

## **Avaliação das condições de aeração e da eficiência do sistema modular utilizado para tratamento de efluente sanitário de universidade**

### **Assessment of aeration conditions and efficiency of the modular system used to treat university sanitary effluent**

DOI: 10.55905/rcssv12n5-007

Received on: August 15<sup>th</sup>, 2023

Accepted on: September 15<sup>th</sup>, 2023

#### **Roberto Henrique Walter**

Graduado em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, CEP: 91501-970

E-mail: beto.walter@yahoo.com.br

#### **Maurício Andrades Paixão**

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, CEP: 91501-970

E-mail: mauricio.paixao@ufrgs.br

#### **Cristiano Poletto**

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, CEP: 91501-970

E-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br

#### **Maria Cristina de Almeida Silva**

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, CEP: 91501-970

E-mail: maria.almeida@ufrgs.br

## **RESUMO**

Os sistemas de tratamento de efluentes buscam a eficiência na remoção ou transformação de substâncias indesejáveis, reduzindo os impactos gerados pelas atividades humanas e atendendo os padrões de lançamento de efluentes, determinados pelas legislações vigentes. O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de instalada em uma Universidade localizada no estado do Rio Grande do Sul/Brasil, composta por um sistema modular com dois reatores anaeróbios, um reator aeróbio, contendo meio suporte de leito móvel, um decantador e um tanque de contato para desinfecção. Esta avaliação foi realizada em três cenários distintos, sendo cada um monitorado por seis semanas consecutivas. No primeiro cenário (3S) analisou-se a eficiência do sistema ao manterem-se três sopradores de ar em operação. No segundo (2S), foram mantidos dois sopradores ligados e no último cenário (1S), apenas um. Os parâmetros analisados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>); Demanda Química de Oxigênio (DQO); Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK);

nitrogênio amoniacal; oxigênio dissolvido (OD); potencial de oxirredução (ORP); e série de sólidos. Os dados apurados foram confrontados com a eficiência de projeto estabelecida pelos fabricantes do sistema modular e com os padrões de lançamento de efluentes definidos pelas legislações vigentes. As diferentes condições de aeração interferiram na eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogênio, observando-se resultados mais satisfatórios na condição 3S. Apesar de ser verificada redução do OD no reator aeróbio entre os diferentes cenários analisados, em nenhum momento o reator apresentou concentrações abaixo de 2,5 mg O<sub>2</sub>/L. A maior parte dos valores de ORP obtidos durante o estudo corresponderam às condições esperadas para cada reator. Não foram percebidas alterações na formação de biomassa do meio suporte que pudessem estar relacionadas à mudança das condições de aeração do reator aeróbio. Os resultados de DBO<sub>5</sub> e DQO do efluente tratado demonstraram que a estação apresenta alta eficiência de remoção destes parâmetros, mesmo na condição de menor aeração. Contudo, nos três cenários avaliados, constatou-se baixa eficiência de remoção de nitrogênio. Acredita-se que a baixa eficiência de remoção de nitrogênio da ETE não seja relacionada somente às condições de aeração, mas também à variação da concentração de matéria orgânica biodegradável afluente à estação.

**Palavras-chave:** estação de tratamento de efluentes, eficiência, aeração, remoção de nitrogênio.

#### ABSTRACT

Effluent treatment systems aim at the efficiency in the removal or transformation of undesirable substances, reducing the impacts generated by human activities and meeting the standards for the release of effluents, determined by the current legislation. The present study aims to evaluate the efficiency of the Effluent Treatment Station (ETE) installed in a University located in the state of Rio Grande do Sul/Brazil, composed of a modular system with two anaerobic reactors, an aerobic reactor, containing a medium mobile bed support, a decanter and a contact tank for disinfection. This assessment was conducted in three different scenarios, each monitored for six consecutive weeks. In the first scenario (3S), the efficiency of the system was analyzed when three air blowers were kept in operation. In the second (2S), two blowers were kept on and in the last scenario (1S), only one. The parameters analyzed were: Biochemical Oxygen Demand (DBO<sub>5</sub>); Chemical Oxygen Demand (DQO); Total Kjeldahl Nitrogen (NTK); ammoniacal nitrogen; dissolved oxygen (OD); oxidoreduction potential (ORP); and solid series. The data were checked against the design efficiency established by the modular system manufacturers and against the effluent release standards defined by the current legislations. The different aeration conditions interfered with the removal efficiency of organic matter and nitrogen, with more satisfactory results being observed in the 3S condition. Although OD reduction was verified in the aerobic reactor between the different scenarios analyzed, at no time did the reactor show concentrations below 2.5 mg O<sub>2</sub>/L. Most of the ORP values obtained during the study were in the expected conditions for each reactor. No changes in the formation of biomass of the support medium were noticed that could be related to the change in the aeration conditions of the aerobic reactor. The DBO<sub>5</sub> and DQO results of the treated effluent demonstrated that the station has high efficiency in removing these parameters, even in the condition of lower aeration. However, in the three scenarios evaluated, low nitrogen removal efficiency was found. It is believed that the low nitrogen removal efficiency of the TEE is not only related to the aeration conditions, but also to the variation of the concentration of biodegradable organic matter affluent to the station.

**Keywords:** effluent treatment plant, efficiency, aeration, nitrogen removal.

## 1 INTRODUÇÃO

A saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas (CONAMA, 2011). Diante disto, os sistemas de tratamento de efluentes buscam a eficiência na remoção ou transformação de substâncias indesejáveis, presentes nas águas residuárias. Estes sistemas devem reduzir os impactos gerados pela atividade e atender os padrões de lançamento de efluentes, determinados pelas legislações vigentes (TELLES; COSTA, 2007).

Dentre os sistemas de tratamento biológico de efluentes, o sistema híbrido integrado por lodo ativado e biofilme de leito móvel (IFAS, do inglês *Integrated Fixed Film Activated Sludge*) apresenta-se como uma tecnologia relativamente nova. Neste sistema, o crescimento dos microrganismos que consomem a matéria orgânica ocorre ao mesmo tempo sob as formas aderida e suspensa (USEPA, 2010). Os IFAS podem alcançar eficiências próximas a 90%, no tratamento de esgotos sanitários, tanto para a remoção de matéria orgânica carbonácea, quanto para a remoção de nitrogênio. Já sistemas de lodo ativado convencional apresentam eficiências de 85% para a remoção de matéria orgânica carbonácea e 51% para a remoção de nitrogênio (FUGII et al., 2013).

A eficiência de um sistema de tratamento pode ser observada através da análise de uma série de parâmetros, capazes de caracterizar os efluentes bruto e tratado. Dentre estes parâmetros, pode-se destacar a análise dos sólidos presentes na matéria líquida, indicadores da presença de matéria orgânica e de nitrogênio (TELLES; COSTA, 2007). Além destes parâmetros, a verificação do oxigênio dissolvido (OD) e do potencial de oxirredução (ORP) são fundamentais para a análise das condições de operação do sistema de tratamento, principalmente em processos biológicos (LIMA, 2014; METCALF & EDDY, 2017; USEPA, 1993).

De acordo com Crizel e Lara (2020), a procura por processos de tratamento de efluentes eficientes e de baixo custo tem sido o objetivo de diversas pesquisas. Além da busca por novas tecnologias, destaca-se a necessidade de buscar ajustar as características técnicas e rotinas operacionais, visando uma melhor eficiência para adequar sistemas de tratamento já existentes. Conforme Fernández et al (2011), o custo do consumo de energia durante o processo de aeração também é importante. Em geral, aproximadamente um

terço do custo operacional total de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) deve-se às necessidades energéticas, e a energia consumida para o sistema de aeração representa aproximadamente 60-65% do consumo total de energia.

A ETE avaliada no presente estudo está instalada em uma Universidade localizada no estado do Rio Grande do Sul/Brasil, para tratamento de esgotos sanitários gerados nos banheiros da Instituição. A estação é constituída por sistema modular, com dois reatores anaeróbios, um reator aeróbio (do tipo lodo ativado e biofilme de leito móvel - IFAS), decantador secundário e tanque de contato para desinfecção. O sistema aeróbio conta com três sopradores que operam de forma constante, e análises de monitoramento do oxigênio dissolvido (OD), realizadas no reator aeróbio, apresentaram concentrações de  $8,3 \pm 0,5$  mg/L. Sendo assim, o sistema de tratamento poderia estar sendo operado com OD acima das concentrações recomendadas pela bibliografia, o que poderia representar desperdício energético.

Sriwiryarat et al (2008) avaliaram o efeito do OD na remoção de matéria orgânica, na forma de DQO, e de nitrogênio em sistema IFAS. Os resultados experimentais indicam que as concentrações de OD de 2, 4 e 6 mg/L não afetaram de forma significativa a remoção de DQO. Entretanto, foi verificada variação em relação à remoção de nitrogênio como consequência das diferentes taxas de nitrificação e desnitrificação. Cao et al. (2017) investigaram o efeito de concentrações de OD variando de 1,5 a 5,5 mg/L para processo de remoção biológica de nitrogênio. Após um período de aclimação, a maior eficiência de remoção de nitrogênio total foi observada na concentração de OD de 2,5 mg/L. Já Oliveira Netto (2007) recomenda a aplicação mínima de 2,0 mg/L de  $O_2$  em sistemas de tratamento que visam a nitrificação.

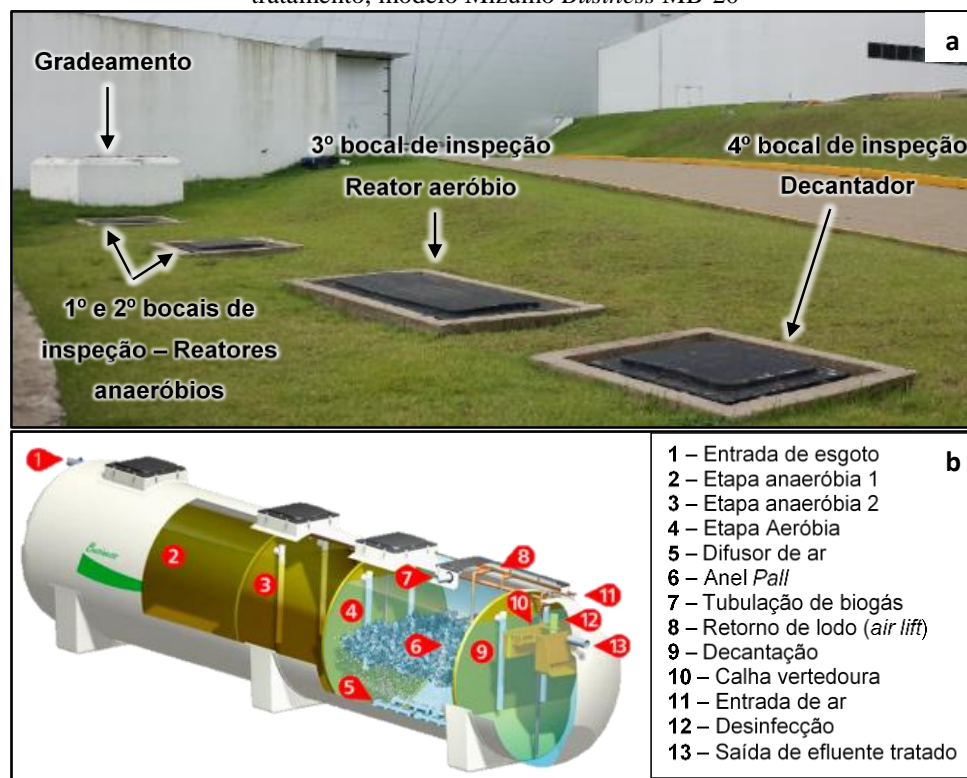
Desta forma, propôs-se a análise da eficiência do sistema de tratamento ao reduzir o número de sopradores em operação, verificando se a economia de energia elétrica alteraria a eficiência do sistema. Foram analisados em três cenários diferentes de aeração: 1) no primeiro cenário os três sopradores do sistema de aeração foram mantidos acionados, 2) no segundo cenário foram mantidos dois sopradores ligados e 3) no último, apenas um soprador (1S).

## 2 METODOLOGIA

A ETE instalada na Universidade é destinada ao tratamento de efluente sanitário, e é composta de gradeamento e sistema modular, modelo Mizumo *Business* MB-20.

Inicialmente, o efluente gerado é ao gradeamento com espaçamento de 1,5 cm entre as barras, a fim de evitar a entrada de sólidos grosseiros na estação. Na sequência, é encaminhado ao sistema modular, formado por: i) dois reatores anaeróbios, ii) um reator aeróbio, com meio suporte de leito móvel (IFAS), iii) decantador e iv) tanque de contato para desinfecção, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – (a) Local de instalação da ETE da Universidade e (b) Etapas do sistema modular de tratamento, modelo Mizumo *Business* MB-20



Fonte: (a) os autores; (b) Adaptado pelos autores com base em Mizumo (2016).

Os reatores anaeróbios, o reator aeróbio (IFAS), o decantador e o tanque de contato estão dispostos sequencialmente, dentro do tanque de tratamento, separados por paredes internas de fibra de vidro. A passagem do efluente entre os reatores é realizada de forma contínua, por ação da gravidade. O lodo depositado no fundo do decantador retorna para o primeiro reator anaeróbio, através de um sistema do tipo *air lift*, e a aeração do reator aeróbio é garantida por meio de três sopradores de ar.

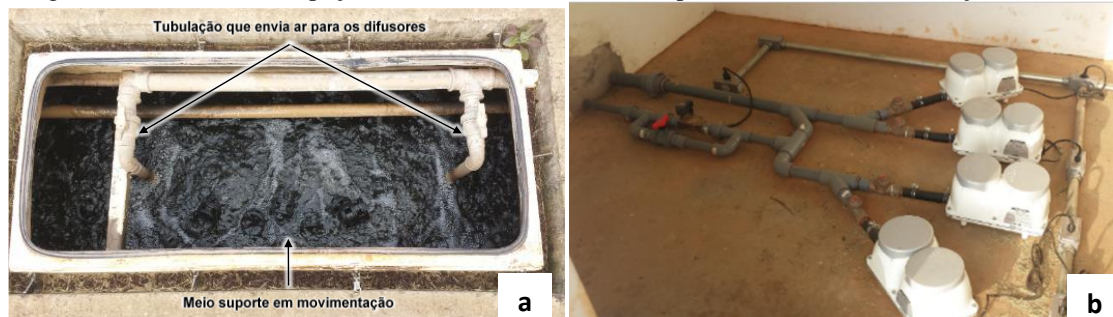
Segundo o fabricante, a capacidade máxima de tratamento da estação é de 20 m<sup>3</sup>/d. O sistema é composto por um tanque de dois metros de diâmetro, que, em conjunto com a casa de máquinas, ocupa uma área equivalente a 47 m<sup>2</sup>.

Os reatores anaeróbios sequenciais são formados por dois reatores de fluxo ascendente, com volumes de 11,43 m<sup>3</sup> e 5,69 m<sup>3</sup>, respectivamente, conforme Mizumo

(2013). O fabricante aponta que os reatores anaeróbios foram dimensionados a fim de garantirem, juntos, valores de tempo de detenção hidráulico (TDH) superiores a 20 horas, para vazões diárias médias de 20 m<sup>3</sup>/d.

O IFAS apresenta um volume equivalente a 9,49 m<sup>3</sup>, onde estão dispostos 3 difusores de ar. O reator é preenchido parcialmente com meio suporte do tipo Anel *Pall*. O TDH mínimo utilizado no dimensionamento do reator, para vazões médias de 20 m<sup>3</sup>/d, é de 10 horas, conforme o fabricante (MIZUMO, 2011; MIZUMO, 2013). A Figura 2 mostra a tubulação que direciona o ar para os difusores, localizados no fundo do reator, assim como o meio suporte em movimentação.

Figura 2 – (a) Bocal de inspeção localizado no IFAS e (b) Sopradores utilizados na aeração do IFAS.



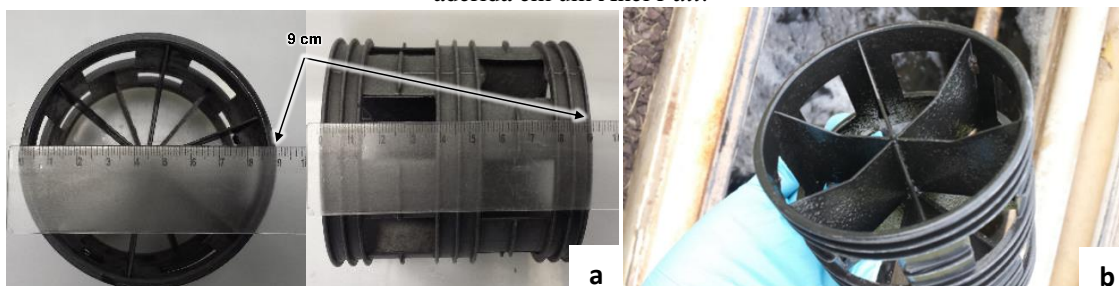
Fonte: os autores

Além de aumentar a concentração de OD no meio, a aeração, através de difusores de ar, permite que o lodo produzido não se decante no fundo do reator, reativando os microrganismos aeróbios que realizaram a sua digestão. Esta aeração é garantida por meio de três sopradores instalados na casa de máquinas. Existe também um quarto soprador reserva instalado, a fim de garantir a aeração do reator aeróbio caso haja algum problema técnico nos demais sopradores (Figura 2b). Segundo os fabricantes, os sopradores devem assegurar a transferência de 120 L/min de ar, para cada difusor instalado, ao efluente a ser tratado. Os sopradores utilizados na ETE são da marca Tohin, modelo TM200N, e possuem uma potência de 170 W, cada, transferindo aos difusores até 200 L/min de ar, por soprador.

A Figura 3a apresenta os Anéis *Pall* utilizados como meio suporte na ETE analisada. Os fabricantes afirmam que a área superficial específica destes anéis é maior que 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> e que o seu índice de vazio é maior que 95%. De acordo com os responsáveis pela operação da ETE, o meio suporte preenche cerca de 50% do volume do

reator aeróbio. A formação da biomassa aderida nos Anéis *Pall* pode ser observada na Figura 3b.

Figura 3 – (a) Anel *Pall* utilizado como meio suporte para formação de biomassa aderida e (b) Biomassa aderida em um Anel *Pall*.



Fonte: os autores

O decantador é a última etapa pela qual o efluente passa, antes de seguir para a desinfecção. Segundo Mizumo (2013), o volume do decantador é de 3,36 m<sup>3</sup> e do tanque de contato é de 0,40 m<sup>3</sup>. O TDH mínimo projetado para o decantador é de 4 horas, para vazões médias iguais a 20 m<sup>3</sup>/d. Já o tanque de contato é projetado para manter o material líquido por no mínimo 15 minutos. Nesta etapa, o material líquido entra em contato com tabletes de dissolução compostos por ácido tricloroisocianúrico, para desinfecção.

Em análises de monitoramento de rotina, constatou-se concentrações de oxigênio dissolvido elevadas no IFAS. Por isso, no presente trabalho, foi proposta a avaliação da eficiência de tratamento dos efluentes sanitários em três cenários diferentes de aeração: 1) No primeiro cenário os três sopradores do sistema de aeração foram mantidos acionados (3S), 2) No segundo cenário foram mantidos dois sopradores ligados (2S) e 3) No último, apenas um soprador (1S) operou.

Para verificar se a eficiência do sistema de tratamento foi mantida ao reduzir-se a quantidade de ar aplicado no IFAS, os parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK e nitrogênio amoniacal. Da mesma forma, foram analisados os parâmetros OD e ORP de todos os reatores que constituem o sistema, a fim de verificar se as condições de operação de cada reator conferem com as condições ótimas, conforme bibliografia. A série de sólidos foi analisada apenas no reator aeróbio, a fim de avaliar a quantidade de biomassa disponível para assimilação no reator.

Cada cenário foi monitorado por 45 dias. O desligamento dos sopradores, a fim de alterar as condições de aeração, foi realizado imediatamente após a última coleta dos cenários 3S e 2S.

As coletas e a análise dos parâmetros OD, ORP, DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK, nitrogênio amoniacal e a série de sólidos foram realizadas semanalmente. OD e ORP foram analisados nos reatores anaeróbios, IFAS e decantador do sistema modular. Já a série de sólidos foi avaliada somente no IFAS, para verificar possíveis alterações na biomassa em função das alterações das condições de aeração. Os demais parâmetros foram determinados no afluente e efluente à ETE. As coletas observaram as técnicas de amostragem e preservação apontadas pela ABNT NBR 9.898/1987. As metodologias de análise empregadas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Metodologias utilizadas para avaliação dos parâmetros físicos e químicos.

| Parâmetro            | Metodologia                             |
|----------------------|---|
| Nitrogênio amoniacal | 4500-NH <sub>3</sub> C, APHA (2012)     |
| NTK                  | 4500-N <sub>org</sub> C, da APHA (2012) |
| DQO                  | 5220 C, APHA (2012)                     |
| DBO <sub>5</sub>     | 5210 D, APHA (2012)                     |
| Série de sólidos     | 2540 B, 2540 C e 2540 E, APHA (2012)    |
| OD                   | Sonda Horiba, modelo U-5000G            |
| ORP                  |   |

Fonte: os autores

A concentração final da série de sólidos presente no IFAS foi calculada através da soma dos sólidos da matéria líquida do reator, à metade da concentração dos sólidos obtidos sob a forma aderida, uma vez que apenas 50% do volume do tanque de aeração é preenchido com o meio suporte.

Para determinação da concentração de sólidos dos Anéis *Pall*, um anel foi coletado, sendo disposto em um recipiente contendo água deionizada. Estes recipientes eram devidamente vedados e levados para um aparelho de ultrassom durante 1 hora, o que contribuiu para a remoção da biomassa aderida nas peças utilizadas como meio suporte. Em seguida, adotaram-se os mesmos procedimentos empregados para a determinação da série de sólidos presentes no material líquido do reator aeróbio, porém, utilizando a massa líquida homogeneizada, resultante do processo de sonificação dos Anéis *Pall*.

Considerando que a biomassa aderida em cada Anel *Pall* foi desprendida para 800 mL de água deionizada, ao multiplicar-se os resultados obtidos (mg/mL) por este volume, foi possível determinar a massa de sólidos presente em uma única peça de meio suporte. A razão entre a massa de sólidos obtida por anel (mg/peça) e o volume ocupado por um único meio suporte (cm<sup>3</sup>/peça) forneceu a massa de sólidos aderidos por unidade de volume (mg/cm<sup>3</sup>). Desta forma, foi possível estimar a concentração final da série de

sólidos presente no reator aeróbio, a partir da relação entre os sólidos do material líquido e a biomassa aderida, conforme descrito anteriormente.

Os resultados obtidos com as análises de monitoramento em cada cenário foram analisados por meio de gráficos comparativos de eficiência.

### 3 RESULTADOS

O presente estudo avaliou a eficiência do sistema modular de tratamento dos efluentes sanitários gerados na Universidade. No primeiro cenário (3S) foi analisada a eficiência do sistema mantendo-se três sopradores de ar em operação, no segundo (2S) foram mantidos dois sopradores ligados e no último cenário (1S), apenas um.

A Tabela 2 representa as concentrações médias de OD e ORP dos três reatores e do decantador da ETE, em cada um dos cenários criados.

Tabela 2 – Concentrações médias de OD e valores de ORP nos diferentes pontos e cenários analisados

| Ponto Analisado     | OD (mg/L) |           |           | ORP (mV)  |           |           |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                     | 3S        | 2S        | 1S        | 3S        | 2S        | 1S        |
| 1º Reator Anaeróbio | 0,4 ± 0,1 | 0,6 ± 0,0 | 0,4 ± 0,1 | -155 ± 37 | -94 ± 17  | -140 ± 53 |
| 2º Reator Anaeróbio | 0,5 ± 0,1 | 0,6 ± 0,1 | 0,5 ± 0,1 | -107 ± 71 | -116 ± 35 | -127 ± 45 |
| IFAS                | 9,2 ± 0,6 | 8,3 ± 0,6 | 5,5 ± 0,7 | 193 ± 25  | 172 ± 25  | 173 ± 16  |
| Decantador          | 4,9 ± 0,9 | 3,6 ± 1,2 | 2,1 ± 1,1 | 178 ± 19  | 147 ± 26  | 165 ± 20  |

Fonte: os autores

A partir da análise dos dados da Tabela 2, é possível observar a intervenção realizada no sistema de aeração do reator aeróbio. De acordo com Von Sperling (2009), a 20°C e ao nível do mar, a concentração de saturação de OD na água é igual a 9,2 mg O<sub>2</sub>/L. A concentração média de OD no tanque de aeração no cenário 3S foi de 9,2 ± 0,6 mg O<sub>2</sub>/L. Desta forma, pode-se afirmar que, durante o cenário 3S, o reator aeróbio operou em meio a condições próximas ou iguais à saturação de OD da água.

Apesar de haver uma redução significativa de OD no reator aeróbio entre os diferentes cenários analisados, em nenhum momento, durante o período de estudo, o reator apresentou concentrações abaixo de 2,5 mg O<sub>2</sub>/L. Este valor é considerado por Cao et al (2017) como a concentração ótima de O<sub>2</sub> necessária para que ocorram os processos de nitrificação. Com a redução do OD no reator aeróbio, conseqüentemente, o decantador também apresentou concentrações mais baixas de OD, a medida em que os sopradores eram desligados.

Em relação ao ORP, segundo Von Sperling (2011), ambientes aeróbios possuem valores de ORP superiores a +50 mV, aproximadamente, e ambientes anaeróbio

apresentam valores de ORP menores que  $-50$  mV. Entre estes valores, a condição que prevalece é a anóxica. Desta forma, a partir da leitura do ORP, é possível estabelecer os processos que devem estar acontecendo no meio, uma vez que a nitrificação ocorre em ambientes aeróbios e a desnitrificação sob condições anóxicas.

A nitrificação é um processo biológico realizado sob condições aeróbicas e normalmente consiste em duas etapas de oxidação consequentes. Na primeira etapa, as bactérias oxidantes de amônia oxidam a amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Durante a segunda etapa, as bactérias oxidantes de nitrito convertem  $\text{NO}_2^-$  em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). A desnitrificação envolve a redução sequencial de  $\text{NO}_3^-$  em  $\text{NO}_2^-$ , óxido nítrico (NO), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ). Este processo é normalmente realizado sob condições anóxicas por bactérias desnitrificantes, utilizando carbono orgânico como fonte de energia (DI CAPUA et al, 2022).

Os valores obtidos nos três cenários condizem com as condições esperadas para cada reator, exceto em três momentos. No cenário 3S um dos dados de ORP coletados no segundo reator anaeróbio sugere que, naquele instante, o reator apresentava condições anóxicas. Este fato se repetiu uma segunda vez no cenário 2S, também no segundo reator anaeróbio, e uma terceira vez no cenário 1S, porém no primeiro reator anaeróbio.

Após ocorrerem os processos de nitrificação no reator aeróbio,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  são liberados no efluente, que segue para o decantador. Através do sistema de *air lift*, parte do efluente do decantador retorna para o primeiro reator anaeróbio, junto ao lodo decantado. Por isso, acredita-se que o retorno deste efluente contendo  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  faz com que os reatores anaeróbios passem a apresentar condições anóxicas, favorecendo, eventualmente, a ocorrência da desnitrificação.

A Tabela 3 apresenta as concentrações médias e os desvios padrão dos sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos fixos (SDF), sólidos dissolvidos voláteis (SDV), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV) obtidos no reator aeróbio, nos diferentes cenários de estudo. Também é mostrado o percentual referente ao material líquido presente no reator e à biomassa aderida em seu meio suporte.

Tabela 3 – Concentrações e percentuais de matéria líquida e biomassa aderida obtidos para a série de sólidos do IFAS, nos diferentes cenários analisados

| Cenário | Parâmetro            | ST    | SDF   | SDV   | SSF  | SSV   |
|---------|----------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| 3S      | Concentração (mg/L)  | 472,7 | 165,8 | 166,9 | 5,1  | 134,9 |
|         | Desvio padrão (mg/L) | 134,8 | 34,9  | 34,0  | 3,23 | 73,7  |
|         | Matéria líquida (%)  | 85,9  | 34,9  | 29,3  | 0,70 | 21,0  |
|         | Biomassa aderida (%) | 14,1  | 0,2   | 6,1   | 0,37 | 7,5   |

|    |                      |       |       |       |      |       |
|----|----------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| 2S | Concentração (mg/L)  | 601,3 | 197,6 | 179,0 | 46,5 | 178,2 |
|    | Desvio padrão (mg/L) | 144,3 | 21,4  | 51,1  | 19,3 | 112,1 |
|    | Matéria líquida (%)  | 79,1  | 32,1  | 25,3  | 6,8  | 14,8  |
|    | Biomassa aderida (%) | 20,9  | 0,7   | 4,4   | 0,9  | 14,8  |
| 1S | Concentração (mg/L)  | 460,9 | 187,3 | 99,1  | 21,6 | 152,8 |
|    | Desvio padrão (mg/L) | 74,6  | 28,9  | 33,9  | 7,2  | 58,0  |
|    | Matéria líquida (%)  | 78,4  | 39,3  | 19,6  | 2,2  | 17,2  |
|    | Biomassa aderida (%) | 21,6  | 1,3   | 1,8   | 2,5  | 15,9  |

Fonte: os autores

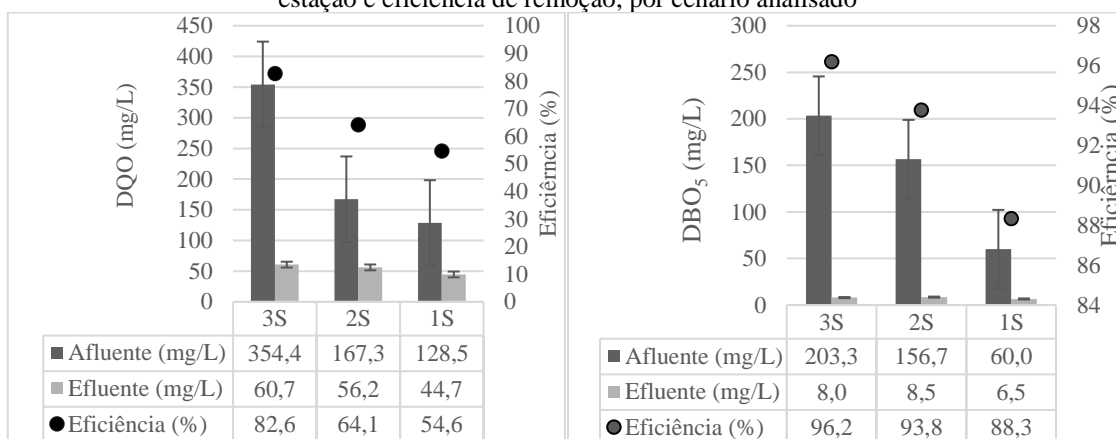
Os resultados encontrados para a série de sólidos presentes no IFAS sugerem que a ETE opera com baixas contribuições de matéria orgânica. Este quadro já era esperado, devido a aparência clarificada que o efluente apresentou durante todo o período de estudo. Ao comparar as concentrações de SDF e SDV com os SSF e SSV, é possível observar uma maior predominância de sólidos sob a forma dissolvida.

De acordo com Von Sperling (2005), a disponibilidade de biomassa para assimilação em um reator é determinada pela concentração de SSV. Entretanto, os resultados de SSV obtidos no IFAS da ETE apresentaram baixas concentrações:  $134,8 \pm 73,7$  mg SSV/L no cenário 3S;  $178,2 \pm 112,1$  mg SSV/L no cenário 2S; e  $152,8 \pm 58,0$  mg SSV/L no cenário 1S. Von Sperling (2005) ainda cita que, em sistemas de lodo ativado convencional, as concentrações de SSV chegam a até 5.000 mg/L.

Verificou-se que a baixa quantidade de biomassa aderida nos Anéis *Pall* do IFAS pode ser percebida pela sua baixa representatividade na série de sólidos, conforme observado na Tabela 3. De acordo com Zhuang et al (2019), a aeração pode promover o crescimento de bactérias heterotróficas, aumentando a espessura do biofilme na superfície do meio suporte, e em condição de aeração intensa, pode contribuir para o desprendimento do biofilme. Entretanto, no presente trabalho, acredita-se que a baixa quantidade de biomassa aderida esteja relacionada com a variação de matéria orgânica afluentes à ETE, com períodos de baixas concentrações. Além disso, não foram percebidas alterações visuais quanto à formação de biomassa no meio suporte, que pudessem ser relacionadas à mudança das condições de aeração do reator aeróbio.

A Figura 4 apresenta os valores relacionados às concentrações médias de DQO e DBO<sub>5</sub>, obtidas nos pontos de entrada (afluente) e saída (efluente) da estação, bem como o desvio padrão da concentração média e os percentuais de eficiência da estação, relacionada à remoção desses parâmetros.

Figura 4 – Concentrações médias de DQO e DBO<sub>5</sub> dos pontos de entrada (afluente) e saída (efluente) da estação e eficiência de remoção, por cenário analisado



Fonte: os autores

Destaca-se grande variabilidade das concentrações afluentes de ambos os parâmetros. Como as coletas para monitoramento foram realizadas durante semestre letivo, períodos com maior e menor presença de alunos no Campus podem ter influenciado as características dos esgotos gerados. Ainda assim, as concentrações médias de DBO<sub>5</sub> do ponto de entrada da estação estiveram dentro dos limites estipulados por Jordão e Pessoa (2014), com exceção dos valores médios observados no Cenário 1S. Segundo os autores, a DBO<sub>5</sub> de esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg O<sub>2</sub>/L, e a DQO entre 200 e 800 mg O<sub>2</sub>/L, com valor médio de 400 mg O<sub>2</sub>/L

A maior eficiência de remoção de DQO, obtida durante o estudo, foi durante o cenário 3S, com valor médio de 82,6%, e menor eficiência média no cenário 1S, de 54,6%. Considerando que sistemas de tratamento biológico apresentam maior eficiência na estabilização da matéria orgânica carbonácea de fácil degradação, os valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica na forma de DBO<sub>5</sub> foram superiores, acima de 88%. Assim, é possível afirmar que a condição de aeração contribui para o aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica.

As eficiências de remoção de DQO, obtidas nos três cenários, apresentaram o mesmo padrão que as eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub>. Desta forma, o cenário mais eficiente, dentre as concentrações mínimas, foi o 3S e o menos eficiente o 1S. Ainda assim, destaca-se que as concentrações médias efluentes são próximas, considerando o desvio dos dados, com valores abaixo de 61 mg/L.

Todos os resultados de DQO obtidos no efluente tratado, durante os três cenários de estudo, apresentaram concentrações bem abaixo do padrão de lançamento de efluentes, estipulada pela Licença de Operação da instituição em 400 mg O<sub>2</sub>/L. Considerando que

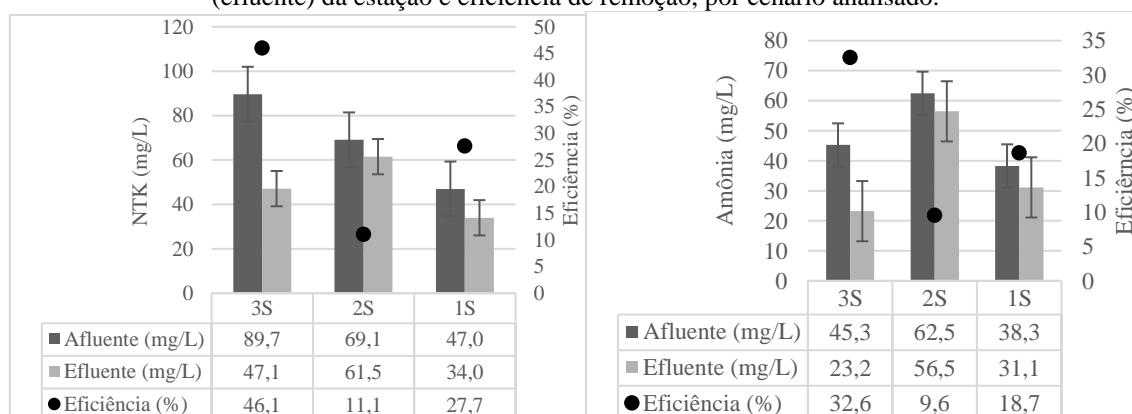
suas contribuições de DQO não ultrapassem 800 mg O<sub>2</sub>/L, Mizumo (2011) afirma que o efluente tratado na ETE em estudo deve atingir concentrações de DQO abaixo de 80 mg O<sub>2</sub>/L.

Os resultados de DBO<sub>5</sub> obtidos no ponto de saída da estação apresentaram valores bem abaixo do limite de 180 mg O<sub>2</sub>/L, exigido pela Licença de Operação da instituição. O fabricante do sistema modular de tratamento informa que, para contribuições de DBO<sub>5</sub> de até 400 mg O<sub>2</sub>/L, o efluente tratado deve atingir concentrações abaixo de 40 mg O<sub>2</sub>/L. Assim sendo, o presente estudo confirmou a alta eficiência da estação para remoção de DBO<sub>5</sub>, mesmo nos cenários em que as condições padrão de operação da ETE foram alteradas.

A biodegradabilidade obtida a partir da razão entre as concentrações médias de DQO e DBO<sub>5</sub> do efluente bruto, apresentaram os seguintes valores para os cenários 3S, 2S e 1S, respectivamente: 1,7; 1,1; e 2,1. Conforme Von Sperling (2009), valores de biodegradabilidade abaixo de 2,50 indicam concentrações consideráveis de matéria orgânica biodegradável no efluente, sendo aconselhável o uso de sistemas de tratamento biológico. Devido às características do efluente gerado na Universidade, predominantemente sanitário, este resultado já era esperado.

Na Figura 5 são apresentadas as concentrações médias de NTK e nitrogênio amoniacal, obtidas nos pontos de entrada (afluente) e saída (efluente) da ETE, em cada um dos cenários analisados.

Figura 5 – Concentrações médias de NTK e nitrogênio amoniacal dos pontos de entrada (afluente) e saída (efluente) da estação e eficiência de remoção, por cenário analisado.



Fonte: os autores

A partir da análise da Figura 5, é possível observar variabilidade das concentrações médias afluentes e efluentes à ETE, tanto de NTK quanto de nitrogênio

amoniacal, como já destacado anteriormente. No entanto, é possível observar que a maior eficiência média de remoção de NTK obtida foi no cenário 3S, de 46,1%. Em relação ao nitrogênio amoniacal, a maior eficiência de remoção foi verificada no cenário 3S, de 32,6%, mostrando que a aeração máxima contribui com a remoção de nitrogênio do sistema. Mesmo assim, destaca-se que as concentrações médias de NTK e amônia do efluente tratado nos cenários 3S e 1S apresentaram valores próximos, considerando o desvio padrão dos dados.

Segundo Mizumo (2011), para que o efluente tratado na ETE apresente concentrações abaixo de 20 mg/L de nitrogênio amoniacal, sua concentração máxima no efluente bruto não deve ultrapassar 30 mg/L. Grande parte dos resultados obtidos no ponto de entrada apresentaram concentrações maiores que 30 mg/L de nitrogênio amoniacal. Desta forma, em todos os cenários avaliados, o parâmetro nitrogênio amoniacal não atendeu ao limite de 20 mg/L, estipulado pela Licença de Operação da instituição.

Apesar de o cenário 2S apresentar uma concentração de OD equivalente a  $8,3 \pm 0,6$  mg O<sub>2</sub>/L no reator aeróbio e o cenário 1S apresentar uma concentração de  $5,5 \pm 0,7$  mg O<sub>2</sub>/L, é possível observar que a concentração média de nitrogênio amoniacal do efluente tratado no cenário 2S, apresentou concentração média superior ao cenário 1S. Além disso, ressalta-se que mesmo na condição 3S, em que todos os sopradores estavam em funcionamento, e com OD de  $9,2 \pm 0,6$ , próximo à saturação, a eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal foi de aproximadamente 32%. Tendo em vista essas informações, acredita-se que a aeração não é a única razão da baixa eficiência de remoção de nitrogênio deste sistema.

De acordo com Mishra et al (2022), o desempenho do processo biológico de remoção de nitrogênio depende do crescimento e da atividade bacteriana, que são sensíveis à alteração de parâmetros como OD e relação carbono e nitrogênio (C/N). Bonassa et al (2021) destacam que, para aplicar o processo convencional de nitrificação/desnitrificação, é necessária uma relação DQO/N superior a 3,5 para alcançar a eficiência remoção de nitrogênio. As relações C/N verificadas no presente trabalho, considerando as concentrações médias DQO e NTK, foram 3,9 para o cenário 3S; 2,4 para o cenário 2S; 2,7 para o cenário 1S.

Jordão e Pessoa (2014) afirmam que em sistemas de tratamentos biológicos deve-se observar um balanço adequado entre matéria orgânica e nutrientes. Através dos

resultados de remoção de DQO e DBO<sub>5</sub>, percebe-se que praticamente toda a matéria orgânica biodegradável, na forma de DBO<sub>5</sub>, foi consumida pelos microrganismos durante os processos de tratamento, nos três cenários analisados. Assim sendo, a baixa eficiência da ETE na remoção de NTK e amônia pode também estar relacionada com a variação das concentrações afluentes de DBO<sub>5</sub>, em especial em períodos com baixa concentração afluente de matéria orgânica na estação.

Conforme mencionado na discussão referente ao parâmetro DBO<sub>5</sub>, é possível observar que a concentração média de contribuição deste parâmetro acaba diminuindo do cenário 3S até o cenário 1S, em que também é observada a redução da eficiência de remoção dos parâmetros avaliados, em especial amônia e NTK. No presente trabalho, acredita-se que a redução de matéria orgânica carbonácea pode ter contribuído para que o consumo de nitrogênio, utilizado no crescimento celular dos organismos heterotróficos presentes na estação, também tenha sido diminuído.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram verificados resultados mais satisfatórios de remoção de matéria orgânica e nitrogênio na condição 3S. Apesar de haver alteração do valor de OD no IFAS entre os diferentes cenários analisados, em nenhum momento o reator apresentou concentrações abaixo de 2,5 mg O<sub>2</sub>/L, considerada pela bibliografia consultada como a concentração ótima de O<sub>2</sub> necessária para que ocorram os processos de nitrificação.

A aparência clarificada do efluente, as baixas concentrações de SSV presentes no reator aeróbio e a pouca presença de biomassa aderida nos Anéis *Pall*, em todos os cenários, comprovam a necessidade de se incrementar a carga orgânica do IFAS, a fim de elevar sua atividade microbiológica. Destaca-se que não foram percebidas alterações visuais na formação de biomassa do meio suporte que pudessem estar relacionadas à mudança das condições de aeração do reator aeróbio;

Através dos resultados de remoção de DQO e DBO<sub>5</sub>, percebe-se que praticamente toda a matéria orgânica facilmente biodegradável do efluente bruto é digerida pelos microrganismos, nos três cenários analisados. Mesmo na condição de menor aeração (1S), a ETE alcançou os valores padrões de lançamento, definidos na licença de operação. Contudo, mesmo na condição de maior aeração (3S), verificou-se valor médio de remoção de nitrogênio amoniacal de 32%, mostrando que a ETE não possui expressiva eficiência de remoção de nitrogênio.

Assim sendo, acredita-se que a baixa eficiência da ETE na remoção de NTK e amônia possa estar relacionada não somente com a redução da aeração aplicada no reator aeróbio. A variação da concentração afluente de matéria orgânica na estação também pode interferir na remoção de nitrogênio, em especial em condição de baixa concentração de DQO e DBO<sub>5</sub>, considerando as variações de fluxo de alunos durante o período letivo da Universidade.

### **AGRADECIMENTO**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento

## REFERÊNCIAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22. ed. Washington (DC): APHA/AWWA/WEF, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987) **NBR 9898:** Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 22 p.
- CAO, Y., ZHANG, C., RONG, H., ZHENG, G., & ZHAO, L. (2017) The effect of dissolved oxygen concentration (DO) on oxygen diffusion and bacterial community structure in moving bed sequencing batch reactor (MBSBR). **Water Research**, v. 108, p. 86-94, 2017.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. 9 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 19 mar. de 2016.
- CRIZEL, M. G.; LARA, A. C. (2020) Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.
- DI CAPUA, F., IANNACONE, F., SABBA, F., & ESPOSITO, G. (2022) Simultaneous nitrification-denitrification in biofilm systems for wastewater treatment: Key factors, potential routes, and engineered applications. **Bioresource Technology**, p. 127702, 2022.
- FERNÁNDEZ, F. J. et al. Reduction of aeration costs by tuning a multi-set point on/off controller: A case study. **Control Engineering Practice**, v. 19, n. 10, p. 1231-1237, 2011.
- FUJII, F. Y.; PIVELI, R. P.; CAMPOS, F.; BUENO, R. F.; ALEM SOBRINHO, P. (2016) Desempenho de reator integrado de lodo ativado com biofilme em leito móvel. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 349-358.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. (2014) **Tratamento de esgotos domésticos.** 7. ed. Rio de Janeiro: ABES.
- LIMA, F. (2014) **Biorreator combinado anóxico-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de efluente lácteo.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 25 jul. 2014. Disponível em: <<https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/628>>.
- METCALF & EDDY, Inc. (2017) **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4. ed. International Edition: McGraw-Hill.
- MISHRA, S., SINGH, V., CHENG, L., HUSSAIN, A., ORMECI, B. (2022) Nitrogen removal from wastewater: A comprehensive review of biological nitrogen removal processes, critical operation parameters and bioreactor design. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, p. 107387.

MIZUMO: Sistema Modular de Tratamento de Esgoto Doméstico Linha Mizumo Business. Pompéia, SP: Máquinas Agrícolas Jacto S/A – Divisão MIZUMO, 4 abr. 2011. 5 p.

MIZUMO (2013). **Sistema Mizumo Business 20**: Leiaute de Análise. 4 set. 2013. Desenhista: L. Cardoso. Conferente: D. Carvalho. Escala: 1:20. Planta com vista lateral da Estação de Tratamento de Efluentes instalada.

MIZUMO (2016). **Funcionamento do sistema de tratamento, modelo Mizumo Business**. 2016. 1 figura esquemática. Disponível em: <<http://www.mizumo.com.br/index.php/site/business>>.

SRIWIRIYARAT, T., UNGKURARATE, W., FONGSATITKUL, P., & CHINWETKITVANICH, S. (2008) Effects of dissolved oxygen on biological nitrogen removal in integrated fixed film activated sludge (IFAS) wastewater treatment process. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 43, n. 5, p. 518-527.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. (2017) **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas. São Paulo: Blucher, 2007.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1993). **Process Design Manual**: Nitrogen Control. Cincinnati, Ohio, EUA: USEPA, 311 p. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30004MI0.txt>>.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2010). **Nutrient Control Design Manual**. Cincinnati, Ohio, EUA: USEPA, 369 p. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1008KTD.txt>>.

VON SPERLING, M. (2009) **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. 4. reimp. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

VON SPERLING, M. (2005) **Lodos ativados**. 2. ed. 2. reimp. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

VON SPERLING, M. (2011) **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 8. imp. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

ZHUANG, L. L., YANG, T., ZHANG, J., & LI, X. (2019). The configuration, purification effect and mechanism of intensified constructed wetland for wastewater treatment from the aspect of nitrogen removal: a review. **Bioresource technology**, v. 293, p. 122086.