

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

BRUNO BALDUINO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS FACULTATIVAS
COM PÓS-TRATAMENTO POR LAGOAS DE AGUAPÉ**

CAMPO GRANDE - MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

BRUNO BALDUINO DA SILVA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS FACULTATIVAS COM
PÓS-TRATAMENTO POR LAGOAS DE AGUAPÉ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como
requisito parcial para a obtenção do título de
bacharel.

Orientador(a): Keila Roberta Ferreira de Oliveira

Campo Grande - MS

2025

Lista de Figuras

Figura 1. Croqui ETE Lagoas.....	17
Figura 2. Localização da ETE Lagoas Bodoquena.	17
Figura 3. Lagoa de maturação A – ETE Lagoas.....	21
Figura 4. Lagoa de maturação B – ETE Lagoas.....	22
Figura 5. Tabela dos métodos analíticos utilizados nas análises laboratoriais.....	22
Figura 6. Gráfico do comportamento de DBO _{5,20} - ETE Lagoas Bodoquena.....	23
Figura 7. Gráfico de comparação de DBO _{5,20} com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.	23
Figura 8. Quadro com resultados antes da implantação de plantas aquáticas.	24
Figura 9. Quadro com resultados após a implantação de plantas aquáticas.....	24
Figura 10. Gráfico do comportamento de Óleos e Graxas - ETE Lagoas Bodoquena...	25
Figura 11. Gráfico de comparação de Óleos e Graxas com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.	25
Figura 12. Gráfico do comportamento de S. Sedimentáveis - ETE Lagoas Bodoquena.	26
Figura 13. Gráfico de comparação de S. Sedimentáveis com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.	27
Figura 14. Gráfico do comportamento da Turbidez - ETE Lagoas Bodoquena.....	27
Figura 15. Gráfico de comparação de Turbidez com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.	28
Figura 16. Gráfico do comportamento da Temperatura - ETE Lagoas Bodoquena.....	29
Figura 17. Lona da lagoa de maturação rompida.	31

Lista de abreviaturas

- CECA – Conselho Estadual de Controle Ambiental
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- TAS – Taxa de Aplicação Superficial
- TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	6
2.	OBJETIVO	7
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	8
3.1.	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	8
3.2.	LAGOAS FACULTATIVAS: PRINCÍPIOS E MECANISMOS DE TRATAMENTO.....	9
3.3.	LAGOAS DE MATURAÇÃO: REMOÇÃO DE PATÓGENOS E NUTRIENTES.....	11
3.4.	MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS: FOCO EM <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i> (AGUAPÉ).....	13
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1.	LOCAL DE ESTUDO	16
4.1.1.	LAGOA FACULTATIVA	18
4.1.2.	LAGOA DE MATURAÇÃO.....	19
4.1.3.	IMPLANTAÇÃO DAS MACRÓFITAS.....	20
4.1.4.	MONITORAMENTO DO SISTEMA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	20
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO _{5,20}	22
5.2.	ÓLEOS E GRAXAS	24
5.3.	SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	26
5.4.	TURBIDEZ	27
5.5.	TEMPERATURA	28
5.6.	REMOÇÃO DAS PLANTAS AQUÁTICAS	29
6.	RECOMENDAÇÕES	30
7.	CONCLUSÃO	31
8.	ESTUDOS RECOMENDADOS	31
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

RESUMO

As lagoas de estabilização são uma alternativa viável de tratamento de efluentes, por sua vantagem de baixo custo de operação e implantação (Von Sperling, 2014). Neste trabalho, o objetivo é apresentar a melhoria do tratamento de esgoto da cidade de Bodoquena localizado no Estado de Mato Grosso do Sul, realizando a conversão de lagoas de maturação existentes em lagoas de aguapés, afim, de atender as legislações vigentes; Resolução CONAMA 430/11, Deliberação CECA 36/12 e a Portaria de Outorga Atual nº 5750/2023. Foi realizado o levantamento das análises do período entre 2023 e 2024 para aferição/comparação dos resultados mensais. Os resultados observados na inserção das macrófitas foram positivas visto o aumento da eficiência dos parâmetros analisados, assim, para uma estação de tratamento de esgoto a eficiência média foi de **81.1%** para DBO, **79.9%** para Sólidos Sedimentáveis, **68.0%** para Óleos e Graxas e **63.9%** para Turbidez.

Palavras-chave: Lagoas de Aguapé, Aguapés (*Eichhornia crassipes*), Lagoas de Estabilização.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de esgotamento sanitário é composto por um conjunto integrado de estruturas e mecanismos responsáveis pela coleta, transporte e tratamento do esgoto bruto, garantindo o afastamento seguro dos efluentes das áreas habitadas até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Essa infraestrutura tem como finalidade a destinação adequada dos resíduos líquidos, minimizando o risco de contaminação de águas de abastecimento e alimentos, bem como a exposição da população a despejos sanitários (von Sperling, 2014).

A operação eficiente das ETEs é essencial para a preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos, assegurando que os efluentes tratados atendam aos padrões de qualidade ambiental estabelecidos. A ausência ou o funcionamento inadequado dessas unidades pode acarretar o lançamento direto de esgoto doméstico nos corpos d'água superficiais, situação que se agrava em períodos de alta temporada, quando há aumento significativo da carga gerada. Esse lançamento indevido resulta na deterioração da qualidade da água, favorecendo a propagação de doenças de veiculação hídrica, a interdição de usos recreativos e turísticos e a redução da biodiversidade aquática.

A qualidade das águas superficiais e subterrâneas está diretamente relacionada aos fenômenos naturais e às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica (von Sperling, 2014). A ocupação desordenada da bacia é um fator crítico, uma vez que o despejo de efluentes domésticos e industriais, além da contaminação difusa por defensivos agrícolas, comprometem a capacidade natural de assimilação dos poluentes. Nesses casos, o corpo receptor atua como agente depurador, promovendo a autodepuração.

A autodepuração é definida como a capacidade natural de um corpo hídrico em decompor e mineralizar compostos orgânicos por meio da ação de microrganismos decompositores, que utilizam preferencialmente o oxigênio dissolvido (OD) no processo metabólico (von Sperling, 2014). Esse fenômeno ocorre de forma gradativa ao longo do curso d'água e é classificado em zonas distintas, conforme o estágio de recuperação:

Zona de degradação: localizada nas proximidades do ponto de lançamento do efluente, apresenta aspecto turvo e alta concentração de material orgânico em decomposição, sendo o início do processo de estabilização biológica.

Zona de decomposição ativa: caracteriza-se pela intensa atividade bacteriana e pela elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resultando em condições críticas de qualidade da água.

Zona de recuperação: corresponde ao trecho em que ocorre a recomposição gradual do oxigênio dissolvido e a melhoria progressiva da qualidade da água, até atingir condições próximas aos naturais (Nuvolari, 2003).

Sob o ponto de vista sanitário e ambiental, o lançamento de efluentes com altas concentrações de DBO_{5,20} e carga orgânica (kg DBO/dia) nos corpos hídricos pode ocasionar o incremento da microflora heterotrófica, alterações no equilíbrio ecológico, formação de odores e sabores desagradáveis e, em casos mais severos, a depleção total de oxigênio dissolvido, levando à morte de organismos aquáticos, como peixes e macroinvertebrados.

Para mitigar esses impactos e reduzir a carga orgânica remanescente, torna-se necessária a modernização das ETEs existentes ou a implantação de unidades de pós-tratamento. Tais adequações não apenas asseguram o atendimento às legislações ambientais vigentes, como também protegem os recursos hídricos e a saúde pública, evitando a descarga de efluentes insuficientemente tratados.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo principal investigar e relatar os efeitos da conversão da lagoa de maturação existente em lagoa de aguapés da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) Lagoas, localizada no município de Bodoquena/MS, avaliando seus impactos sobre a eficiência do tratamento e a estabilidade operacional do sistema.

2. OBJETIVO

Avaliar a eficiência do sistema de tratamento realizado por lagoas facultativas com pós-tratamento realizado em lagoas de aguapés.

Hipótese: A lagoa de aguapés melhora a qualidade do esgoto tratado.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Monitorar parâmetros de qualidade do efluente tratado contendo os aguapés;

Avaliar a tratabilidade do esgoto pelo sistema, e comparar os resultados do esgoto tratado com a legislação vigente de lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O tratamento de esgotos sanitários constitui uma etapa essencial para a preservação dos recursos hídricos e a proteção da saúde pública, tendo como finalidade a remoção de poluentes e a redução dos impactos ambientais decorrentes do lançamento de efluentes sem tratamento adequado.

Entre as diversas tecnologias disponíveis, os sistemas de lagoas de estabilização destacam-se como uma alternativa técnica e economicamente viável, especialmente em localidades com disponibilidade de área e condições climáticas favoráveis. Sua principal vantagem reside no baixo custo de implantação e operação, aliado à simplicidade de manutenção e controle operacional, características que os tornam particularmente atrativos para municípios de pequeno e médio porte (Von Sperling, 2014).

As lagoas de estabilização são sistemas biológicos de tratamento que se baseiam em processos naturais de autodepuração, reproduzindo e potencializando os mecanismos de depuração observados em corpos d'água naturais. A eficiência desse tipo de sistema decorre da interação sinérgica entre microrganismos (bactérias, algas e protozoários) e fatores ambientais como luminosidade solar, temperatura e oxigenação. Essa combinação favorece a remoção de matéria orgânica e a redução da carga patogênica do esgoto.

De modo geral, os sistemas de lagoas de estabilização são compostos por módulos dispostos em série, com diferentes funções e condições de operação, conforme descrito a seguir:

Lagoas Anaeróbias: recebem o esgoto bruto e realizam a degradação da matéria orgânica em ambiente totalmente anóxico, por meio da ação de bactérias anaeróbias, que convertem compostos orgânicos complexos em metano, dióxido de carbono e outros subprodutos.

Lagoas Facultativas: caracterizam-se pela presença de zonas com diferentes condições redox — uma camada aeróbia superficial, uma zona intermediária facultativa e um fundo anaeróbio. Nelas ocorre a maior parte da remoção da carga orgânica, em virtude da associação simbiótica entre bactérias heterotróficas e algas fotossintetizantes.

Lagoas de Maturação: funcionam como etapas de polimento final do efluente, com ênfase na remoção de patógenos (bactérias, vírus e helmintos) e, em menor grau, na remoção de nutrientes. Nessa fase, predominam processos foto-oxidativos e biológicos que asseguram a melhoria da qualidade do efluente tratado.

O dimensionamento e a escolha do tipo e da sequência das lagoas devem considerar parâmetros fundamentais como vazão média e máxima do esgoto, carga orgânica afluente, características climáticas locais (temperatura, insolação, regime de ventos) e os padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Dessa forma, o uso de lagoas de estabilização representa uma solução técnica sustentável, que alia eficiência, simplicidade e baixo custo, sendo amplamente empregada em comunidades com recursos limitados e climas tropicais, como o brasileiro.

3.2. LAGOAS FACULTATIVAS: PRINCÍPIOS E MECANISMOS DE TRATAMENTO

As lagoas facultativas constituem a unidade central de diversos sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, sendo responsáveis pela maior parte da remoção da matéria orgânica. Caracterizam-se pela estratificação vertical em diferentes zonas, cada uma apresentando condições ambientais e processos biológicos específicos, que atuam de forma integrada na depuração do efluente.

Segundo Von Sperling (2014), a eficiência das lagoas facultativas decorre da ação combinada de três zonas principais, distribuídas ao longo da profundidade da lagoa: aeróbia, facultativa e anaeróbia.

Zona Aeróbia: A camada superior da lagoa é rica em oxigênio dissolvido, proveniente principalmente de dois mecanismos: a agitação natural causada pelo vento e, de forma mais expressiva, a fotossíntese das algas presentes na superfície. Conforme descrito por Von Sperling (2014).

Nessa zona, bactérias aeróbias dispersas no meio líquido oxidam a matéria orgânica solúvel e particulada, transformando-a em dióxido de carbono (CO_2), água e nova biomassa. A relação simbiótica entre algas e bactérias é fundamental para a manutenção do equilíbrio do sistema: as algas consomem o CO_2 liberado pelas bactérias e produzem O_2 por fotossíntese; esse oxigênio é, então, utilizado pelas bactérias aeróbias para degradar a matéria orgânica, fechando o ciclo biogeoquímico de autodepuração (Nuvolari, 2011).

Zona Facultativa: A zona intermediária apresenta condições variáveis de oxigênio, situando-se entre os ambientes aeróbio e anaeróbio. Nessa região, predominam microrganismos facultativos, capazes de adaptar seu metabolismo tanto à presença quanto à ausência de oxigênio livre.

Esses microrganismos desempenham papel relevante na continuidade da degradação da matéria orgânica, atuando como elo de transição entre os processos aeróbios e anaeróbios. Sua versatilidade metabólica contribui significativamente para a estabilidade operacional das lagoas facultativas, especialmente diante de variações na carga afluente ou nas condições ambientais.

Zona Anaeróbia: Na camada inferior da lagoa, onde há baixa penetração de luz solar e ausência de oxigênio dissolvido, ocorre a decomposição anaeróbia da matéria orgânica sedimentada. O processo segue etapas sucessivas de digestão anaeróbia:

- Hidrólise: em que compostos orgânicos complexos são degradados em moléculas mais simples.
- Acidogênese: responsável pela formação de ácidos orgânicos voláteis.
- Metanogênese: que converte esses compostos em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

Essa sequência de reações contribui para a redução da carga orgânica remanescente e para o controle do acúmulo de lodo, favorecendo a estabilidade a longo prazo da lagoa.

O desempenho das lagoas facultativas é condicionado por fatores ambientais e operacionais, entre os quais se destacam:

- Temperatura: influencia diretamente a taxa das reações biológicas, com maior eficiência em climas quentes.

- Radiação solar: fundamental para a fotossíntese das algas e para a inativação de microrganismos patogênicos.
- Carga orgânica afluyente: deve ser mantida dentro de limites que permitam o equilíbrio entre produção e consumo de oxigênio.
- Tempo de Detenção Hidráulica (TDH): determina o período de permanência do esgoto na lagoa, permitindo a ocorrência adequada dos processos biológicos.

De acordo com Jordão e Pessoa (2017), o TDH recomendado para lagoas facultativas situa-se entre 15 e 45 dias, variando conforme as condições climáticas e a carga orgânica aplicada.

As lagoas facultativas representam um componente essencial nos sistemas de tratamento por lagoas, combinando simplicidade operacional e eficiência biológica. Sua estratificação natural e a integração entre microrganismos aeróbios, anaeróbios e facultativos permitem a obtenção de efluentes com qualidade compatível aos padrões legais, sendo uma tecnologia particularmente adequada a regiões tropicais com alta disponibilidade de área e condições ambientais favoráveis.

3.3. LAGOAS DE MATURAÇÃO: REMOÇÃO DE PATÓGENOS E NUTRIENTES

As lagoas de maturação correspondem à etapa final dos sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, sendo destinadas ao polimento do efluente tratado. Seu principal objetivo é a remoção de microrganismos patogênicos e, em menor grau, de nutrientes remanescentes, assegurando que o efluente final atenda aos padrões de qualidade exigidos para o lançamento em corpos hídricos receptores (von Sperling, 2014; Jordão; Pessoa, 2017).

O efluente que chega às lagoas de maturação já passou por estágios anteriores, como lagoas anaeróbias e facultativas, apresentando, portanto, baixa carga orgânica e condições favoráveis à ação dos mecanismos naturais de desinfecção.

A remoção de patógenos nas lagoas de maturação é um processo multifatorial, resultante da interação de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (Who, 1987), os principais processos envolvidos são os seguintes:

- Sedimentação: As partículas sólidas e flocos orgânicos que contêm microrganismos patogênicos tendem a se depositar no fundo da lagoa, sendo

removidos da coluna d'água. Esse mecanismo é particularmente efetivo na eliminação de ovos de helmintos e protozoários.

- **Radiação Solar (UV):** A radiação ultravioleta (UV-A e UV-B) presente na luz solar é um dos métodos naturais mais eficazes de inativação de microrganismos. A exposição prolongada à radiação causa danos irreversíveis ao DNA e RNA de bactérias, vírus e protozoários, inibindo sua replicação e, consequentemente, sua capacidade infecciosa (Who, 1987; von Sperling, 2014).
- **pH Elevado:** Durante o dia, a intensa atividade fotossintética das algas aumenta a concentração de oxigênio dissolvido e reduz o dióxido de carbono (CO₂) disponível, resultando na elevação do pH da água para valores superiores a 9,0. Em tais condições, muitos patógenos não sobrevivem, sendo inativados rapidamente por efeito alcalino (Nuvolari, 2011; Jordão; Pessôa, 2017).
- **Temperatura:** Em regiões tropicais e subtropicais, as altas temperaturas médias do efluente favorecem a inativação térmica de microrganismos, acelerando os processos bioquímicos de degradação e desinfecção (von Sperling, 2014).
- **Predação Biológica:** Diversos protozoários e microinvertebrados presentes nas lagoas de maturação alimentam-se de bactérias e vírus, contribuindo para a redução natural da densidade microbiana. Essa relação trófica aumenta a estabilidade ecológica do sistema e reforça o controle biológico da contaminação (Who, 1987).
- **Tempo de Detenção Hidráulica (TDH):** O tempo de permanência do efluente na lagoa é um fator determinante para a eficiência do tratamento. Segundo Jordão e Pessôa (2017), o TDH ideal varia entre 3 e 7 dias, sendo que períodos mais longos podem potencializar a inativação microbiológica e a redução de coliformes termotolerantes.

Além da desinfecção, as lagoas de maturação também atuam na remoção complementar de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. O nitrogênio é eliminado por assimilação biológica (pelas algas e macrófitas), volatilização da amônia em condições de pH elevado e, em menor escala, por nitrificação e desnitrificação.

O fósforo, por sua vez, é removido por assimilação celular e precipitação química, geralmente sob a forma de compostos insolúveis (como fosfatos de cálcio e magnésio), facilitados pelas variações de pH e oxigenação (von Sperling, 2014; Nuvolari, 2011).

O desempenho hidráulico das lagoas de maturação exerce influência direta sobre a eficiência de remoção de patógenos. O uso de chicanas internas é uma estratégia de projeto recomendada, pois induz um regime de escoamento próximo ao fluxo em pistão (*plug flow*).

Essa configuração minimiza curtos-circuitos hidráulicos, promove uma distribuição mais uniforme do tempo de residência e assegura que todo o volume do efluente receba exposição homogênea às condições de tratamento — radiação UV, pH elevado e temperatura, otimizando a inativação microbiana (Jordão; Pessôa, 2017).

As lagoas de maturação desempenham papel essencial no controle sanitário e ambiental dos efluentes tratados, combinando simplicidade operacional com alta eficiência microbiológica. Quando bem projetadas e operadas, essas unidades são capazes de produzir efluentes com baixo teor de coliformes fecais, adequados ao reuso agrícola controlado ou lançamento em corpos hídricos, atendendo aos critérios estabelecidos pela legislação ambiental brasileira (CONAMA nº 430/2011).

3.4. MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS: FOCO EM *EICHHORNIA CRASSIPES* (AGUAPÉ)

A utilização de plantas aquáticas, em especial o aguapé (*Eichhornia crassipes*), no tratamento de águas residuárias tem despertado crescente interesse devido à sua elevada capacidade de assimilação de poluentes e à eficiência na remoção de nutrientes e matéria orgânica.

Essas espécies têm sido amplamente estudadas e aplicadas em sistemas naturais de tratamento de efluentes, principalmente por sua capacidade de interagir fisicamente, quimicamente e biologicamente com os poluentes, promovendo a depuração e o polimento do efluente.

A introdução de macrófitas aquáticas em lagoas de tratamento amplia a eficiência do sistema por meio de diversos mecanismos complementares, entre os quais se destacam:

Fitoextração e Fitoassimilação: As macrófitas, especialmente o aguapé, apresentam elevada capacidade de absorção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e, em alguns casos, de metais pesados diretamente da coluna d'água, incorporando-os em sua

biomassa. Esse processo, denominado fitoextração ou fitoassimilação, contribui para a redução da carga de nutrientes e previne fenômenos de eutrofização nos corpos receptores. Além disso, parte da matéria orgânica dissolvida pode ser assimilada diretamente pelas plantas, auxiliando na redução da DBO e DQO do efluente (Esteves, 1998; França, 2012).

Filtragem Física: O sistema radicular denso e entrelaçado das macrófitas flutuantes atua como um filtro biológico natural, retendo sólidos suspensos e partículas finas, o que resulta na clarificação da água e na redução da turbidez. Essa função de barreira física contribui para a melhoria estética e operacional do efluente tratado (Rodrigues, 1985).

Suporte à Microbiota e Biofilme Radicular: As raízes submersas das macrófitas constituem uma ampla superfície de fixação para microrganismos, possibilitando o desenvolvimento de biofilmes altamente ativos metabolicamente. Essa microbiota associada às raízes promove reações bioquímicas essenciais, como a nitrificação e a desnitrificação, contribuindo significativamente para a remoção de nitrogênio total e para a degradação de matéria orgânica (França, 2012).

Sombreamento e Controle de Algas: A cobertura vegetal proporcionada pelas macrófitas reduz a penetração de luz solar na coluna d'água, controlando o crescimento excessivo de algas e regulando a temperatura da água. Esse efeito de sombreamento reduz a flutuação térmica e a atividade fotossintética descontrolada, contribuindo para a estabilidade ecológica e redução de patógenos (von Sperling, 2014).

Oxigenação Indireta: Embora as macrófitas consumam oxigênio durante a respiração, parte do oxigênio produzido pela fotossíntese pode ser liberada pelas raízes para as camadas subsuperficiais, criando micronichos aeróbios que favorecem a atividade de bactérias aeróbias (Nuvolari, 2011).

Aspectos Operacionais e Manejo da Biomassa: O aguapé é reconhecido por sua alta taxa de crescimento e produção de biomassa, o que o torna altamente eficaz na assimilação de poluentes em curto período. Contudo, o manejo adequado da biomassa é essencial para evitar a saturação do sistema e liberação secundária de poluentes devido à decomposição das plantas senescentes. A proliferação excessiva de aguapés pode gerar impactos indesejáveis, como acúmulo de biomassa, obstrução hidráulica e proliferação de vetores. Assim, torna-se necessária a remoção periódica da biomassa excedente e a

manutenção preventiva da lagoa sendo recomendado manter de 20 a 30% da área superficial livre nas lagoas Rodrigues, 1985. No caso específico das lagoas de maturação de Bodoquena (MS), determinou-se a remoção anual de 50% dos aguapés.

Desempenho Experimental e Eficiência de Remoção: Estudos evidenciam a eficácia do aguapé no tratamento de efluentes domésticos e industriais. França (2012) observou eficiências médias de remoção de DBO₅,20 e DQO de 53,37% e 28,45%, respectivamente.

Mees (2006) avaliou a aplicação de aguapés em efluentes industriais, obtendo remoções médias de DBO e DQO de 32,5% e 26,3%, com máximas de 77,8% e 77,2%. Além disso, ao empregar a biomassa vegetal na compostagem, verificou-se redução de 90% do volume de aguapés.

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICÁVEL AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES

A disposição final de efluentes tratados em corpos hídricos receptores é rigorosamente regulamentada por legislações ambientais, que estabelecem padrões de qualidade para proteger a saúde humana e os ecossistemas aquáticos. No Brasil, a principal norma que rege as condições e padrões de lançamento de efluentes é a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005. Esta resolução estabelece os limites máximos de concentração para diversos parâmetros de qualidade do efluente, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, pH e temperatura, entre outros.

No âmbito estadual, as legislações podem complementar ou especificar os padrões federais. No estado de Mato Grosso do Sul, a Deliberação CECA nº 36, de 27 de junho de 2012, dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes. Esta deliberação é a referência para os limites de lançamento da ETE Lagoas, conforme mencionado no estudo.

Especificamente para a ETE Lagoas, o lançamento do efluente tratado no Córrego Taquarussu é regido pela Portaria de Outorga Atual nº 5750/2023. Esta portaria define os limites preconizados de lançamento para a unidade, que incluem:

- Concentração máxima de DBO_{5,20} igual a 50 mg/L;
- Óleos e graxas com limite máximo de 50 mg/L;
- Sólidos sedimentáveis igual ou inferior a 1 mL/L;
- Temperatura de no máximo 40°C.

O monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade do efluente e a garantia de que os resultados estejam em conformidade com esses limites legais são essenciais para a operação sustentável de qualquer estação de tratamento de esgotos e para a proteção do meio ambiente.

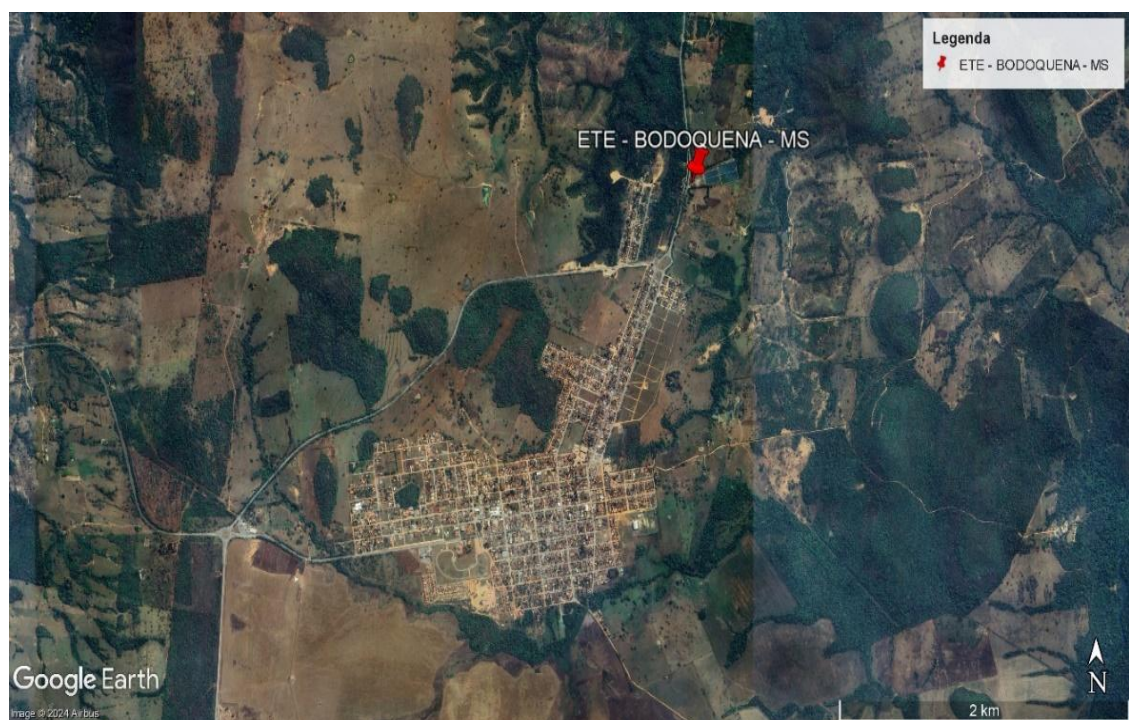
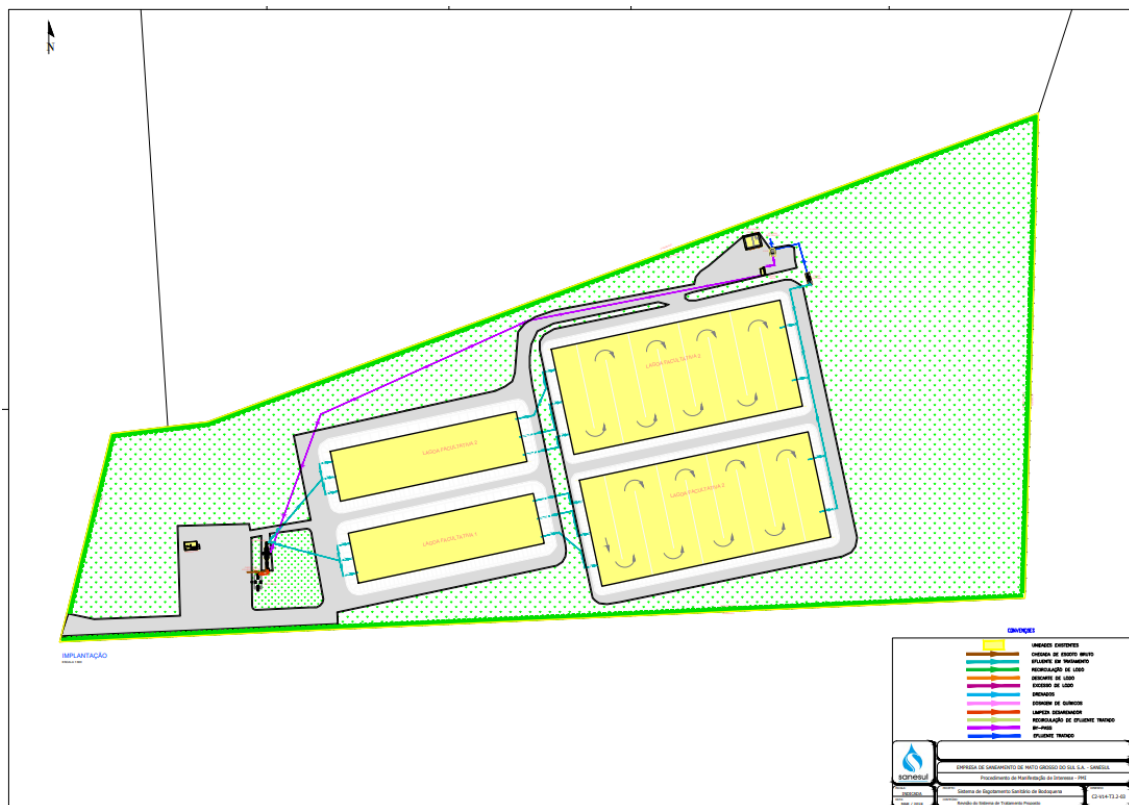
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LOCAL DE ESTUDO

Todos os levantamentos de dados e parâmetros foram realizados na estação de tratamento de esgoto ETE Lagoas, sendo operada pela empresa privada Ambiental MS Pantanal, é responsável por realizar coleta, afastamento e tratamento do esgoto produzido no município de Bodoquena/MS, atendendo a uma população de 8.567 (IBGE, 2022).

A ETE Lagoas possui em sua concepção tratamento preliminar com gradeamento, desarenador, calha parshall com sensor de nível, e caixa de areia para os resíduos gerados no desarenador, seguindo de duas linhas paralelas sendo Lagoa Facultativa com polimento por Lagoa de Maturação (LF+LM).

A capacidade nominal de tratamento da estação é 20 L/s e possui vazão média de 8,40 L/s, a unidade de tratamento está localizada na Estrada do Calcário, Rodovia MS 339, nas coordenadas geográficas 18°40'0.42"S e 53°38'46.92"W, conforme Figura 2.



4.1.1. LAGOA FACULTATIVA

A estação de tratamento de esgoto possui duas lagoas facultativas em paralelo com capacidade nominal de 10 L/s cada, as lagoas possuem fluxo em pistão e não possuem chicanas, abaixo segue as características das lagoas.

- Profundidade: 2,20 metros;
- Largura: 32,00 metros;
- Comprimento: 95,00 metros;
- Área Total: 6.080 m²;
- Volume total útil: 10.336,00 m³;
- Borda livre: 0,50 metros;
- Número de entradas: 3,00 unidades;
- Número de saídas: 3,00 unidades;
- Taludes internos e externos: 2:1 (horizontal: vertical);
- Revestimento: Manta de PEAD.

Tempo de Detenção Hidráulica - TDH

O TDH é dado por:

$$TDH = V_u / Q_m$$

Desta forma, o tempo de detenção hidráulica teórico foi de 14,24 dias, estando abaixo da faixa de 15 a 45 dias recomendada por Jordão & Pessoa (2017).

Taxa de Aplicação Superficial – TAS

A taxa de aplicação superficial é dada por:

$$L_s = CDBO(A_u \times n) / 10000$$

Sendo:

- L_s = Taxa de Aplicação Superficial (kg DBO/ha.d);
- $CDBO_a$ = Carga de DBO Afluente (kg DBO/d) = 197,82 KgDBO/dia;
- A_u = Área no nível d'água (m²);
- n = Número de lagoas em paralelo.

Recomenda-se que este valor seja inferior a 350 kg DBO/ha.d, para o sistema em questão, obteve-se 325,36 kg DBO/ha.d, o que indica que o sistema opera teoricamente com carga dentro do limite recomendado.

4.1.2. LAGOA DE MATURAÇÃO

A estação de tratamento de esgoto possui duas lagoas de maturação em paralelo com capacidade nominal de 10 L/s cada, as lagoas foram construídas com chicanas internas executadas em manta PEAD, fixada com cabos de aço em mourões de concreto, de forma a se obter um regime pug – flow. Abaixo segue as características das lagoas.

- Profundidade: 1,50 metros;
- Largura: 55,00 metros;
- Comprimento: 120,00 metros;
- Área Total: 6,60 ha;
- Volume útil: 6.600,00 m³;
- Borda livre: 0,50 metros;
- Número de entradas: 3,00 unidades;
- Número de saídas: 2,00 unidades;
- Número de chicanas: 8,00 unidades;
- Taludes internos e externos: 2:1 (horizontal: vertical);
- Revestimento: Manta de PEAD.

Tempo de Detenção Hidráulica - TDH

O TDH é dado por:

$$TDH = V_u / Q_m$$

Desta forma, o tempo de detenção hidráulica teórico foi de 18,19 dias, estando acima da faixa de 3 a 7 dias recomendada por Jordão & Pessoa (2017).

Taxa de Aplicação Superficial – TAS

A taxa de aplicação superficial é dada por:

$$L_s = CDBO(A_u \times n) / 10000$$

Sendo:

- L_s = Taxa de Aplicação Superficial (kg DBO/ha.d);
- C_{DBOa} = Carga de DBO Afluente (kg DBO/d) = 124,32 KgDBO/dia;
- A_u = Área no nível d'água (m²);
- n = Número de lagoas em paralelo.

Recomenda-se que este valor seja inferior a 150 kg DBO/ha.d, para o sistema em questão, obteve-se 94,19 kg DBO/ha.d, o que indica que o sistema opera teoricamente com carga dentro do limite recomendado.

4.1.3. IMPLANTAÇÃO DAS MACRÓFITAS

As macrófitas foram retiradas da lagoa comprida, localizada no município de Aquidauana/MS e transportadas para a ETE Lagoas (Bodoquena) por caminhonete em ambiente com bastante umidade. Considerando que o crescimento do aguapé é elevado, foram inseridos a quantidade suficiente para cobrir uma área de 2 m².

Após implantação, foi acompanhado a adaptação no meio líquido da lagoa de maturação, sendo que, ao final do sétimo mês o sistema estava com a superfície completa. A manutenção das lagoas é realizada com frequência anual, sendo removidos 50% das planas aquáticas. As taxas de crescimento observadas variaram entre 48 e 225 g/m².dia, refletindo o expressivo potencial de assimilação de nutrientes e a elevada eficiência fotossintética dessas macrófitas sob condições eutróficas. De acordo com Ho, Y. B. et al. (1994), as plantas aquáticas flutuantes, como *Eichhornia crassipes*, apresentaram elevadas taxas de incremento de biomassa em ambientes com alta disponibilidade de nutrientes.

4.1.4. MONITORAMENTO DO SISTEMA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

O efluente tratado da ETE Lagoas é disposto no Córrego Taquarussu conforme coordenadas Latitude: -20° 30' 18.49" - Longitude: -56° 39' 59.71". A unidade realiza o lançamento conforme a Portaria de Outorga nº 5750/2023, onde os limites preconizados de lançamentos da unidade devem possuir as seguintes condições, concentração máxima de DBO_{5,20} igual a 50 mg/L, óleos e graxas com limite máximo de 50 mg/l, sólidos sedimentáveis igual ou inferior a 1 ml/L e temperatura de no máximo 40°C. Assim, estes parâmetros de entrada e saída foram adotados para avaliar a eficiência da implantação das macrófitas no sistema de tratamento, abaixo segue a fórmula de eficiência utilizada.

$$E = \frac{Pa_{fl} - Pe_{fl}}{Pa_{fl}} \times 100$$

Onde:

E: Eficiência de remoção, em %.

Pa_{fl}: Parâmetro afluente, em mg/L ou mL/L.

Pe_{fl}: Parâmetro efluente, em mg/L ou mL/L.

A verificação da distribuição dos dados foi realizada por meio de testes de normalidade, complementada pelo teste não paramétrico de Kruskal–Wallis para avaliar a homogeneidade entre grupos independentes. O teste de Kruskal–Wallis é amplamente utilizado quando se deseja identificar diferenças estatisticamente significativas entre as medianas de dois ou mais conjuntos de dados, especialmente quando não há garantia inicial de normalidade ou homogeneidade de variâncias (Siegel & Castellan, 1988).

Os resultados obtidos indicaram que os valores referentes às condições de entrada apresentaram comportamento aproximadamente normal, enquanto os dados de saída demonstraram uma distribuição considerada normal segundo os critérios estatísticos adotados. Diante disso, constatou-se a adequação do uso de medidas paramétricas para a representação desses dados.

Assim, uma vez confirmada a normalidade ou aproximação satisfatória da normalidade nas distribuições analisadas, a média aritmética pode ser utilizada de forma apropriada como medida representativa dos valores, permitindo a avaliação robusta dos resultados do sistema.

A inserção de macrófitas (aguapés) nas lagoas de maturação visa otimizar a remoção de matéria orgânica, patógenos e turbidez, aprimorando a eficiência do tratamento.



Figura 3. Lagoa de maturação A – ETE Lagoas.
Fonte: Autor (2024).



Figura 4. Lagoa de maturação B – ETE Lagoas.
Fonte: Autor (2024).

Análise	Limite de Quantificação	Referência
Sólidos Sedimentáveis	0,30	SMWW, 23ª Edição, Método 2540 F
Coliformes Termotolerantes	1,00	Cálculo
DQO	0,70	SMWW, 23ª Edição, Método 5220 D
Fósforo	0,10	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-P D
Sólidos Suspensos	10,00	SMWW, 23ª Edição, Método 2540 D
Nitrogênio Amoniacal	0,10	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-NH3 C
Cloretos	0,10	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-Cl- B
DBO Solúvel	3,00	SMWW, 23ª Edição, Método 5210 B
Turbidez	5,00	SMWW, 23ª Edição, Método 2130 B
Óleos e Graxas	2,00	SMWW, 23ª Edição, Método 5520 D

Figura 5. Tabela dos métodos analíticos utilizados nas análises laboratoriais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO_{5,20}

A remoção de matéria orgânica é, usualmente, o principal objetivo do tratamento de esgotos, visando à preservação ambiental. Na estação de tratamento, a remoção de matéria orgânica ocorre, principalmente, nas unidades de tratamento biológico (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2008). Na Figura 6, podemos verificar o comportamento referente ao parâmetro de DBO_{5,20} durante a utilização das macrófitas no tratamento da ETE.

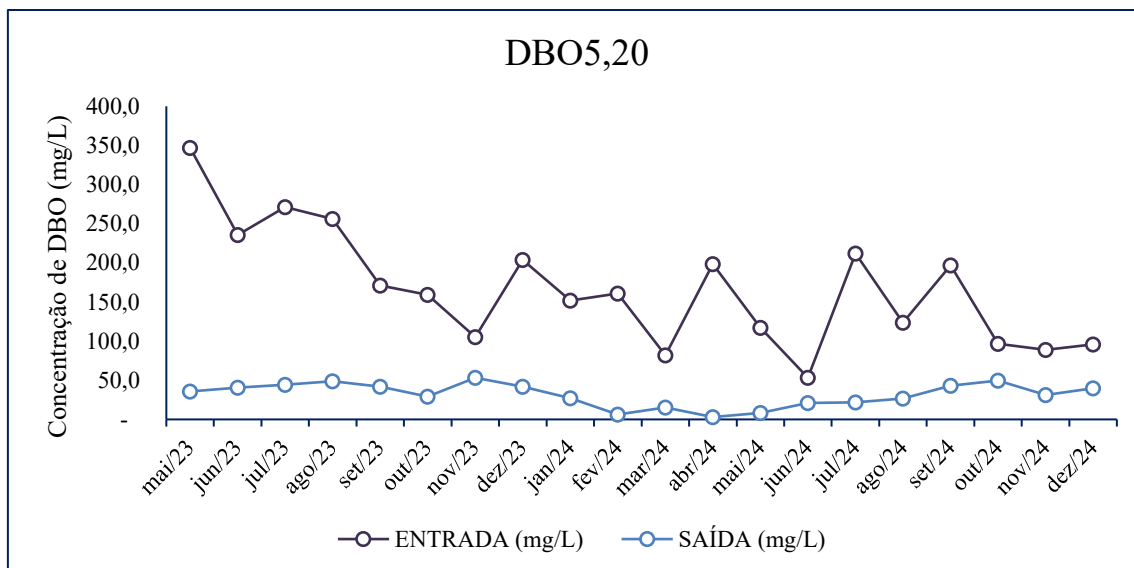


Figura 6. Gráfico do comportamento de DBO5,20 - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

Conforme a Figura 7, ao comparar com os resultados antes da inserção dos Aguapés, observou uma redução de 19.6 mg/L, e aumento de 7.0% de eficiência.

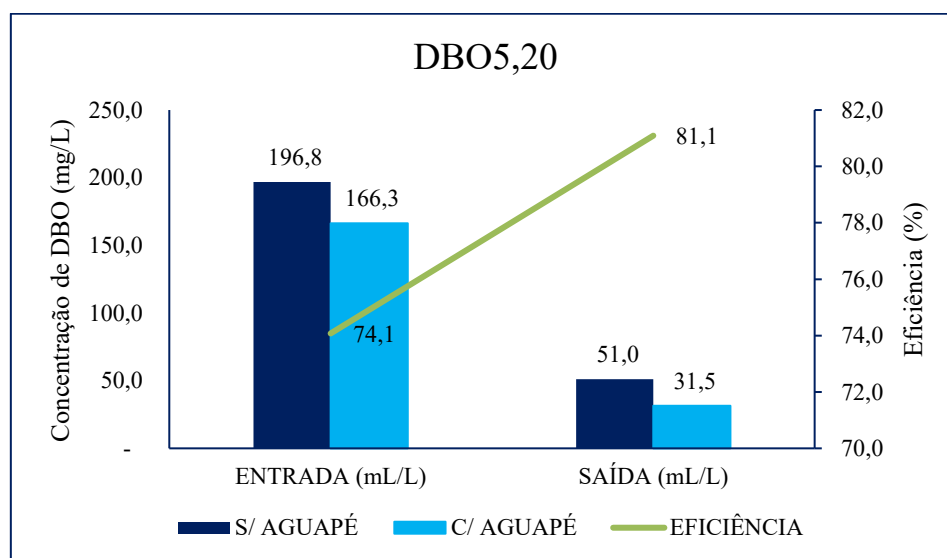


Figura 7. Gráfico de comparação de DBO5,20 com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

Além disso, pode-se constatar que mesmo com a variação dos resultados de DBO esgoto bruto o sistema de tratamento foi capaz de se manter estável e manter o efluente dentro dos padrões previsto em outorga. Logo, a inserção das macrófitas foi benéfico para o efluente final.

Na Figura 8, é observada os dados de DBO5,20 do sistema de tratamento sem a implantação das plantas aquáticas.

Data	Esgoto Bruto – mg/L	Esgoto Tratado – mg/L	Portaria de Outorga – mg/L
01/01/2023	220,8	38,7	50,0
01/02/2023	131,2	27,0	50,0
01/03/2023	132,0	27,4	50,0
01/04/2023	303,3	111,0	50,0
Média	196,8	51,0	50,0

Figura 8. Quadro com resultados antes da implantação de plantas aquáticas.

Na Figura 9, é possível observar os dados mensais de DBO_{5,20} após a implantação dos aguapés.

Data	Esgoto Bruto - mg/L	Esgoto Tratado - mg/L	Portaria de Outorga - mg/L
01/05/2023	347,0	35,6	50,0
01/06/2023	235,6	40,5	50,0
01/07/2023	271,4	44,5	50,0
01/08/2023	256,3	48,8	50,0
01/09/2023	171,0	41,7	50,0
01/10/2023	159,2	29,3	50,0
01/11/2023	105,2	53,2	50,0
01/12/2023	204,0	42,0	50,0
01/01/2024	152,0	27,3	50,0
01/02/2024	160,7	6,1	50,0
01/03/2024	82,0	15,2	50,0
01/04/2024	198,3	3,0	50,0
01/05/2024	117,1	8,4	50,0
01/06/2024	53,3	21,1	50,0
01/07/2024	211,8	21,8	50,0
01/08/2024	123,7	26,9	50,0
01/09/2024	196,7	43,0	50,0
01/10/2024	96,8	49,8	50,0
01/11/2024	88,7	31,2	50,0
01/12/2024	96,0	39,7	50,0
Média	166,3	31,5	50,0

Figura 9. Quadro com resultados após a implantação de plantas aquáticas.

5.2. ÓLEOS E GRAXAS

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. (Orssatto, 2010). Na Figura 10, podemos verificar o comportamento referente ao parâmetro de Óleos e Graxas durante a utilização das macrófitas.

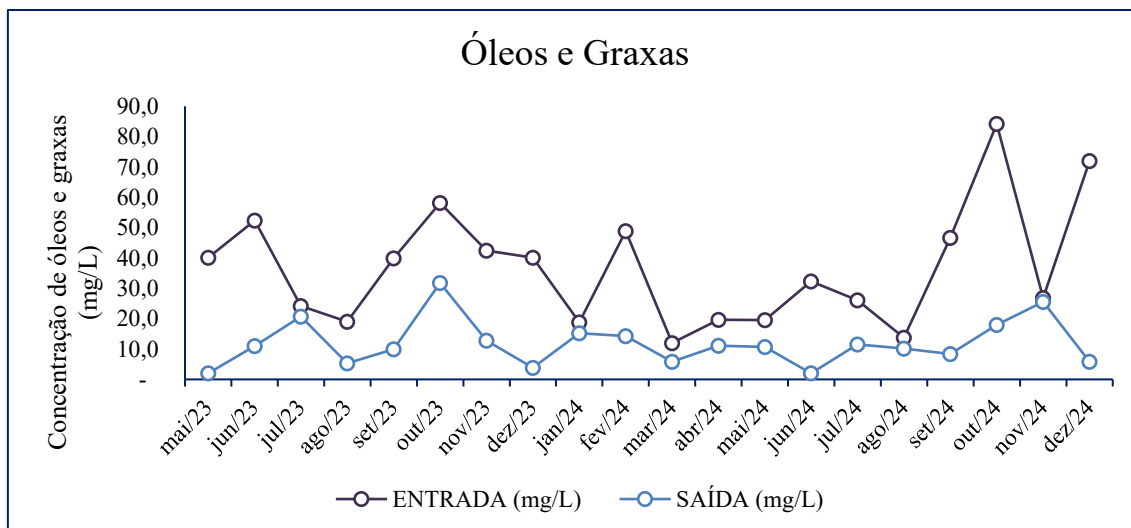


Figura 10. Gráfico do comportamento de Óleos e Graxas - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

Na Figura 11, podemos ver a comparação dos resultados obtidos após a inserção dos aguapés com aqueles registrados anteriormente, observou-se uma redução de 1,7 mg/L na concentração do parâmetro analisado, indicando melhoria na qualidade do efluente tratado. Essa variação refletiu diretamente no aumento de 4,7% na eficiência do sistema, evidenciando que a presença dos aguapés contribuiu positivamente para o processo de tratamento.

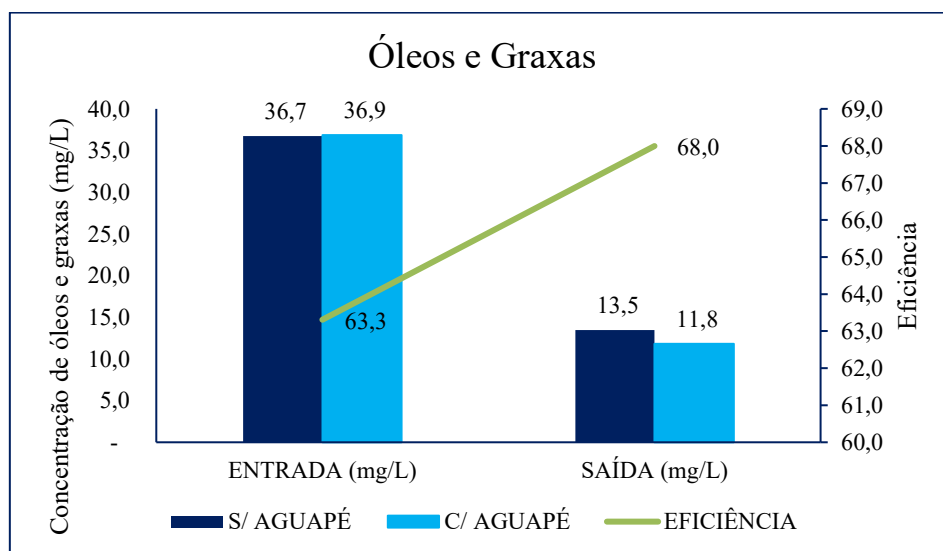


Figura 11. Gráfico de comparação de Óleos e Graxas com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

5.3. SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Segundo Von Sperling (2014), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. Os sólidos sedimentáveis são partículas suspensas na água que, por serem mais densas, se depositam no fundo quando o fluxo de esgoto se acalma, podendo ter diversas composições, podendo ser de materiais orgânicos e inorgânicos, como areia, argila, fezes e restos de alimentos etc. Na Figura 10, podemos verificar o comportamento referente ao parâmetro de Sólidos Sedimentáveis (mL/L) durante a utilização das macrófitas.

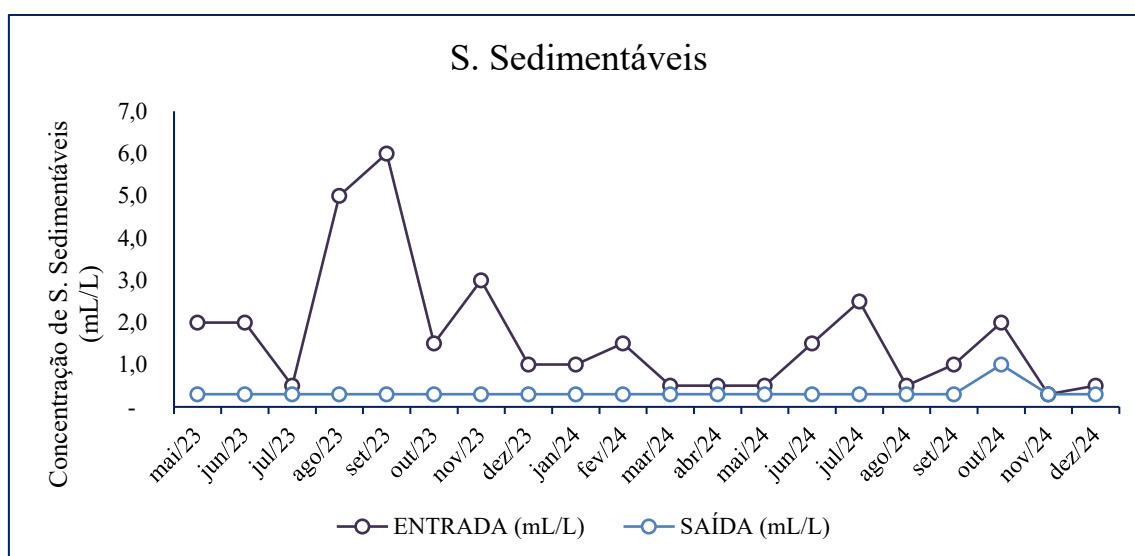


Figura 12. Gráfico do comportamento de S. Sedimentáveis - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

Ao comparar os resultados obtidos (Figura 11) após a inserção dos aguapés, observou-se um aumento de 0,04 mL/L no parâmetro de sólidos sedimentáveis, acompanhado de uma redução de 1,7% na eficiência do sistema.

Esses resultados indicam que a introdução dos aguapés não contribuiu positivamente para o desempenho do processo, podendo estar associada a alterações nas condições operacionais, como redução da taxa de transferência de oxigênio, acúmulo de matéria orgânica ou competição entre microrganismos.

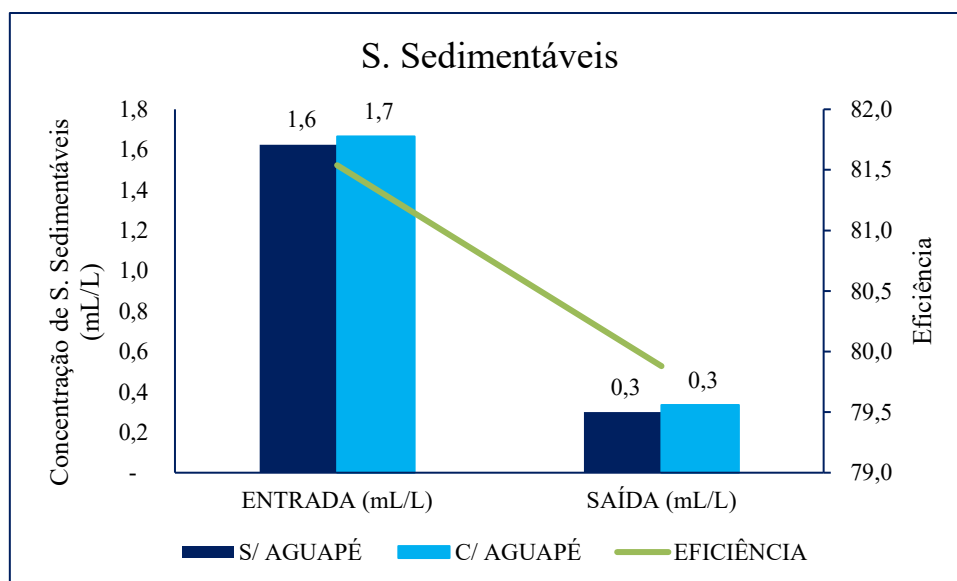


Figura 13. Gráfico de comparação de S. Sedimentáveis com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

5.4. TURBIDEZ

A turbidez é um parâmetro físico da água que indica a sua opacidade ou turvamento, ela é causada pela presença de partículas em suspensão que dispersam e absorvem a luz, impedindo sua passagem e tornando a água menos transparente. Essas partículas podem ser de diversos tipos como minerais, microrganismos e matéria orgânica. Conforme Figura 12, podemos verificar o comportamento referente ao parâmetro de turbidez (NTU) durante utilização da macrófita.

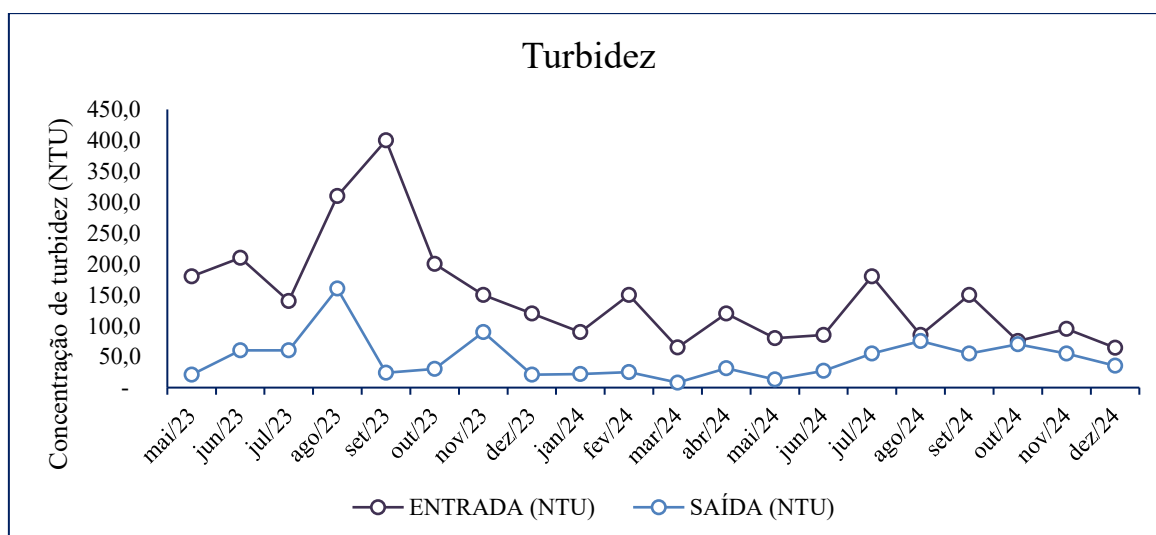


Figura 14. Gráfico do comportamento da Turbidez - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

Ao comparar os resultados obtidos após a inserção dos aguapés (Figura 13), verificou-se uma redução de 18,9 NTU na turbidez do efluente, acompanhada de um

aumento de 10,8% na eficiência do sistema. Esses resultados demonstram que a presença dos aguapés contribuiu de forma significativa para a melhoria da qualidade do efluente tratado. A redução da turbidez pode estar associada à capacidade das plantas em promover a retenção de partículas suspensas e à ação conjunta dos microrganismos presentes nas raízes, que favorecem a estabilização da matéria orgânica. Dessa forma, a introdução dos aguapés mostrou-se uma medida eficaz para o aprimoramento do desempenho do processo de tratamento, reforçando o potencial do uso de sistemas naturais como complemento às etapas convencionais.

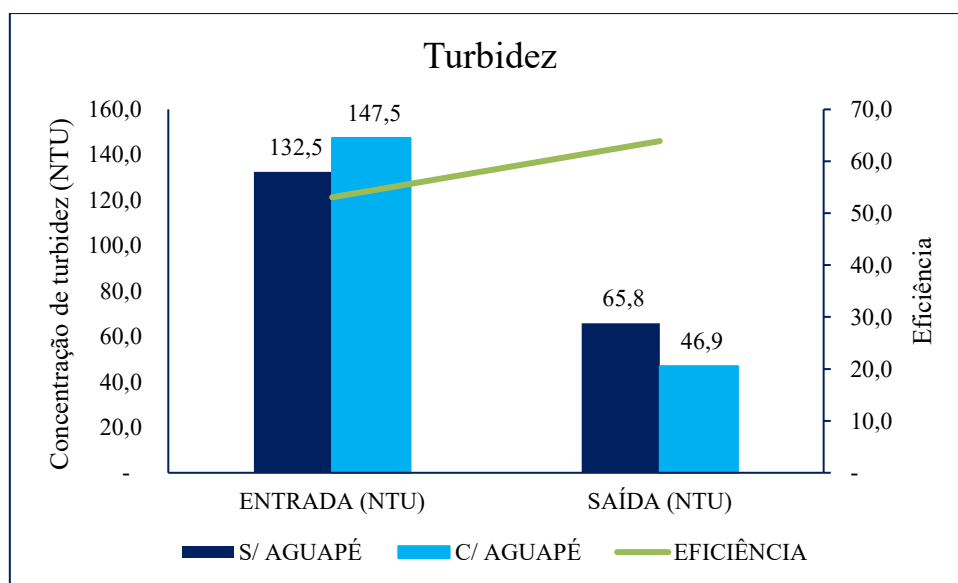


Figura 15. Gráfico de comparação de Turbidez com e sem Aguapés - ETE Lagoas Bodoquena.
Fonte: Autor.

5.5. TEMPERATURA

Os resultados da temperatura de saída da lagoa de maturação, no período de maio de 2023 a dezembro de 2024, demonstram um comportamento diretamente influenciado pela variação sazonal da temperatura ambiente. Os valores registrados para a saída variaram entre 16,1°C e 30,6°C, enquanto a temperatura ambiente apresentou amplitude de 13°C a 36°C, evidenciando forte correlação entre ambos os parâmetros.

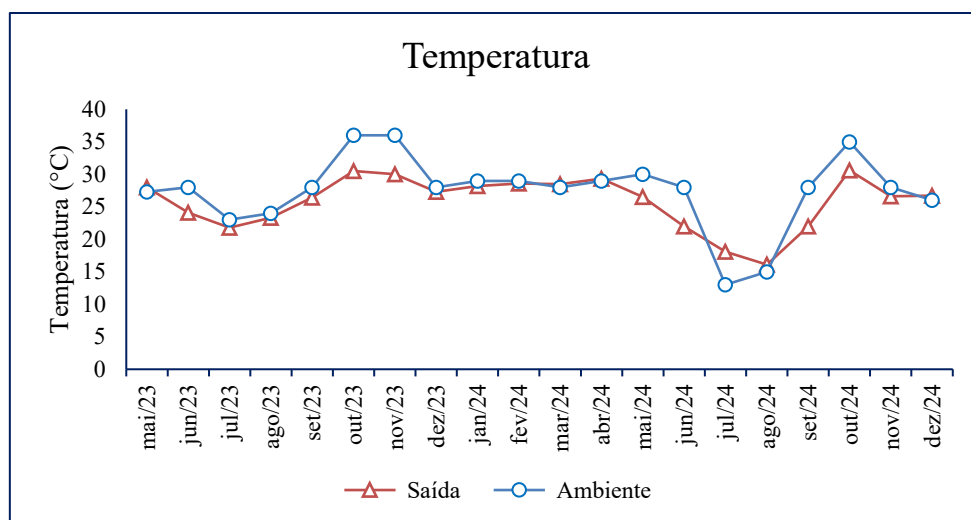


Figura 16. Gráfico do comportamento da Temperatura - ETE Lagoas Bodoquena.

Ao longo de todo o período monitorado, a temperatura do efluente apresentou comportamento compatível com o esperado para lagoas de estabilização, sem ocorrência de anomalias ou desvios operacionais que indicassem comprometimento do processo. A dinâmica térmica registrada reforça o caráter climatológico dessas unidades e sua dependência das condições atmosféricas, especialmente radiação solar, temperatura do ar e regime de ventos.

A utilização das lagoas de aguapés resultou em estabilização significativa dos resultados operacionais, reduzindo drasticamente a variação dos parâmetros de efluente. Essa estabilidade conferiu maior segurança e consistência ao sistema, assegurando o atendimento aos padrões estabelecidos pela portaria de outorga. Antes da introdução das macrófitas, a ETE Lagoas apresentava alta variabilidade no cumprimento dos parâmetros de qualidade, especialmente em relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o que comprometia a confiabilidade do processo de tratamento.

Nesse contexto, a macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé) demonstrou-se um agente eficaz no polimento de efluentes, contribuindo para a melhoria da qualidade final do efluente tratado. Entretanto, é fundamental manter um manejo rigoroso das plantas, de modo a evitar custos operacionais adicionais e impedir o aporte de matéria orgânica decorrente da necrose e mortalidade dos aguapés.

5.6. REMOÇÃO DAS PLANTAS AQUÁTICAS

A recomendação técnica é manter de 20 a 30% da superfície livre, porém, no estudo esperou as lagoas estarem cobertas e remover 50%, com a remoção de 129,9 ton.

das duas lagoas, sendo 18,57 ton./mês, dessa maneira, considerando a área superficial de 13.200 m² das lagoas, a taxa de crescimento estimada foi de 46,89 g/m².dia. Estando dentro da faixa encontrada por Rodrigues (1985), 8 a 225 g/m².dia de produção de biomassa fresca.

A biomassa removida durante a operação foi destinada à compostagem, configurando uma alternativa ambientalmente adequada e sustentável para a gestão dos resíduos vegetais gerados.

A sinergia entre processos naturais e intervenções técnicas evidencia o potencial das soluções baseadas na natureza para o aprimoramento contínuo do tratamento de esgotos domésticos em lagoas de estabilização.

Contudo, observações em campo indicaram que essa alternativa requer cautela na implantação, uma vez que apresenta algumas desvantagens, como o rápido crescimento das macrófitas e a proliferação de mosquitos, fatores que demandam manutenção frequente. Ainda assim, a utilização de plantas aquáticas no polimento de efluentes domésticos mostrou-se eficaz sob as condições estudadas.

6. RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que, na implementação de sistemas de polimento com aguapés, sejam previstos recursos operacionais adequados e medidas mitigadoras para o controle de vetores (mosquitos e moscas), cuja proliferação foi observada e relatada pelos operadores da ETE.
- Além disso, destaca-se que os custos e dificuldades associados à remoção das macrófitas podem ser significativos, tendo sido registrado inclusive o rompimento da geomembrana durante essa etapa (Figura 17).
- Recomenda-se que seja implantado leitos de secagem ou áreas adequadas para reduzir o volume de água das plantas, a fim de reduzir custos elevados com transporte e destinação.



Figura 17. Lona da lagoa de maturação rompida.
Fonte: Autor

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que a implantação de aguapés nas lagoas de maturação da ETE Lagoas mostrou-se uma alternativa operacionalmente eficiente, contribuindo de forma significativa para o aprimoramento do polimento final do efluente. A presença das macrófitas favoreceu mecanismos complementares de depuração, tais como retenção de sólidos em suspensão, aumento da superfície para colonização microbiana e assimilação de nutrientes, resultando em maior estabilidade dos parâmetros de qualidade.

Os resultados obtidos evidenciam que o sistema manteve conformidade com os limites estabelecidos pela Portaria de Outorga nº 5750/2023, assegurando o atendimento às exigências de lançamento no corpo hídrico receptor. Dessa forma, a utilização de lagoas com aguapé configura-se como uma alternativa viável e eficaz para o polimento de efluentes secundários e para a remoção adicional de partículas em suspensão em sistemas de lagoas de estabilização.

8. ESTUDOS RECOMENDADOS

- Avaliação da eficiência de remoção de nutrientes por plantas aquáticas.

- Investigação da influência de biofilmes nas raízes de plantas aquáticas e geomembranas.
- Quantificação da evapotranspiração das plantas aquáticas em lagoas.
- Tempo de Detenção Hidráulica real, visto que, neste estudo foi abordado o TDH teórico, desconsiderando zonas mortas, curtos-circuitos, volume de lodo acumulado etc.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONSELHO ESTADUAL DE CONTROLE AMBIENTAL (CECA) (Mato Grosso do Sul). Deliberação nº 36 de 27 de junho de 2012. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como, estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul e dá outras providências.
- Esgotamento sanitário operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 74 p.
- HO, Y. B.; WONG, W. K. Growth and macronutrient removal of water hyacinth in a small secondary sewage treatment plant. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 11, n. 1-4, p. 161–178, 1994.
- MEES, Juliana Bortoli Rodrigues. Uso de aguapé (*Eichhornia crassipes*) em sistema de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- ORSSATTO, F. HERMES, E. BOAS, M. A. V. Eficiência de Remoção de Óleos e Graxas de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário, Cascavel – Paraná. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 4, p. 249-256, out./dez. 2010.
- Potencial Hidrogeniônico (pH). Programa Água Azul, 2015. Disponível em: <http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/indicadores/indicadores_ambientais/?id=02>. Acesso em: 3 de julho de 2023.
- RODRIGUES, N. S. Aguapé, uma alternativa no tratamento de esgotos. São Paulo: Pau-Brasil, 1985, v. 5.
- SOUSA, Fernando de. A Influência Da Temperatura E Do Volume De Efluentes Nos Sistemas De Tratamento Dos Esgotos. Água, Vida & Cia, 2016. Disponível em: <

<https://ferdinandodesousa.com/2016/09/19/a-influencia-da-temperatura-e-do-volume-de-efluentes-nos-sistemas-de-tratamento-dos-esgotos/>>. Acesso em: 3 de julho de 2023.

- VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 472p. 2014.
- WHO. Wasterwater stabilization ponds:Principles of planning and practice. Alexandria: World Health Organization, v. 10, 1987. 138p.
- Lagoas – Volume 3 – Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Marco Von Sperling – Editora UFMG 2ª Edição.
- Tratamento de Esgotos Domésticos – Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa – Editora ABES 7ª Edição.
- SIEGEL, Sidney; CASTELLAN, N. John. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.