



RENATA BORGES DINIZ

**LODOS ATIVADOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE
ESGOTO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DE
DUAS ETEs LOCALIZADAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA
- MG**

**LAVRAS - MG
2021**

RENATA BORGES DINIZ

**LODOS ATIVADOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO
E INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DE DUAS ETEs LOCALIZADAS NO MUNICÍPIO DE
JUIZ DE FORA - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais para a obtenção do título de Mestra.

Profa. Dra. Fátima Resende Luiz Fia
Orientadora

Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Diniz, Renata Borges.

Lodos ativados aplicados no tratamento de esgoto doméstico e industrial: avaliação de duas ETEs localizadas no município de Juiz de Fora - MG / Renata Borges Diniz. - 2021.

61 p.

Orientador(a): Fátima Resende Luiz Fia.

Coorientador(a): Jacineumo Falcão de Oliveira.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Eficiência. 2. Parâmetros de projeto. 3. Variáveis de monitoramento. I. Fia, Fátima Resende Luiz. II. Oliveira, Jacineumo Falcão de. III. Título.

RENATA BORGES DINIZ

**LODOS ATIVADOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO
E INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DE DUAS ETEs LOCALIZADAS NO MUNICÍPIO DE
JUIZ DE FORA – MG**

**ACTIVATED SLUDGE APPLIED IN THE TREATMENT OF DOMESTIC AND
INDUSTRIAL EFFLUENT: EVALUATION OF TWO WWPs LOCATED IN THE
MUNICIPALITY OF JUIZ DE FORA - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais para a obtenção do título de Mestra.

APROVADA em 15 de maio de 2021.

Dra. Fátima Resende Luiz Fia - UFLA
Dr. Mateus Pimentel de Matos - UFLA
Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira - UFLA
Dra. Suymara Toledo Miranda - UNIPAC

Profa. Dra. Fátima Resende Luiz Fia
Orientadora

Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

A Deus que se materializou em cada pessoa, que com suas palavras me auxiliaram e me fizeram chegar até aqui.

À minha Família que sempre investiu na educação, como forma de crescimento emancipação. À Diva Rodrigues, avó, professora, e grande incentivadora dos meus estudos. À Jaqueline Borges, minha grande referência e mãe. Muito orgulho pelos valores a mim passados. À minha tia Ângela Borges por sua garra e dedicação que me inspiram profissionalmente. À Rafaela, amiga e irmã com quem sempre posso contar.

À UFLA, que me proporcionou as ferramentas para meu desenvolvimento, agradeço.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambiental pela oportunidade.

À Fátima Fia, que me orientou nessa grande e importante ciência dos recursos hídricos e saneamento. Ao Jacineumo Oliveira, coorientador que me deu todo o suporte e apoio nessa jornada do conhecimento. A banca composta pelo Dr. Mateus Pimentel de Matos, Dra. Suymara Toledo Miranda, meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos de caminhada acadêmica, Sânia Resende, Matheus Henrique Barbosa, Luisa Leão, Heriberto Figueiredo, Paulo César e demais que sempre estiverem presentes, compartilhando as vitórias e desafios, do caminho.

À CESAMA, que através do Eng. Francisco abriu as portas da companhia de saneamento de Juiz de Fora, objeto do estudo. Ao técnico Ricardo, sempre colaborando com informações esclarecedoras do sistema.

À Giselly Garcia pelo companheirismo e amor. Por ser sempre presente e engrandecer meus dias.

À ciência, por ser luz e esperança nos momentos de escuridão, meu muito obrigada.

RESUMO

O aumento populacional no Brasil acrescido ao desenvolvimento das indústrias, principalmente em cidades de médio porte, tem proporcionado maiores consumos de águas, tornando-se um agravante na dinâmica das unidades de tratamento de esgoto doméstico e industrial devido aos grandes volumes gerados, sendo necessário o aprimoramento das unidades e constante avaliação da qualidade final do esgoto bruto e tratado através de eficientes tratamentos em reduzidas áreas. A tecnologia de tratamento por lodos ativados tem amplitude de atuação em todo o mundo, constituindo-se como unidades de tratamento aerado capaz de produzir um esgoto final de melhor qualidade. Nesse contexto, avaliou-se a eficiência das estações de tratamento de esgotos domésticos ETE₁ Barbosa Lage e esgoto industrial na ETE₂ Barreira do Triunfo, localizadas no município de Juiz de Fora – MG, durante um ano de monitoramento. Ambos os sistemas são compostos por tanque de equalização, responsável pela homogeneização das águas residuárias; tanque de aeração prolongada (reator) onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e nitrogenada; e um decantador secundário para sedimentação dos sólidos, permitindo um esgoto de melhor qualidade. A avaliação da eficiência da remoção de poluentes foi realizada através das variáveis físicas, químicas e biológicas, DQO, DBO, SD e SST, medidas na entrada e saída dos sistemas, durante os meses de janeiro a dezembro de 2018. Observou-se que a ETE₁ teve remoção média de 71, 85 e 71% de DQO, DBO e SST, respectivamente, do esgoto doméstico, resultado menor que o observado para ETE₂ com esgoto industrial. As eficiências para todas as variáveis analisadas de qualidade do esgoto industrial foram superiores a 90 %, resultando em uma média de concentração na saída para DQO de 39,83 mg L⁻¹ durante um ano de monitoramento. A ETE₂ Barreira do Triunfo atingiu os padrões de lançamento CONAMA 357/2005; 430/2011 e COPAM 01/2008 para todas as variáveis analisadas ao longo do ano. Apesar da ETE₁ Barbosa Lage apresentar valores no mês de setembro para a DQO de 475 mg L⁻¹, acima do limite estabelecido pela COPAM nº 01/2008, sua eficiência de remoção anual foi superior ao mínimo estabelecido, ficando em 71%. De acordo com os limites estabelecidos pela COPAM nº 01/2008 a DBO foi superior em 13 e 4,6 mg L⁻¹ nos meses de junho e outubro. SST e SD, também tiveram valores mensais que excederam os limites estabelecidos. As variáveis de influência como TDH, TAS, idade de lodo, parâmetros de projeto interferem na operação. O bom desempenho do tratamento por lodos ativados foi superior para todas as variáveis para esgotos industriais, quando se comparado com o esgoto doméstico.

Palavras-chave: Eficiência. Parâmetros de projeto. Variáveis de monitoramento.

ABSTRACT

The population increase in Brazil, added to the development of industries, especially in medium-sized cities, has provided greater water consumption. Thus making it an aggravating factor in the dynamics of domestic and industrial sewage treatment units due to the large volumes generated, requiring the improvement of the units and constant evaluation of the final quality of raw and treated sewage through efficient treatment in small areas. The activated sludge treatment technology has a wide range of operations throughout the world, constituting aerated treatment units capable of producing better quality final sewage. In this context, the efficiency of the domestic sewage treatment plants ETE₁ Barbosa Lage and industrial sewage at ETE₂ Barreira do Triunfo, located in the municipality of Juiz de Fora – MG, was evaluated during one year of monitoring. Both systems are composed of an equalization tank, responsible for the homogenization of wastewater; prolonged aeration tank (reactor) where biochemical reactions remove organic and nitrogen matter occur; and a secondary decanter for sedimentation of solids, allowing for better quality sewage. The evaluation of the pollutants removal efficiency was carried out through the physical, chemical and biological variables, COD, BOD, SD and SST, measured at the entrance and exit of the systems, during the months of January to December 2018. It was observed that ETE₁ had an average removal of 71, 85 and 71% of COD, BOD and SST, respectively, from domestic sewage, a result lower than that observed for ETE₂ with industrial sewage. Efficiencies for all industrial sewage quality variables analyzed were greater than 90%, resulting in an average output concentration for COD of 39.83 mg L⁻¹ during one year of monitoring. ETE₂ Barreira do Triunfo reached CONAMA 357/2005 launch standards; 430/2011 and COPAM 01/2008 for all variables analyzed throughout the year. Despite the ETE₁ Barbosa Lage presenting values in September for the COD of 475 mg L⁻¹, above the limit established by COPAM n° 01/2008, its annual removal efficiency was superior to the established minimum, by 71%. According to the limits established by COPAM n° 01/2008, BOD was higher by 13 and 4.6 mg L⁻¹ in the months of June and October. SST and SD also had monthly values that exceeded the established limits. The performance of activated sludge treatment was superior for all variables for industrial sewage, when compared to domestic sewage.

Keywords: Efficiency. Project parameters. Monitoring variables.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1	Características dos esgotos sanitários.....	10
2.1.1	Esgoto doméstico.....	10
2.1.2	Esgoto industrial.....	11
2.2	Impacto do lançamento de esgotos nos cursos de água.....	13
2.3	Recursos hídricos e legislação ambiental.....	15
2.4	Tecnologias de tratamento de esgoto.....	17
2.4.1	Tratamento preliminar.....	18
2.4.2	Tratamento primário.....	19
2.4.3	Tratamento secundário.....	19
2.4.4	Tratamento terciário.....	19
2.5	Lodos Ativados.....	20
2.5.1	Parâmetros Operacionais.....	22
4	CONCLUSÃO.....	25
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
6	APÊNDICE – ARTIGO.....	31

1 INTRODUÇÃO

As descargas de poluentes não tratadas e lançadas no meio ambiente são motivo de preocupação para diversos países, inclusive no Brasil. O déficit no acesso aos serviços básicos no país atinge principalmente as populações mais carentes que se concentram em favelas, periferias das cidades e nas áreas rurais (SANTOS *et al.*, 2018). O acesso aos serviços de saneamento básico é condição fundamental para a sobrevivência e dignidade humana. Sua ausência pode trazer consequências graves em termos de saúde pública, meio ambiente e cidadania. No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019), 83,6% da população urbana é atendida por rede de abastecimento de água, mas quando se trata dos esgotos, a porcentagem de cobertura é menor. O acesso à rede coletora de esgotos chega a 53,2% e, quando se refere ao tratamento do mesmo, os valores diminuem mais, chegando a 46,3% (SNIS, 2019).

Em razão da grande concentração urbana, vários conflitos e problemas têm sido gerados no ambiente, tais como: degradação ambiental dos mananciais; aumento do risco das áreas de abastecimento com a poluição orgânica e inorgânica; contaminação dos rios por esgotos doméstico e industrial; enchentes urbanas geradas pela ocupação do espaço e gerenciamento inadequado da drenagem urbana; falta de coleta e disposição do lixo urbano, entre outros (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000).

A realidade brasileira tem se confrontado com o crescimento populacional e um alto desenvolvimento de indústrias. Estes fatores influenciam diretamente na geração de um maior volume de águas residuárias com potencial de contaminação orgânica, nutricional e microbiológica, além de possibilitarem a presença e acúmulo de substâncias tóxicas em corpos d'águas. Na maioria dos países em desenvolvimento, a impropriedade e a carência de infraestrutura sanitária são responsáveis pela alta mortalidade por doenças de veiculação hídrica e por um grande número de mortes evitáveis a cada ano. Nesses países, verificam-se condições que tendem a piorar devido às necessidades crescentes de serviços e ações de saneamento ambiental, que excedem a capacidade dos governos de reagir adequadamente. Apesar de estudos e avaliações em escala piloto ou em ETEs individuais, o conhecimento sobre o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos em operação no país é relativamente esparso, havendo poucas consolidações estruturadas em termos de uma avaliação global. O tratamento biológico de águas residuárias se destaca como um dos processos mais importantes em todo o mundo para o tratamento de águas residuais municipais e industriais (ONODERA *et*

al, 2015). Os tratamentos podem ser anaeróbios e aeróbios, sendo exemplos do último de acordo com Khan *et al.* (2011) os processos de lodo ativado, reatores de leito fluidizado, filtro biológico, lagoas aeradas e lagoas de estabilização. Esses tipos de tratamentos biológicos são aplicados para a remoção de matéria orgânica e nutrientes, sendo os reatores de lodos ativados as unidades mais difundidas no Brasil, junto dos reatores anaeróbios do tipo UASB “*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*”, lagoas de estabilização e RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente).

A necessidade de verificação dos sistemas de tratamento de esgoto em especial de lodos ativados, através de dados concretos de monitoramento referentes a duas estações, doméstica e industrial, irão auxiliar na consolidação e qualidade dos dados do processo aeróbio, principalmente quanto as características hidráulicas, taxa de aeração no reator, idade do lodo, índice volumétrico do lodo, entre outros que exercem relação marcante na capacidade de clarificação do esgoto tratado.

Nesse contexto, propõe-se avaliar o desempenho de duas estações de tratamento de esgoto na cidade de Juiz de Fora – MG (ETE₁ Barbosa Lage e ETE₂ Barreira do Triunfo), constituídas por lodo ativado de aeração prolongada, afim de se obter um esgoto de melhor qualidade e que atenda aos requisitos da legislação ambiental, proporcionando, assim, uma maior compreensão e conhecimento desse tipo de configuração e sua aplicabilidade em uma cidade de médio porte.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características dos esgotos sanitários

Com o estilo de vida sedentário adotado pelas pessoas a partir da revolução agrícola e o surgimento das primeiras cidades, os conflitos entre o meio antrópico e o natural foram intensificados, principalmente quanto ao correto manejo dos esgotos sanitários e industriais (SPINDLER, 2018). As atividades humanas geram diversos resíduos, dentre eles, os termos esgoto sanitário ou águas residuárias são utilizados para caracterizar os despejos líquidos oriundos de usos doméstico, industrial, comercial, de serviços públicos, áreas agrícolas de superfícies de infiltração, pluviais e outras fontes. São classificados, normalmente, em domésticos e industriais, sendo os primeiros constituídos essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, produtos de limpeza e águas de lavagem (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Além disso, segundo Von Sperling (2014) as águas residuárias possuem em média 99% da sua composição de água e 1% constituindo-se de material orgânico e inorgânico, sólidos suspensos e dissolvidos em composição diferenciadas de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, metais e outros elementos químicos, bem como de organismos patogênicos, como bactérias heterotróficas.

Sua caracterização se dá comumente pelos índices: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Oxigênio dissolvido (OD), Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK), Fósforo Total e Sólidos Totais. A análise destas variáveis e sua importância no controle operacional de uma ETE repercutem em um bom funcionamento do sistema de tratamento.

2.1.1 Esgoto doméstico

O esgoto doméstico é definido como despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (MARQUES; PINHEIRO, 2018). Tem em sua composição sólidos suspensos, solúveis e coloidais. A remoção desses componentes pode ser parcialmente realizada por meio de processos físicos, químicos e biológicos (ARANEDA *et al.*, 2017).

Nos centros urbanos, a composição do esgoto reflete os hábitos de vida da população, e a frequência com que novos tipos de contaminantes são criados e lançados no ambiente (DEL-

GUERCIO; CHRISTOFOLETTI; FONTANETTI, 2017). Sua classificação se divide em água negra e água cinza. Segundo Vidotti, Venancio e Benatti (2020), a água negra é proveniente de vasos sanitários, mictórios e bidês e a água cinza é proveniente de máquinas de lavar, tanques de lavar roupa, chuveiros, banheiras e cozinha, ou seja, aparelhos sem contribuição fecal. A água negra possui maior carga de patogênicos, mesmo em menor volume, representando grande risco de contaminação (SOUZA *et al.*, 2018). A Tabela 1 apresenta uma comparação dos esgotos domésticos gerados em diversos municípios.

Tabela 1 – Características de esgotos domésticos gerados em diversos municípios.

Variáveis	Unidade	Del-Guercio (2017) ⁽¹⁾	Machado <i>et al.</i> (2020) ⁽²⁾	Bezerra <i>et al.</i> (2021) ⁽³⁾	Nikmanesh <i>et al.</i> (2018) ⁽⁴⁾	Barroso <i>et al.</i> (2020) ⁽⁵⁾
Vazão	L s ⁻¹	132,00	-----	0,27	93,75	50,6
DQO	mg L ⁻¹	862,00	503,5	758,25	102,66	730,00
DBO	mg L ⁻¹	361,00	200,00	319,25	54,83	327,00
DQO/DBO	-	2,39	2,51	2,37	1,87	2,23
SST	mg L ⁻¹	960,00	245,00	117,33	105,00	320,00

(1) ETE Jardim das Flores; (2) ETE A, Região Metropolitana de Belo Horizonte; (3) ETE condomínio em Mossoró RN; (4) ETE Nowshar, Irã; (5) Barroso, 2020 (ETE 6).

Von Sperling (2005), em seus estudos com esgotos domésticos identificou faixas de concentrações usuais, para DQO de 400 a 800 mg L⁻¹, DBO de 200 a 500 mg L⁻¹ e SST de 200 a 450 mg L⁻¹. Del-Guercio, Christofolletti e Fontanetti (2017) reforçam que além do alto teor de matéria orgânica e patógenos, o esgoto doméstico apresenta contaminantes utilizados em grandes quantidades em nosso cotidiano, como produtos de higiene pessoal, limpeza doméstica e medicamentos. A relação DQO/DBO indica a biodegradabilidade do esgoto, auxiliando na escolha do tipo de tratamento a ser adotado. O valor da relação DQO/DBO para esgotos domésticos varia entre 1,5 e 2,5, sendo quanto menor for a relação, maior é a biodegradabilidade do resíduo (TSCHOEKE *et al.*, 2017).

2.1.2 Esgoto industrial

Nos processos industriais, o uso da água, na incorporação ao produto, nas lavagens de máquinas e instalações, é bastante elevado, e como consequência geram-se esgotos contendo compostos orgânicos e inorgânicos que, muitas vezes, possuem elevado potencial poluidor (ROCHA *et al.*, 2017). O esgoto líquido industrial é o despejo proveniente do estabelecimento

industrial, compreendendo esgotos do processo produtivo, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (GOIS *et al.*, 2016).

O acelerado crescimento das indústrias, nas últimas décadas, acarretou o aumento na geração e diversificação de esgotos. São diversas as indústrias que apresentam lançamento de esgotos em corpos d'água com elevada carga poluidora, apresentando contaminantes orgânicos, inorgânicos e substâncias recalcitrantes no ambiente com potencial risco à saúde humana e animal (GOIS *et al.*, 2016).

2.1.2.1 Água residuária industrial automobilística

A indústria automobilística representa diversos setores em operação, e processos tão diversos quanto seus produtos. Suas atividades produtivas resultam em grande volume de água utilizada que, conseqüentemente, geram esgotos da indústria automobilística com grande potencial de impacto ao meio ambiente (CHIGARE; SIDDHARTHA; PATIL, 2019). Segundo Singh e Ambekar (2020), os diferentes usos de água em unidades da indústria automobilística podem ser aplicados na refrigeração, pintura, soldagem, lavagem, condensação do vapor e assim por diante. Bhutiani *et al.* (2017) afirmam que as águas residuárias do setor, não só contêm altos níveis de sólidos suspensos e totais, como óleos, graxas e corantes, em vários estágios de fabricação, mas também, uma quantidade significativa de matéria orgânica dissolvida, resultando em altas cargas de DBO e DQO.

Assim, é necessário a implementação e adequado tratamento dos esgotos industriais antes de seu destino final, suprimindo as demandas econômicas, sociais e ambientais, como destacado por Cordi *et al.* (2008). Resultados de estudos conduzidos por Bhutiani *et al.* (2017) enfatizam que se o esgoto não tratado da indústria automobilística for despejado no meio ambiente, a capacidade de risco potencial para a saúde pública e ambiental é elevada, com potencialidades de alteração de diversos ecossistemas. Os resíduos industriais e domésticos decorrentes das atividades humanas devem ser adequadamente tratados em estação de tratamento de esgotos (ETE), a fim de remover a maior quantidade possível de poluentes, minimizar os efeitos adversos ao ambiente, prevenir a poluição e proteger a saúde pública (OLIVEIRA; ARAÚJO; FERNANDES, 2009).

O sistema de lodos ativados é um processo amplamente utilizado, a nível mundial, para o tratamento de esgotos industriais e domésticos, em situações que são necessários uma elevada qualidade de esgoto e reduzidos requisitos de área (VENEU *et al.*, 2018).

2.2 Impacto do lançamento de esgotos nos cursos de água

O esgoto não tratado é uma fonte comum de poluição para o ambiente aquático em função da ausência ou ineficiente tratamento aplicado. Além disso, a ação antrópica intensifica o efeito no meio em que o homem está inserido, pois a forma que ele usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água (SCARATTI *et al.*, 2014).

A contaminação das águas naturais é um dos principais riscos à saúde pública, havendo uma estreita relação entre a qualidade da água e as inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento (LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005). Estudos demonstram que esse tipo de despejo urbano é uma mistura de agentes químicos e biológicos que interagem entre si, sendo os metais, produtos farmacêuticos, matéria orgânica, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas e compostos derivados do nitrogênio e fósforo os principais grupos de substâncias químicas já detectadas em esgoto bruto e tratado (DEL-GUERCIO; CHRISTOFOLETTI; FONTANETTI, 2017). O aumento significativo nas concentrações de íons metálicos em águas, tem potencializado a contaminação dos corpos aquáticos, principalmente quando se considera que tais íons podem ser disseminados via cadeia alimentar (MARQUES; PINHEIRO, 2018). Em estudos feitos por Del-Guercio, Christofolletti e Fontanette (2017), confirmam o impacto da exposição de peixes a um esgoto bruto, onde resultados mostraram efeitos genotóxicos e mutagênicos dos animais. A redução na diversidade de espécies, também é um dos impactos negativos causados pela poluição, que é seletiva, sendo aquelas bem adaptadas às novas condições ambientais sobrevivem, e mais, se proliferam (VON SPERLING, 2005).

Nutrientes como o nitrogênio e o fósforo são adicionados normalmente no ambiente aquático através do lançamento de esgotos, e podem ocasionar o desenvolvimento de microrganismos, declínio de oxigênio no meio líquido e, conseqüentemente, morte de diferentes espécies aquática, fenômeno conhecido como eutrofização. O crescimento da biomassa fito planctônica, reduz a transparência da água, interferindo na estrutura física e química dos ecossistemas presentes. Este processo pode resultar em condições favoráveis para florações de cianobactérias, que têm a capacidade de produzir toxinas que podem trazer risco à saúde (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A presença de contaminantes em um corpo hídrico é avaliada a partir da análise das características químicas, físicas e biológicas da água. Essas características são modificadas por condições naturais, como o escoamento superficial e a infiltração superficial, resultantes da

precipitação e interferências antrópicas e também pela disposição inadequada de águas residuárias (SCARATTI *et al.*, 2014). As características químicas, correspondem as substâncias dissolvidas que podem causar alterações nas variáveis de qualidade pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e inorgânica, enquanto que as características físicas envolvem aspectos como cor, sabor, odor, turbidez e temperatura, já as características biológicas envolvem a presença dos organismos vivos, determinada geralmente pela análise microbiológica da água (GOIS *et al.*, 2016). Estas alterações impactam na qualidade da água para abastecimento por implicar em aumento no custo do tratamento da água, além de causar risco à saúde pública (REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017). Os esgotos sem tratamento alteram a qualidade das águas, podendo inviabilizar o uso múltiplo da água a jusante do lançamento. Assim, o controle das ações de manejo se torna menos eficiente quando as águas residuárias não são bem caracterizadas (SILVA; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2018).

Siqueira *et al.* (2017) recordam que Organização Mundial da Saúde (OMS) menciona o saneamento básico precário como uma grave ameaça à saúde humana. Apesar dos progressos no aumento da cobertura de saneamento pelos países da região das Américas, o déficit desse serviço, até mesmo em grandes centros, ainda é um desafio para a garantia do acesso universal e consequentemente, redução da iniquidade. A baixa cobertura de serviços essenciais está associada à pobreza. A população de baixa renda é mais vulnerável a essas doenças, devido à higiene inadequada e à subnutrição, entre outros riscos. Cairncross e Feachem (1997) propuseram uma classificação para as doenças infecto-parasitárias que têm o ambiente como potencial determinante, denominando-as doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI). As DRSAI englobam diarreias, leptospirose, doença de Chagas, teníases, hepatite A, entre outras. Estas doenças não deveriam conduzir a internações, sendo consideradas doenças potencialmente evitáveis por meio do desenvolvimento de ações adequadas de saneamento ambiental (SIQUEIRA *et al.*, 2017). Dessa forma, a implementação de estrutura de saneamento em todas suas amplitudes estabelecidas no marco legal do saneamento básico instituído pela lei 14.026/2020, tem por objetivo garantir saúde, segurança e o bem-estar da população, evitando-se as ameaças decorrentes da presença de contaminantes, detritos, resíduos, patógenos ou substâncias tóxicas em geral (BRASIL, IBGE, 2020).

Assim, a promoção da qualidade de vida resultante de ações políticas para a implementação do saneamento básico como mecanismo de difusão de abastecimento de água potável, esgotamento e tratamento de esgotos sanitários, manejo correto de resíduos sólidos e

drenagem urbana são fatores essenciais e imperativos para uma sociedade mais justa, como estabelecido pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (WHO, 2011).

2.3 Recursos hídricos e legislação ambiental

A água, recurso essencial à vida humana, desempenha um fundamental papel em diferentes ecossistemas. Através do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, ocorre a regulação climática do planeta (NASCIMENTO; HELLER, 2004). A revolução industrial e o desenvolvimento econômico e tecnológico, determinaram transformações sociais, como o crescimento acelerado da população mundial, que através de seus impactos, comprometem e põe em risco as fontes disponíveis de água doce (MACHADO, 2003). Grandes áreas urbanas, portanto, exercem fortes pressões sobre os recursos naturais. No Brasil, a transição de uma sociedade predominantemente rural, para uma sociedade essencialmente urbana, foi um fator que agravou os impactos ambientais (NASCIMENTO; HELLER, 2004).

Há uma série de legislações ambientais, critérios, políticas e revisões que procuram influir tanto na seleção dos locais de descarga, quanto no nível de tratamento exigido, a fim de garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição dos esgotos tratados sejam considerados aceitáveis (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005). Com a criação do Código das Águas em 1934, surgiram novas políticas para tratar melhor o assunto, sendo um marco para o tema a criação da Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Lei nº 6.938/1981), o qual impulsionou a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), constituído por órgãos federais, estaduais e municipais. Criou-se também o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é o órgão colegiado brasileiro responsável pela adoção de medidas de natureza consultiva e deliberativa acerca do SISNAMA.

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei 9.433/1997), também conhecida como lei das águas, ficou responsável pelo planejamento e gerenciamento dos recursos Hídricos no Brasil. Em seu artigo 5º, estabelece que são os instrumentos da gestão dos Recursos Hídricos, segundo Brasil (1997):

- I - Os Planos de Recursos Hídricos;
- II - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - A compensação a municípios;
- VI - O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O enquadramento dos corpos d'água é o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo. O enquadramento busca “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e a “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (ANA, 2007, p. 50). Ao incorporarem o princípio do aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, a PNRH analisa simultaneamente aspectos quantitativos e qualitativos (LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2011) estabelece as classes de qualidade apresentadas a seguir na Figura 1, para as águas doces, salobras e salinas, com o objetivo de assegurar os usos preponderantes, previstos dos corpos d'água e nortear o controle dos esgotos líquidos (OLIVEIRA, 2014).

Figura 1 - Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.



Fonte: ANA (2019).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) dispõe sobre as variáveis, padrões e ainda diretrizes para o lançamento de esgotos em corpos d'água receptores, ela alterou parcialmente, e complementou a CONAMA nº 357/2005. No âmbito do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, a Deliberação Normativa Conjunta 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008) dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de esgoto, sendo ele de qualquer fonte poluidora somente poderá ser lançado, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento, e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências. Os órgãos ambientais estaduais usualmente baseiam-se nos padrões desta resolução, mantendo-os,

complementando-os ou eventualmente aplicando-lhes padrões mais restritivos (OLIVEIRA, 2014). São estabelecidas condições de qualidade por meio de variáveis como materiais flutuantes não naturais, óleos e graxas, sabor e odor, corantes de fontes antrópicas, toxicidade, DBO, oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), substâncias orgânicas, metais totais e dissolvidos, coliformes, turbidez (SCARLATTI *et al.*, 2019).

Ainda neste contexto, a Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) estabelece o lançamento máximo de até 120 mg L⁻¹ de DBO, sendo este limite alterado somente no caso de esgoto de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60%. Ao se analisar a Deliberação 01/2008 do COPAM, o valor máximo mais restritivo de DBO, é de 60 mg L⁻¹ ou tratamento com eficiência de redução em no mínimo 60% para DBO e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. Para a DQO, o valor máximo é de 180 mg L⁻¹, ou tratamento com eficiência de redução da DQO em 55% ou mais na média anual. Para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitário municipais, a eficiência média anual deve ser 65% ou superior. Estes padrões de lançamento são constituídos da mesma forma que os padrões de qualidade, considerando um conjunto de variáveis e os respectivos limites que devem ser atendidos pelos esgotos lançados por qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, para não prejudicar o seu uso (OLIVEIRA, 2014).

2.4 Tecnologias de tratamento de esgoto

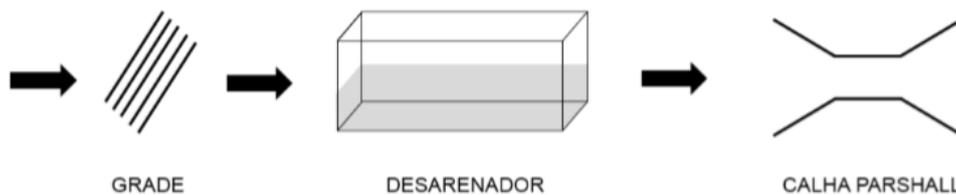
Para alcançar maiores eficiências no tratamento do esgoto e facilitar sua manutenção, a construção das Estações de Tratamento de Esgotos convencionais inclui uma série de equipamentos. Estes se conjugam para remoção ou transformação das substâncias indesejadas. As ETEs são formadas por um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades, cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento (ABNT, 1990).

Cada processo unitário em uma ETE pode ser classificado em função da eficiência de redução de carga poluidora promovida, como: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário.

2.4.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar, mostrado na Figura 2, tem por finalidade principal a remoção de sólidos grosseiros e areias.

Figura 2 - Fluxograma típico do tratamento preliminar.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Em esgotos compostos por quantidade significativa de óleos e graxas e gorduras de densidade inferior à da água, deverá ocorrer sua remoção física, a fim de evitar: obstruções dos coletores, aspectos indesejáveis nos corpos receptores e acúmulo nas unidades de tratamento, que gera maus odores (AZEVEDO, 2014).

São considerados grosseiros os resíduos sólidos contidos nos esgotos sanitários de fácil retenção e remoção, através de operações físicas de gradeamento e peneiramento.

A remoção tem finalidade de proteger os dispositivos de transporte e tratamento dos esgotos, como: bombas, tubulações, aeradores e meios filtrantes (JORDÃO; PESSÔA, 2014). A remoção de areia contida nos esgotos é feita através de unidades denominadas desarenadores. De mecanismo simples, a remoção de areia ocorre por sedimentação, onde o grão de areia de maiores dimensões e densidades, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica de sedimentação leve, permanece em suspensão e segue para unidades jusantes (VON SPERLING, 2005).

Em ETEs que tratam esgotos industriais, poderá haver a necessidade de inclusão de um tanque de equalização após o tratamento preliminar, com o intuito de gerar uma vazão jusante aproximadamente constante ao longo do tempo. A sedimentação no tanque deve ser evitada, para que não haja a decomposição de matéria orgânica, que geram maus odores. Geralmente são utilizados misturadores para que isso não ocorra no processo (VON SPERLING, 2005).

Ucker (2019) em estudos sistemas separadores de água e óleo em postos de combustíveis observou boa eficiência na remoção de sólidos sedimentáveis, bem como na

remoção de óleos e graxas contidos nos efluentes, abaixo do valor máximo (20 mg L^{-1}) de acordo com a CONAMA 430/ 2011(BRASIL, 2011), para os três postos analisados.

2.4.2 Tratamento primário

O tratamento primário é um processo físico-químico, que busca a remoção de sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão e sólidos flutuantes, como a espuma (AZEVEDO, 2014). A sedimentação ocorre pela ação da gravidade, e pode ser classificada como: discreta, em massa e flocculenta, sendo a última de maior ocorrência em decantadores primários (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Fatores como a concentração de sólidos são importantes pois possuem relação no dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento. Araneda *et al.* (2017) abordam que o processo de decantação aplicado a água residuária, pode atingir remoções de sólidos suspensos e DBO nas taxas de 50 a 60% e 25 a 40%, respectivamente.

2.4.3 Tratamento secundário

Destina-se à remoção da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão através de processos biológicos unitários, no qual a remoção é efetuada por reações bioquímica (TOSETTO,2005). São comuns sistemas: anaeróbios, filtração biológica, UASB, e lodos ativados.

2.4.4 Tratamento terciário

As águas residuárias, após o tratamento secundário, ainda se encontram ricas em nutrientes e podem causar a eutrofização de reservatórios de água. Portanto, essa etapa visa remover poluentes específicos não removidos na fase anterior, tais como produtos tóxicos ou compostos não biodegradáveis, e ainda, sais minerais dissolvidos (ex. nitratos e fósforo).

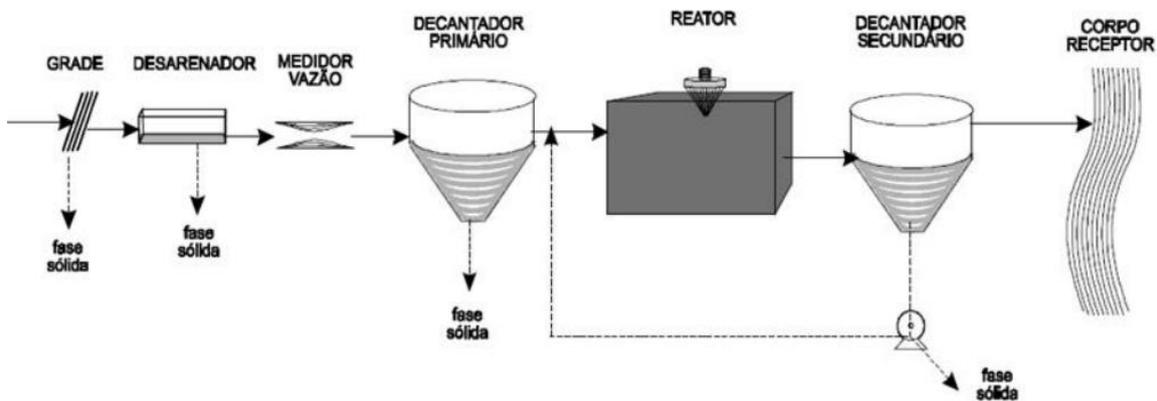
Montagner, Vidal e Acayaba (2017) apontam exemplos de tratamento terciários: lagoas de maturação, rampas de escoamento superficial, ozonização, processos oxidativos avançados (UV, UV/H₂O₂, fotocatalise homogênea e heterogênea, etc.), adsorção em carvão ativado, filtração em membranas (microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração), osmose reversa, flotação. No Brasil, devido ao seu alto custo tem sido pouco empregada. Atualmente, o desenvolvimento tecnológico no tratamento de esgotos está concentrado, principalmente, nas

etapas secundária e terciária. Sendo uma das tendências verificadas, o aumento na dependência de equipamentos em detrimento do uso de produtos químicos para tratamento (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Sistemas como o de lodo ativado são bastante empregados Brasil e promovem ótima eficiência para remoção de carga orgânica (SILVIA; MONTEGGIA; CATANEO, 2017).

2.5 Lodos Ativados

O processo de lodos ativados surgiu na Inglaterra em 1913, com a confiança de produzir um esgoto claro, límpido, sem odor e de alta qualidade. Esse processo manteve-se inalterado por décadas, modificando-se somente depois de grandes avanços tecnológicos (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Abaixo, na Figura 3, tem-se um fluxograma que representa o sistema convencional.

Figura 3 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados convencional.



Fonte: Von Sperling (2016).

É um processo biológico, aeróbio, de biomassa em suspensão no qual o esgoto industrial ou esgoto sanitário (entrada) é misturado com microrganismos em tanques de aeração em condições específicas de temperatura, pH, teor de oxigênio dissolvido e nutrientes (MAINETTI, 2018).

Neste contexto estão citados na Tabela 2 as condições operacionais necessárias do processo de lodos ativados.

Tabela 2 – Condição para o processo de lodo ativado.

Variáveis	Referência	Unidades
Temperatura	26 a 35	°C
pH	6,8 a 8,2	
Oxigênio dissolvido	0,5 a 2	mgO ₂ L ⁻¹
Proporção de nutrientes	100DBO:5N:1P	
Micronutrientes		
Cálcio	573	mg kg ⁻¹ DBO
Cobre	6,6	mg kg ⁻¹ DBO
Cobalto	0,3	mg kg ⁻¹ DBO
Magnésio	104	mg kg ⁻¹ DBO
Zinco	39,7	mg kg ⁻¹ DBO

Fonte: Giordano e Sureus (2015).

A concentração OD no tanque de aeração em um processo de lodo ativado é um importante parâmetro de controle do processo que tem um grande efeito na eficiência do tratamento, custo operacional e estabilidade do sistema. À medida que o OD diminui, a quantidade desses microrganismos filamentosos aumenta, afetando adversamente a capacidade de sedimentação do lodo ativado (DU *et al.*, 2018). Drewnowski *et al.* (2019) levantam que a solubilidade do oxigênio cai à medida que a temperatura aumenta, por exemplo, (10 °C: 11,3 g O₂ m⁻³; 25 °C: 8,3 g O₂ m⁻³), enquanto, por outro lado, aumenta a taxa de difusão.

Segundo Oliveira, Araújo e Fernandes (2009), os microrganismos nos reatores de lodos ativados são compostos por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, sendo essa diversidade dinâmica e fundamental para o bom desempenho do sistema. Segundo Moraes *et al.* (2020), a sedimentação é uma das mais antigas técnicas aplicadas para a separação sólido-líquido e seu desempenho se baseia no tamanho e na massa específica das partículas que devem ser removidas. Sendo a taxa de aplicação superficial o principal parâmetro de dimensionamento das unidades de sedimentação. O tanque de decantação constitui-se de um elemento crítico em uma estação de tratamento de águas residuárias tradicional. As quantidades de sólidos suspensos no esgoto e a faixa de controle da fase biológica do tratamento dependem do bom funcionamento da planta, além disso, a faixa de controle dos lodos ativados é baseada na necessidade de manter o equilíbrio da biomassa no biorreator afim de auxiliar no tratamento e proporcionar a separação dos sólidos por gravidade, processo realizado pela recirculação (GNIDA; STUDENT, 2021).

A recirculação dos sólidos do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração provoca o aumento da concentração de bactérias, responsáveis pela degradação da matéria orgânica (TOSETTO, 2005). Contudo, nem todo lodo

biológico gerado é recirculado, logo há uma produção de resíduos sólidos inerente do processo. As bactérias, de grande importância no processo são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e pela formação dos flocos, através da conversão da matéria orgânica biodegradável em novo material celular, CO₂, água e outros produtos inertes (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Para Gnida e Student (2021), a capacidade e eficácia da sedimentação do lodo ativado pode variar em função de diversos fatores, com destaque para o tempo de retenção de sólidos, concentração de sólidos em suspensão (biomassa), grau de turbulência, concentração de OD e propriedades de superfície de

flocos do lodo ativado.

O processo de lodos ativados pode ser dividido e classificado considerando diversas variáveis. Von Sperling (2016) estabelece que podem ser divididos segundo (1) idade do lodo - lodos ativados convencional e de aeração prolongada; (2) quanto ao fluxo de alimentação – contínuo ou intermitente; e (3) quanto a entrada à etapa biológica – esgoto bruto, esgoto de decantador primário, esgoto de reator anaeróbio ou de outros processos.

Em complemento, destaca-se que a classificação do lodo em função da sua idade, se aplica tanto para sistemas de fluxo contínuo (líquido entrando e saindo continuamente do reator de lodos ativados), quanto para sistemas de fluxo intermitentes (entrada do líquido descontínua em cada reator de lodos ativados), sendo suas variantes mostradas na Tabela 3.

Idade do lodo	Carga de DBO aplicada por unidade de volume	Faixa de idade do lodo (θ_c)	Denominação usual
Reduzidíssima	Altíssima	Inferior a 3 dias	Aeração modificada
Reduzida	Alta	4 a 10 dias	Lodos ativados convencional (LAC)
Intermediária	Intermediária	11 a 17 dias	LAC
Elevada	Baixa	18 a 30 dias	Aeração prolongada (LAP)

Tabela 3 - Classificação dos sistemas em função da idade

Fonte: Von Sperling (2016).

2.5.1 Parâmetros Operacionais

Os processos de biodegradação que acontecem nos reatores biológicos estabelecem condições para se obter a máxima eficiência na remoção de poluentes, sendo necessário a análise contínua de parâmetros de idade do lodo (θ_c), relação alimento/microrganismo (A/M),

tempo de detenção hidráulica (TDH), sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV), dentre outros, como destacado por Venue *et al.* (2018). A Tabela 4 traz variáveis que se correlacionam com as variantes dos processos de lodos ativados.

Tabela 4 - Variáveis aplicáveis às modalidades do Processo de Lodo Ativado

Processo	Remoção DBO (%)	Tempo detenção (h)	SSTA (mg/L)	Idade do lodo (d)	A/M (kg DBO/ kg SSV.d)	Carga Volumétrica (kg DBO/m ³ TAS)	Qr/Q (%)
Convencional	85-95	4-8	1500 - 4000	4-15	0,2-0,4	0,3-0,6	25-50
Aeração decrescente	85-95	4-8	1500 - 4000	4-15	0,2-0,4	0,3-0,6	25-50
Aeração escalonada	85-95	3-5	2000 - 4000	4-15	0,2-0,4	0,6-0,9	25-75
Modificada	60-75	1-12	500 - 1500	0,5-1	1,5-5,0	1,5-3,0	10-30
Aeração prolongada	90-95	16-36	3000 - 6000	20-30	0,05-0,15	0,05-0,4	100-300
Mistura Completa	85-95	3-5	3000 - 6000	4-14	0,2-0,6	0,8-2,0	25-100

Fonte: Jordão e Pessôa (2014).

Segundo Rocha, Neto e Sobrinho (2019), a relação A/M é um parâmetro utilizado no controle do sistema de lodos ativados e baseia-se na interação existente entre a matéria orgânica do esgoto a ser tratado e a quantidade de microrganismos necessários para degradá-la nas condições operacionais, além de estar relacionada com a eficiência do sistema, com o índice volumétrico do lodo (IVL), que retrata as características de composição do lodo. A quantidade de matéria orgânica disponível para que as bactérias, degradadoras primárias, utilizem como alimento pode ser medida como DBO ou DQO do esgoto a ser tratado. Já a quantidade de microrganismos é normalmente expressa como sólidos suspensos voláteis presentes no lodo. Em sistemas de tratamento com sólidos em suspensão, como o lodo ativado, a sedimentabilidade é utilizada para indicar a eficiência na clarificação da água do esgoto e do adensamento dos sólidos no final do processo, sendo o IVL índice volumétrico de lodo, o método utilizado para medir tal condição (PAULA *et al.*, 2018).

A Tabela 5 apresenta vantagens e desvantagens das variantes operacionais mais comuns no Brasil dos sistemas de lodos ativados.

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens das variantes operacionais mais comuns no Brasil dos sistemas de lodos ativados.

Sistema	Vantagem	Desvantagem
Lodos ativados convencional	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada eficiência na remoção de DBO; • Nitrificação usualmente obtida; • Possibilidade de remoção biológica de N e P; • Baixos requisitos de área reduzidas, possibilidades de maus odores, insetos e vermes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados custos de implantação e operação; • Elevado consumo de energia; • Necessidade de operação sofisticada; • Necessidade do tratamento completo do lodo e da sua disposição final; • Relativamente sensível a descargas tóxicas.
Aeração prolongada	<ul style="list-style-type: none"> • Idem lodos ativados convencional; • Sistema com maior eficiência na remoção da DBO; • Nitrificação consistente; • Mais simples conceitualmente que lodos ativados convencional; • Menor geração de lodo que lodos ativados convencional; • Elevada resistência a variações de carga e a cargas tóxicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados custos de implantação e operação; • Sistema com maior consumo de energia; • Elevado índice de mecanização, embora inferior ao sistema convencional; • Necessidade de tratamento do lodo, embora mais simples que lodos ativados convencional.
Sistemas de fluxo intermitente	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada eficiência na remoção de DBO; • Satisfatória remoção de N e possivelmente P; • Baixos requisitos de área; • Mais simples conceitualmente que os demais sistemas de lodos ativados; • Menos equipamentos que o sistema de lodos ativados; • Flexibilidade operacional, através da variação dos ciclos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados custos de implantação e operação; • Maior potência instalada que os demais; • Necessidade de tratamento e da disposição do lodo; • Usualmente mais competitivo economicamente para populações pequenas e médias.

Fonte: Von Sperling (2016).

O sistema de aeração prolongada por ter maiores concentrações de sólidos no reator, possuem maior a disponibilidade de biomassa para assimilar o substrato afluente, resultando em boas eficiências de remoção.

3 CONCLUSÃO

Sistemas de tratamento de esgotos convencional tem papel importante na promoção da qualidade dos recursos hídrico, sendo as unidades de lodos ativados responsáveis por importantes e eficientes remoções de até 80% de compostos orgânicos por ação de bactérias de ambiente aeróbio, fornecendo um esgoto com melhor qualidade para lançamento em corpos hídricos segundo a legislação brasileira. A resolução 430/2011 do CONAMA estabelece limite máximo de 120 mg L^{-1} de DBO, sendo este limite alterado somente no caso de esgoto de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60%. Contudo, as diferentes características dos esgotos sanitários em misturas industriais constituem de fonte necessária de monitoramento das variáveis de qualidade, fortalecendo o entendimento sobre esgotos industriais e seus possíveis impactos em sistemas de lodos ativados e em corpos hídricos. O sistema de lodos ativado de aeração prolongada, é um método com elevada eficiência na remoção dos contaminantes de cidades, condomínios, industriais, restaurantes, fábricas, que em média geram altas cargas orgânicas, que quando não tratadas impactam potencialmente o meio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal. Ministério das Cidades**. Brasília, p. 50, 2017.

ARANEDA, M. *et al.* Use of activated sludge biomass as an agent for advanced primary separation. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 192, p. 156-162, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12209** – Projeto, de estações de tratamento de efluente sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

AZEVEDO, L. S. **Aproveitamento dos subprodutos gerados nas estações de tratamento de efluente de juiz de fora**. 2014. 68 p. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BARROSO, G. R. *et al.* Estações de tratamento de esgoto sanitário do brasil e da costa rica: estudo de caso comparativo das condições de qualidade do esgoto bruto, do efluente e eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 773, 2020.

BEZERRA, V. G. de S. *et al.* Desempenho de estação de tratamento de esgoto doméstico no semiárido brasileiro e potencial de seu efluente para fins de irrigação. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 36159-36174, 2021.

BHUTIANI, R. *et al.* Efficiency assessment of effluent treatment plant (ETP) treating an automobile industry effluent (Sidcul) Haridwar. **Environment Conservation Journal**, [S.L.], v. 18, n. 12, p. 95-102, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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.

BRASIL. Lei 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério do Planejamento (Ed.). **Atlas de saneamento**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 286 p.

CAIRNCROSS S.; FEACHEM R. **Environmental health engineering in the tropics: an introductory text**. 2. ed. Chichster Wiley e Sons, 1993.

CHIGARE, R.; SIDDHARTHA K.; PATIL, J. A review of the automobile industries waste water treatment methodologies. **International Research Journal of Engineering and Technology**: IRJET, [s. l], v. 6, n. 6, p. 974-977, 2019.

CORDI, L. *et al.* Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: Parâmetros físico-químicos e biológicos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 1, p. 97-115, 2008.

DEL-GUERCIO, A. M. F.; CHRISTOFOLETTI, 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.

DREWNOWSKI, J. *et al.* Aeration Process in Bioreactors as the Main Energy Consumer in a Wastewater Treatment Plant. Review of Solutions and Methods of Process Optimization. **Processes**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 311, 2019.

DU, X. *et al.* Dissolved Oxygen Control in Activated Sludge Process Using a Neural Network-Based Adaptive PID Algorithm. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 261, 2018.

FABRÍCIO, A. G. Implantação de sistema de reuso de águas cinzas em condomínio residencial. Unichristus, Fortaleza, p. 62, 2020.

GIORDANO, G.; SUREUS, V. **Efluentes Industriais: Estudo tratabilidade**, PUBLIT, Rio de Janeiro, 2015.

GNIDA, A.; STUDENT, S. Full-scale vacuum degassing of activated sludge – A case study over 2- years of operation. **Journal of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 41, p. 101992, 2021.

GOIS, F. A. *et al.* Análise da qualidade da água quanto ao despejo industrial têxtil no Rio dos Índios. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 5, p. 1 – 13, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Efluentes Domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Abes, p. 1050, 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Efluentes Domésticos**. ABES. 4. ed. Rio de Janeiro, 2005.

KHAN, A. A. *et al.* Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 55, p. 1232–1251, 2011.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p.219-228, 2005.

MACHADO, C. J. S. Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafios. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 6, n. 2, p.121-136, 2003.

MACHADO, E. C. *et al.* Detecção e quantificação de bactérias resistentes aos antibióticos ampicilina e cloranfenicol em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 847-857, 2020.

MAINETTI, M. R. M. **Aeração e consumo energético em biorreatores com membranas (MBR): Revisão de literatura e estudo de caso.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Uerj, Rio de Janeiro, p. 175, 2018.

MARQUES, M. B. L.; PINHEIRO, J. H. P. Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v.14, n.4, 2018.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008. 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.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

MORAES, D. L. *et al.* Análise comparativa de parâmetros hidráulicos para dimensionamento de tecnologias em estações de tratamento de esgoto. **Revista Internacional de Ciências**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 22-41, 2020.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface Entre As Áreas De Recursos Hídricos E Saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p.36 - 48, 2004.

NIKMANESH, M. S. *et al.* Performance Evaluation of the Extended Aeration Activated Sludge System in the Removal of Physicochemical and Microbial Parameters of Municipal Wastewater: A Case Study of Nowshahr Wastewater Treatment Plant. **Journal of Environmental Health and Sustainable Development**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 509-517, 2018.

OLIVEIRA, C. S. P. *et al.* Reflexões sobre o desafio ambiental: níveis de eutrofização e floração de cianobactérias na bacia Apodi-Mossoró. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 519-530, 2020.

OLIVEIRA, G. S. S. de; ARAÚJO, C. V. M. de; FERNANDES, J. G. S. Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da cetrel. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 183-191, 2009.

OLIVEIRA, M. D. **Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água.** 2014. 156 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

ONODERA, T. *et al.* Spatial changes in carbon and nitrogen stable isotope ratios of sludge and associated organisms in a biological sewage treatment system. **Water Research**, [S.L.], v. 68, p. 387-393, 2015.

PAULA, L. G. A. *et al.* Estudo comparativo da determinação experimental das constantes de sedimentabilidade de lodos ativados. **Revista Dae**, [S.l.], v. 66, n. 210, p. 51-61, 2018.

REISMANN, H.; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2017, São Paulo. **Anais [...]**, v. 2, p 1 – 18, 2017.

ROCHA, C. M. *et al.* Dimensionamento e Comparação de Estações de Tratamento de Efluentes Utilizando Lodos Ativados e Reator UASB para uma Cervejaria Artesanal. **Revista Processos Químicos**, [S.l.], v. 11, n. 22, p. 83-85, 2017.

ROCHA, T. F.; NETO, L. M. P.; SOBRINHO, M. A. M. Avaliação do desempenho de sistemas de lodos ativados por aeração prolongada e qualidade final dos efluentes tratados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal. **Anais [...]**. Natal: Abes, v. 6, p. 1 - 5, 2019.

SANTOS, F. F. S. *et al.* O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Recife, v. 4, n. 1, p. 241-251, 2018.

SCARATTI, D. *et al.* Influência das condições hidroclimáticas no tratamento de efluente sanitário por lagoas de estabilização de efluente. **Evidência**, Santa Catarina, v. 14, n.2, p. 139-154, 2014.

SCARLATTI, V. M. *et al.* Avaliação da qualidade das águas superficiais do município de rio claro/sp. **Revista Geociência**, São Paulo, v.38, n.3, p. 741-754, 2019.

SILVA, M. C. A. de; MONTEGGIA, L. O.; CATANEO, I. Avaliação da qualidade microbiológica de efluentes sanitários tratados por sistemas de lodos ativados. **Revista Caderno Pedagógico**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 257-266, 2017.

SILVA, R. R. D.; SIQUEIRA, E. Q. D.; NOGUEIRA, I. D. S. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n. 2, p. 217-228, 2018.

SINGH, S. AMBEKAR, S. V. Performance Evaluation of Effluent Treatment Plant of Automobile Industry – A Case Study. **International Research Journal of Engineering and Technology**: IRJET, Tamil Nadu, v. 7, n. 6, p. 5503-5508, 2020.

SIQUEIRA, M. S. *et al.* Internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado na rede pública de saúde da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010-2014. **Epidemiol. Serv. Saúde: Internações por Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado**, Brasília, v. 4, n. 26, p. 795-806, 2017.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Efluente – 2018. Ministério das Cidades. Brasília, 2019.

SOUZA, A. *et al.* Tratamento de água negra domiciliar através de bananeiras por tanque de evapotranspiração. **Atlas de Saúde Ambiental**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 235-248.

SPINDLER, K. S. Os benefícios da utilização de biodigestores no tratamento de efluentes oriundos do efluente doméstico: uma ferramenta para gestão ambiental. **Revista Educacional Interdisciplinar**, Taquara, v.7, n. 1, 2018.

TOSETTO, M. S. de. *et al.* Tratamento terciário de efluente sanitário para fins de reúso urbano. 2005. 250f. Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de Campinas.

TSCHOEKE, S. C. P. *et al.* Análise da carga orgânica da manipueira em casas de farinha. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 228-232, 2017.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. D. M. C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 31- 43, 2000.

UCKER, F. E. Análise de um sistema separador de água e óleo em postos de combustíveis. **Brazilian Journal of Development**, [S.l.], v. 5, n. 6, p. 6547-6558, 2019.

VENEU, D. M, *et al.* Emprego do sistema de lodo ativado para tratamento de efluentes da indústria de conserva de cogumelos. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 18, n. 1, p. 59-67, 2018.

VIDOTTI, D. B. M.; VENANCIO, A. G. F.; BENATTI, C. T. Uso de fontes alternativas para o abastecimento de água no estado do Paraná: aspectos positivos e riscos relacionados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 11, Vitória: IBEAS, 2020. p. 1-10.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais, 4ª Ed., Belo Horizonte, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de efluentes**. 4. ed. Belo Horizonte: Ed. EFMG, p. 452, 2005.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 4. ed. Geneva: WHO, 2011.

6 APÊNDICE - ARTIGO

Artigo elaborado de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Revista Engenharia na Agricultura (<https://periodicos.ufv.br/reveng/about/submissions>).

LODOS ATIVADOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DAS MULTIVARIÁVEIS VAZÃO, DQO, DBO, SST E SD

RESUMO

Com o aumento da demanda de água no Brasil, maiores volumes de esgotos domésticos ricos em matéria orgânica e nutrientes são gerados, sendo necessário a implementação e/ou monitoramento de sistemas biológicos de tratamento para adequá-los aos padrões ambientais. Diante disso, o trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do sistema de lodo ativado com aeração prolongada em escala plena na remoção de matéria orgânica de esgoto doméstico e industrial. O monitoramento foi realizado, ao longo de um ano, em duas estações convencionais, uma que trata esgotos domésticos e outra que trata esgotos industriais, instaladas em Juiz de Fora, MG. Observou-se remoção média de 71%, 85% e 71% de DQO, DBO e SST, respectivamente, para esgoto doméstico. Para o esgoto industrial os valores médios de remoção foram de 96%, 97%, 97% e 91% para DQO, DBO, SD e SST, respectivamente. Observou-se que as concentrações de entrada de DQO, DBO, SD e SST ficaram abaixo dos valores médios relatados na literatura. Já as concentrações de saída de DQO e SST ficaram levemente acima da média relatada. A ETE₂ apresentou melhor desempenho quando comparada com a ETE₁, e com padrões de lançamento abaixo dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005; 430/2011 e COPAM 01/2008 para todas as variáveis analisadas. A ETE₁ Barbosa Lage lançou 295 mg L⁻¹ acima dos valores estabelecidos pela COPAM nº 01/2008 para DQO de no mês de setembro, mas sua eficiência média anual foi além da estabelecida pela própria norma. A média de remoção anual para DBO foi superior a 70%, respeitando a norma estadual, mas mesmo assim ao se avaliar as concentrações mensais lançou-se 17,6 mg L⁻¹ acima dos limites estabelecidos pela COPAM nº 01/2008. Para SD os valores se mantiveram adequados somente no terceiro trimestre de 2018 e SST ao longo do ano foi levemente acima no mês de maio em 5 mL L⁻¹ de acordo com a CONAMA 430/2011.

Palavras-chave: Tratamento biológico. Esgoto doméstico. Estabilização orgânica.

ACTIVATED SLUDGE APPLIED IN THE TREATMENT OF DOMESTIC AND INDUSTRIAL EFFLUENT: EVALUATION OF TWO WWPs LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF JUIZ DE FORA - MG

ABSTRACT

With the increase in water demand in Brazil, greater volumes of domestic sewage, rich in organic matter and nutrients are generated, requiring the implementation and / or monitoring of biological treatment systems to adapt them to environmental standards. Therefore, the work aimed to evaluate the performance of the activated sludge system with prolonged full-scale aeration in the removal of organic matter from domestic and industrial sewage. The monitoring was carried out, over a year, in two conventional stations, one that treats domestic sewage and the other that treats industrial sewage, installed in Juiz de Fora, MG. There was an average removal of 71%, 85% and 71% of COD, BOD and SST, respectively, for domestic sewage. For industrial sewage, the average removal values were 96%, 97%, 97% and 91% for COD, DBO, SD and SST, respectively. From the usual literature, a comparison was made with the average values of the input and output, where for the input the observed concentrations of COD, BOD, SD and SST had average values below the usual ones, while for the output the COD and SST were slightly above the usual maximum average. ETE₂ obtained a better performance when compared to ETE₁, and obtained launch standards below the limits established by CONAMA 357/2005; 430/2011 and COPAM 01/2008 for all variables analyzed throughout the year. ETE₁ Barbosa Lage launched 295 mg L⁻¹ above the values established by COPAM n° 01/2008 for COD in September. For BOD, 17.6 mg L⁻¹ was launched above the limits established by COPAM n° 01/2008. For SD, the values remained adequate only in the third quarter of 2018 and SST throughout the year was slightly above the middle month in 5 mL L⁻¹ according to CONAMA 430/2011.

Keywords: Biological treatment. Domestic effluent. Organic stabilization.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional ascendente e a intensificação dos setores industriais, a demanda de água e a escassez de recursos hídricos em muitas partes do mundo tem tornado o abastecimento de água um desafio constante (AKHOUNDI, 2018). Com isso, a implementação

de critérios de gestão dos recursos hídricos e esgotos requer conciliação contínua entre os setores econômicos, sociais e meio ambiente.

As estações de tratamento de esgotos (ETE) domésticos e industriais constituem-se de sistemas complexos projetados para atender aos rigorosos padrões de esgotos estabelecidos por legislações ambientais a fim de maximizar a proteção dos ambientes aquáticos (MCCARTY *et al.*, 2011) entretanto, tal condição ainda não é estabelecida por completo, uma vez que os sistemas de tratamento podem apresentar diferentes eficiências em função de seu correto dimensionamento e quanto a concepção doméstica ou industrial do esgoto de entrada da ETE. Dessa forma, por ser uma alternativa estabelecida, a implementação de reatores biológicos são alternativas que promovem a remoção de matéria orgânica e nutrientes (QI *et al.*, 2020; MUNDIM, 2019). De acordo com Oliveira (2019), existem muitas opções de tecnologia para o tratamento de esgoto doméstico, como filtros biológicos, lagoas anaeróbicas e aeróbicas, lodos ativados e suas variações, tratamento anaeróbio (UASB) seguida de lodos ativados, lodo ativado com remoção de nitrogênio e fósforo e tratamento por membranas (MBR), sendo a escolha tecnológica a melhor que se encaixa no perfil financeiro e objetivo de tratamento a ser atendido. Em uma ETE convencional, a implantação sequencial de sistema preliminar (remoção de sólidos grosseiros), primário (sólidos em suspensão) e secundário (suspensão remanescente e dissolvidos) constituem etapas fundamentais na remoção de matéria orgânica e contaminantes. A análise contínua de parâmetros de idade do lodo (Θ_c), relação alimento/microrganismo (A/M), tempo de detenção hidráulica (TDH), sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV), dentre outros são importantes para se ter a máxima eficiência de remoção como destacado por Venue *et al.* (2018). Nesse sentido, reatores do tipo lodo ativado de aeração prolongada com período de TDH de 20 horas avaliados por Mareai *et al.* (2020) obtiveram altas remoção de DQO e DBO com média acima de 90%.

Diante do exposto, a pesquisa teve o objetivo de realizar o monitoramento baseado na remoção de compostos orgânicos de duas estações biológicas de tratamento de esgotos doméstico e industrial na cidade de Juiz de Fora – MG.

MATERIAL E MÉTODOS

ETEs avaliadas

Foram avaliadas duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no município de Juiz de Fora - MG, a unidade ETE₁ Barbosa Lage (21°43'04,74" de latitude e 43° 23' 41,91" de longitude) e a unidade ETE₂ Barreira do Triunfo (21°40'05" de latitude e 43° 26' 20" de

longitude) (Figura 1), inseridas na bacia do Paraíbauna, zona da mata mineira e com classificação climática *Cwa* (subtropical úmida), de acordo com Köppen (PSB/JF, 2013).

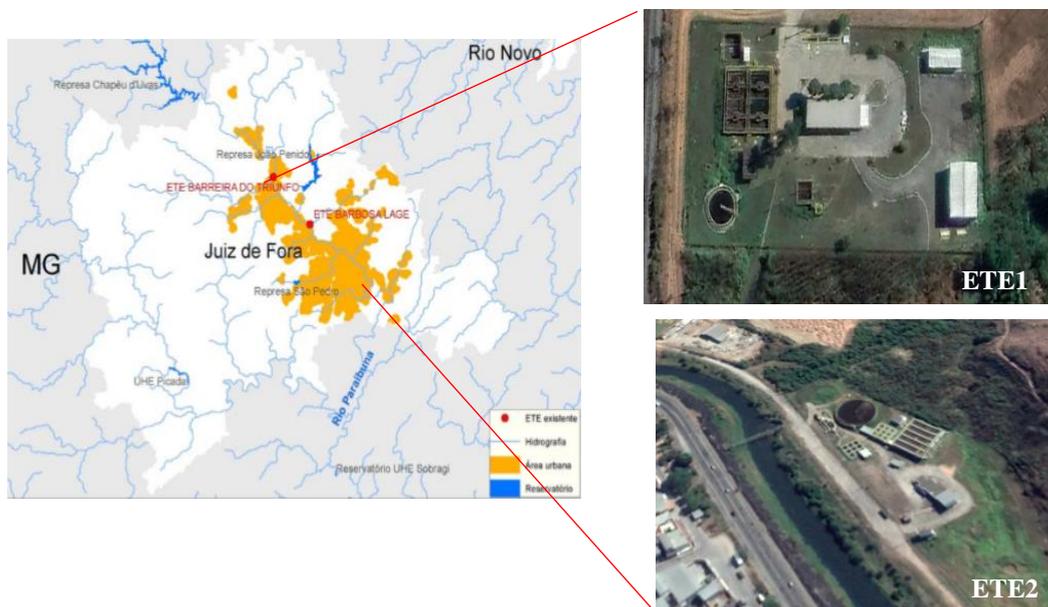


Figura 1. Localização das ETEs - ETE₁ Barbosa Lage e ETE₂ Barreira do Triunfo.

Fonte: Adaptado PSB/JF (2013), Google Maps (2020).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a cidade de Juiz de Fora - MG apresenta uma população média de 568.873 habitantes, no qual de acordo com o Plano Saneamento Básico de Juiz de Fora (PSB/JF, 2013), o atendimento urbano com coleta e é de 89,12%, chegando a 8,88 % da população sem acesso ao tratamento. Apesar do índice de cobertura alto, acima de 98,1%, quase 90% total do esgoto coletado é lançado in natura em corpos d'água.

A ETE₁ Barbosa Lage, que tem a função de tratar esgotos exclusivamente domésticos gerados, atendem uma população de 38.120 pessoas do município, enquanto que na ETE₂ Barreira do Triunfo trata esgoto de uma indústria automobilística, ambos pelo sistema de tratamento de lodos ativados de aeração prolongada. O esgoto industrial, parte é proveniente de sanitários e restaurante da Mercedes Benz, da unidade FIEMG e do antigo parque de fornecedores, localizados na empresa, e parte é esgoto da pintura, que é pré tratado especificamente para a linha de pintura e encaminhado a ETE₂. O esgoto tratado de ambos é lançado no corpo receptor, o rio Paraíbauna.

Os sistemas de ambas as estações são similares, apresentando unidades de tratamento preliminar com gaiola de remoção de sólidos grosseiros como a apresentada na Figura 2.

Seguindo têm-se um desarenador (Figura 3), responsável pela remoção de sólidos grosseiros e areia, e um medidor de vazão em seguida.



Figura 2. Gaiola de remoção de sólidos grosseiros – CESAMA/JF



Figura 3. Desarenador – CESAMA/JF

A unidade primária conta com equalizador de vazão, onde ocorre a etapa de homogeneização da massa líquida e melhor controle da vazão de entrada; e unidade secundária com um reator de lodos ativados de aeração prolongada seguido por um decantador secundário como unidades principais. No tratamento secundário, o reator de lodos ativados possui sistema

de aeração que acontece por meio de ar difuso com bolhas finas, com sopradores e 625 difusores de membrana. Na Tabela 1 são apresentados os valores para as variáveis de influência do sistema de lodos ativados, de aeração prolongada para a ETE₁ Barbosa Lage e a unidade ETE₂ Barreira do Triunfo.

Tabela 1. Condição do processo de lodo ativado aeração prolongada para ETE₁ Barbosa Lage e a unidade ETE₂ Barreira do Triunfo.

Variáveis	Unidades	ETE ₁	ETE ₂
Temperatura do reator	°C	26,3	25,8
Volume do Tanque de Aeração (TA)	m ³	5000	500
Comprimento TA	m	30	15
Largura TA	m	30	10
Altura TA	m	5,6	3,5
Taxa de aeração	Kg d ^{-1*}	5529	5170
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	horas	22	20
Idade do Lodo	dias	28	22
Razão de recirculação	%	50	50
SSTA	mg L ⁻¹	4500	4000
Volume do Decantador Secundário (DS)	m ³	8450	235,5
Diâmetro DS	m	29	5
Profundida Lateral DS	m	3,2	3
Declividade de fundo DS	m	1,3	0,5
IVL	mL g ⁻¹	120	110
SSV/SST		0,8	0,78

* Densidade do O₂ = 1,429Kg m⁻³

No decantador, os sólidos sedimentados por gravidade, retornam para o tanque de equalização. A fase sólida, excedente do lodo do decantador, é tratado em um digestor aeróbio, seguido de uma unidade de desidratação centrífuga. O mesmo é encaminhado para o aterro sanitário (PSB/JF, 2013). O croqui apresentado na Figura 4 demonstra o fluxograma do processo.

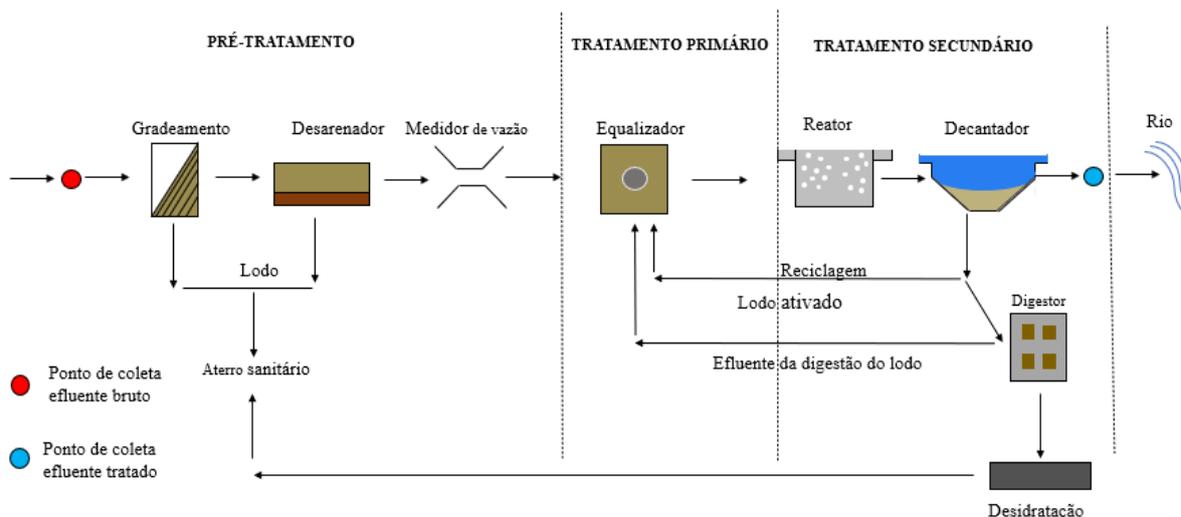


Figura 4. Croqui do sistema das ETEs

Qualidade do esgoto e eficiência das ETEs

Para avaliação das ETEs foram usados os dados coletados pelos operadores entre janeiro e dezembro de 2018, com base nas variáveis Vazão, Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pelo método Winkler (5210-B), Demanda química de oxigênio (DQO) pelo método de refluxo fechado e leitura titulométrica (5220-C, Sólidos suspensos totais (SST) (2540-X) e sólidos sedimentáveis (SD) (2540-X), conforme APHA (2017).

Para análise da eficiência do tratamento, foi considerado as concentrações de entrada e saída das águas residuárias aos pontos de amostragem, sendo calculado pela Equação 1.

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100 \quad (1)$$

onde:

E: eficiência de remoção (%);

S_o: concentração total entrada (mg L⁻¹);

S: concentração total saída (mg L⁻¹).

De acordo com Von Sperling (2016), a Taxa de Aplicação Sólidos (TAS), corresponde concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração, importante para o dimensionamento do decantador secundário. A TAS foi obtida pela Equação 2.

$$TAS = \frac{(Q + Q_r) \cdot SSTA}{A} \quad (2)$$

onde:

TAS: taxa de aplicação de sólidos ($\text{kg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

Q: vazão entrada ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$);

Q_r: vazão de recirculação ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$);

SSTA: concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração (mg L^{-1} ou g m^{-3});

A: área do decantador secundário (m^2).

De acordo com a ABNT 12.209/2011 o tempo de detenção hidráulica no decantador secundário relativo à vazão média, deve ser igual ou superior a $1,5\theta_h$.

$$\theta_h = \frac{V}{Q} 1,5 \quad (3)$$

onde:

θ_h : tempo de detenção hidráulica (horas);

V: Volume do decantador secundário (L)

Q: vazão entrada (L h^{-1});

Análise estatística dos dados

A partir dos estudos estatísticos preliminares, buscou-se o conhecimento do número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, valores máximos e mínimos, quartis inferior e superior, coeficiente de variação, desvio padrão referente aos dados, para melhor caracterização das dinâmicas e desempenho do sistema.

As concentrações de entradas, saída e eficiência de remoção dos constituintes foram comparados com valores de desempenho considerados usuais para o esgoto bruto e tratado, conforme literatura. Matos (2015) salienta que ao tratar dados ambientais, sobretudo de unidades de tratamento de águas residuárias, as quais não seguem a distribuição normal, as análises estatísticas devem ser feitas por testes não paramétricos. Sendo assim, utilizou-se o software Statistica 8.0 e os comandos necessários para geração dos testes Wilcoxon a 5%, para os dados de entrada e saída, seguidos do teste de Mann-Whitney para comparação entre as ETEs e teste de comparações múltiplas entre as variáveis da estação.

Foram feitas correlações entre as variáveis analisadas nas duas ETEs na saída ao tratamento, sendo calculadas com base na correlação de Spearman, sendo os valores categorizados conforme Hopkins (2016), sendo: $0.0 < r < 0.3$ (baixa), $0.3 < r < 0.5$ (Moderada), $0.5 < r < 0.7$ (forte), $0.7 < r < 0.9$ (muito forte), $0.9 < r < 1.0$ (extremamente forte).

Analisou-se comparativamente, também, os resultados com padrões brasileiros estabelecidos pela CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005); 430/2011 (BRASIL, 2011) e COPAM 01/2008. A organização dos dados foi feita em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel), em ordem mensal de monitoramento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vazão e estatística descritiva das variáveis entrada e saída da ETE₁

A dinâmica de tratamento e a análise da estatística descritiva do sistema ETE₁ Barbosa Lage, referente aos dados de entrada e saída para vazão, DQO, DBO, SD e SST, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatísticas descritivas referentes às concentrações de entrada e saída dos constituintes para ETE₁ B. Lage.

	Parâmetros	Vazão (L s ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)	SD (mL L ⁻¹)
Entrada	Mediana	46,90 a	488,50 a	251,40 a	157,00 a	2,70 a
	Máximo	56,80	830,00	495,00	255,00	5,00
	Média	42,70	472,75	249,40	156,30	2,50
	Mínimo	13,50	73,60	107,30	73,00	0,40
	DP	12,70	230,00	115,30	57,00	1,30
	CV	0,30	0,40	0,40	0,30	0,50
Saída	Mediana	34,10 b	91,00 b	24,90 b	54,50 b	1,50 a
	Máximo	51,40	475,00	73,00	105,00	8,00
	Média	35,40	108,33	33,20	53,30	2,10
	Mínimo	11,50	28,00	9,90	10,00	0,10
	DP	12,60	120,80	20,80	26,10	2,30
	CV	0,40	0,90	0,60	0,40	1,00

DV: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; medianas seguidas de letras diferentes diferem pelo teste estatístico de Wilcoxon a 5%.

As médias de entrada acrescidas a um desvio padrão são para: DQO, 478 ± 230 mg L⁻¹; DBO, 249 ± 115 mg L⁻¹; SST, 156 ± 57 mg L⁻¹; SD, 2 ± 1 mL L⁻¹. Os coeficientes de variação elevados para as variáveis (DQO, DBO e SD) indicam alta dispersão de dados. Vianna e Melo (2019) apresenta que valores médios para DQO, DBO e SST de 508, 200, 195 mg L⁻¹, considerando os DP, são próximos aos apresentados, sendo características de composição típica

de águas residuárias de média concentração. A relação DQO/DBO do esgoto bruto encontrada foi de 1,91, caracterizando-se de acordo com Miguel Paschoalato e Novaes (2020) como águas residuárias de tratamento biológico, devido a sua maior capacidade de biodegradabilidade, abaixo de 2,5.

Após o tratamento, as médias com o desvio padrão foram de DQO, $108 \pm 120,8$; DBO, $33,2 \pm 20,8$; SST, $53 \pm 26,1$; SD, $2 \pm 2 \text{ mL L}^{-1}$. De acordo com o teste de Wilcoxon a 5% houve diferença significativa no tratamento para todas as variáveis, exceto para SD, que não houve eficiência (-83%), ao longo do tempo para a variável. Uma hipótese pode ser devido ao sistema receber águas residuárias em conjunto com águas pluviais, que ao entrar no sistema promovem um aumento da velocidade do líquido, arrastando os sólidos presentes no decantador secundário e saindo com o esgoto tratado final. Orssatto, Boas e Eyng (2015) em seus estudos relacionaram a alta variabilidade dos SD na saída do tratamento, ao arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão. A TAS ficou em $30,2 \text{ Kg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo considerada de acordo com a ABNT 12.209/2011 adequados, ou seja, idades de lodo superiores a 18 dias, a taxa de aplicação hidráulica máxima é de $120 \text{ Kg m}^2 \text{ dia}$. O IVL, de 120 mg L^{-1} é considerado de média sedimentabilidade de acordo com Von Sperling (2002). Esta variável influencia na formação do lodo granular aeróbio, que possui características de uma estrutura regular, densa, forte, com boas propriedades de sedimentação, permitindo uma alta retenção de biomassa (TAO *et al.*, 2017). Ao se dimensionar o TDH do decantador secundário, encontrou-se valores de 36,64 horas, maiores que um dia (24 horas). Longos períodos de tempo no decantador secundário como os encontrados, podem permitir a desnitrificação. Zoppas, Bernardes e Meneguzzi (2016) reforçam a importância desse processo, que deve ser inserido no projeto original de dimensionamento para que problemas operacionais graves não ocorram, como por exemplo, a flotação do lodo no decantador secundário devido à liberação de nitrogênio gasoso.

Machado *et al.* (2020) observaram em seus estudos com lodos ativados convencionais, com TDH de 9 horas, vazão média de $0,67 \text{ L s}^{-1}$, valores de saída para DQO de $140,7 \text{ mg L}^{-1}$ e para DBO de $65,3 \text{ mg L}^{-1}$, superiores aos os valores de concentração de saída do presente estudo. Já Bueno, Piveli e Campos (2019) em seus estudos com esgoto sanitário, em reator lodo ativado com aeração prolongada em escala piloto, com idade de lodo de 20 dias e TDH de 24 horas constatou valores de eficiência remoção de 96 e 92 %, para DQO e SST, sendo essas médias de concentração final de 249 e 8 mg L^{-1} . Teixeira *et al.*, (2018) ressalta que diferentes

eficiências de remoção têm sido obtidas para lodo ativado, e os melhores resultados foram atribuídos a maior TDH, prolongadas idade de lodo, entre outros fatores de influência.

A maior variabilidade dos dados coletados ao longo do período de monitoramento, pode ser resultante das mudanças de consumo de água, condições ambientais, atividade operacional entrada ao sistema de tratamento, do próprio sistema de coleta que não separa as águas pluviais, dentre outros fatores.

Na Figura 5, “box- whisker”, buscou-se uma visualização da variabilidade dos dados. São apresentados na figura, valores mínimos e máximos, os percentis 25 e 75% e a mediana referente as variáveis analisadas.

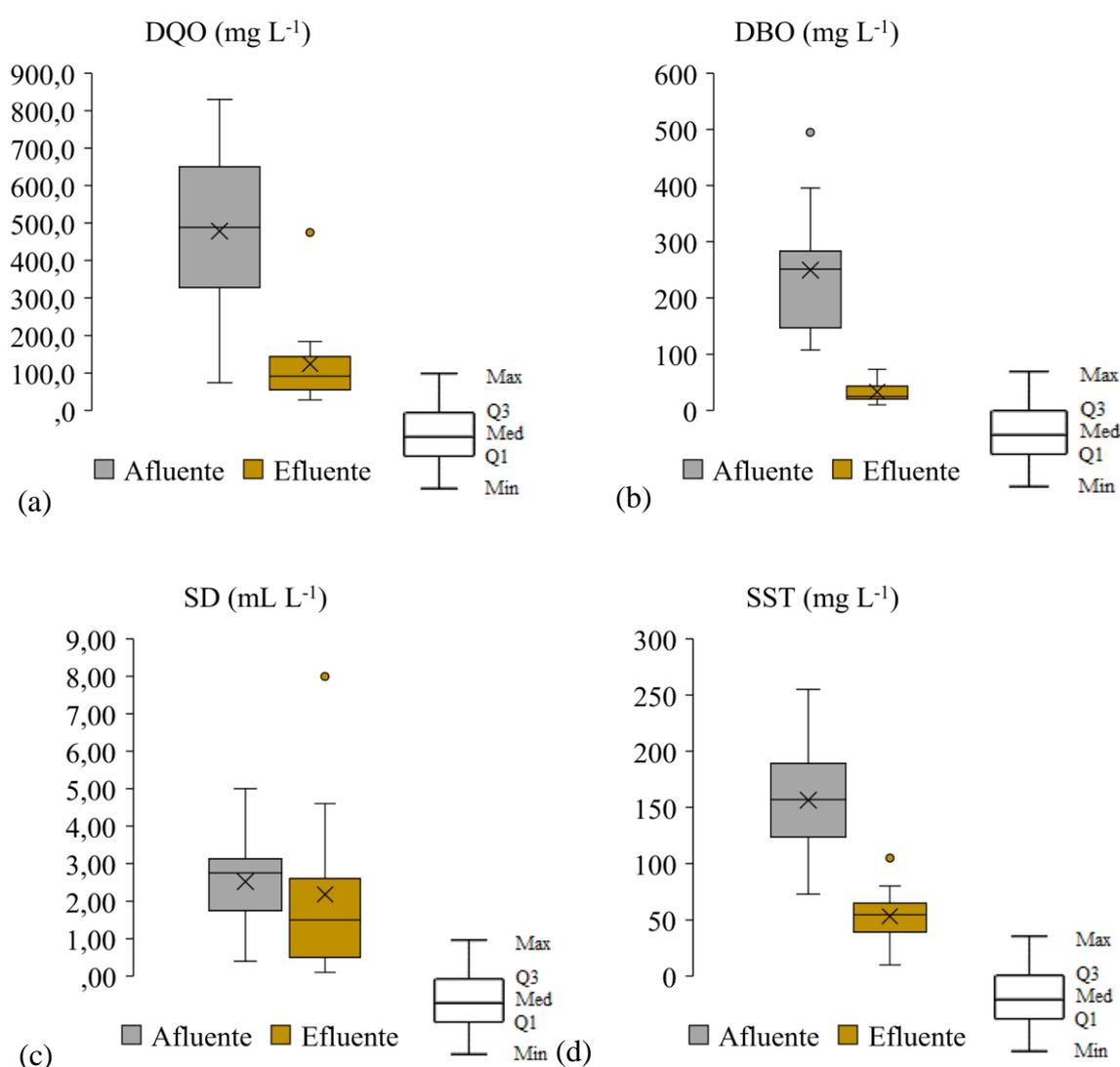


Figura 5. Variáveis de qualidade do esgoto doméstico das estações ETE₁ B. Lage, sendo: ^(a)DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; ^(b)DQO: Demanda química de oxigênio; ^(c)SST: Sólidos suspensos totais; ^(d)SD: Sólidos sedimentáveis.

Saliba (2016) discute que a faixa de valores típicos de concentração de DQO no esgoto bruto é de 250 a 1000 mg L⁻¹. A ETE₁, apresentou faixa de variação para DQO, considerando a faixa entre Q₁ e Q₃ de 327 a 650 mg L⁻¹, indicando se tratar de esgoto de concentração média a mais diluído.

Observa-se acima, uma pequena variação na saída, do esgoto tratado, em exceção para os sólidos sedimentáveis. Estudos em reator UASB, seguido de lodo ativado na ETE Betim, conduzidos por Saliba (2016) com uma vazão 514 L s⁻¹, tiveram valores mínimos e máximos, de 3 e 62 mg L⁻¹, para DBO, próximos aos valores de 9,9 e 73 mg L⁻¹ encontrados neste estudo. A mediana do esgoto tratado de 24,9 mg L⁻¹, abaixo da média, reforça a eficiência do sistema, superior ao encontrado por Saliba *et al.* (2016). A baixa variabilidade na saída infere uma confiança no comportamento do processo. Oliveira e Von Sperling (2005), lembram que a confiabilidade de uma ETE é baseada no conhecimento do comportamento do processo das variações na qualidade do esgoto tratado. Para os sólidos sedimentáveis, observou-se uma concentração mais elevada na saída de sólidos, quando se comparado com a entrada.

Fez-se uma comparação entre as concentrações de entrada observadas para a ETE₁ em operação e valores usuais reportados pela literatura de Von Sperling (2005), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação entre concentrações de águas residuárias de entrada usuais e observadas dos constituintes da ETE₁.

Variáveis	Concentrações usuais ⁽¹⁾		Concentração observada ETE ₁	
	Faixa	Típico	Faixa ⁽²⁾	Média
DBO (mg L ⁻¹)	200,00 - 500,00	350,00	146,90 - 283,30	249,40
DQO (mg L ⁻¹)	400,00 - 800,00	700,00	327,50 - 650,20	478,80
SD (mL L ⁻¹)	10,00 - 20,00	15,00	1,70 - 3,100	2,500
SST (mg L ⁻¹)	200,00- 450,00	400,00	123,70 - 189,30	156,30

⁽¹⁾ Von Sperling, 2005; ⁽²⁾ Foram utilizados os quartis inferior e superior para a composição das faixas observadas

Para concentração observada, utilizou-se valores dos quartis inferiores e quartis superiores das concentrações de entrada medidas, como sendo valores máximos e mínimos considerados típicos para despejos domésticos. A faixa de valores típicos de concentração de SST no esgoto bruto é 200 a 450 mg L⁻¹ (VON SPERLING, 2005). Na ETE₁, a faixa de variação dessa variável considerando a faixa entre 2º quartil e 3º quartil, foi de 123,7 a 189,3 mg L⁻¹, ou seja, encontrou-se dentro dos limites verificados na literatura. Observou-se de uma maneira

geral que o esgoto de entrada apresentou uma concentração média abaixo dos valores reportados nas faixas usuais, para todos os constituintes. Uma justificativa para o ocorrido se deve a grande parte dos sistemas de coleta de esgoto da cidade ser de rede mista (PSB/JF, 2013), ou seja, o lançamento de águas pluviais nas redes coletoras de esgoto interfere em sua concentração. Comparou-se os valores também, com outros estudos semelhantes como reportado na Tabela 4.

Tabela 4. Comparação entre concentrações de entrada observados na ETE₁ com outros autores que utilizam o processo de tratamento de lodos ativados com aeração prolongada.

Variáveis	Observada na ETE ₁	Barroso <i>et al.</i> (2020) ⁽¹⁾	Barroso <i>et al.</i> (2020) ⁽¹⁾	Nikmanesh <i>et al.</i> (2018) ⁽³⁾	Bueno, Piveli e Campos (2019) ⁽⁴⁾
DBO (mg L ⁻¹)	249,40	327,00	307,00	54,83	---
DQO (mg L ⁻¹)	478,80	730,00	652,00	102,66	587,00
SD (mL.L ⁻¹)	2,50	---	---	---	---
SST (mg L ⁻¹)	156,30	320,00	256,00	105,00	92,00

⁽¹⁾ Barroso, 2020 (ETE 6); ⁽²⁾ Barroso, 2020 (ETE 7); ⁽³⁾ Nikmanesh *et al.*, 2018; ⁽⁴⁾ Bueno, Piveli e Campos., 2019 (STE – 1).

Comparou-se os resultados das variáveis DBO, DQO e SST com valores reportados na literatura e constatou-se que a carga presente no estudo se encontrou dentro dos valores máximos e mínimos médios analisados. Em complemento, Barroso *et al.* (2020) em suas avaliações em ETEs pertencentes a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), no qual apresentaram concentrações superiores as médias de 249 mg L⁻¹ observadas por este estudo, sendo para DBO da ETE 6 e ETE 7, foram 327 e 307 mg L⁻¹. Ao se analisar o SST também se observa valores acima dos presente por este estudo, para a ETE 6 essa diferença foi de 163 mg L⁻¹ e para a ETE 7 de 99 mg L⁻¹. Essa diferença pode estar ligada as diferentes concentrações de esgoto bruto, no qual é influenciada pela contribuição per capita do esgoto. Por outro lado, ao comparar o estudo com Nikmanesh (2018), percebe-se que os valores de DBO e DQO foram quase quatro vezes inferiores aos observados no presente estudo. A baixa densidade populacional da cidade de Nowshahr, com poucas residências ligadas a rede, e maior ocorrência de infiltração na mesma foram descritos para justificar a menor concentração de poluentes.

Para as concentrações de entrada observadas, comparou-se com valores usuais reportados por Von Sperling (2005), para o sistema de lodo ativado, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação entre concentrações de saída da ETE₁ observadas e com valores observados na literatura para ETEs que utilizam o processo de tratamento de lodos ativados com aeração prolongada.

Variáveis	Concentrações usuais ⁽¹⁾	Concentração observada ETE ₁	
	Faixa	Faixa ⁽²⁾	Média
DBO (mg L ⁻¹)	10,00 - 40,00	20,16 - 43,34	33,22
DQO (mg L ⁻¹)	30,00 - 120,00	54,75 - 144,00	123,66
SD (mL L ⁻¹)	---	0,50 - 2,60	2,17
SST (mg L ⁻¹)	20,00 - 40,00	39,00 - 65,00	53,33

⁽¹⁾ Von Sperling, 2005; ⁽²⁾ Foram utilizados os quartis inferior e superior para a composição das faixas observadas.

As concentrações de entrada observadas para DBO se mantiveram dentro da faixa usual, já para DQO e SST, os valores médios foram acima das faixas usuais utilizadas para avaliar o desempenho. Comparou-se com outros estudos semelhantes como reportado logo abaixo, na Tabela 6.

Tabela 6. Comparação entre concentrações de saída observadas e pesquisados na literatura para constituintes da ETE₁

Variáveis	Observada na ETE ₁	Barroso <i>et al.</i> 2020 ⁽¹⁾	Barroso <i>et al.</i> 2020 ⁽²⁾	Nikmanesh <i>et al.</i> 2018 ⁽³⁾	Bueno, Piveli e Campos 2019 ⁽⁴⁾
DBO (mg L ⁻¹)	33,22	22,00	14,00	26,16	---
DQO (mg L ⁻¹)	123,66	77,00	46,00	47,5	249
SD (mL L ⁻¹)	2,17	---	---	---	---
SST (mg L ⁻¹)	53,33	31,00	19,00	42,30	8
TDH (horas)	22			24	24

⁽¹⁾ Barroso, 2020 (ETE 6); ⁽²⁾ Barroso, 2020 (ETE 7); ⁽³⁾ Nikmanesh *et al.*, 2018; ⁽⁴⁾ Bueno, Piveli e Campos., 2019 (STE - 1).

Barroso *et al* (2020), verificaram nas ETEs, sendo a ETE 6 trabalhando com vazão de 50,6 L s⁻¹, e ETE 7 de 29,1 L s⁻¹, média de remoção em torno de 90 % para as variáveis DBO, DQO e SST superior as encontradas por este estudo. As remoções de SST foram em média de 289 mg L⁻¹, mais que o dobro, de 102,97 mg L⁻¹ removidos pela ETE₁. Já Nikmanesh *et al.* (2018) encontraram valores de eficiência de 52%, 53% e 60% de DBO, DQO e SST, inferiores as eficiências observadas. Ao comparar a eficiência de remoção dos poluentes estudados neste sistema com outros estudos semelhantes, observa-se que a eficiência de remoção variou, o que pode ser devido às concentrações dos poluentes de entrada.

A matriz de correlação descrita na Tabela 7 foi realizada para esclarecer e avaliar as relações entre as variáveis do sistema.

Tabela 7. Matriz de correlação de Spearman saída das variáveis da ETE₁ B. Lage.

ETE	Variáveis	DQO	DBO	SD	SST
ETE ₁	DQO	1,00			
	DBO	0,29	1,00		
	SD	0,09	0,68*	1,00	
	SST	0,34	0,46	0,51	1,00

*Significativo à 5%.

Todas as variáveis acima, do esgoto tratado, se correlacionaram positivamente, ou seja, o aumento de uma unidade de uma variável gera um coeficiente r de mesmo impacto em sua variável correspondente. Há forte correlações para DBO x SD ($r = 0,68$), que podem ser esperadas já que o aumento nas vazões implica em um incremento de sólidos no esgoto, que por consequência está ligado a DBO. De acordo com Hopkins (2016) a correlação SST x SD ($r = 0,51$) é caracterizada também como forte.

Quando se avalia os dados das variáveis mensais de entrada e saída das águas residuárias em separado, mas entre os meses, é visto que não há diferenças significativas entre eles, justificando ausência de sazonalidade ao longo do tempo, tendo assim, um esgoto de entrada e saída com concentrações constantes ao longo do ano.

Vazão e estatística descritiva das variáveis entrada e saída da ETE₂

A estatística descritiva do sistema Barreira do Triunfo referente aos dados de entrada e saída dos constituintes vazão, DQO, DBO, SD. e SST são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Estatísticas descritivas referentes às concentrações de entrada e saída dos constituintes para ETE₂ Barreira do Triunfo.

	Variável	Vazão (L s ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)	SD (mL L ⁻¹)
Entrada	Mediana	4,50	924,00 a	517,00 a	273,20 a	16,80 a
	Máximo	4,90	6194,00	4244,00	14250,00	205,00
	Média	4,50	2002,50	1410,50	2657,50	53,10
	Mínimo	4,20	398,00	246,70	0,80	1,30
	DP	0,30	2260,20	1673,40	5692,20	80,00
	CV	0,10	1,10	1,20	2,10	1,50
Saída	Mediana	2,50	34,00 b	12,20 b	14,00 b	0,10 b
	Máximo	4,60	82,00	60,70	72,30	0,10
	Média	2,80	39,80	17,70	23,20	0,10
	Mínimo	1,40	19,00	1,00	7,00	0,10
	DP	1,50	23,90	21,60	24,60	0,00
	CV	0,50	0,60	1,20	1,10	0,00

DV: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; medianas seguidas de letras diferentes diferem pelo teste estatístico de Wilcoxon a 5%.

As médias de entrada mais o desvio padrão de DQO, DBO, SD e SST foram de $2002,50 \pm 2260,18$ mg L⁻¹; 1410 ± 1673 mg L⁻¹; 53 ± 80 mL L⁻¹ e 2657 ± 5692 mg L⁻¹, respectivamente. Singh e Ambekar (2020) em estudos em uma indústria automobilística constataram também valores de DQO de 2723,5 mg L⁻¹, relativamente próximos aos identificados. Os autores reforçam o alto nível de contaminação gerados pela indústria, principalmente quando se trata de oficinas de pinturas que produzem um grande volume de águas residuárias. Para a saída, as médias acrescidas ao desvio padrão para DQO, DBO, SD e SST foram de $39,8 \pm 23,9$ mg L⁻¹; $17,7 \pm 21,6$ mg L⁻¹; $0,1 \pm 0,0$ mL L⁻¹ e $23,2 \pm 24,6$ mg L⁻¹, respectivamente. A diminuição do desvio padrão infere valores menos dispersos, que influencia em um padrão de saída mais seguro para o sistema. O teste de estatístico de Wilcoxon a 5%, evidenciou diferença significativa no tratamento para todas as variáveis, sendo constatada altas eficiências no tratamento, como a DQO, que apresentou eficiência de 96% e concentrações de saída média de 39,8 mg L⁻¹. A TAS ficou em 15,2 kg m⁻² d⁻¹, abaixo do mínimo de 24 kg m⁻² dia⁻¹, e com IVL de 110 mg L⁻¹, situado entre 100 e 200 mg L⁻¹ considerados de média sedimentabilidade (VON SPERLING, 2016).

A relação DQO/DBO de entrada média anual foi levemente inferior a ETE1, de 1,41 sendo também considerado biodegradável.

Nos gráficos “box- whisker”, apresentados na Figura 6, buscou-se uma visualização da variabilidade dos dados. São apresentados na figura, valores mínimos e máximos, os percentis 25 e 75% e a mediana referente aos parâmetros analisados.

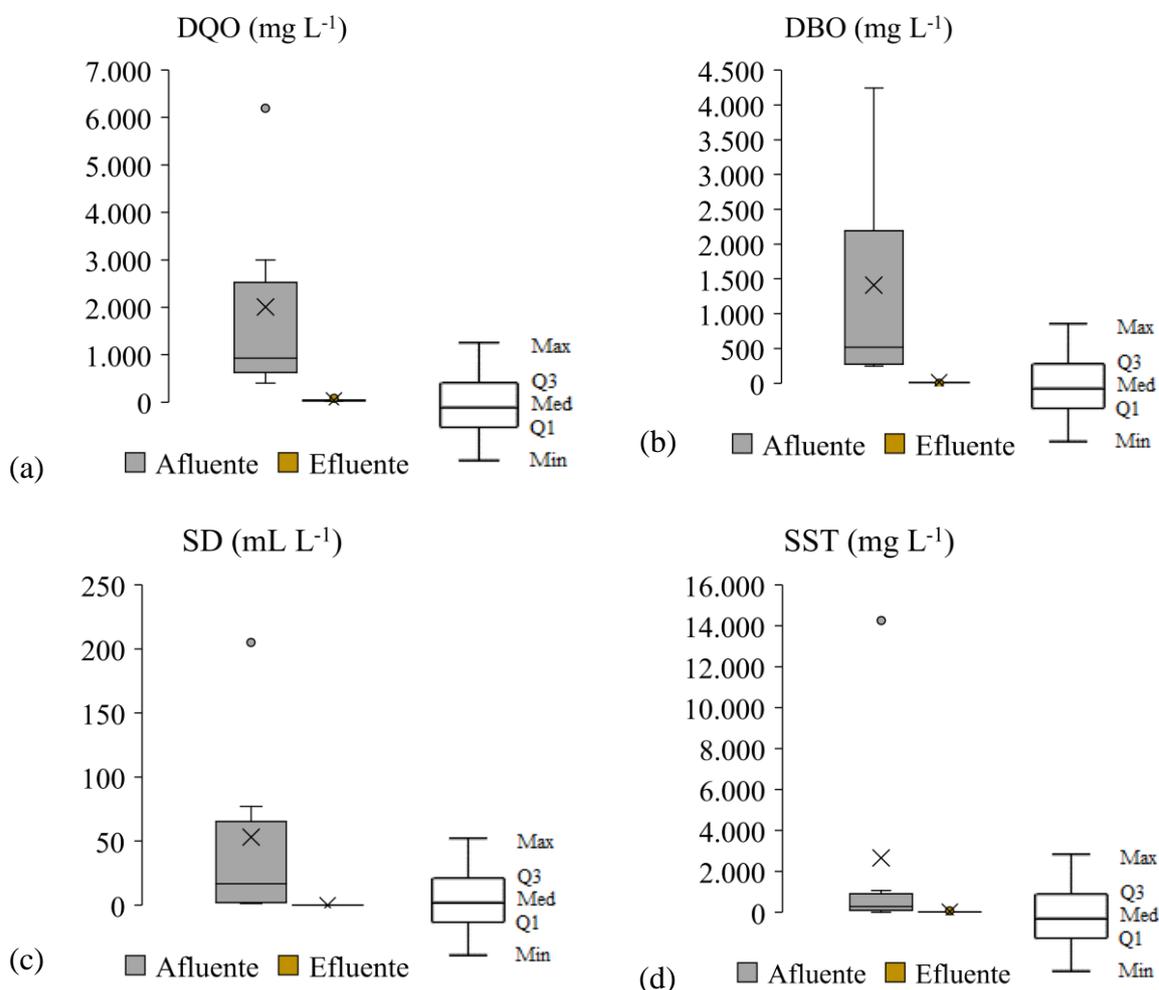


Figura 6. Variáveis de qualidade das águas residuárias industrial das estações ETE₂ B. Triunfo sendo: ^(a) DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; ^(b) DQO: Demanda química de oxigênio; ^(c) SST: Sólidos suspensos totais; ^(d) SD: Sólidos sedimentáveis.

A média de 39,8 mg L⁻¹ para a DQO da saída foi inferior ao identificado por Morais e Fonseca (2013), de 279,6 mg L⁻¹ em estudo realizado em uma indústria farmacocmeccêutica. Apesar de usarem a mesma tecnologia, Morais e Fonseca (2013) relatam que falhas técnicas influenciaram a diminuição da eficiência de remoção, superior neste estudo. Os valores de DQO de saída foram 17,7 mg L⁻¹ próximos aos estudos de Rocha *et al.*, (2016), de 9,7 mg L⁻¹ e iguais para SD, ambas menores que 1 mL L⁻¹. A baixa amplitude dos valores na saída, para todas as variáveis infere em uma melhor qualidade das águas residuárias, demonstrando um padrão na saída.

A matriz de correlação descrita na Tabela 9 foi realizada para esclarecer e avaliar as relações entre as variáveis do sistema.

Tabela 9. Matriz de correlação das variáveis da ETE₂ B. Triunfo.

ETE	Variáveis	DQO	DBO	SD	SST
ETE ₂	DQO	1			
	DBO	0,47	1		
	SD	0,72	0,84*	1	
	SST	0,44	0,57	0,79	1

*Significativo à 5%.

As variáveis acima, se correlacionaram positivamente, sendo que o aumento de uma unidade de uma variável, gera um coeficiente r de mesmo impacto em sua variável correspondente. Há muito fortes correlações entre SD x DBO ($r = 0,84$), SD x DQO ($r = 0,72$), SST x SD ($r = 0,79$), que podem se relacionar com a perda de sólidos pelo decantador. Também há fortes correlações entre SST x DBO ($r = 0,57$). Neves *et al.* (2017) identificou fortes relações positivas, $r = 0,85$, próximas as observadas por este estudo, indicavam valores estáveis entre as variáveis, ao longo do processo de operação. Moraes (2020) recorda que parte significativa dos sólidos são compostos de carga orgânica, tendo assim fortes relações com a DBO.

Avaliação das concentrações e das eficiências de remoção

Analisou-se estatisticamente através do teste de Mann-Whitney a 5% a relação entre a entrada e saída, sendo a análise descrita na Tabela 10.

Tabela 10. Comparação entre as ETEs para as variáveis de águas residuárias de entrada e saída.

ETE 1	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Vazão (L s ⁻¹)	46,9 a	34,1 a	
DQO (mg L ⁻¹)	488,5 a	91 a	71
DBO (mg L ⁻¹)	251,4 a	24,9 a	85
SST (mg L ⁻¹)	157 a	54,5 a	71
SD (mL L ⁻¹)	2,7 a	1,5 a	64
ETE 2	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Vazão (L s ⁻¹)	4,5 b	2,5 b	
DQO (mg L ⁻¹)	924 b	34 b	96
DBO (mg L ⁻¹)	517* b	12,2 a	97
SST (mg L ⁻¹)	273,2 a	14 a	98
SD (mL L ⁻¹)	16,8 a	0,1 b	97

Medianas seguidas de letras diferentes diferem pelo teste estatístico de Mann-Whitney a 5%.

Não houve diferença significativa pelo teste de Mann Whitney à 5%, entre a entrada e saída do esgoto tratado ao longo do ano de 2018 das ETEs, no inverno e verão, com exceção para a DBO de entrada no inverno da ETE 2, que foi superior à da ETE 1, apresentando uma mediana de 517 mg L⁻¹. Ressalta-se que diversos fatores podem ser responsáveis pela variabilidade do esgoto bruto, consequentemente as diferenças significativas da DBO, que de acordo com Barroso *et al.* (2020) estão relacionadas a contribuição per capita do poluente, o consumo per capita de água, presença de despejos industriais, entre outros fatores.

Demanda química de oxigênio (DQO)

A Figura 7, demonstra o comportamento do sistema para a variável DQO, ao longo do tempo estudado.

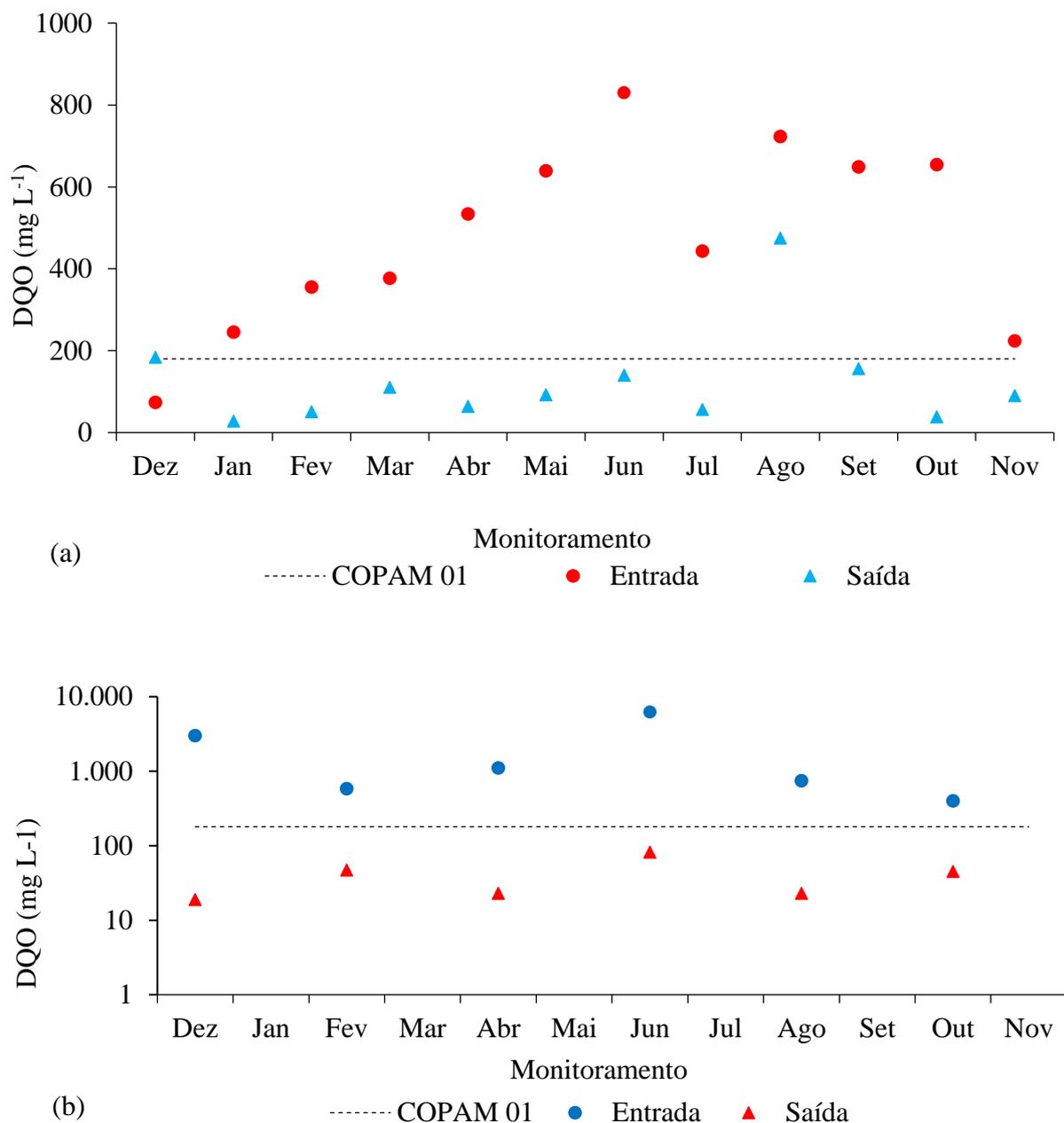


Figura 7. Gráfico de dispersão dos dados da variável DQO de entrada, saída e padrões ambientais das ETEs B. Lage (a) e B. Triunfo(b).

É possível observar para DQO ETE₁, que a entrada apresentou grande variabilidade na concentração, enquanto que a saída apresentou dois picos significativos nos meses de setembro e janeiro, com valores acima do exigido pela legislação.

Os valores de DQO de entrada variaram de 73,6 a 830 mg L⁻¹ com média de 478,88 mg L⁻¹. Scalize (2004) em seus estudos na ETE Bueno, que opera pelo processo de lodos ativados, verificou valores médios de DQO de entrada em torno de 897 mg L⁻¹, superior aos relatados

neste estudo. Já a DQO de saída, variou de 28 a 475 mg L⁻¹, com a mínima no mês de fevereiro, máxima no mês de setembro e média de 123,6 mg L⁻¹. O padrão de lançamento foi superior ao limite permitido pela COPAM nº 430/2011 (BRASIL, 2011), nos meses de janeiro e setembro, e apresentaram valores respectivos de 184 e 475 mg L⁻¹. A eficiência média foi de 58,61%, superior em quase todos os meses de acordo com a eficiência mínima da COPAM nº 01/2008. Retirou-se o mês de janeiro, pois houve valores negativos de eficiência.

A ETE₂ B. Triunfo recebeu concentrações máximas de DQO no quarto bimestre, de 6.194 mg L⁻¹ e mínima de 398 mg L⁻¹. Ao longo do tempo, os valores de saída das águas residuárias foram abaixo do padrão estabelecido pela COPAM nº 01/2008. A saída variou de 19 a 82 mg L⁻¹, sendo o valor mínimo similar aos de Rocha *et al.* (2016) em que se observaram a variância na saída de 19 a 74 mg L⁻¹. A eficiência média anual de 95,58% contribui para o alcance dos padrões estabelecidos pela norma.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A Figura 8, demonstra o comportamento do sistema para a variável DBO, ao longo do tempo estudado.

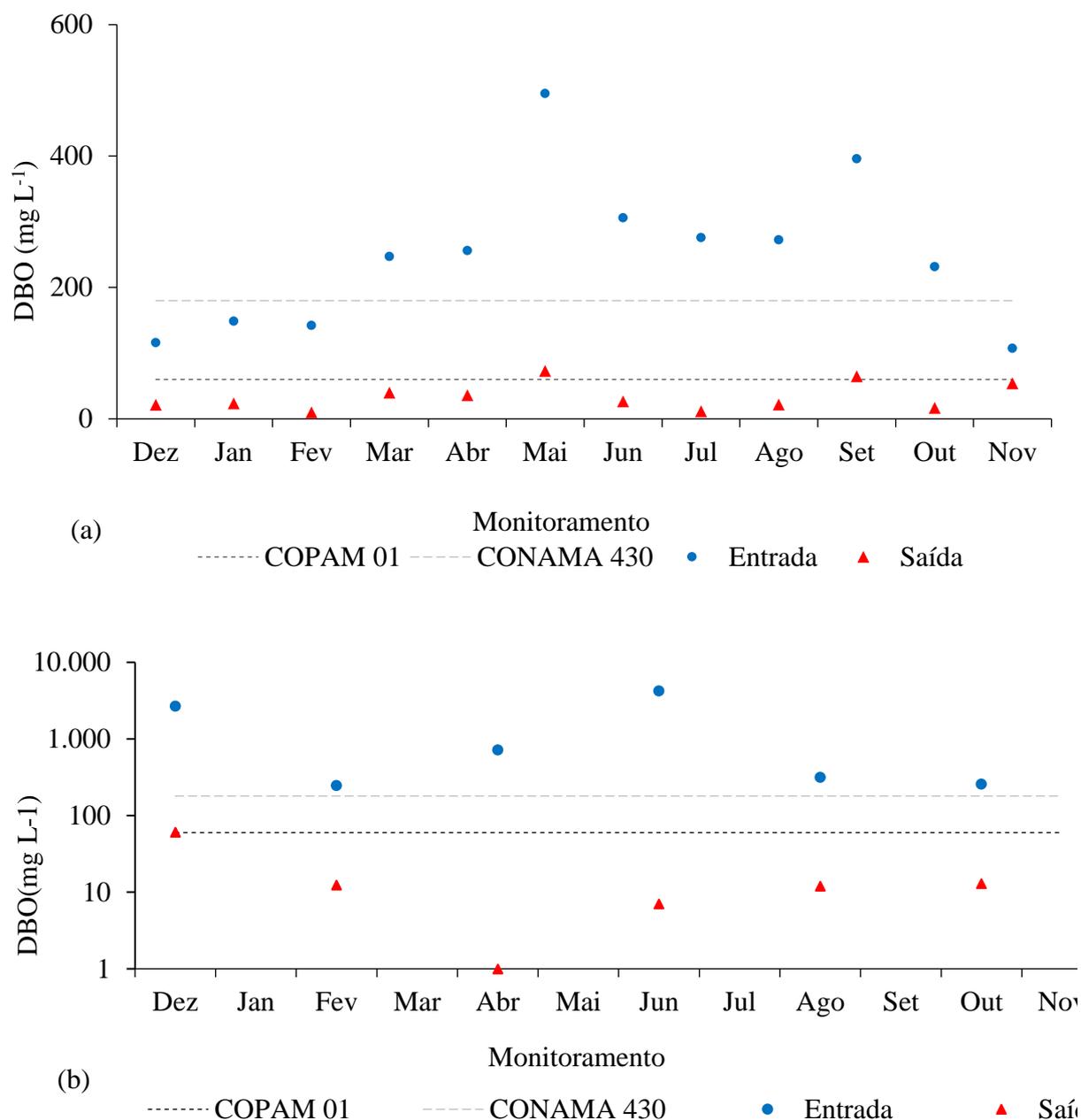


Figura 8. Gráfico de dispersão dos dados da variável DBO de entrada, saída e padrões ambientais das ETEs B. Lage (a) e B. Triunfo(b).

A DBO de entrada variou de 107,3 a 495 mg L⁻¹ com média de 249,45 mg L⁻¹. Del Guercio (2017) estudou um sistema de lodo ativado + UASB para esgotos domésticos com vazão de 32 Ls⁻¹ e reportou valores de entrada para a DBO de 556 mg L⁻¹ na estação seca, próximo a máxima de 495 mg L⁻¹ observados em junho nesse estudo. Scalize *et al.* (2004) encontraram valores médios de DBO na entrada em torno de 429 mg L⁻¹ para a ETE Bueno.

Para a DBO do esgoto tratado, os valores variaram de 9,91 a 73 mg L⁻¹, sendo a mínima no mês de dezembro e a máxima no mês de junho, com média de 33,25 mg L⁻¹.

O limite máximo de DBO bem como a eficiência mínima de remoção permitida pela CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) foi atendido para todos os meses avaliados, sendo essa eficiência média de 84,92%. Já quando comparada com os padrões estabelecidos pela COPAM 01/2008, junho e outubro tiveram valores de 13 e 4,6 mg L⁻¹ superior ao limite máximo de DBO aceito. Ao longo do ano, esses dois meses receberam as maiores cargas orgânicas de entrada, e apesar de atingir a eficiência de tratamento superior a 60%, os valores ainda foram superiores aos permitidos.

A ETE B. Triunfo recebeu concentrações de DBO máximas no quarto bimestre, de 4244 mg L⁻¹ e mínima, de 246,7 mg L⁻¹, no segundo bimestre. Luft *et al.* (2018) destaca que o esgoto pode variar de acordo com mudanças de operação nos processos, do produto a ser processado, da matéria-prima, e ainda, descartes ocasionais onde compostos químicos distintos podem estar presentes em grandes variáveis.

Ao longo do tempo, os valores de saída das águas residuárias foram atendidos para o padrão estabelecido pela CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011).

Sólidos suspensos totais (SST)

A Figura 9 demonstra o comportamento do sistema para a variável sólidos totais suspensos, ao longo do tempo estudado.

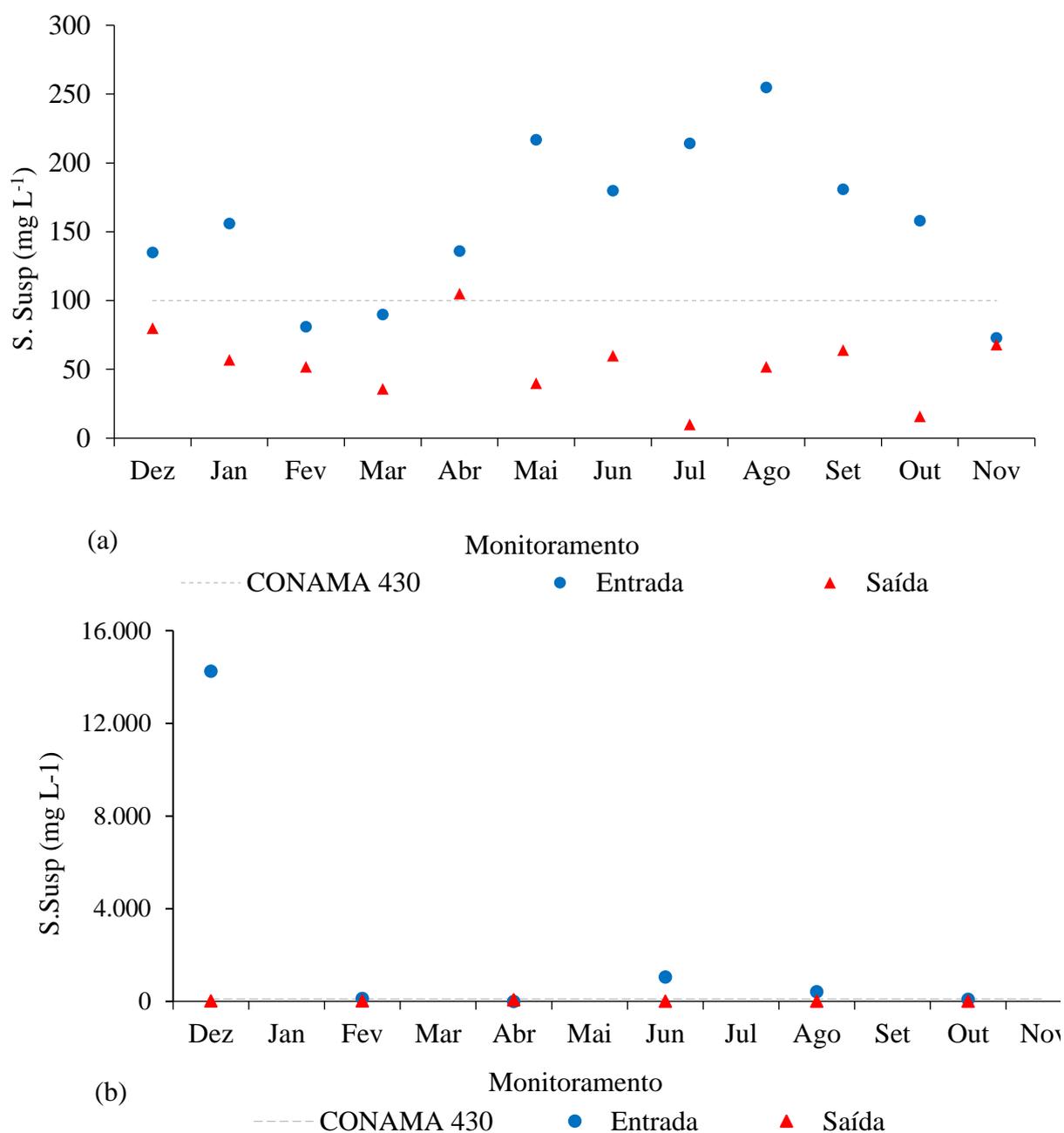


Figura 9. Gráfico de dispersão dos dados da variável SST de entrada, saída e padrões ambientais das ETEs B. Lage (a) e B. Triunfo(b).

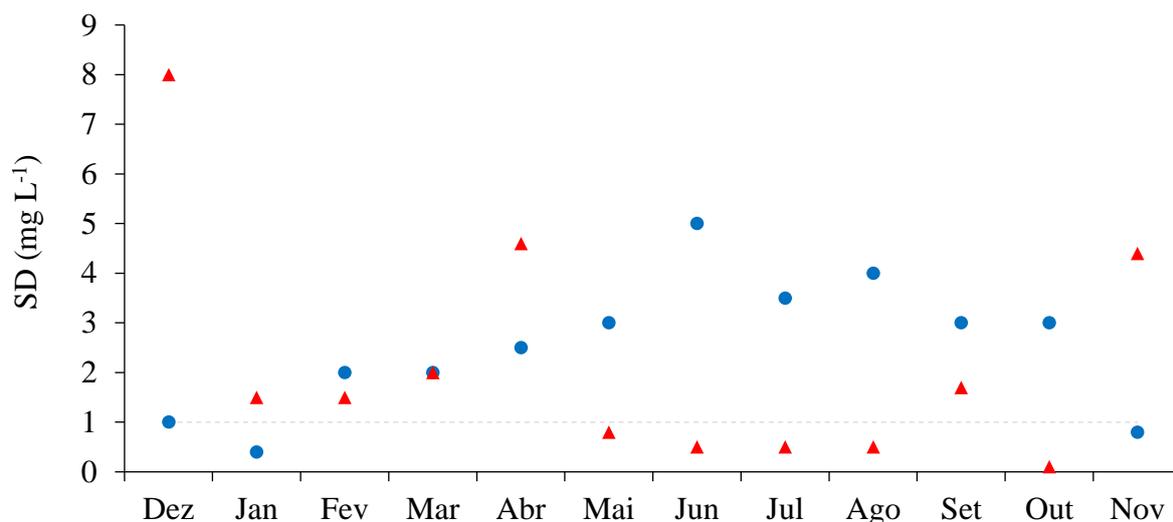
Os valores de SST na entrada variaram de 73 a 255 mg L⁻¹, sendo o mínimo registrado no mês de dezembro e o máximo no mês de setembro, e média de 157 mg L⁻¹. Para o esgoto tratado, os sólidos variaram de 10 a 105 mg L⁻¹, sendo a mínimo no mês de agosto e máxima no mês de maio, com média de 54,5 mg L⁻¹ similares a média encontrada por Costa *et al.* (2018)

de 60 mg L^{-1} . Nota-se também que o mês de maio apresentou valores 5% acima do permitido pela CONAMA nº 430/2011 e que a eficiência média foi de 64,05%.

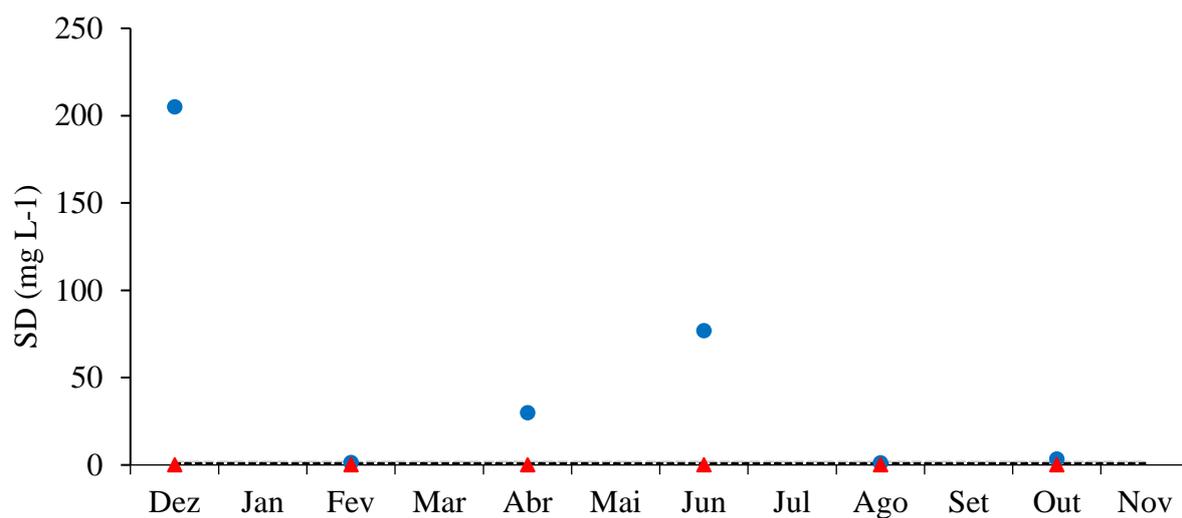
Os sólidos suspensos de entrada na ETE₂ B. Triunfo, variaram com máxima de 14.250 mg L^{-1} no primeiro bimestre e mínima de $90,9 \text{ mg L}^{-1}$, no sexto bimestre. Pohl e Lenz (2017) avaliou as águas residuárias geradas pelo Complexo automotivo da General Motors do Brasil (GMB), e observou média de 80 mg L^{-1} , próxima a mínima gerada pelas águas residuárias da Mercedes Bens (Indústria). Para a saída da ETE₂, os valores variaram de 7 a 72 mg L^{-1} , superiores aos valores descritos por Rocha *et al.* (2016), em sistema similar tratando efluente agroindustrial que variaram de 10 a 34 mg L^{-1} . Ao longo do tempo, os valores de saída foram atendidos para o padrão estabelecido pela CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Sua eficiência ao longo do ano foi de 90,9%. Eficiências negativas foram descartadas.

Sólidos sedimentáveis (SD)

A Figura 10, demonstra o comportamento do sistema para a variável sólidos sedimentáveis ao longo do tempo estudado.



(a) Monitoramento
 ----- CONAMA 430 ● Entrada ▲ Saída



(b) Monitoramento
 ----- COPAM 01 - - - - - CONAMA 430 ● Entrada ▲ Saída

Figura 10. Gráfico de dispersão dos dados da variável SD de entrada, saída e padrões ambientais das ETEs B. Lage (a) e B. Triunfo(b).

Os sólidos sedimentáveis de entrada apresentaram valores entre 0,4 e 5 mL L⁻¹, sendo o mínimo observado no mês de fevereiro e o máximo no mês de julho, com média de 2,75 mL L⁻¹. Para os sólidos sedimentáveis do esgoto tratado, variou-se de 0,1 a 8 mL L⁻¹, sendo a mínima no mês de novembro e a máxima no mês de janeiro, com média de 1,5 mL L⁻¹. Nos meses de janeiro, fevereiro, maio e dezembro, as concentrações de sólidos sedimentáveis na saída foram

maiores que entrada, isso pode ser devido às variações de vazão e ao horário não padronizado da coleta, pois em horários de pico de vazão, ocorre o arraste de sólidos dos reatores aeróbios e decantadores da estação de tratamento. A eficiência média foi negativa (-83,95%), o que influi um aumento na concentração da variável no esgoto.

A entrada da ETE₂ B. Triunfo apresentou concentrações de SD máximas no primeiro bimestre, de 205 mL L⁻¹ mínima, de 1,3 mL L⁻¹, no quinto bimestre, de 398 mL L⁻¹. A saída, similar as encontradas por Rocha *et al.*, (2016), se mantiveram constantes, com valores abaixo de 0,1 mL L⁻¹. Ao longo do tempo, os valores de saída foram todos atendidos para o padrão estabelecido pela CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e COPAM nº 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008). A eficiência de remoção foi de 97,05%.

CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado, conclui-se que o sistema de lodo ativado é adequado para o tratamento de esgoto sanitário no que tange a remoção de matéria orgânica, DQO (71%), DBO (85%) e SST (64%), atendendo assim a legislação ambiental, com exceção para sólidos sedimentáveis que somente foi atendida plenamente, no terceiro trimestre. Para melhora do desempenho da ETE Barbosa Lage, indica-se a configuração reator UASB seguido de Lodos Ativados, pois o primeiro substituirá o tanque de sedimentação primário, melhorando assim a eficiência de remoção das variáveis.

Para o tratamento de esgotos industriais, os valores de eficiência do sistema de lodos ativados foram superiores em todas as variáveis analisadas quando se comparadas com a eficiência dos esgotos domésticos. Os valores de remoção em média foram para DQO (96%), DBO (97%), SD (97%) e SST (91%).

A avaliação sistêmica do desempenho do sistema de tratamentos de esgoto é importante para a melhora constante dos processos, segurança do esgoto gerado, e melhora na evolução legislativa ambiental.

REFERÊNCIAS

AKHOUNDI, A.; NAZIF, S.; Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1350-1376, set. 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Bair R, Eaton A, Rice E, Bridgewater L, editors. Washintong, D.C: American Public Health Association; 2017. 1504p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de efluente sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BARROSO, G. R. *et al.* Estações de tratamento de efluente sanitário do brasil e da costa rica: estudo de caso comparativo das condições de qualidade do efluente bruto, do efluente e eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos. *AIDIS, México*, v. 13, n. 3, p. 773-790, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005) Resolução n° 357 de 18 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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011) Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BUENO, R. F.; PIVELI, R. P.; CAMPOS, F. Lodo ativado com aeração prolongada operado sob baixa concentração de oxigênio dissolvido: comportamento cinético das bactérias heterotróficas e autotróficas nitrificantes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 24, n. 5, p. 939-947, 2019.

COSTA, J. F. *et al.* Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 191-200, 2018.

DEL-GUERCIO, A. M. F.; CHRISTOFOLETTI, C. A.; FONTANETTI, C. S. Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto doméstico pelo teste do micronúcleo em *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 1121-1128, 2017.

GOOGLE Inc. Software GOOGLE Maps. 2021. Disponível em: <https://satellite-map.gosur.com>. Acesso em: 01/08/2020.

IBGE. Estimativas populacionais dos municípios em 2020: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/juiz-de-fora.html>. Acesso em: 01/08/2020.

JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. Plano de Saneamento Básico do Município de Juiz de Fora. **Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico e de seus Impactos nas condições de Vida da População**. Juiz de Fora, p. 104, 2013.

LUFT, J. *et al.* Tratamento físico-químico de efluentes gerados na proteção superficial de aço carbono em indústria de peças agrícolas e automotivas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 540, 2018.

MACHADO, E. C. *et al.* Detecção e quantificação de bactérias resistentes aos antibióticos ampicilina e cloranfenicol em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.l.], v. 25, n. 6, p. 847-857, 2020.

MAREAI, B. M. *et al.* Performance comparison of phenol removal in pharmaceutical wastewater by activated sludge and extended aeration augmented with activated carbon. **Alexandria Engineering Journal**, [S.l.], v. 59, n. 6, p. 5187-5196, 2020.

MATOS, M. P. **Colmatação em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial: principais fatores e métodos de identificação em unidades plantadas e não plantadas**. 2015. 336 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MCCARTY, P. L. *et al.* Domestic wastewater treatment as a net energy producer can this be achieved? **Environmental Science e Technology**, Washington, v. 45, n. 7, p. 7100 – 7106, 2011.

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. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 13, n. 3, p. 822, 2020.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008. 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.

MORAES, D. L. *et al.*; análise comparativa de parâmetros hidráulicos para dimensionamento de tecnologias em estações de tratamento de esgoto. **Revista Internacional de Ciências**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 22-41, 2020.

MORAIS, R. L.; FONSECA, Y. V. P. Avaliação da remoção de DBO e de DQO da água residuária de uma indústria farmacocmeçêutica empregando o processo de lodos ativados por aeração prolongada. **RENEFARA**, Goiânia, v.4, n.4, p. 255 – 261, 2013.

MUNDIM, B. C. Utilização da avaliação do ciclo de vida em estações de tratamento de efluente doméstico no brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 58., 2019, Natal. **Anais [...]**. Natal: Abes, v. 6, p. 1 - 6, 2019.

NEVES, L. C. *et al.* Análise de regressão não linear aplicada a dados provenientes do tratamento de efluente de indústria de papel e celulose por meio de ultrafiltração e microfiltração. **O Papel**, n. 78, v. 6, p. 88-93, 2017.

NIKMANESH, M. S. *et al.* Performance Evaluation of the Extended Aeration Activated Sludge System in the Removal of Physicochemical and Microbial Parameters of Municipal Wastewater: A Case Study of Nowshahr Wastewater Treatment Plant. **Journal of Environmental Health and Sustainable Development**, [s. l], v. 3, n. 3, p. 509-517, 2018.

OLIVEIRA, S.M.A.C.; VON SPERLING, M.V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

ORSSATTO, F.; BOAS, M. V.; EYNG, E. Gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada: aplicação na operação e monitoramento de uma estação de tratamento de efluente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p.543-550, 2015.

POHL, S. C.; LENZ, D. M. **Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 551-562, 2017.

QI, M. *et al.* Pollution reduction and operating cost analysis of municipal wastewater treatment in China and implication for future wastewater management. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, p. 22-33, 2020.

ROCHA, K. M. *et al.* Monitoramento e avaliação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de uma estação de tratamento de efluentes com sistema de lodo ativado em uma agroindústria no meio oeste de Santa Catarina. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v.3, n. 1, p. 25- 36, 2016.

SALIBA, P. D. *et al.* Avaliação do desempenho de sistema de tratamento de efluente doméstico composto de reator UASB seguido de lodo ativado: estudo de caso da ETE Betim central – Mg. **Abes**, Rio de Janeiro, p. 1-14, 2016.

SCALIZE, P. S. *et al.* Correlação entre os valores de DBO e DQO no afluente e efluente de duas ETEs da cidade de Araraquara: Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. **Assembleia Nacional da ASSEMAE**, Caxias do Sul, 2004.

SINGH, S. AMBEKAR, S. V. Performance Evaluation of Effluent Treatment Plant of Automobile Industry – A Case Study. **International Research Journal of Engineering and Technology**: IRJET, Tamil Nadu, v. 7, n. 6, p. 5503-5508, 2020.

TAO, J. *et al.* Effect of granular activated carbon on the aerobic granulation of sludge and its mechanism. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 236, p. 60-67, 2017.

TEIXEIRA, R. B. *et al.* Determinação de hormônios estrogênicos em esgoto bruto e efluente de uma estação descentralizada de tratamento por lodos ativados. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 1, 16 abr. 2018.

VENEU, D. M. *et al.* Emprego do sistema de lodo ativado para tratamento de efluentes da indústria de conserva de cogumelos. **Holos Environment**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 59, 2018.

VIANNA, M. R.; MELO, C. B. Utilização do fruto seco descascado da *Luffa cylindrica* como meio suporte em filtros biológicos percoladores: análise do desempenho quanto à redução da carga orgânica e considerações microbiológicas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 13-20, 2019.

VON SPERLING, M. *Lodos Ativados*. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

VON SPERLING, M.V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de efluentes**. 3. ed. Belo Horizonte: ed. UFMG, 2005.

ZOPPAS, F.M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 29 - 42, 2016.