

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CAMPUS LAGOA DO SINO
ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIA SABRINA DE MACEDO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE AERADORES NA LAGOA FACULTATIVA DA
INDÚSTRIA SAVENCIA, ANGATUBA - SP.**

BURI - SP
2025

MARIA SABRINA DE MACEDO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE AERADORES NA LAGOA FACULTATIVA DA
INDÚSTRIA SAVENCIA, ANGATUBA - SP.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências
da Natureza (CCN) da Universidade
Federal de São Carlos, para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr^a. Beatriz Cruz
Gonzalez

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Luis
Rodrigues Pantoja Filho

Buri - SP
2025

RIBEIRO, Maria Sabrina de Macedo. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE AERADORES NA LAGOA FACULTATIVA DA INDÚSTRIA SAVENCIA, ANGATUBA - SP.** 2025. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Ambiental, Centro de Ciências da Natureza - Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Buri – SP, 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ribeiro, Maria Sabrina de Macedo

Avaliação do desempenho de aeradores na lagoa facultativa da indústria Savencia, Angatuba - SP / Maria Sabrina de Macedo Ribeiro -- 2025.
46f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Beatriz Cruz Gonzalez
Banca Examinadora: Danilo Santiago Gomes Lucio,
Rafael de Oliveira Tiezzi
Bibliografia

1. Tratamento de efluentes. 2. Lagoa facultativa. 3. Aeradores mecânicos. I. Ribeiro, Maria Sabrina de Macedo. II. Título.


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências da Natureza - CCN

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de aprovação


Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Maria Sabrina de Macedo Ribeiro, realizada em 23/06/2025:

Documento assinado digitalmente
 **BEATRIZ CRUZ GONZALEZ**
Data: 08/07/2025 12:37:01-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza - UFSCar - Campus Lagoa do Sino

Documento assinado digitalmente
 **DANILO SANTIAGO GOMES LUCIO**
Data: 24/06/2025 09:20:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Danilo Santiago Gomes Lucio
Centro de Ciências da Natureza - UFSCar - Campus Lagoa do Sino

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL DE OLIVEIRA TIEZZI**
Data: 25/06/2025 13:57:15-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi
Centro de Ciências da Natureza - Campus Lagoa do Sino

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, Eva e Olívio, que sempre foram a minha base e nunca deixaram de acreditar em mim; a minha avó Rita, por suas incansáveis orações em cada desafio acadêmico que eu enfrentei; aos meus queridos irmãos Giovanne e Leonardo, especialmente ao Leonardo, que além de irmão, é um grande matemático e me auxiliou muito nos meus estudos e na minha adaptação à universidade; ao meu namorado e parceiro João Pedro, que me motivou e fez com que os últimos anos fossem mais leves.

AGRADECIMENTO

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, que fortaleceram minha fé e perseverança ao longo de toda a minha vida, especialmente durante todos esses anos de faculdade.

Sou grata aos meus pais, familiares, namorado e meus sogros que me apoiaram durante a minha jornada de estudos, enquanto eu trabalhava diariamente para sustentar os meus gastos relacionados à permanência na universidade.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, por me acolher durante esses últimos anos e por me proporcionar a oportunidade de me formar em uma universidade federal.

Sou profundamente grata a todos os professores que contribuíram para minha sólida formação acadêmica, em especial à minha orientadora, Professora Doutora Beatriz Cruz Gonzalez, cuja inspiração e ensinamentos ultrapassam as paredes da sala de aula. Também agradeço ao Professor Doutor Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho, meu coorientador de TCC e orientador de estágio, por sua orientação valiosa e por ser um exemplo de consciência social admirável.

Agradeço à empresa Savencia Brasil, em especial a engenheira ambiental Patrícia Ferreira, por nos proporcionar a oportunidade de realizar melhorias ambientais na empresa, colaborando assim para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grata ao grupo CEPAE – Centro de Extensão e Pesquisa em Água e Efluentes da UFSCar, *campus* Lagoa do Sino, por ser um espaço enriquecedor de aprendizado e troca de conhecimentos. A atuação no centro proporcionou recursos, apoio técnico e oportunidades que fortaleceram minhas habilidades, além de uma convivência inspiradora com colegas e mentores, essenciais para este trabalho e para minha formação profissional.

Por fim, agradeço aos meus colegas da turma de Engenharia Ambiental de 2020, em especial aos amigos que me acompanharam ao longo dessa jornada: Vinícius Tramontina, Rebeca Gilvânia, Amanda Portugal, Isabelle Rodrigues, Larissa Martins, Leonardo Correia, Gabriela Cilto e Joice Pereira.

"Tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus. Que um dia você chega lá. De alguma forma você chega lá."

– Ayrton Senna

RESUMO

O presente trabalho analisou o impacto da instalação de aeradores de pás alternadas na eficiência de tratamento de uma lagoa facultativa responsável pela depuração de efluente proveniente da Indústria Savencia Brasil (Angatuba/SP). Tal instalação foi realizada a fim de melhorar a eficácia do tratamento de águas residuárias oriundas dessa indústria de queijos processados, por meio da aeração. O processo de tratamento de efluentes industriais auxilia na diminuição de parâmetros como da turbidez, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), além de neutralizar o pH e elevar o Oxigênio Dissolvido (OD), ocorrendo de modo progressivo e natural. A metodologia aplicada compreendeu a instalação de oito aeradores e o monitoramento da eficiência do processo de oxigenação. Para tanto, foram realizadas análises físico-químicas do efluente tratado para verificação da eficácia do sistema implantado. Por fim, os resultados almejados envolvem a recuperação da qualidade do efluente final e da minimização do impacto ambiental causado pela indústria, de forma que se torne uma operação mais sustentável e obtenha-se um melhor bem-estar para a comunidade local.

Palavras-chave: Lagoa facultativa aerada; efluente agroindustrial; aeradores de pás alternadas; laticínio; parâmetros físico-químicos; tratamento sustentável de baixo custo.

ABSTRACT

This study analyzed the impact of the installation of paddle aerators on the treatment efficiency of a facultative lagoon responsible for the depuration of effluent from the Savencia Brasil Industry (Angatuba/SP). The installation was carried out with the aim of improving the effectiveness of the wastewater treatment from this processed cheese industry through aeration. The industrial effluent treatment process helps reduce parameters such as turbidity, Chemical Oxygen Demand (COD), and Biochemical Oxygen Demand (BOD), in addition to stabilizing the pH and increasing the Dissolved Oxygen (DO), occurring progressively and naturally. The applied methodology included the installation of eight aerators and the monitoring of the efficiency of the oxygenation process. For this purpose, physicochemical analyses of the treated effluent were carried out to verify the effectiveness of the implemented system. Finally, the expected results involve improving the quality of the final effluent and minimizing the environmental impact caused by the industry, aiming for a more sustainable operation and improved well-being for the local community.

Keywords: Aerated facultative lagoon; agro-industrial effluent; surface aerators; dairy industry; physicochemical parameters; low-cost sustainable treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema ilustrativo de uma lagoa facultativa, com zonas aeróbia, facultativa e anaeróbia..... | 20 |
| Figura 2 - Fluxograma do tratamento de efluentes de laticínios e sua conformidade legal..... | 24 |
| Figura 3 - Mapa de localização da empresa Savencia Brasil em Angatuba/SP..... | 25 |
| Figura 4 - Ilustração da distribuição dos aeradores de pás alternadas na lagoa facultativa..... | 26 |
| Figura 5 - Foto da plataforma flutuante instalada na lagoa facultativa..... | 28 |
| Figura 6 - Suportes flutuantes utilizados para suspender os cabos elétricos acima do nível da água na distribuição elétrica da lagoa..... | 29 |
| Figura 7 - Aerador de pás alternadas instalado na lagoa facultativa..... | 31 |
| Gráfico 1 - Comparação dos valores de DBO e DQO, do efluente bruto e tratado da lagoa facultativa no período de novembro de 2024 a abril de 2025 (com exceção de janeiro)..... | 35 |
| Gráfico 2 - Comparativo dos valores de OD no Rio Itapetininga: Pontos de Montante e Jusante (Fev. e Maio/2025)..... | 38 |
| Gráfico 3 - Eficiência de remoção de DBO (%) no comparativo antes e depois da aeração..... | 40 |
| Gráfico 4 - Carga orgânica da DBO da lagoa facultativa antes e após a instalação dos aeradores de pás alternadas (abr/2024 a abr/2025)..... | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Parâmetros operacionais típicos de lagoas facultativas..... | 18 |
| Tabela 2 – Parâmetros, métodos e referências normativas aplicadas nas análises laboratoriais..... | 31 |
| Tabela 3 – Dados de monitoramento dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto e tratado na lagoa facultativa da Indústria Savencia Brasil fornecido pelo laboratório externo (nov/2024 a abr/2025, exceto jan/2025)..... | 33 |
| Tabela 4 - Eficiência de Remoção de DBO com avaliação de conformidade Conforme Resolução CONAMA 430/2011 e Decreto Estadual 8.468/76..... | 36 |
| Tabela 5 – Comparativo dos valores de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de montante e jusante do rio Itapetininga nos meses de fevereiro e maio de 2025..... | 38 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA - American Public Health Association
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DPS - Dispositivo de Proteção contra Surtos
DQO - Demanda Química de Oxigênio
ETE - Estação de Tratamento de Efluentes
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO - International Organization for Standardization
mg/L - Miligrama por Litro
NBR - Norma Brasileira
OD - Oxigênio Dissolvido
pH - Potencial Hidrogeniônico
SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater}
TCC - Trabalho de Conclusão de Curso
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 OBJETIVO..... | 16 |
| 1.1.1 OBJETIVO GERAL..... | 16 |
| 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 17 |
| 2.1. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LATICÍNIOS..... | 17 |
| 2.2. LAGOA FACULTATIVAS E SEU FUNCIONAMENTO..... | 20 |
| 2.3. LAGOA AERADA FACULTATIVA..... | 21 |
| 2.5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS..... | 23 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 24 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 24 |
| 3.2. ENQUADRAMENTO NO PROJETO GÊNESIS..... | 25 |
| 3.3. CARACTERIZAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA..... | 26 |
| 3.4. REPRESENTAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA COM PROPOSIÇÃO DOS AERADORES..... | 26 |
| 3.5. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA E INSTALAÇÃO DOS AERADORES.... | 28 |
| 3.6. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS AERADORES..... | 29 |
| 3.7. METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS..... | 31 |
| 3.8. MONITORAMENTO DOS RESULTADOS..... | 32 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 33 |
| 4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO..... | 33 |
| 4.2. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA (DBO)..... | 35 |
| 4.3. DISCUSSÃO SOBRE A CONFORMIDADE AMBIENTAL..... | 36 |
| 4.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CORPO RECEPTOR: RIO ITAPETININGA..... | 37 |
| 4.5. COMPARATIVO ANTES E DEPOIS DA INSTALAÇÃO DOS AERADORES..... | 39 |
| 4.6. LIMITAÇÕES OBSERVADAS E RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIAS OPERACIONAIS..... | 42 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 43 |
| REFERÊNCIAS..... | 45 |

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de laticínios se destaca pelo seu papel fundamental na economia do país, responsável por estimular o aumento de empregos em diferentes regiões do país. Sabe-se que, em 2023, houve uma fabricação de cerca de 35,4 bilhões de litros de leite, o que coloca o país em terceiro lugar na classificação mundial de produção de laticínios (IBGE, 2024). A produção de queijo processado representa uma área pertinente no meio laticínio, englobando etapas sofisticadas, que garantem a padronização, estabilidade e segurança do produto final, como por exemplo, a trituração, mistura, fusão e emulsão (ABIQ, 2022). Esse ramo de queijos processados contribui consideravelmente para a cadeia de produção, movimentando ainda mais a economia e gerando mais empregos, além de somar na variedade e no padrão dos produtos lácteos que chegam ao consumidor final. Diante dessa perspectiva, verifica-se que, a otimização dos métodos industriais desse setor, incluindo o tratamento de seu efluente, é essencial para assegurar que essas atividades sejam ambientalmente corretas e garantir a continuidade econômica de suas operações (BRASIL, 2024).

As indústrias de queijos processados enfrentam desafios ambientais significativos no que diz respeito ao tratamento do seu efluente, os quais consistem em grandes volumes de água residuária com alto teor de matéria orgânica, devido às suas elevadas produções diárias, além do consumo expressivo de recursos hídricos ao longo de todo o processo produtivo (SILVA et al., 2023).

Visto a sua produção em abundância, o cenário do tratamento de resíduos em laticínios no Brasil tornou-se cada vez mais necessário. Na década de 1980, as lagoas de estabilização começaram a se destacar, sendo amplamente utilizadas desde então. Sua profundidade pode variar de acordo com o tipo de lagoa, sendo adaptada para garantir as condições ideais ao processo biológico, cujo o objetivo é a decomposição da carga orgânica com o auxílio de microrganismos, responsáveis por oxidar e estabilizar os poluentes presentes nas águas residuárias agroindustriais. Planejadas para diminuir a concentração de matéria orgânica e os patógenos infecciosos, essas lagoas têm-se mostrado

eficazes na redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencialmente, na remoção de sólidos suspensos e nutrientes, a depender das condições operacionais (VON SPERLING, 2002; CHERNICHARO 2007). Além de sua eficácia, destacam-se por apresentarem baixo custo de construção e manutenção, mesmo que demandem de grandes espaços e possam gerar mau cheiro (VON SPERLING, 2002). Na teoria, a operação adequada desse sistema tem como objetivo garantir que os efluentes tratados atendam à legislação ambiental vigente, permitindo o descarte seguro em corpos hídricos (BRASIL, 2011).

A falta de um tratamento eficiente para o efluente resultante da produção de queijos processados pode comprometer o equilíbrio do ecossistema local onde for lançado, afetando os corpos hídricos, a fauna, a flora e a qualidade ambiental das comunidades próximas. Com isso, torna-se essencial a adoção de métodos e estratégias eficazes que promovam o tratamento desses resíduos, diminuindo seu impacto ambiental e contribuindo para a preservação dos ecossistemas aquáticos. Algumas tecnologias atuais têm sido cada vez mais inseridas, permitindo a mitigação de contaminantes expressivos e reduzindo os danos ambientais gerados (SOARES et al., 2021).

O setor industrial abordado no presente trabalho é responsável por gerar um efluente com elevadas concentrações de matéria orgânica, além de volumes significativos de gorduras e sólidos suspensos. Diante disso, um dos principais entraves para o cumprimento da Resolução CONAMA 430/2011, especialmente quando se utilizam sistemas como lagoas de estabilização no tratamento desse efluente, está nos altos níveis de DBO e DQO presentes (BRASIL, 2011).

Nesse contexto, destaca-se a Fábrica Savencia Brasil (antiga Polenghi), localizada na cidade de Angatuba/SP, responsável pela produção de queijos processados. A indústria inclui a produção do queijo Polenguinho, queijos especiais como camembert, brie e gorgonzola, além de outros derivados lácteos, como requeijão e cream cheese, entre outros itens do seu extenso catálogo. Essa produção resulta na geração de cerca de 300 m³ de águas residuárias diariamente. Diante desse volume expressivo, torna-se imprescindível adotar soluções tecnológicas eficazes e rentáveis para reduzir os possíveis impactos ao meio ambiente resultantes do lançamento deste efluente em corpos d'água

receptores. Com isso, foram implementadas medidas para assegurar a proteção dos recursos hídricos locais, visto que a indústria tem ligação direta com o Rio Itapetininga, o qual pertence à Bacia do Alto Paranapanema e possui uma biodiversidade notável, de grande consideração para a região do sudoeste paulista (POLENGHI, 2024).

Levando em consideração a necessidade de melhoria e de tornar mais eficiente o sistema de tratamento de esgoto da indústria, a Engenheira Ambiental responsável pelo setor intermediou uma parceria com a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) *campus* de Buri/SP em que alguns alunos, coordenados pela professora orientadora deste trabalho, vem atuando na investigação de melhoria na Lagoa Facultativa em questão. Através dessa conexão, foi possível estruturar um projeto chamado “Gênese” e o dividir em cinco fases complementares, cada uma com o objetivo em uma solução específica para então melhorar num âmbito geral o tratamento de efluentes de toda lagoa. As fases envolvem: (1) construção de uma wetland e revitalização de caixas de gordura; (2) instalação de aeradores de pás alternadas; (3) aplicação de fito remediação com jardins aquáticos; (4) melhorias no deságue de lodo com bag’s filtrantes reutilizáveis; e (5) aplicação de meio filtrante nas caixas de comporta. Cada uma dessas fases foi atribuída a um dos cinco alunos da universidade, responsáveis individualmente pelo desenvolvimento técnico e pela pesquisa correspondente.

Segundo Von Sperling (2005), métodos simples e eficazes podem ser bastante produtivos quando corretamente aplicados, proporcionando ganhos ambientais significativos sem exigir altos investimentos. Nesse sentido, o presente estudo apresenta como solução a instalação de oito aeradores de pás alternadas na lagoa facultativa responsável pelo tratamento do efluente proveniente da produção de queijo processado, com posterior monitoramento da eficiência do sistema implantado.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a instalação progressiva e o monitoramento da operação de oito aeradores de pás alternadas na lagoa facultativa de tratamento de efluentes da fábrica da Savencia Brasil, em Angatuba-SP. A instalação ocorreu no

período de outubro de 2024 a abril de 2025, com o objetivo de avaliar o aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica, por meio dos parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). Também foram realizadas análises a montante e a jusante do ponto de lançamento no Rio Itapetininga para avaliar o impacto do efluente tratado sobre o corpo receptor.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a implementação dos aeradores de pás alternadas na lagoa facultativa da Savencia;
- Monitorar mensalmente os parâmetros físico-químicos do efluente tratado, entre novembro de 2024 à abril de 2025 (exceto janeiro)
- Analisar os dados obtidos para avaliar o impacto da instalação dos aeradores na eficiência de remoção da lagoa;
- Avaliar o impacto do efluente tratado no corpo receptor, o Rio Itapetininga, por meio de análises pontuais realizadas a montante e jusante do ponto de lançamento, nos meses de fevereiro e maio de 2025.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LATICÍNIOS

É evidente que as fábricas de laticínios geram resíduos líquidos ricos em matéria orgânica resultantes das etapas do processo de produção de leite e seus produtos. Nesses resíduos, encontram-se proteínas, gorduras, lactose e partículas sólidas em suspensão, elevando a DBO e a DQO. A CETESB (2006) destaca que os efluentes dos laticínios têm características próprias, necessitando de soluções sob medida para um tratamento eficaz e em conformidade com as leis ambientais atuais.

Com base nisso, as lagoas facultativas surgem como uma opção prática e bastante utilizada para o tratamento biológico de efluentes industriais, especialmente na indústria de laticínios. Isso se deve à sua facilidade de operação e à boa eficácia na remoção de carga orgânica. A seguir na tabela 1 apresenta os principais valores operacionais comuns da lagoa em questão, que

precisam ser levados em conta ao analisar a eficácia do sistema:

Tabela 1 – Parâmetros operacionais típicos de lagoas facultativas

| Parâmetro | Faixa de Valores Típicos |
|------------------------------------|---|
| Profundidade | 1,0 a 2,5 metros |
| Tempo de detenção hidráulica (TDH) | 20 a 60 dias |
| Eficiência de remoção de DBO | 70% a 85% |
| DBO de entrada | 150 a 500 mg/L |
| DBO de saída | 30 a 80 mg/L |
| Temperatura ideal | 20°C a 35°C |
| Produção de lodo | Baixa |
| Demanda de energia elétrica | Nula (sem aeradores) a moderada (com aeradores) |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002), Chernicharo (2007) e CETESB (2006).

Diante dos dados estudados e de seus critérios, é fundamental entender a importância de realizar um devido projeto, que seja adequadamente elaborado e garanta sua correta manutenção e operação no decorrer de seu uso, para assim, assegurar a eficácia do tratamento e a conformidade com as normas ambientais, conforme estipulado pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Em seguida, é realizada uma análise mais detalhada de cada um desses critérios, destacando suas repercussões no funcionamento do sistema.

Em relação à profundidade das lagoas facultativas, sabe-se que, de acordo com VON SPERLING (2002), a altura do solo em relação à superfície da água pode variar entre 1,0 e 2,5 metros, faixa essa que é fundamental para garantir uma precisa estratificação das zonas aeróbias, facultativa e anaeróbia, as quais integram o funcionamento biológico de todo o sistema. Conforme o autor relata, profundidades além desse intervalo podem prejudicar a oxigenação da camada superior da lagoa, prejudicando a atividade dos microrganismos aeróbios. No entanto, profundidades menores que 1,0 metro, ajudam na proliferação de algas e elevam a taxa de evaporação, o que pode desestabilizar a operação da lagoa.

Outro parâmetro essencial é o tempo de detenção hidráulica (TDH). O

TDH indica o tempo em que o efluente mantém-se na lagoa facultativa, que comumente varia entre 20 e 60 dias. Intervalos mais longos criam condições que ajudam na decomposição de matéria orgânica, ou seja, permite que os microrganismos decomponham a matéria orgânica e reduzir a carga poluidora e a sedimentação de sólidos suspensos, ajudando ainda mais no seu tratamento (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Von Sperling (2002), em relação a DBO, é comum a taxa de remoção em lagoas facultativas convencionais, variar entre 70% a 85%, o que mostra a sua capacidade de diminuir significativamente a carga orgânica, tornando-se uma boa alternativa para o Brasil, visto que ela se destaca em áreas de clima tropical. Sua eficiência pode ser elevada através do uso de aeração mecânica adicional, como por exemplo os aeradores de pás alternadas, fazendo com que aumente o nível da concentração de OD no meio, responsável por intensificar a atividade dos microrganismos aeróbios, com isso, acelerando a degradação da matéria orgânica, aumentando então ainda mais a eficiência do sistema.

No setor de laticínios, os efluentes apresentam alta carga orgânica, com valores de DBO que podem ultrapassar 1.000 mg/L na entrada do sistema de tratamento, dependendo das operações envolvidas e do grau de diluição. Com o uso de tecnologias adequadas, como lagoas facultativas aeradas e sistemas complementares, é possível alcançar reduções significativas, com valores de DBO na saída variando entre 100 e 300 mg/L (KIEHL, 1985; ANDRADE NETO, 2012).

Em relação a temperatura, sabe-se que em lagoas facultativas o padrão para operação situa-se entre 20°C e 35°C. Dentro dessa faixa, a atividade metabólica dos microrganismos é elevada, assim, aumentando a velocidade de consumo de substratos, como a matéria orgânica presente no efluente, e proporcionando uma maior estabilidade do sistema de tratamento (VON SPERLING, 2002).

Em comparação com outros sistemas de tratamento, as lagoas facultativas apresentam baixa produção de lodo. Isso acontece porque a maior parte da matéria orgânica acaba se decompondo dentro da lagoa ao longo do tempo.

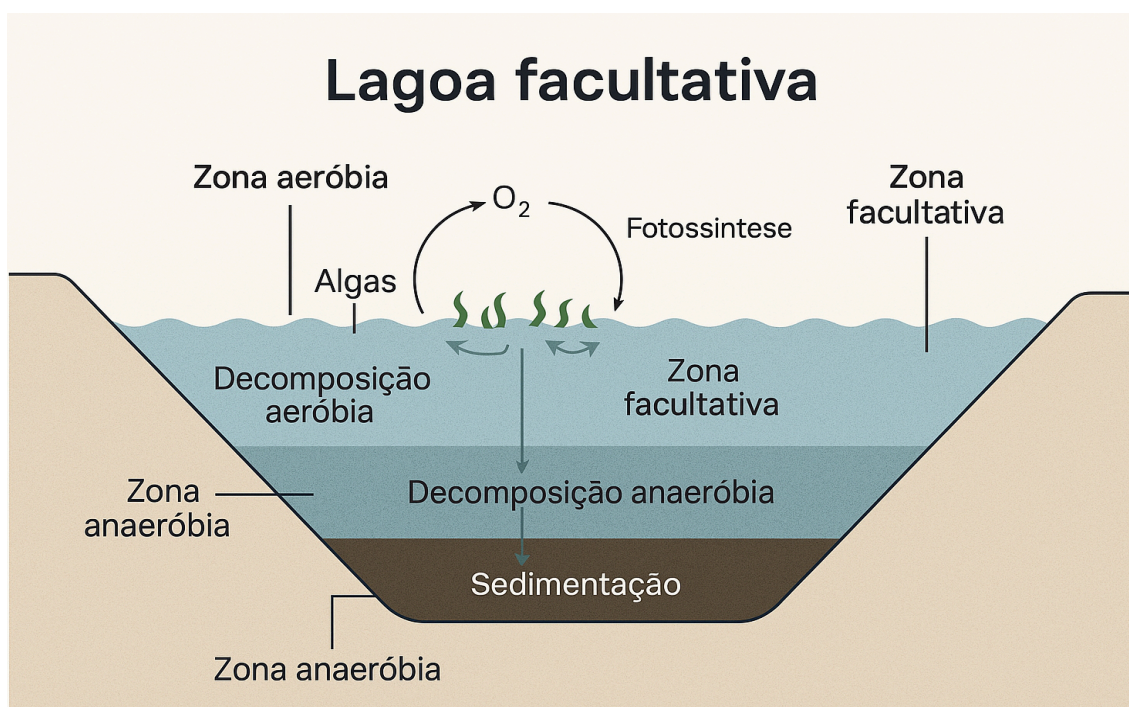
Mesmo assim, alguns sólidos sedimentáveis se acumulam no fundo e, com o tempo, formam lodo. Como esse acúmulo é lento, a remoção do lodo não exige operação frequente e só é feita após alguns anos de operação, dependendo da carga orgânica e das condições de operação da lagoa. Esta característica é uma vantagem, pois reduz a necessidade de manutenção contínua e os custos de descarte de resíduos (VON SPERLING, 2002)

Por fim, em relação ao uso de energia elétrica no sistema analisado, observa-se um consumo energético moderado no caso das Lagoas Facultativas Aeradas, já que a aeração mecânica é realizada por aeradores conectados a rede trifásica de energia. Já em lagoas que não utilizam aeração mecânica, o consumo de energia elétrica é inexistente, o que torna esse tipo de sistema ainda mais econômico em termos energéticos.

2.2. LAGOA FACULTATIVAS E SEU FUNCIONAMENTO

Lagoas facultativas são sistemas de tratamento que combinam processos aeróbios e anaeróbios para a degradação da matéria orgânica. Na figura 1 apresenta uma ilustração esquemática que demonstra suas principais características, zonas de atuação e seu comportamento ao longo da sua profundidade.

Figura 1 – Esquema ilustrativo de uma lagoa facultativa, com zonas aeróbia, facultativa e anaeróbia



Fonte: Elaborado pela autora com base em Silva Filho (2007).

Conforme pode-se observar, as lagoas facultativas apresentam três principais zonas: aeróbia, facultativa e anaeróbia, cada uma com distintas condições de oxigenação e diferentes grupos de microrganismos. Com base nessa ilustração estratificada, entende-se que o sistema como um todo permite que a degradação da carga orgânica ocorra de forma natural e eficiente (VON SPERLING, 2005).

Na parte superior da lagoa encontra-se a zona aeróbia. É nessa camada que as bactérias aeróbias se destacam, sendo responsáveis por decompor a matéria orgânica, utilizando o oxigênio ali disponível. Nessa área, ocorre a presença de OD, proveniente principalmente da fotossíntese realizada pelas algas e da difusão do oxigênio presente na atmosfera. A presença de um aerador mecânico de pás alternadas pode aumentar significativamente a concentração de OD nessa camada, promovendo uma maior eficiência no tratamento (VON SPERLING, 2005).

A segunda zona (zona facultativa), corresponde à faixa de transição entre a superfície e o fundo. A presença de oxigênio nessa zona pode se diversificar de acordo com a profundidade, carga orgânica e agitação do sistema. Os microrganismos presentes nessa zona são capazes de atuar tanto em ambientes com oxigênio quanto em condições anaeróbias, sendo por isso denominados microrganismos facultativos (CHERNICHARO, 2007).

Por fim, a zona anaeróbia localiza-se no fundo da lagoa, onde o oxigênio atinge concentrações próximas de zero. É nessa região que os microrganismos atuam na degradação da matéria orgânica, processo que resulta na formação de biogás, composto principalmente por metano (CH_4), gás carbônico (CO_2) e outros gases, dependendo das características do efluente agroindustrial. Esse sistema apresenta menores velocidades de consumo de substrato, como a matéria orgânica, o que resulta em tempos mais longos para a estabilização do material orgânico (METCALF & EDDY, 2016).

2.3. LAGOA AERADA FACULTATIVA

No tratamento dos efluentes, destacam-se também as lagoas facultativas aeradas, que possuem características comuns às lagoas facultativas convencionais. Em ambas, o oxigênio dissolvido é fornecido por dois

mecanismos principais: a difusão do oxigênio atmosférico para o meio líquido, impulsionada pela diferença de pressão parcial, e a fotossíntese realizada pelas algas. No entanto, as lagoas aeradas se destacam por sua maior eficiência, uma vez que os aeradores mecânicos promovem um aumento significativo na concentração de oxigênio dissolvido na água, o que está diretamente relacionado à atividade biológica aeróbia dessas lagoas (VON SPERLING, 2002).

Segundo Von Sperling (2005), a introdução da aeração mecânica em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) domésticas e industriais pode melhorar de forma expressiva a remoção de matéria orgânica, devido à capacidade de tratar grandes quantidades de carga orgânica em uma área menor. Da mesma forma, Chernicharo (2007) afirma que lagoas aeradas facultativamente podem atingir eficiências de remoção de DBO superiores a 85%, enquanto lagoas facultativas convencionais, operando apenas com difusão atmosférica, produzem entre 70% e 85%. Além disso, nas lagoas de aeração é possível a operação com maiores cargas orgânicas sem comprometer a eficiência do sistema, o que as torna uma excelente alternativa tecnológica para indústrias de médio ou grande porte. Como resultado, lagoas aeradas podem operar de forma mais segura e eficiente durante o processo de degradação, além de reduzir significativamente os odores indesejáveis que poderiam ser gerados. Contudo, em comparação às lagoas facultativas convencionais, as lagoas aeradas facultativas possuem como desvantagens o maior consumo energético, a necessidade de manutenção dos aeradores e um custo de operação mais elevado (VON SPERLING, 2002; CHERNICHARO, 2007).

2.4. AERADORES DE PÁS ALTERNADAS

Aeradores mecânicos de pás alternadas são dispositivos capazes de facilitar expressivamente a transferência de oxigênio da atmosfera para um meio líquido, no caso, para as águas residuárias, como ocorre em uma lagoa facultativa aerada (VON SPERLING, 2002). A introdução desse tipo de aerador tem como vantagem a manutenção de uma zona aeróbia mais espessa e ativa, favorecendo a atividade dos microrganismos aeróbios, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. A movimentação gerada pelas pás auxilia na homogeneização da temperatura e na prevenção de zonas estagnadas no interior da lagoa (CHERNICHARO, 2007).

Para o atual estudo, foi adotado um aerador de pás alternadas do tipo flutuante, desenvolvido pela empresa Trevisan (TREVISAN, 2025). O equipamento conta com pás dispostas em formato helicoidal e estrutura fabricada com materiais de alta durabilidade. As pás são confeccionadas em nylon reforçado, enquanto os flutuadores, travessas e mancais utilizam polietileno, e o redutor é constituído de ferro fundido com proteção contra corrosão. O design helicoidal das pás permite uma maior eficiência na incorporação de oxigênio ao meio líquido, além de favorecer a movimentação da lâmina d'água, auxiliando na homogeneização de temperatura e na manutenção de uma zona aeróbia ativa. Características essas que justificam a escolha do equipamento que otimiza o desempenho da lagoa facultativa aerada trabalhada no atual projeto, sendo eficiente para a realidade operacional da unidade industrial.

2.5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS

No Brasil, as leis ambientais impõem uma série de restrições rigorosas se tratando de efluentes industriais ligados aos corpos hídricos, visto que é através delas que é possível preservar a qualidade da água e proteger o meio ambiente aquático.

No que diz respeito à indústria de laticínios, a Resolução CONAMA nº 430/2011 e a CETESB (2006) são responsáveis por estabelecerem os parâmetros e seus limites permitidos, como, por exemplo, as concentrações de DBO, DQO e demais potenciais contaminantes presentes nos efluentes gerados durante a produção de queijos processados e outros derivados. Em complemento, a Resolução CONAMA nº 430/2011 determina que os efluentes industriais (incluindo da indústria laticínia) devem atender aos limites máximos permitidos antes de serem lançados nos corpos hídricos, de modo que não cause impactos negativos na qualidade da água e na biota aquática. Para melhor entendimento, o fluxograma a seguir na figura 2 demonstra como o tratamento dos efluentes, aliado às exigências legais, deve ser estruturado nas indústrias de laticínios.

Figura 2 – Fluxograma do tratamento de efluentes de laticínios e sua conformidade legal



Fonte: Adaptado de CONAMA (2011), CETESB (2006) e Von Sperling (2005).

Portanto, o uso adequado e o dimensionamento correto de aeradores de pás alternadas nas lagoas facultativas aeradas possibilitam a redução significativa dos parâmetros exigidos pela legislação vigente, como a referida resolução e outras normativas ambientais, além de contribuir para a sustentabilidade das operações da indústria de laticínios.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho em questão tem como foco o tratamento dos efluentes líquidos provenientes da produção da Indústria Savencia Brasil (antiga Polenghi), fundada em 1947 e localizada na cidade de Angatuba/SP, no bairro Machadinho. A seguir, na Figura 3, mostra-se a distribuição geográfica da unidade, destacando sua localização municipal e sua área de influência.

específicas no sistema de tratamento do efluente. O atual trabalho, concentra-se na Fase 2, cuja finalidade consiste na instalação e monitoramento de aeradores de pás alternadas, com o intuito de transformar a lagoa facultativa em uma lagoa facultativa aerada, aumentando sua oxigenação no esgoto e melhorando diretamente a sua eficiência de tratamento.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA

A lagoa facultativa em questão, possui aproximadamente 43.600m² de área superficial, é de formato irregular sendo essa perto de 215,00 metros de comprimento por 200,00 metros de largura, com profundidade média de 1,5 metros e um volume médio de água residual estimado em 300 mil litros por dia. A lagoa funciona em regime contínuo, recebendo o efluente dos processos anteriores, conforme informações fornecidas pela unidade Savencia Brasil – Angatuba/SP (2024).

3.4. REPRESENTAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA COM PROPOSIÇÃO DOS AERADORES

Na imagem apresentada na Figura 4, a seguir, mostra-se a disposição dos aeradores mecânicos dentro da lagoa facultativa. Por meio dela, é possível visualizar espacialmente a instalação dos equipamentos de pás alternadas.

Figura 4 – Ilustração da distribuição dos aeradores de pás alternadas na lagoa facultativa



Fonte: Savencia Brasil (2024).

Os aeradores foram alocados arbitrariamente ao longo da superfície da lagoa, sendo dispostos de maneira relativamente uniforme com o intuito de atingir seu efeito na maior área possível, a fim de promover a mistura completa do esgoto com o oxigênio.

Os equipamentos de pás alternadas foram instalados sobre a água e fixados em cada ponta com hastes de aço, visando a sua estabilização, de forma que os mesmos ficassem ancorados em pontos distintos da lagoa, garantindo a sua estabilidade operacional e a facilidade de manutenção. Dessa forma, os aeradores permanecem fixos e protegidos, podendo apenas apresentar pequenos movimentos sobre a superfície, variações essas que acompanham o nível da água; o que se torna concordante com as recomendações gerais encontradas na literatura técnica sobre aeração em lagoas (VON SPERLING, 2014).

Ademais, cumpre destacar que, foi projetada e realizada a construção de uma plataforma flutuante de aproximadamente 12 metros de comprimento, com guarda-corpo de proteção, utilizando em sua base tambores de 20L reciclados da própria Savencia, com o objetivo de apoiar parte da instalação elétrica e, principalmente, garantir a segurança dos funcionários durante a instalação ou manutenção dos aeradores. A seguir, na Figura 5 (fotografia registrada antes da instalação dos aeradores), é ilustrada a estrutura estável que foi construída:

Figura 5 – Foto da plataforma flutuante instalada na lagoa facultativa



Fonte: Savencia Brasil (2024).

3.5. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA E INSTALAÇÃO DOS AERADORES

Para que a instalação dos aeradores fosse realizada da melhor forma, foi construída uma estrutura de alvenaria próxima à beira da lagoa, visando abrigar o painel elétrico de alimentação de energia para os aeradores. O painel possui dispositivos de proteção contra surtos (DPS), disjuntores corretamente dimensionados, inversores de frequência, sistema de ventilação, controle de velocidade individual de cada aerador e botões de acionamento de emergência no quadro frontal.

As conexões elétricas entre o painel e os oito aeradores são feitas com cabos de tamanho e identificações apropriados, que vão do poste trifásico instalado até tubos de acesso com conduítes enterrados. Na lagoa, os cabos de condução elétrica ficam suspensos acima do nível da água em suportes fixos, que evitam o contato direto com o efluente. Os suportes foram construídos reaproveitando barris de plástico reforçado que eram usados anteriormente na

indústria. Dessa forma, a estrutura flutuante garante suporte adequado e proporciona uma segurança adicional aos cabos elétricos. Na figura 6 é possível visualizar os suportes flutuantes, posicionados à margem da lagoa, prontos para instalação.

Figura 6 – Suportes flutuantes utilizados para suspender os cabos elétricos acima do nível da água na distribuição elétrica da lagoa



Fonte: Savencia Brasil (2024).

3.6. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS AERADORES

Na avaliação do desempenho dos aeradores de pás alteradas na lagoa facultativa, a qualidade do efluente tratado foi monitorada em diferentes momentos: antes da instalação de tais aeradores, durante a fase de ajuste operacional e após a consolidação da operação do aerador.

É essencial evidenciar que a instalação dos oito aeradores ocorreu de maneira progressiva, ou seja, iniciou-se com a inserção de apenas dois aeradores e, ao longo dos meses, de outubro de 2024 a abril de 2025, foi-se

avançando na quantidade de aeradores instalados, chegando então a oito no total. Entende-se que essa sequência de colocação apresenta relação direta com os resultados dos seus desempenhos e com a análise realizada ao longo dos meses.

O monitoramento é focado principalmente nos parâmetros de OD, DBO e DQO para verificar o impacto da aeração na eficiência do tratamento. O trabalho de coleta foi realizado por profissionais da empresa Hidrolabor em um dia seco, ensolarado e sem chuva nas últimas 24 horas. As amostras foram coletadas em pontos de saída fixos da lagoa facultativa e foram descritas como simples e devidamente refrigeradas até a análise. Tais análises foram realizadas em um laboratório acreditado pelo INMETRO, que garante que os procedimentos e métodos adotados para tanto estão em conformidade com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF 2017)

Os resultados das análises dos parâmetros pré definidos possibilitam a verificação do impacto da aeração ao longo do tempo, permitindo a comparação direta dos períodos investigados. Ressalta-se que os aeradores mecânicos de pás alternadas permaneceram em funcionamento contínuo, operando 24 horas por dia. Essa operação ininterrupta apresentou como finalidade garantir a oxigenação constante da lagoa facultativa ao longo do tempo, mesmo com as variações de carga orgânica e condições climáticas.

Em seguida, na figura 7 é apresentado o modelo do aerador utilizado na lagoa em questão.

Figura 7 – Aerador de pás alternadas instalado na lagoa facultativa



Fonte: TREVISAN (2024).

3.7. METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Alguns parâmetros analisados ao longo das campanhas de monitoramento foram aqueles essenciais para a avaliação de desempenho: OD, DBO, DQO e pH. Na Tabela 2 é apresentado um resumo dos parâmetros analisados e seus métodos laboratoriais utilizados:

Tabela 2 – Parâmetros, métodos e referências normativas aplicadas nas análises laboratoriais

| Parâmetro | Método Analítico | Referência |
|--------------------------------------|-------------------|---|
| Oxigênio Dissolvido (OD) | 4500-O C | APHA et al., 2017 – SMWW, 24 ^a ed. |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) | 5210 B / 4500-O C | APHA et al., 2017 – SMWW, 24 ^a ed. |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO) | 5220 D | APHA et al., 2017 – SMWW, 24 ^a ed. |
| Potencial Hidrogeniônico (pH) | 4500-H+ B | APHA et al., 2017 – SMWW, 24 ^a ed. |

Fonte: Adaptado de APHA; AWWA; WEF (2017).

As amostras simples foram realizadas por profissionais diretamente na

saída da lagoa facultativa. Em relação a análise de eficiência de remoção da lagoa, tem-se que a mesma foi calculada com base na comparação ao longo dos períodos de análises sendo que os resultados obtidos foram expressos em miligramas por litro (mg/L). Os procedimentos foram realizados atendendo ao controle de qualidade exigido pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, o que deve garantir a rastreabilidade, reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

Na Tabela 2 apresentada anteriormente, na coluna do método analítico, foram apresentados códigos utilizados para cada parâmetro analisado, seguindo a padronização do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2017). O método 4500-O C indica a determinação do OD por via colorimétrica. O método 5210 B é usado para determinar a DBO com incubação da amostra por 5 dias a 20 °C, sendo que as medições de OD necessárias nesse método podem ser realizadas por meio do 4500-O C. O método 5220 D é empregado para a determinação da DQO por meio do método de refluxo fechado. Por fim, o método 4500-H⁺ B é usado para determinar o pH por medição potenciométrica com eletrodo combinado

3.8. MONITORAMENTO DOS RESULTADOS

O monitoramento de resultados foi realizado entre novembro de 2024 e abril de 2025, com exceção de janeiro, abrangendo o início da operação dos aeradores de pás alternadas e os meses posteriores à instalação dos mesmos. Segundo o relatório publicado pelo laboratório externo Hidrolabor, os dados utilizados foram análises laboratoriais de amostras coletadas na saída da lagoa facultativa. A frequência da coleta foi determinada com base na disponibilidade operacional do setor, levando em consideração os critérios climáticos e técnicos já descritos nesta seção.

Os parâmetros pH, DBO, DQO e OD foram avaliados. A coleta realizada no mês de fevereiro de 2025 apresentou resultado inconsistente no parâmetro de OD do efluente bruto; mesmo sendo um laboratório acreditado, ocorreu um desvio nesse valor devido a falha na amostragem (fev/2025), o que infelizmente pode se dar por diversos fatores. Sendo assim, o dado de OD deste mês foi desconsiderado na análise comparativa para garantir a confiabilidade do estudo, enquanto os demais parâmetros foram mantidos. No próximo capítulo

encontram-se expostos os dados disponíveis em ordem cronológica bem como uma análise descritiva sobre os mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos de amostras provenientes da lagoa facultativa da Indústria Savencia Brasil ocorreu entre novembro de 2024 e abril de 2025, com exceção de janeiro, através de análises mensais, visto que os dois primeiros aeradores foram instalados em outubro de 2024. Os principais dados estudados através dos relatórios enviados foram os parâmetros de DBO, DQO, OD e pH, tanto para o efluente bruto quanto para o efluente tratado. A tabela 3 a seguir apresenta os valores obtidos para os parâmetros em questão:

Tabela 3 – Dados de monitoramento dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto e tratado na lagoa facultativa da Indústria Savencia Brasil fornecido pelo laboratório externo (nov/2024 a abr/2025, exceto jan/2025)

| Mês/Ano | Tipo | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) | OD (mg/L) | pH |
|----------|---------|------------|------------|-----------|-----|
| Nov/2024 | Bruto | 1800,0 | 2156,6 | 0,7 | 7,6 |
| Nov/2024 | Tratado | 240,0 | 722,7 | 0,1 | 7,7 |
| Dez/2024 | Bruto | 925,0 | 1442,0 | 0,1 | 7,3 |
| Dez/2024 | Tratado | 170,0 | 564,0 | <0,1 | 7,5 |
| Fev/2025 | Bruto | 1800,0 | 2819,8 | 7,7* | 9,4 |
| Fev/2025 | Tratado | 205,0 | 701,5 | 0,7 | 8,5 |
| Mar/2025 | Bruto | 1566,0 | 3458,0 | 0,3 | 7,0 |
| Mar/2025 | Tratado | 85,0 | 203,0 | 0,9 | 6,9 |
| Abr/2025 | Bruto | 1025,0 | 2211,5 | 0,5 | 7,6 |
| Abr/2025 | Tratado | 140,0 | 1224,9 | 0,3 | 7,8 |

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em relatórios analíticos da Hidrolabor.

Na tabela 3 apresentada, os valores de oxigênio dissolvido (OD) apresentados referem-se ao ponto de amostragem localizado na saída da lagoa facultativa, antes do lançamento no corpo receptor, e não representam os valores

diretamente aferidos no ponto de lançamento no rio Itapetininga. Observa-se que os valores brutos de DBO e DQO aumentaram significativamente ao longo dos meses, principalmente a DBO em março de 2025, em que a carga orgânica bruta chegou ao valor de 1566 mg/L e 3458 mg/L de DQO. Essa variação pode ser atribuída à diversidade dos processos industriais realizados na fábrica, que influenciam diretamente as características do efluente gerado. Em relação ao pH, observa-se que se manteve estável, variando entre 6,9 e 7,8.

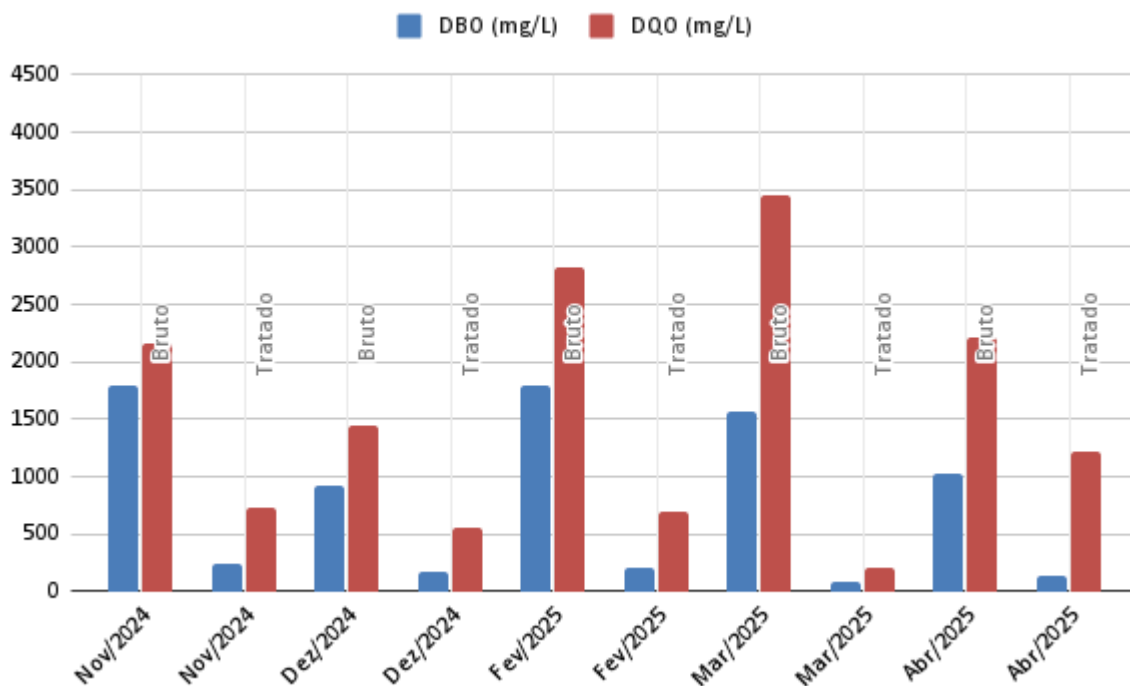
O relatório com os resultados do mês de fevereiro de 2025 foi analisado; porém, devido à inconsistência observada no valor de OD do efluente bruto, decidiu-se incluí-lo na tabela apenas como informação, sendo esse parâmetro descartado para fins analíticos. Vale destacar, o valor de OD do efluente bruto, que resultou em 7,7 mg/L, um valor comprometedor para fins de comparação confiável do desempenho do sistema. Os demais resultados, como DBO e DQO, foram mantidos por estarem coerentes com os demais meses analisados.

Com base nas dimensões operacionais já apresentadas da lagoa facultativa, foi possível calcular seu tempo de detenção hidráulica (TDH), que resultou em aproximadamente 218 dias. Esse valor excede significativamente o intervalo recomendado na literatura técnica, que para lagoas facultativas varia de 20 a 60 dias (CHERNICHARO, 2007). A discrepância observada se deve ao superdimensionamento ocorrido no projeto original da lagoa, elaborado há cerca de 40 anos, em um contexto anterior à configuração operacional atual da unidade. Ao longo do tempo, não foram realizadas alterações significativas no projeto para adaptar sua capacidade às vazões reais. Essa característica histórica do sistema deve ser considerada na avaliação de seu desempenho, visto que tempos de retenção prolongados impactam diretamente os processos biológicos e a eficiência geral do tratamento.

A fim de facilitar a visualização e análise comparativa dos dados da Tabela 3, é apresentado o Gráfico 1 com os parâmetros físico-químicos DBO e DQO monitorados na lagoa facultativa, comparando os valores do efluente bruto (entrada) e tratado (saída) entre novembro de 2024 e abril de 2025, com exceção de janeiro, em que não houve análise laboratorial. Nota-se uma redução significativa nos valores de DBO e DQO após o tratamento com a aeração,

indicando eficiência no sistema implementado.

Gráfico 1 - Comparação dos valores de DBO e DQO, do efluente bruto e tratado da lagoa facultativa no período de novembro de 2024 a abril de 2025 (com exceção de janeiro)



Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em relatórios analíticos da Hidrolabor.

4.2. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA (DBO)

Para calcular a eficiência gradativa de remoção da carga orgânica DBO, foram analisados os dados de entrada e saída da lagoa facultativa. Observa-se que a sua eficiência de remoção variou um pouco ao longo do tempo, sendo de 86,7% em novembro de 2024, já sob efeito dos dois primeiros aeradores, que foram instalados em outubro; 82% em dezembro; 95% em março de 2025; e 86,34% em abril do mesmo ano. O dado de OD de fevereiro foi desconsiderado da análise por apresentar inconsistência técnica confirmada pela empresa, enquanto os demais resultados do mês foram mantidos. A tabela 4 a seguir demonstra de forma interativa a eficiência de remoção de cada mês e sua informação de conformidade.

Tabela 4 - Eficiência de Remoção de DBO com avaliação de conformidade Conforme Resolução CONAMA 430/2011 e Decreto Estadual 8.468/76

| Mês/Ano | DBO Bruto (mg/L) | DBO Tratado (mg/L) | Eficiência DBO (%) | Situação |
|---------|------------------|--------------------|--------------------|----------|
| Nov/24 | 1800.0 | 240.0 | 86.67 | Conforme |
| Dez/24 | 925.0 | 170.0 | 82.00 | Conforme |
| Fev/25* | 1800.0 | 205.0 | 88.61 | Conforme |
| Mar/25 | 1566.0 | 85.0 | 95.0 | Conforme |
| Abr/25 | 1025.0 | 140.0 | 86.34 | Conforme |

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em relatórios analíticos da Hidrolabor.

Após a instalação progressiva dos aeradores, foi-se apresentando um resultado satisfatório no que diz respeito ao desempenho na sua capacidade de remoção de carga orgânica. Todos os meses analisados atenderam ao critério mais rigoroso estabelecido pelo Decreto Estadual nº 8.468/76, obtendo como resultado uma eficiência de remoção de DBO superior a 80%.

A conformidade com a legislação ambiental indica que a aeração mecânica instalada foi eficaz em proporcionar uma melhoria na performance do sistema. É importante a continuação do monitoramento mensal e da operação ideal dos aeradores para manter esses níveis de eficiência ao longo do tempo, mesmo frente às contínuas produções da fábrica e suas variações sazonais.

4.3. DISCUSSÃO SOBRE A CONFORMIDADE AMBIENTAL

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011, o efluente tratado deve apresentar DBO menor ou igual a 60 mg/L ou eficiência de remoção de no mínimo 60%. A Savencia, unidade de Angatuba, está localizada no Estado de São Paulo e, portanto, aplica-se o critério mais rigoroso do Decreto Estadual nº 8.468/76, que exige eficiência mínima de 80%. Apesar dos valores absolutos de DBO estarem acima do limite de 60 mg/L, a lagoa facultativa atinge os níveis de conformidade, pois sua eficiência foi superior a 80%.

No OD, como mencionado anteriormente, os resultados apresentados não se referem ao ponto de lançamento no corpo hídrico receptor. Dessa maneira, torna-se possível compreender que embora os valores estejam abaixo de 2,0 mg/L, esse parâmetro não pode ser diretamente comparado à exigência legal

estabelecida para o lançamento. Ainda assim, trata-se de um aspecto relevante a ser monitorado e aprimorado ao longo do tempo, buscando melhor desempenho do sistema como um todo.

4.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CORPO RECEPTOR: RIO ITAPETININGA

Para melhor avaliar o impacto que o efluente tratado da Savencia tem no corpo receptor, o rio Itapetininga, foram avaliados os valores de OD nos pontos de montante e jusante, nos meses de fevereiro e maio de 2025. Sabe-se que a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece um OD no ponto de lançamento $\geq 2,0$ mg/L. A Tabela 5 apresenta os valores observados.

Entretanto, destaca-se que os pontos de amostragem não possuem distância registrada em relação ao ponto de lançamento do efluente, o que impossibilita determinar com precisão em qual zona do processo de autodepuração os dados foram coletados. Essa informação é fundamental para aplicação da equação de Streeter-Phelps e análise mais aprofundada da decomposição da carga orgânica no corpo hídrico. Assim, os dados apresentados devem ser interpretados com essa limitação em mente.

A aplicação da equação de Streeter-Phelps, que descreve a variação do oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância no corpo receptor, não foi possível neste estudo devido à ausência de informações espaciais precisas dos pontos de coleta. No entanto, reconhece-se que essa ferramenta seria extremamente relevante para estimar a zona de decomposição ativa e aprofundar a avaliação do impacto ambiental do lançamento (STREETER; PHELPS, 1925; VON SPERLING, 2007).

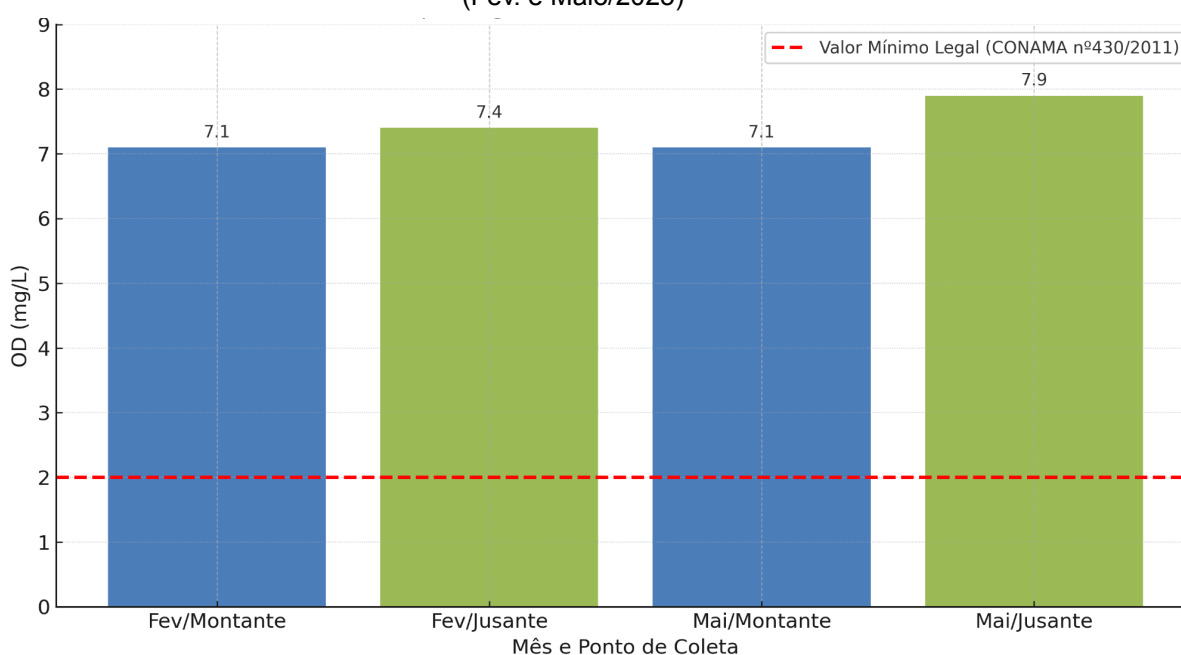
Tabela 5 – Comparativo dos valores de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de montante e jusante do rio Itapetininga nos meses de fevereiro e maio de 2025

| Mês | Ponto | OD (mg/L) | Conformidade ($\geq 2,0$ mg/L) | Observações relevantes |
|----------|----------|-----------|---------------------------------|--|
| Fev/2025 | Montante | 7,1 | SIM | Antes do lançamento do efluente |
| Fev/2025 | Jusante | 7,4 | SIM | OD aumentou após o lançamento, indicando autodepuração |
| Mai/2025 | Montante | 7,1 | SIM | Antes do lançamento do efluente |
| Mai/2025 | Jusante | 7,9 | SIM | OD elevado, não comprometeu |

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em relatórios analíticos da Hidrolabor.

A fim de obter uma melhor visualização do que foi apresentado na tabela 5 anterior, o Gráfico 2 a seguir representa nas colunas os valores de OD nos pontos de montante e jusante do rio itapetininga, tendo como ênfase na comparação entre os meses avaliados em questão e a sua conformidade ambiental, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011 ($\geq 2,0$ mg/L):

Gráfico 2 – Comparativo dos valores de OD no Rio Itapetininga: Pontos de Montante e Jusante (Fev. e Maio/2025)



Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em relatórios analíticos da Hidrolabor.

Em fevereiro de 2025, o oxigênio dissolvido medido a montante foi de 7,1 mg/L, enquanto o valor a jusante subiu para 7,4 mg/L. Situação parecida ocorreu em maio, com o OD a montante registrando 7,1 mg/L e o valor a jusante alcançando 7,9 mg/L. Embora o OD do efluente tratado na saída da lagoa tenha permanecido abaixo de 2,0 mg/L, o corpo receptor apresentou níveis elevados de oxigênio em ambos os pontos.

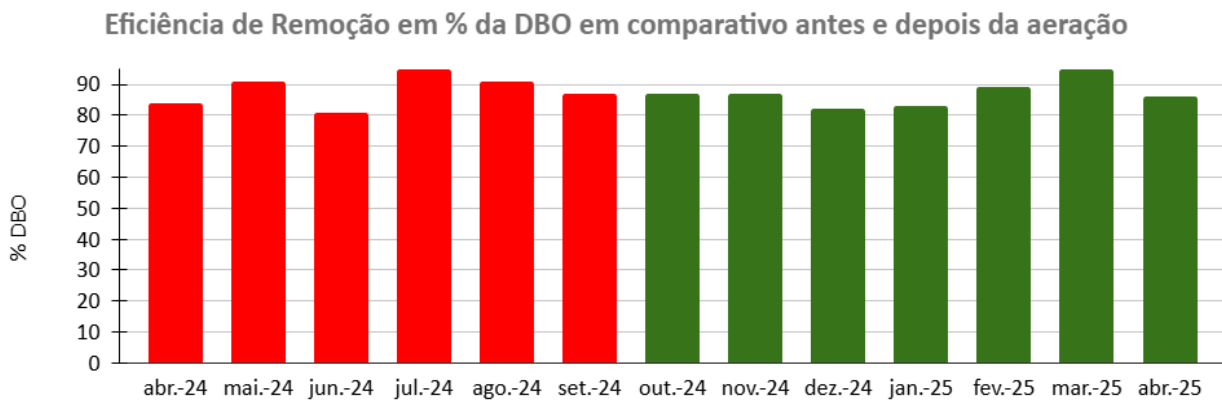
Contudo, a elevação dos valores a jusante, acima dos registrados a montante, exige cautela na interpretação. Essa situação pode estar relacionada a fatores como presença de afluentes limpos, intensa reaeração natural, variações no horário de coleta ou mesmo possíveis interferências externas. Além disso, a ausência de dados precisos sobre a distância entre os pontos de coleta e o ponto de lançamento impede a determinação da zona do rio em que as coletas foram realizadas. Por isso, recomenda-se que futuras análises incluam essas informações, possibilitando aplicação de modelos como Streeter-Phelps e uma avaliação mais precisa do processo de autodepuração.

Diante dos resultados observados, não foram identificados indícios de impacto negativo direto na qualidade da água do trecho analisado do rio Itapetininga, considerando os parâmetros monitorados. Ainda assim, destaca-se a importância de análises mais detalhadas, com delimitação espacial precisa, para uma avaliação conclusiva.

4.5. COMPARATIVO ANTES E DEPOIS DA INSTALAÇÃO DOS AERADORES

A seguir, a fim de comparação analítica, serão apresentados gráficos gerados através de resultado dos valores observados na lagoa em um período de tempo de um ano, compreendido entre abril de 2024 até abril de 2025. No gráfico 3 a seguir é mostrado o comportamento da lagoa facultativa, por meio dos valores de eficiência de remoção de DBO antes (em vermelho) e depois (em verde) da instalação dos aeradores, que ocorreu em outubro de 2024.

Gráfico 3 – Eficiência de remoção de DBO (%) no comparativo antes e depois da aeração



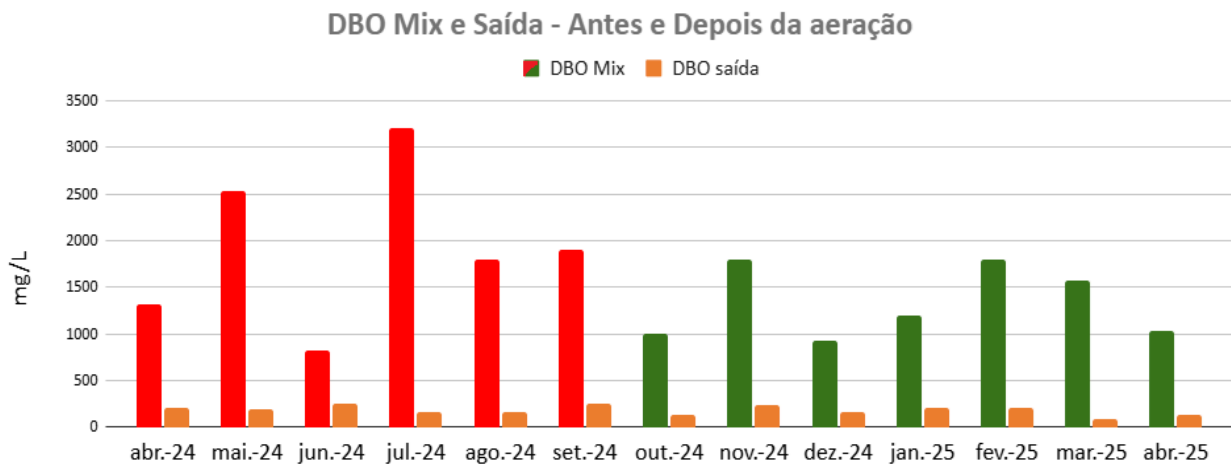
Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em resultados fornecidos pela Savencia.

Sua leitura analítica permite observar a variação mensal na eficiência de remoção de DBO (%). Nota-se que, antes da instalação dos aeradores (colunas em vermelho), os resultados foram mais irregulares, ainda que alguns meses tenham apresentado boas eficiências. Já no período posterior à instalação (colunas em verde), os valores se mostraram mais estáveis, com todos os meses apresentando eficiências superiores a 80%, atendendo ao estabelecido pelo Decreto Estadual nº 8.468/76.

Embora não tenha sido realizada uma análise estatística comparativa, os dados sugerem, de forma preliminar, uma melhora no desempenho do sistema após a implementação dos aeradores mecânicos. Essa tendência aponta para uma possível contribuição positiva da aeração mecânica no tratamento facultativo do efluente, o que reforça a importância do monitoramento contínuo e de estudos complementares para validar os resultados observados.

No gráfico 4 a seguir é comparada os valores absolutos de entrada e saída da quantidade de DBO na distribuição de um intervalo de um ano. A fim de analisar os resultados foram separados o período sem aeração em vermelho e com aeração em verde.

Gráfico 4 – Carga orgânica da DBO da lagoa facultativa antes e após a instalação dos aeradores de pás alternadas (abr/2024 a abr/2025)



Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em resultados fornecidos pela Savencia.

É possível visualizar, através da análise do Gráfico 4, a nítida diminuição nos valores de DBO na entrada da lagoa (DBO mix) após outubro de 2024, mês no qual foi iniciada a instalação dos aeradores, bem como uma estabilização significativa nos valores de DBO na saída. Nos meses antes da aeração (barras vermelhas), houve uma variabilidade enfática na carga orgânica afluenta, chegando a picos superiores a 3.000 mg/L de DBO. Mesmo que a saída apresentasse certa estabilidade, os valores ainda demonstravam um desempenho restrito. Após a introdução gradual dos aeradores (barras verdes), mesmo com cargas orgânicas altas na entrada, observou-se a manutenção da DBO de saída em níveis significativamente menores.

Embora essa diminuição tenha coincidido com o início da aeração mecânica, entende-se que esse declínio pode estar relacionado a fatores externos ao sistema de tratamento, como mudanças operacionais na produção ou no pré-tratamento das águas residuais.

Diante dessa perspectiva, verifica-se que, o sistema de aeração planejado para a lagoa facultativa da Savencia contribuiu para uma melhoria no seu desempenho, favorecendo uma remoção mais eficaz da carga orgânica. Os níveis revelam que o sistema de tratamento e seu processo tornaram-se mais eficientes, confiáveis e com maior estabilidade operacional.

4.6. LIMITAÇÕES OBSERVADAS E RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIAS OPERACIONAIS

Mesmo com um desempenho e resultado satisfatório obtido através da inserção dos aeradores, houve observações de melhoria e alguns apontamentos de pequenas limitações. No decorrer das análises e monitoramento do desempenho realizadas neste trabalho, foram visualizadas algumas imperfeições operacionais e analíticas que podem de certa forma interferir na observação precisa da eficiência do sistema como um todo. Tais apontamentos que serão discutidos nesta seção não comprometeram os resultados obtidos demonstrados anteriormente e seus avanços, são limitações que apenas revelam possibilidades de melhoria contínua e aperfeiçoamento na operação da unidade.

O processo de instalação gradual dos aeradores, foi um dos limitantes observados, início em outubro de 2024 com duas unidades de aeradores e conclusão final em abril de 2025 com oito aeradores, podem mostrar uma progressão que dificulta a análise de desempenho nos primeiros meses, pois mesmo que tenha sido planejado chegar aos oito aeradores, o sistema de tratamento não operava com sua capacidade total de aeração. A configuração parcial dos aeradores de certa forma podem causar uma distribuição não uniforme de oxigênio na lagoa, diminuindo a eficiência final no local do tratamento. Com isso identifica-se também um efeito que compromete a padronização das condições operacionais, podendo dificultar a ligação direta entre os resultados obtidos e o desempenho do sistema em si.

Como relatado no trabalho, a frequência de análises realizadas pelo laboratório externo foram mensal, monitoramentos esses que podem representar uma limitação quanto à sensibilidade e precisão das análises, não sendo possível analisar variações mais sutis ou pontuais na carga orgânica gerada ou na resposta do sistema. É válido ressaltar a inconsistência analítica ocorrida em fevereiro de 2025, mesmo sendo realizado por um laboratório acreditado, ocorreram erros laboratoriais que poderiam comprometer a confiabilidade dos dados.

Com isso, através dessas investigações realizadas recomenda-se aprimorar a frequência das coletas e precisão nas análises laboratoriais, talvez

realizando em intervalos menores, como quinzenal, além de realizar medições de OD em diferentes profundidades e pontos da lagoa, com o objetivo de aprofundar cada vez mais na análise no que diz respeito a oxigenação na coluna d'água. Para melhoria é válido também uma avaliação técnica do posicionamento de cada aerador, número e desempenho, possibilitando caso houver necessidade uma redistribuição ou reforço, bem como a implantação de sensores automatizados, contribuindo ainda mais para um monitoramento contínuo profundo e um fino ajuste operacional em tempo real. Simultaneamente, é importante fortalecer o monitoramento ambiental no ponto de lançamento do efluente, evidenciando o valor de OD e demais parâmetros exigidos pela legislação vigente.

A continuação das ações do Projeto Gênesis e seu aprimoramento se fazem essenciais para obtenção de um melhoramento gradual da qualidade do sistema de tratamento de esgoto estudado, a fim de garantir o atendimento às normas ambientais, assegurando o bem estar da comunidade do bairro do Machadinho e do meio ambiente local ao longo do tempo.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de aeradores de pás alternadas instalados na lagoa facultativa da Indústria Savencia Brasil, unidade de Angatuba/SP, a fim de verificar sua eficiência na remoção de carga orgânica e seu efeito. Toda a pesquisa foi guiada por meio do acompanhamento técnico da instalação progressiva dos aeradores e do monitoramento laboratorial mensal do efluente tratado, nos meses entre novembro de 2024 e abril de 2025, com exceção de janeiro.

Conclui-se que, nos meses avaliados neste estudo, os resultados demonstraram uma tendência de melhoria na eficiência do tratamento biológico do efluente proveniente da indústria de queijo processado, especialmente a partir da implementação da aeração mecânica em outubro de 2024. Observou-se, de forma geral, um desempenho satisfatório, com destaque para os meses que apresentaram eficiências de remoção de DBO superiores a 80%, atendendo ao estabelecido no Decreto Estadual nº 8.468/76. Ainda que oscilações operacionais tenham sido registradas, os dados analisados indicam que a aeração contribuiu

positivamente para o desempenho da lagoa facultativa no período monitorado.

As amostras de água coletadas nos pontos de montante e jusante do rio Itapetininga indicaram que, no período analisado, o corpo hídrico manteve níveis elevados de oxigênio dissolvido, mesmo após o lançamento do efluente tratado. Esses dados, embora limitados pela ausência de informações espaciais detalhadas, sugerem preliminarmente que o rio apresenta capacidade de autodepuração no trecho avaliado.

No entanto, para que essa conclusão seja plenamente sustentada, é necessária uma investigação mais aprofundada sobre os efeitos do lançamento, incluindo a dinâmica da carga orgânica, o tempo de percurso, os processos de diluição e a identificação da zona de decomposição. Estudos futuros que considerem essas variáveis serão fundamentais para compreender de forma mais robusta o comportamento do rio frente ao lançamento contínuo de efluente tratado

Conforme descrito na seção anterior, limitações foram identificadas; porém, estas não comprometeram a eficácia geral do tratamento do efluente. Portanto, com base nos resultados, conclui-se que a aeração mecânica realizada por meio dos aeradores de pás alternadas contribuiu positivamente para o desempenho do tratamento da lagoa facultativa, sendo recomendada a continuidade do Projeto Gênesis, o qual representou um avanço ambiental mesmo frente aos desafios, tanto para a indústria quanto para a comunidade local.

REFERÊNCIAS

ABIQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE QUEIJOS. *Queijos processados: produção, características e mercado*. São Paulo: ABIQ, 2022. Disponível em: <https://www.abiq.com.br>. Acesso em: 9 abr. 2025.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. Tratamento de efluentes de laticínios. In: CETESB. *Tratamento de efluentes líquidos industriais*. São Paulo: CETESB, 2012. p. 205–228. ANDRADE NETO, C.O. *Tratamento de efluentes da indústria de laticínios*. São Paulo: Livraria Varela, 2012.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. *Análise do mercado de leite – histórico mensal*. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-leite/item/download/53387_e97d1811e4cb8a76532c86a1a98986cb. Acesso em: 9 abr. 2025.

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. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 92, p. 89–96, 16 maio 2011.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de caracterização e avaliação dos efluentes da indústria de laticínios*. São Paulo: CETESB, 2006.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Valor da produção da pecuária e aquicultura chega a R\$ 122,4 bilhões em 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41352-valor-da-producao-da-pecuaria-e-aquicultura-chega-a-r-122-4-bilhoes-em-2023>. Acesso em: 9 abr. 2025.

KIEHL, Erasmo José. *Manual de tratamento de águas residuárias*. 2. ed. Piracicaba: Degaspari, 1985.

METCALF & EDDY. *Engenharia de águas residuárias: tratamento e recuperação de recursos*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2016.

POLENGHI. *Institucional*. Disponível em: <https://www.polenghi.com.br/>. Acesso em: 23 mar. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. *Regulamenta a*

Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 9 set. 1976. Disponível em: [decreto n.8.468, de 08.09.1976](#) Acesso em: 20 mar. 2025

SILVA, A. A.; VEIGA, L. B. E.; SOUZA, S. L. Q.; ARAÚJO, M. G. Impactos ambientais da produção de queijo minas frescal e queijo minas curado a partir da análise do ciclo de vida. Rio de Janeiro: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2023.

SILVA FILHO, W. R. Desenho esquemático de lagoa facultativa. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquematico-de-lagoa-facultativa-Fonte-Silva-Filho-2007_fig4_338722576. Acesso em: 10 abr. 2025.

SOARES, B. B.; ALVES, E. C.; ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. Environmental impact of cheese production. In: Environmental impact of agro-food industry and food consumption. 1. ed. Elsevier, 2021.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River.** Public Health Bulletin, n. 146, 1925.

TREVISAN. Aerador mecânico de pás alternadas. Disponível em: <https://www.trevisan.ind.br/aerador-mecanico-de-pas-alternadas>. Acesso em: 27 abr. 2025.

VON SPERLING, M. V. Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007.

VON SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.