

# AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE TÉCNICA DE SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE BEBEDOURO, SÃO PAULO

Victor Barbieri Ribeiro<sup>1</sup>  
Wallingson Kleber Lenhaverde<sup>2</sup>  
Otavio Henrique da Silva<sup>3</sup>

## RESUMO

O emprego de técnicas de avaliação é fundamental ao monitoramento da qualidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários, já que possibilita verificar a conformidade legal do sistema, bem como identificar a necessidade de eventuais intervenções. Considerando o contexto brasileiro, é relevante que tais procedimentos sejam aplicados a lagoas de estabilização (tecnologia mais utilizada no país). Assim, este estudo objetivou avaliar a adequabilidade técnica de um sistema de tratamento composto por lagoas, localizado em Bebedouro, São Paulo. A avaliação foi realizada quanto à eficiência do tratamento em si, a partir dos resultados de análises laboratoriais, considerando o padrão de lançamento definido pela legislação vigente, bem como quanto ao dimensionamento, conforme parâmetros atuais de projeto. Os resultados demonstraram que a eficiência do tratamento (83,97%), embora suficiente para a conformidade legal do lançamento, ficou abaixo da eficiência teórica esperada (96,88% a 99,33%). Sugere-se que isso possa ser explicado devido ao subdimensionamento do sistema, visto que a vazão recebida está acima da capacidade da estação e que outros parâmetros estão abaixo do adequado. A possibilidade de reduzir a vazão de operação e o adequado monitoramento da profundidade das lagoas são exemplos de ações que podem ser desempenhadas visando a melhoria do sistema.

**Palavras-chave:** Tratamento de esgoto. Lagoas anaeróbias. Lagoas facultativas.

## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico compreende o controle de aspectos potencialmente negativos à saúde humana. Neste sentido, há relevância na adoção de tecnologias ambientalmente adequadas associadas ao saneamento, inclusive na área de tratamento de efluentes. Com isso, tem-se benefícios, como a melhoria da qualidade de corpos receptores e do ambiente como um todo (PHILIPPI JUNIOR, 2010).

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: victor.ribeiro@aluno.unifafibe.edu.br

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: wallingson.lenhaverde@aluno.unifafibe.edu.br

<sup>3</sup>Professor mestre no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: silva.oh@outlook.com

Visando a preservação dos recursos hídricos por meio da adequação técnica de efluentes aos padrões de lançamentos, definidos pela Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011), há a necessidade de adoção de sistema de tratamento.

Para tanto, usualmente são previstos diferentes processos, tanto físicos e químicos para os níveis de tratamentos preliminar e primário, como biológicos para o nível secundário, além de processos avançados para casos específicos. Nesse contexto, o tratamento biológico apresenta particular importância para o tratamento de efluentes sanitários, visto que objetiva a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Para isso, são utilizadas diferentes tecnologias, como lagoas de estabilização, reatores anaeróbios e aeróbios, lodos ativados e filtros aeróbios (TIRABOSCHI, 2004).

No Brasil, devido à grande extensão com características majoritariamente tropicais e à falta de pessoal capacitado para operacionalização de unidades de tratamento complexas, as lagoas de estabilização configuram-se como forma eficiente de tratamento, para grandes e pequenas comunidades (VON SPERLING, 2017). De fato, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) constatou que, considerando dados de 2017, o tratamento por lagoas de estabilização, mais especificamente do tipo facultativas, é o mais utilizado no país (IBGE, 2020).

Para o adequado projeto de sistemas de lagoas de estabilização, é imprescindível observar parâmetros técnicos aplicáveis para a garantia da eficiência do tratamento por meio e conformidade legal do lançamento (BARROS, 2013). Isso vai ao encontro da Política Federal de Saneamento Básico, Lei Nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), a qual determina que os usuários de serviços de saneamento devem ter acesso a adequado sistema de tratamento.

À vista disso, a avaliação de sistemas de tratamento existentes é de importante para atestar a sua adequação à demanda, bem como para identificar necessidades de intervenções (VON SPERLING, 2005). Além do mais, estudos nessa área podem contribuir para a disseminação da tecnologia em questão no território brasileiro, onde, considerando o ano de 2019, a coleta de esgoto está presente em apenas 55,2% dos municípios, e, deste percentual, 68,8% são tratados (SNIS, 2019).

Assim, o objetivo deste estudo consiste em avaliar a adequabilidade técnica de um sistema de tratamento de efluentes composto por lagoas de estabilização, por meio de estudo de caso em Bebedouro, cidade do interior do estado de São Paulo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, descreve-se o tratamento de efluentes sanitários, a legislação aplicável ao tratamento de efluentes vigentes e pertinentes, bem como os tipos de lagoas de estabilização, envolvidas e abordadas na pesquisa.

### 2.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

O esgoto sanitário compreende a água utilizada para as diversas atividades do dia a dia, como higiene pessoal, limpeza, preparo de alimentos entre outras. Esses esgotos são oriundos de residências, comércios em geral, clubes, hotéis etc. São caracterizados por conter água contaminada basicamente por restos de alimentos, sabões e fezes, contaminação essa por bactérias ou por substâncias orgânicas de difícil degradação (ARCHELA et al., 2003).

Por meio do tratamento de esgoto, objetiva-se a correção de características indesejáveis, de tal modo que os produtos finais sejam reutilizados ou não causem desequilíbrio ao ambiente. Tais processos de tratamentos ocorrem em instalações conhecidas como Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Encontram-se diversas formas de tratamentos e destinações adequadas aos esgotos sanitários, com eficiências e custos de implantação e manutenção diferentes. Desta maneira, são necessárias análises e um planejamento específico para aplicar, desenvolver ou adequar as tecnologias existentes de tratamento a realidade e condições locais. Os níveis de tratamento principais são o preliminar, o primário, o secundário e o avançado (CHERNICHARO, 1997).

O tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos grosseiros, como galhos, areia e graxa, que podem trazer problemas operacionais ou de manutenção às operações e aos processos. Nessa etapa são utilizadas unidades de separação conhecidas como desarenadores, grades e peneiras (VON SPERLING, 2005).

Já o tratamento primário busca remover sólidos não grosseiros em suspensão a partir de processos físico-químicos. Nesse tratamento, são empregadas unidades de equalização, coagulação, floculação e decantação ou flotação. A massa que se tem é o lodo primário bruto que deve ser tratado antes da destinação final (JORDÃO; PESSOA, 2011).

O tratamento secundário é destinado à remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Chamado também de tratamento biológico, pois a remoção do material orgânico ocorre em função de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Existe grande variedade de métodos empregados no tratamento secundário, cabendo destacar as lagoas de estabilização, os reatores anaeróbios, os sistemas de lodos ativados e os filtros biológicos. Novamente, há necessidade de destinar adequadamente o lodo gerado (TIRABOSCHI, 2004).

Finalmente, o tratamento terciário ou avançado objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. Este nível de tratamento é utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para os esgotos. Neste tratamento são removidos compostos como nitrogênio e fósforo, além da remoção completa da matéria orgânica remanescente (VON SPERLING, 2005)

A eficiência de um sistema de tratamento de esgotos e os benefícios que ele pode propiciar não dependem somente do processo escolhido. Destacam-se, também, os parâmetros e critérios adotados no projeto, os cuidados construtivos e os procedimentos operacionais, os quais devem ser planejados para adequar o efluente ao padrão de lançamento exigido na legislação (TIRABOSCHI, 2004).

## 2.2 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AO TRATAMENTO DE EFLUENTES

No âmbito nacional, o normativo legal que regulamenta o lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos é Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011), sendo apresentados diferentes padrões de qualidade que devem ser respeitados para o lançamento de efluentes sanitários. Destaca-se também a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005), a qual fornece critérios para enquadrar os corpos d'água em diferentes classes, as quais são entendidas como uma meta de qualidade.

A Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011) busca, por meio do controle do lançamento de poluentes no meio ambiente, proibir o lançamento em níveis que sejam nocivos a qualquer forma de vida. Tal objetivo vai ao encontro da Política Federal de Saneamento Básico, Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007).

## 2.2.1 Parâmetros de análise de efluentes

O conhecimento de parâmetros qualitativos dos efluentes possibilita conhecer o potencial impactante deste passivo caso seja lançado sem tratamento adequado no ambiente. A qualidade dos esgotos é representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Estas características, quando mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso ou possibilitam o seu descarte (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Os parâmetros físicos caracterizam-se, principalmente, por substâncias fisicamente separáveis dos líquidos, ou que não se encontram dissolvidas. Segundo Metcalf e Eddy (2016), são exemplos de parâmetros físicos: cor, turbidez, temperatura e sólidos. Já os parâmetros químicos envolvem a aferição da presença de determinados elementos no líquido, como pH, cloreto, nitrogênio e fósforo (METCALF; EDDY, 2016). Por fim, os parâmetros biológicos são relativos à presença de microrganismos vivos, destacando, no caso dos efluentes, os coliformes totais (CT), os coliformes termotolerantes (CTT) e cianobactérias (CETESB, 2015).

## 2.2.2 Padrões de lançamento de efluentes

Afim de manter e resguardar a qualidade dos mananciais, devem ser respeitados padrões de lançamento de efluentes, bem como os padrões de qualidade dos corpos receptores. A definição das características e da concentração de determinados poluentes visa facilitar procedimentos de fiscalização e autuação dos responsáveis (VON SPERLING, 2005).

A Tabela 1 apresenta o padrão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores, conforme Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011).

TABELA 1 – Padrão de lançamento de efluentes no Brasil

Parâmetro	Padrão de lançamento
pH	entre 5 e 9
Temperatura	inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	até 1 mL/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Limite 120 mg/L (ou remoção mínima 60%)
Sólidos totais dissolvidos (STD)	até 180 mg/L
Óleos minerais	até 20 mL/L
Óleos vegetais e gorduras animais	até 50 mL/L

Fonte: CONAMA (2011)

Durante as etapas do tratamento do esgoto existem os testes e equipamentos específicos para a aferição dos parâmetros de qualidades. Usualmente, amostras são coletadas e enviadas para laboratórios autorizados que possibilitam o acompanhamento da eficiência do mesmo e determina a necessidade, ou não, de implementação de medidas preventivas e/ou corretivas (METCALF; EDDY, 2016).

Segundo Von Sperling (2005), a estratégia de definir o tipo e a concentração dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos também objetiva facilitar os processos de fiscalização dos poluidores e também a detecção e a penalização dos responsáveis pela degradação do corpo receptor.

## 2.3 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Segundo Jordão (2005), as lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas. De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, e também as diferenças de parâmetros de projetos, as lagoas costumam ser classificadas em: anaeróbias, facultativas, de maturação, de polimento e aeradas. Tais tipologias são apresentadas a seguir.

### 2.3.1 Lagoa anaeróbia

A lagoa anaeróbia corresponde a uma lagoa de oxidação em que o processo biológico é predominante anaeróbio. Nestas lagoas, a estabilização não conta com o fator do oxigênio dissolvido, de maneira que os organismos existentes têm de remover o oxigênio dos compostos das águas residuais, a fim de retirar energia para sobreviverem (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A principal finalidade das lagoas anaeróbias é a remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), trata-se de um sistema de tratamento mais econômico (VON SPERLING, 2017).

### **2.3.2 Lagoa facultativa**

Nas lagoas facultativas a remoção é possível pela altura reduzida da lagoa, que permite a penetração de luz até o fundo da lagoa e provoca, conseqüentemente, a produção de oxigênio por meio de fotossíntese. O oxigênio produzido durante o dia é consumido durante a noite. As zonas fóticas, parte superior, a matéria orgânica dissolvida é oxidada pela respiração aeróbia, enquanto na afótica, zona inferior, a matéria orgânica sedimentada é convertida em gás carbônico, água e metano (KAYOMBO et al, 2005).

### **2.3.3 Lagoa de maturação (polimento)**

As lagoas de maturação constituem meio de pós-tratamento, sendo usualmente projetadas como unidades em série, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. O objetivo principal destas lagoas é a remoção de organismos patogênicos, particularmente coliformes termotolerantes (JORDÃO; PESSÔA, 2011). Estas lagoas também podem alcançar uma pequena remoção adicional de DBO, e têm uma remoção significativa de nitrogênio e fósforo (PEÑA; MARA, 2004).

### **2.3.4 Lagoas aeradas**

A lagoa aerada pode ser utilizada quando se deseja um sistema predominantemente aeróbio e a disponibilidade de área é insuficiente para a instalação de uma lagoa facultativa convencional. Devido à introdução de equipamentos eletromecânicos, a complexidade e manutenção operacional do sistema é aumentada, havendo, inclusive, a necessidade de consumo de energia elétrica. A aeração mecânica, que promove mistura da massa líquida, impede a estratificação das camadas e a volatilização de compostos tóxicos, como é o caso da amônia. A lagoa aerada pode também ser uma solução para lagoas facultativas que operam de forma saturada e não possuem área suficiente para sua expansão (FERREIRA, 2009).

### 2.3.5 Principais parâmetros de projeto

Os principais parâmetros de projeto das lagoas incluem o tempo de detenção hidráulico (TDH), as taxas, orgânica de aplicação superficial do projeto (Ls) e de aplicação volumétrica (Lv), a profundidade (H) e a geometria (relação entre comprimento e largura).

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros de projeto e eficiência de tratamento em diferentes tipos de lagoas de estabilização.

TABELA 2 - Principais parâmetros de projeto e eficiência de tratamento em diferentes tipos de Lagoa de Estabilização

<b>Tipo de Lagoa Estabilização</b>	<b>TDH(di as)</b>	<b>Ls (kg DBO/m<sup>3</sup>. dia)</b>	<b>Lv (kg DBO/m<sup>3</sup>. dia)</b>	<b>H(m)</b>	<b>L/B</b>	<b>Eficiência do tratamento (%)</b>
Lagoa Anaeróbia	3 – 6	-	0,1 – 0,35	3,5 – 5	1 – 3	50 – 70
Lagoa Facultativa	15 – 45	100 – 350	-	1,5 – 2	2 – 4	75 – 85
Lagoa Aerada	5 – 12	-	-	2,5 - 5	-	70 – 90
Lagoa de Maturação	2 – 4	-	-	0,8 – 1	1 – 10	90 – 99

Em que: TDH = Tempo de detenção hidráulico; Ls = Taxa orgânica de aplicação superficial do projeto; Lv = taxa de aplicação volumétrica; H = Profundidade; L/B = Relação comprimento e largura.  
Fonte: Adaptado de Von Sperling (2017)

O tempo de detenção é o tempo necessário para que os micro-organismos procedam à estabilização da matéria orgânica no sistema. Tal parâmetro relaciona-se, portanto, à atividade das bactérias. A taxa de aplicação superficial baseia-se na disponibilidade de determinada área de exposição à luz solar na lagoa. Isso é importante para que o processo de fotossíntese ocorra, garantindo que, a partir das algas, ocorra produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda. Já a taxa de aplicação volumétrica, diferentemente da taxa anterior, busca garantir que haja maior consumo do que a eventual produção de oxigênio, o que depende, também, da temperatura local. A profundidade indica a distância entre o fundo da lagoa e o nível d'água, o que tem relação direta com aspectos biológicos e hidrodinâmicos da lagoa. Por fim, a geometria da lagoa, definida pela relação comprimento e largura (L/B), influencia o regime de escoamento no local (VON SPERLING, 2017).



### 3 METODOLOGIA

Para se atingir o objetivo proposto, adotou-se uma pesquisa qualiquantitativa, do tipo estudo de caso, a qual possibilita um conhecimento mais aprofundado dos fatores e fenômenos relacionados à problemática (LEONEL, 2016). O sistema de lagoas de estabilização utilizado para tratamento de parte do esgoto gerado em uma cidade de médio porte do interior de São Paulo constitui o objeto de estudo desta pesquisa.

A seguir, após descrever as características gerais do sistema de tratamento, são indicados os procedimentos relativos à avaliação da ETE quanto à sua adequabilidade técnica, tanto com base em sua eficiência, como por meio de parâmetros de dimensionamento. Depois, trata-se dos procedimentos utilizados para a formulação de propostas para melhoria do sistema.

#### 3.1 SISTEMA DE TRATAMENTO EM ESTUDO

A Estação de Tratamento de Esgoto do Córrego Mandembo (ETE - Mandembo), situada no município de Bebedouro, São Paulo, é de responsabilidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Bebedouro (SAAEB), uma autarquia do poder público municipal. A ETE é composta por módulo de lagoa anaeróbia seguido de duas lagoas facultativas (sistema australiano), como indicado na Figura 1.

FIGURA 1– ETE Mandembo, localizada em Bebedouro, São Paulo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021)

Além das lagoas, o sistema é composto por um sistema de gradeamento que é responsável pela remoção de sólidos grosseiros, um sistema de desarenador que é uma caixa de retenção de areia onde são retirados materiais sólidos granulares, uma calha Parshall que é um dispositivo de medição de vazão, unidade destinada ao processo de desinfecção através da aplicação de cloro chamada de tanque de contato e por final escada de aeração para o aumento do oxigênio dissolvido.

A ETE encontra-se em funcionamento desde novembro de 2004, ocupando uma área total de aproximadamente 9 ha. O sistema foi projetado para uma vazão média de 54,40 L/s e atende cerca de 23.500 habitantes (SNIS, 2019), o que corresponde a cerca de 33% da população total residente do município de Bebedouro. O efluente tratado é lançado no Córrego Bebedouro, localizado a cerca de 500 metros da estação (BEBEDOURO, 2017).

### 3.2 PROCEDIMENTOS PARA O DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA

A princípio levantaram-se as características do efluente bruto e tratado, por meio de consulta aos resultados de análises laboratoriais de responsabilidade do SAAEB. As coletas, de periodicidade semanal, são realizadas para acompanhamento da eficiência da ETE e considerou-se uma média de todas as avaliações levantadas nos últimos 12 meses anteriores ao levantamento.

Para a avaliação quanto à eficiência do tratamento, considerando as análises laboratoriais mensais, foi possível calcular a eficiência do tratamento para os parâmetros de qualidade apresentados na Tabela 1. Isso permitiu determinar se há ou não atendimento aos padrões de lançamento preconizados pela Resolução 430/2011 (CONAMA, 2011).

Ainda, considerando a concepção do sistema e as eficiências teóricas das lagoas componentes da ETE apresentadas na Tabela 2, foi possível calcular a eficiência global teórica do tratamento quanto à remoção de matéria orgânica (considerando o resultado das eficiências acumuladas das três lagoas). Isso permitiu verificar se a eficiência real da ETE condiz os valores teóricos apresentados por Von Sperling (2017). O cálculo da eficiência real da estação, realizada a partir dos valores de DBO indicados pelas análises laboratoriais, antes e após o tratamento, foi realizado utilizando a Equação (3.1).

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Em que:

E = eficiência de remoção (%)

$C_0$  = DBO efluente bruto (mg/L)

$C_e$  = DBO efluente tratado (mg/L)

### 3.3 PROCEDIMENTOS PARA O DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Inicialmente, foram realizados levantamentos *in loco* e análise documental acerca dos detalhes de projeto e de operação do sistema. Primeiro, levantou-se a vazão média da ETE, com base nos registros realizados nos últimos 12 meses pela concessionária. Depois foram diagnosticados, para cada lagoa, os parâmetros de projeto de profundidade (H), comprimento (L) e largura (B) e, conseqüentemente, a relação L/B, a área (A) e o volume (V) das lagoas.

A partir dos parâmetros dimensionais levantados, foram calculados, a partir das Equações (3.2 a 3.4), o tempo de detenção hidráulico (TDH) para todas as lagoas e, com base nas análises laboratoriais já realizadas, os valores das taxas de aplicação volumétrica ( $L_v$ ) e orgânica de aplicação superficial ( $L_s$ ) aplicáveis, respectivamente, às lagoas anaeróbia e facultativas.

$$TDH = V/Q \quad (3.2)$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulico (dias)

V = volume da lagoa ( $m^3$ )

Q = vazão média afluyente ( $m^3$ /dia)

$$A = L_c/L_s \quad (3.3)$$

Em que:

A = área requerida para a lagoa (ha)

$L_c$  = carga de DBO total (solúvel + particulada) afluyente ( $kgDBO_5$ /dia)

$L_s$  = taxa de aplicação superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ha.dia)

$$V = L_c/L_v \quad (3.4)$$

Em que:

$L_v$  = taxa de aplicação volumétrica (kgDBO/m<sup>3</sup>.dia)

Definidos os parâmetros de projeto básicos, segundo as características atuais da ETE, foi possível avaliar o sistema quanto à adequabilidade de seu dimensionamento, com base nos valores apresentados na Tabela 2, propostos por Von Sperling (2017).

### **3.3.1 Procedimentos para elaboração de sugestões para a melhoria do sistema**

Constatadas eventuais deficiências na eficiência do tratamento e/ou no dimensionamento, é possível elaborar sugestões para melhoria do sistema, de acordo com os parâmetros fixados na Tabela 2.

## **4 RESULTADOS**

Os resultados apresentados foram divididos em três partes. Nas duas primeiras, expõem-se os resultados do diagnóstico e avaliação do sistema de tratamento da ETE Mandembo, composto por lagoas de estabilização, realizados a partir (1) da eficiência do tratamento e (2) do dimensionamento do sistema. Finalmente, (3) tratou-se da questão das propostas de melhorias para o sistema de tratamento.

### **4.1 DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA**

A partir dos registros de análises laboratoriais realizadas entre os meses de julho de 2020 e agosto de 2021, foi possível determinar os valores médios dos parâmetros de qualidade aplicáveis ao efluente bruto e tratado (Tabela 3).

TABELA 3 – Parâmetros de qualidade do efluente bruto e efluente tratado da ETE Mandembo, em Bebedouro, São Paulo

Parâmetro	Efluente Bruto	Efluente Tratado
Ph	7,60	7,62
Temperatura	20,7°C	19,6°C
Materiais sedimentáveis	5,60 mL/L	0,53 mL/L
DBO	237 mg/L	38 mg/L
Sólidos totais dissolvidos (STD)	366 mg/L	77 mg/L
Óleos minerais	225 mg/L	26 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	88 mL/L	11 mL/L

Fonte: Elaborado pelos Autores

Segundo Metcalf e Eddy (2016), as concentrações do efluente bruto de DBO, óleos minerais e óleos vegetais e gorduras animais, de 237 mg/L, 225 mg/L e 88 mL/L, respectivamente, reforçam a origem doméstica do esgoto, havendo baixa possibilidade de existência de contribuição industrial na rede, cujas concentrações podem ultrapassar os 1.000 mg/L para a DBO, 600 mg/L para óleos minerais e 360 mL/L para óleos vegetais e gorduras animais. Especificamente para a DBO, segundo Von Sperling (2005), efluentes sanitários brutos usualmente apresentam valores de 250 a 400 mgDBO/L, o que é próximo ao identificado na ETE em estudo.

Conforme os padrões de lançamento indicados na Tabela 1, verifica-se que todos os parâmetros do efluente tratado encontram-se em consonância com o fixado pela Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011). A Figura 2 mostra o aspecto visual do efluente antes e após o sistema de tratamento.

FIGURA 2 – Aspecto visual dos efluentes de entrada (bruto), à esquerda, e de saída (tratado), à direita, na ETE Mandembo, Bebedouro, São Paulo



Fonte: SAAEB (2021)

Considerando que o sistema de tratamento é composto por uma lagoa anaeróbia seguida por duas facultativas, bem como os valores teóricos de eficiência apresentados Tabela 2, verifica-se que a eficiência global teórica do sistema é de 96,88% a 99,33%. Aplicando a Equação (3.1), utilizando os valores de DBO indicados antes e após o tratamento na Tabela 4, tem-se uma eficiência global real de 83,97%. O valor real é, portanto, inferior à eficiência teórica global esperada. Contudo, devido ao tratamento estar em conformidade aos critérios de lançamento fixados pela Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011), entende-se que o sistema atende aos requisitos legais aplicáveis. Contudo, esse é um possível indício de subdimensionamento do sistema, o que é tratado a seguir.

#### 4.2 DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

A partir de consulta aos registros de vazão da ETE realizados de julho 2020 a agosto 2021, foi diagnosticada uma vazão média de 7.790m<sup>3</sup>/dia. A partir desse valor, e considerando a carga de DBO do efluente bruto de 237 mg/L, tem-se uma carga de DBO total afluyente (Lc) de 1.846,23 kgDBO<sub>5</sub>/dia, a ser utilizada para o cálculo de Lv. Visto que as lagoas facultativas se localizam após a lagoa anaeróbia, para o cálculo de Ls, foi utilizado o valor de Lc de 739,49 kgDBO<sub>5</sub>/dia, o qual foi obtido adotando uma remoção de 60% da carga de DBO. Esse valor de 60% foi definido com base no valor teórico médio de eficiência de remoção de carga orgânica por lagoas anaeróbias, conforme Tabela 2, já que não há dados individuais acerca da eficiência real de cada lagoa de estabilização.

De acordo com informações levantadas *in loco* e junto à concessionária responsável pela ETE, e aplicando as Equações (3.2 a 3.4), foram determinados os parâmetros de projeto das lagoas, apresentados na Tabela 4. nota-se que os parâmetros construtivos profundidade (H), comprimento (L), largura (B) e suas relações comprimento e largura (L/B), apesar de apresentarem uma geometria irregular (GI) estão em conformidade com os padrões técnicos construtivos, indicados na Tabela 2.

Apenas os tempos de detenção hidráulico (TDH) das lagoas facultativas encontram-se abaixo do intervalo ideal estabelecido por Von Sperling (2017) (Tabela 2), que compreende 15 a 45 dias para lagoas facultativas. As lagoas facultativas 1 e 2 apresentam valores de 76,3% e de 65,4%, nessa ordem, abaixo do TDH mínimo

recomendado. Isso indica que, atualmente, a ETE trabalha com seu sistema sobrecarregado, o que pode explicar o fato de a eficiência real do sistema ser inferior à teórica esperada.

TABELA 4 – Parâmetros construtivos da ETE Mandembo

Unidade da ETE	H (m)	L (m)	B (m)	L/B(m)	A (ha)	V (m <sup>3</sup> )	TDH (d)	Lv (kg DBO/m <sup>3</sup> .dia)	Ls (kg DBO/m <sup>3</sup> .dia)	E (%)
Lagoa Anaeróbia	4,30	142,86	70	2,04	1,00	43000	5,52	0,043	-	60
Lagoa Facult. 1	1,95	194/217 (GI)	55/54 (GI)	3,60	1,42	27690	3,55	-	520,10	83
Lagoa Facult. 2	2,00	265/287 (GI)	44/110 (GI)	3,78	2,02	40400	5,19	-	365,60	90

Em que: TDH = Tempo de detenção hidráulico; Ls = Taxa orgânica de aplicação superficial do projeto; Lv = taxa de aplicação volumétrica; H = Profundidade; L/B = Relação comprimento e largura; GI = Geometria irregular; E = Eficiência do tratamento.

Fonte: Elaborado pelos Autores

Em relação à Lv, constata-se que o valor calculado para a situação atual (0,043 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia) está mais de 50% abaixo do valor mínimo indicado (0,1 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia). Já os resultados das taxas de aplicação superficial (Ls) mostraram-se superestimadas para lagoa facultativa 1 e 2, em 520,10 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia e 365,60 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia, respectivamente. Segundo Von Sperling (2017), a taxa a ser adotada varia com a temperatura, latitude, exposição solar e altitude. Locais no Sudeste do Brasil, com clima tropical com grandes variações de temperatura, a carga superficial aplicada não deveria ser superior a 300 kgDBO/(ha.dia).

#### 4.3 ELABORAÇÃO DE SUGESTÕES PARA A MELHORIA DO SISTEMA

Frente aos resultados obtidos, foram identificados alguns pontos que merecem destaque visando a melhoria do sistema de tratamento como um todo. Inicialmente, tem-se que a vazão de trabalho de 7.790 m<sup>3</sup>/dia está acima do ideal para o funcionamento do sistema dentro dos padrões técnicos. Isso influencia diretamente no tempo de detenção hidráulico (TDH) inferior ao mínimo observado para as lagoas facultativas. Como não há possibilidade de expansão da área da ETE visando a ampliação das lagoas (segundo informado pela concessionária), ao menos no curto prazo, e considerando que os parâmetros geométricos das lagoas (H, L, B e L/B) estão dentro dos valores fixados por Von Sperling (2017), entende-se que a vazão deveria

ser reduzida em 76,3%. Assim, todos os TDH estariam dentro do padrão técnico. Contudo, seria necessário verificar se há essa possibilidade na prática, já que seria necessário utilizar outros sistemas de tratamento disponíveis no município e realizar intervenções no sistema urbano de coleta.

Outra questão importante envolve os parâmetros de Lv, subestimado, e L superestimado. Recomenda-se um controle operacional mais eficiente da concentração da carga orgânica para as lagoas, verificando a possibilidade incorporar outras técnicas e tecnologias de tratamento de apoio (como escadas de aeração), visto que existe uma limitação de expansão da área superficial das lagoas.

Além disso, é importante que sejam realizados adequado monitoramento visando a qualidade do Tratamento. Segundo Von Sperling (2017), uma ação que envolve o monitoramento de taxa de acumulação de lodo é por meio de batimetria (medição da profundidade da lagoa). O acúmulo do lodo no fundo da lagoa, ao diminuir o seu volume útil, conseqüentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica. Isso permite identificar a necessidade de remoção do lodo sedimentado.

Finalmente, é importante salientar que, por seguir o padrão legal Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011), o efluente tratado está apto ao lançamento. Assim, embora haja falhas no dimensionamento para a demanda existente, entende-se que a operação do sistema possa continuar. Entretanto, é necessário o monitoramento contínuo da eficiência do tratamento, como solicita a legislação. De todo modo, é relevante que sejam avaliadas as intervenções sugeridas na ETE, visando a melhoria contínua do sistema.

## **5 CONCLUSÃO**

Por meio dessa pesquisa, foi possível avaliar a adequabilidade técnica de um sistema de tratamento composto por lagoas de estabilização, tanto quando a eficiência do tratamento, como pelo dimensionamento da Estação.

Em síntese, o tratamento realizado pelas lagoas de estabilização estudadas é satisfatório, visto que há atendimento ao padrão de lançamento da Resolução CONAMA 430/2011 (CONAMA, 2011). No entanto, a eficiência do tratamento global identificada em 83,97% é inferior à eficiência global teórica do sistema, que deveria variar de 96,88% a 99,33%. Isso pode ser explicado pelo subdimensionamento das lagoas facultativas da ETE, as quais apresentam TDH abaixo de 60% do mínimo ideal.



Embora o tratamento desempenhado atenda à legislação, sugere-se que sejam estudadas possibilidades de melhorias operacionais visando a melhoria do sistema. Isso inclui desde avaliar a possibilidade de reduzir a vazão de operação, até o adequado monitoramento da profundidade das lagoas. Aponta-se que a manutenção da qualidade dos aspectos construtivos e das tecnologias de tratamento de efluentes é fundamental à conformidade técnica e legal do sistema e, conseqüentemente, ao controle de danos ao meio.

Sugere-se para estudos futuros a continuidade da análise de sistemas de tratamento, de modo a corroborar os resultados encontrados. Isso permite contribuir para a disseminação dessa tecnologia em outros centros urbanos, especialmente para os que não contam com sistema de esgotamento sanitário adequado. Destaca-se que cabe aos profissionais ligados à engenharia civil e sanitária avaliarem a viabilidade do uso de lagoas de estabilização para o tratamento de efluentes conforme condições locais e atentando sempre à normatização técnica.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, Sergio. Francisco de; CHERNICHARO, Carlos. Augusto. Lemos. **Acúmulo de ácidos graxos voláteis (agvs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle.** Eng. Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro. n. 2, p. 152-161, abr./jun. 2005.

ARCHELA, Edison.; CARRARO, Adalberto.; FERNANDES, Fernando.; BARROS, Osmar. Neto. Fernandes.; ARCHELA, Rosely. Sampaio. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos.** Geografia (Londrina), v. 12, n. 1, p. 517–525, 2003.

BARROS, Hélio. Botto. **Sistema auxiliar a projetos de estações de tratamento de esgotos compactas: SAPETEC.** 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BEBEDOURO. Prefeitura Municipal. **Lei Complementar nº 122**, de 9 de agosto de 2017. Institui o Código Sanitário do Município de Bebedouro.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 16 mai. 2011.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2014**. São Paulo: CETESB, 2015. 520 p. (Série Relatórios). Disponível em: Acesso: dez. 2015.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. v.5, DESA-EE/UFMG, 245p., 1997.

FERREIRA, João Alves.; CANTANHEDE, Antônio Luiz Gonçalves; LEITE, Vânia Diogo.; BILA, Dionísio Matheus.; CAMPOS, Joaquim Carlos; YOKOYAMA, Luiz; FIGUEIREDO., I.C.; MANNARINO, C.F.; SANTOS, A.S.; FRANCO, Ricardo Silvia Otávia; LOPES, Walter Silvia.; SOUSA, João Teixeira. **Tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos com esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. cap. 8, p.245-293.

FONSECA, Patrícia. Weibert. **Avaliação do desempenho e caracterização de parâmetros em lagoas facultativas e de maturação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. (Dissertação de Mestrado).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2017 - Abastecimento de água e esgotamento sanitário**. 2020.

JORDÃO, Eduardo. Pacheco; PESSÔA, Constantino. Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

KAYOMBO, Sixtus.; MBWETTE, Tolly.Sallam.; MAYO, Aloice.; KATIMA, Jamidu.Hizzam.Yahaya.; JOGENSEN, Sven.Erik. **Waste Stabilisation Ponds and Constructed Wetlands: design manual**. United Nations Environment Programme, 2005. 59 p.

LEONEL, Leticia. Franco. **Desempenho de estações de tratamento de esgoto- uma análise de sistemas de lagoas de estabilização de pequeno e médio porte integradas à avaliação da qualidade dos corpos hídricos na UGRHI 12 – Baixo pardo/grande**. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2016.

PEÑA, Michael; MARA, Duncan. **Thematic Overview Paper: Waste Stabilisation Ponds**. IRC International Water and Sanitation Center, n. July, p. 43, 2004. PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Baueri: Manole, 2010.

METCALF, Louis; EDDY, Harry Paul. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

SAAEB, **Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto de Bebedouro**. Bebedouro, 2021.

SILVA FILHO, Pedro Almeida. **Diagnostico operacional de lagoas de estabilização**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, RN, 2007.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO.  
**Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2019.** Brasília, 2020.

TIRABOSCHI, Marcos Henrique, Fernandez de Sousa. **Contribuição para concepção e análise de alternativas de tratamento de esgotos sanitários com base em princípios e critérios de sustentabilidade.** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2004.

VAN HAANDEL, Adrianus. Cornelius.; LETTINGA, Gatze. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente.** Epgraf. Campina Grande, PB, 1994.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2017.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.