,56 mg/L	Redução de 76,00%
Vazão	-	-	Aumento de 8,99%
pH	7,89±0,18	7,24±0,2	Redução de 8,2%
Temperatura	22,78±2,83 °C	26,02±2,55 °C	Aumento de 14,19%
Consumo de energia elétrica	6,57±0,58 kWh	546,97±58,20 kWh	Aumento de 8.220,17%

Fonte: Autor (2022).

Verificou-se que é verídico o exposto na obra organizada por Nuvolari (2011), onde confirmou-se o aumento da eficiência da ETE após a utilização dos processos aeróbios, assim como o aumento no consumo de energia elétrica, porém, não foi possível comprovar com os

dados analisados, que os processos aeróbios são grandes geradores de lodo, em comparação com os processos anaeróbios.

4.6 Fatores limitantes

Os fatores limitantes deste estudo correspondem ao modo como foram dispostos os dados de descarte de lodo levantados, que impossibilitaram o cálculo de médias confiáveis, inviabilizando tal verificação. Além disso, algumas amostras de DBO e de sólidos sedimentáveis, como já explicado, tiveram seus valores arbitrados, possibilitando o cálculo de uma média de eficiência mínima atingida pela ETE no caso da DBO, a qual pode ser ainda maior e melhor. De igual forma, os valores em si medidos no efluente do esgoto podem ser ainda menores, impactando menos o ambiente negativamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se, por meio deste estudo de caso, que, embora indicadores como geração de lodo e sólidos sedimentáveis não puderam ter sua melhoria constatada, quanto ao pH houve uma redução de 8,2%, à vazão aumentou em 8,99% e à temperatura demonstrou um acréscimo de 14,19%, entretanto, seguem cumprindo os requisitos ambientais. Constatou-se uma melhora significativa após a mudança de sistema secundário de tratamento na ETE, com a diminuição dos valores de DBO em 91,09% e DQO em 76,00% aferidos nos efluentes, atingindo valores notavelmente inferiores ao limite máximo exigido pela licença de operação. Também se evidenciou uma elevação significativa na eficiência da ETE em remover DBO de 8,93% e DQO de 14,32%, o que significa que essa estação está realizando melhor a remoção dos poluentes presentes no esgoto, que demandariam oxigênio do corpo receptor, diminuindo, desse modo, o impacto negativo neste, com o lançamento de um efluente menos poluente.

Foi significativo o aumento de 8.220,17% no consumo de energia elétrica na ETE após a mudança, em função da utilização de sistemas de aeração e de recirculação de lodo, todavia, essa alteração garantiu um aperfeiçoamento no tratamento de esgoto, levando ao entendimento de que, embora seja mais oneroso realizar o tratamento pelo sistema utilizado, há um impacto



positivo na sociedade quanto ao corpo receptor, pois, como já citado por Brasil (2019), melhorias no saneamento impactam a qualidade de vida das pessoas que a ele têm acesso.

REFERÊNCIAS

ALÉM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: WINNER Graph, 1999.

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

ARAÚJO, J. E. **Processos de tratamento terciário para redução da DQO e a cor dos efluentes de uma fábrica integrada de celulose kraft branqueada e papel**. 2013. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BELO HORIZONTE. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de tratamento de esgoto**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. Disponível em: https://www.silvapoorto.com.br/wp-content/uploads/2017/09/CARTILHA_OPERACAO_ETE.pdf. Acesso em: 2 abr. 2022.

BRASIL. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Processos de tratamento de esgotos**: guia do profissional em treinamento: nível 1. Brasília: Ministério das Cidades; ReCESA, 2008. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/processosdetratamentodeesgoto-nivel1.pdf. Acesso em: 29 mar. 2022.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de saneamento**. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. Disponível em: https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/506/Manual_de_Saneamento_Funasa_5a_Edicao.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 12 mar. 2022.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Saneamento**. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: http://appsnnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto/. Acesso em: 10 mar. 2022.

CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (eds.). **Lodo de Estações de Tratamento de Água: Gestão e Perspectivas Tecnológicas**. Curitiba: SANEPAR; THINK CREATIVE, 2013.



CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Fundamentos do controle de poluição das águas.** São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001.

DACACH, N. G. **Saneamento Básico.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

GOOGLE MAPS. Matelândia, PR, 85887-000. **Google Maps**, 2022. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Matel%C3%A2ndia,+PR,+85887-000/@-25.2333289,-53.9660602,2074m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94f156a91dc66483:0x50e330c7629a4ca3!8m2!3d-25.2390681!4d-53.9790691>. Acesso em: 2 abr. 2022.

MIZUMO. Manual de Manutenção e Operação. **Instituto Federal Farroupilha**, 2015. Disponível em: <https://www.iffarroupilha.edu.br/component/k2/attachments/download/1496/2ed398617fd9618f03116c7d5375ef0e>. Acesso em: 2 abr. 2022.

NUVOLARI, A. (coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 2. ed. rev. atual.e ampl. São Paulo: Blucher, 2011.

PATNIAK, P. **Handbook of ENVIRONMENTAL ANALYSIS:** chemical pollutants in air, water, soil, and solid wastes. Boca Raton: CRC press LLC, 1997.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental.** Porto Alegre: Bookman, 2004.



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**

ANEXOS

ANEXO A – Ata da banca examinadora



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**



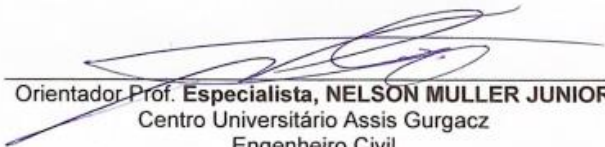
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MATHEUS HEERDT

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA MUDANÇA DE REATOR ANAERÓBIO DE
LEITO FLUIDIZADO PARA REATOR AERÓBIO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DE MATELÂNDIA - PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Especialista, Engenheiro Civil NELSON MULLER JUNIOR**.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. **Especialista, NELSON MULLER JUNIOR**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Mestre, RICARDO PAGANIN**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora **Doutora, LIGIA ELEODORA FRANCOVIG RACHID**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 28 de novembro de 2022.