

Fitorremediação de efluentes industriais utilizando Lemna minor

Sidney de Araujo

Instituto Federal do Paraná Campus Palmas – Paraná

Aline Rocha Borges

Instituto Federal do Paraná Campus Palmas – Paraná

RESUMO

Um dos grandes desafios das empresas nos últimos anos tem sido implementar a sustentabilidade em seus processos industriais e com isso adequar a sua produção à qualidade do meio ambiente, evitando assim grandes impactos que possam prejudicar a natureza. Neste contexto, surge o conceito de indústria sustentável, o qual visa aliar o desenvolvimento econômico ao cuidado ambiental, preservando as condições do planeta para as gerações futuras.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Gestão ambiental, Tratamento de efluentes.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios das empresas nos últimos anos tem sido implementar a sustentabilidade em seus processos industriais e com isso adequar a sua produção à qualidade do meio ambiente, evitando assim grandes impactos que possam prejudicar a natureza. Neste contexto, surge o conceito de indústria sustentável, o qual visa aliar o desenvolvimento econômico ao cuidado ambiental, preservando as condições do planeta para as gerações futuras.

Segundo MARQUES (2015), a gestão ambiental é fundamental para toda organização, independentemente do seu ramo de atuação. Isso porque o público e o mercado passam a associar o nome da empresa à preservação ambiental, o que favorece sua imagem perante os clientes e concorrentes. As organizações que incentivam a prática deste tipo de gestão podem absorver diversos benefícios, como a redução de gastos e custos por meio da diminuição do desperdício de água e energia por meio da reutilização de materiais.

Segundo SILVA (2019), por volta de 1970, a indústria pareceu ser apenas uma solução para baratear produtos através da produção em massa das máquinas, essa lógica acabou gerando uma série de desdobramentos não planejados, dentre eles, os impactos prejudiciais ao meio ambiente; porém se forem reconhecidos quais os processos que geram tais impactos, é possível implementar práticas de desenvolvimento sustentável.

As indústrias que utilizam afluentes para manter sua produção, devem seguir as instruções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é o órgão responsável por regularizar os processos



de captação e destinação de rejeitos líquidos, atendendo o disposto na resolução nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Porém, a grande problemática dos efluentes líquidos que são produzidos durante e depois dos processos industriais é a adequação dos parâmetros ambientais. Este é um fator que causa custo excessivo para as indústrias, tendo em vista que os tratamentos tradicionais de efluentes se caracterizam pelo uso de grandes quantidades e concentrações de produtos químicos, o que pode causar enorme impacto ambiental (AMBIENTAL TERA, 2019).

O efluente gerado no processo de industrialização do óleo de soja possui alta concentração de demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais e dissolvidos, óleos e graxas, dentre outros componentes orgânicos. Portanto, pode causar impactos significativos se descartado em sua forma bruta no meio ambiente (ALTHER, 2008; YANG, 2007). Essa é a razão em optar por um sistema de tratamento adequado, no qual se possa levar em consideração os tipos e a concentração de contaminantes presentes no efluente, a qualidade necessária do efluente após o tratamento, a vazão a ser tratada, os métodos e opções que possuam análise custo/benefício. Desta forma, faz-se necessário uma análise do sistema de produção associado ao sistema de tratamento (MORITA, 2022).

Neste contexto, as metodologias alternativas para descontaminação têm se destacado, incluindo a fitorremediação, a qual se caracteriza pelo uso de plantas para a descontaminação de ambientes impactados por poluentes orgânicos ou inorgânicos (PIRES et al., 2005), tais plantas podem degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes dos solos e das águas (ROCHA et al., 2000). O sucesso de tal técnica depende da interação de diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem entre as plantas e o ambiente do entorno e que apresenta vantagens como a aplicabilidade simples, não necessita de operadores com qualificação profunda, custo baixo, além de manutenção simples (TAVARES, 2013).

Portanto, a fitorremediação com plantas aquáticas torna-se um atrativo para as industriais, pois contribui com a sustentabilidade além de gerar economia financeira com o tratamento do meio. Os processos são distintos para cada contaminante envolvido, compreendendo a fitoextração, a fitoestabilização, a fitovolatilização e a fitodegradação; tais processos podem predominar de acordo com as características do contaminante (MORITA, 2022).

A *Lemna minor* é uma planta aquática flutuante que faz parte da família Araceae, comumente conhecida como "lentilha d'água" e é encontrada em corpos d'água em todo o mundo. Estas espécies são assíduas em ecossistemas lênticos como lagos e corpos hídricos salobros na maioria contingentes, são consideradas as menores plantas vasculares existentes e se reproduzem de maneira intensa (MEDEIROS, 2017). A utilização de *Lemna minor* no tratamento de efluentes apresenta várias vantagens em relação aos métodos convencionais de tratamento de efluentes, incluindo baixo custo, alta eficiência e fácil manutenção. No entanto, é importante notar que a eficiência da planta pode ser influenciada por vários fatores, incluindo temperatura, pH, concentração de poluentes e tempo de contato.



As macrófitas flutuantes do gênero *Lemna* são encontradas em várias regiões continentais com exceção do Ártico e da Antártica (ALMEIDA, 2018). Divididas em cinco gêneros e 37 espécies, são as menores angiospérmicas do mundo e apresentam crescimento exponencial, podendo, sob condições ideais de temperatura e intensidade luminosa, duplicar em dois dias ou menos (ALMEIDA, 2018).

Além disso, essa espécie possui excelente capacidade de adaptação, sendo tolerante ao estresse desses mecanismos. Esta propriedade é importante para o tratamento de efluentes, removendo nutrientes e metais (ALMEIDA, 2018). As *Lemnas* minor são plantas flutuantes monocotiledônea, sendo composta por uma ou poucas folhas e uma única raiz ou radícula sem caule, com comprimento entre 2 e 4 mm (EKPERUSI, 2019). Se reproduz vegetativamente se dividindo para formar plantas individuais separadas (CORREL, 1972). Agrega-se formando colônias nas águas superficiais e seu tempo de duplicação da folhagem é de cerca de 1,4 dias. Se cultivada em laboratório pode crescer indefinidamente se nutrientes, luz e água são providenciadas (EKPERUSI, 2019).

É uma espécie nativa da África, Ásia e Europa, mas também encontrada na Austrália e América do Sul (APPENROTH et al., 2015). Os pássaros são responsáveis por sua propagação para novos locais (EKPERUSI, 2019). A sua distribuição esporádica e natureza invasiva, e a capacidade de se reproduzir em diversos habitats, aumentaram o seu potencial para resistir a condições adversas, incluindo águas poluídas e degradadas (SUKUMARAN, 2013). Por isto está entre seus diversos usos a fitorremediação de diversos poluentes em ambientes aquáticos, dentre eles metais, compostos orgânicos, produtos agrícolas, farmacêuticos e de higiene pessoal, nanomateriais, hidrocarbonetos advindos do petróleo e rejeitos radioativos (EKPERUSI, 2019).

De acordo com REGITANO-D'ARCE (2006), o óleo da soja é universalmente obtido por extração com solvente, uma mistura de frações parafínicas derivadas do refino do petróleo, conhecido como hexano. Durante a extração, as substâncias não-triglicéridicas de natureza apolar são também solubilizadas pelo solvente e arrastadas para o óleo bruto. O óleo está contido dentro de organelas celulares chamadas esferossomos ou corpos lipídicos espalhados pelo endosperma. A casca contém menos de 6% de óleo, o que justifica sua separação, em algumas plantas industriais. Para que o processo com solvente seja eficiente, o grão passa por uma sequência de etapas que caracterizam o preparo. São operações que visam à redução de tamanho (quebra) e de espessura (laminação) do grão, de forma a expor o óleo à ação do solvente. Segue-se um aquecimento (condicionamento) para aumentar a fluidez do óleo contido nos esferossomos, facilitando sua dissolução no solvente.

No Brasil, foi desenvolvido um processo complementar do preparo – a expansão – que, por meio do uso da extrusão, torna a matéria-prima porosa e permeável ao solvente. A extração ocorre “a quente”, de forma contínua, por imersão ou por percolação. Do extrator, obtém-se a micela saturada e o farelo úmido. Ambos devem ser conduzidos por tubulações estanques para equipamentos nos quais o solvente será



evaporado, condensado e retornará ao processo. O óleo dessolventizado é o óleo bruto que, somente após a degomagem, pode ser comercializado ou estocado até a hora do refino.

O efluente gerado no processo de refino está em forma de emulsão óleo e água. As gotas de óleo estabilizadas quimicamente, segundo Lelinski (1993), se comportam mais como partículas sólidas que as estabilizadas fisicamente, devido à sua alta densidade de carga superficial e ao tamanho reduzido. Os efluentes contaminados com óleos quando descartados in natura em rios e na rede de esgotos e traz prejuízos a saúde e ao meio ambiente, sendo que 1 litro de óleo pode contaminar cerca de 20 mil litros de água. Os impactos do lançamento de efluentes de óleos em corpos d'água ocorrem pelo aumento da carga orgânica, consumindo o oxigênio dissolvido da água e fazendo com que cause a asfixia da vida aquática, ocasionando a formação de um filme flutuante dificultando a troca gasosa e oxigenação, impermeabilização do solo, entupimento de bueiros e contaminando lençóis freáticos (RODRIGUES, 2019). Por todos esses problemas que os efluentes causam ao meio ambiente, se faz necessário análises rotineiras quanto a destinação dos efluentes ao meio ambiente, e novos meios de tratamento estudados e desenvolvidos em prol da sustentabilidade ambiental.

A matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, na sua nutrição, e aos autótrofos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico. Em grandes quantidades, no entanto, podem causar alguns problemas, como cor, odor, turbidez e consumo do oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores. O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar a extinção dos organismos aeróbicos. Geralmente, são utilizados dois indicadores do teor de matéria orgânica na água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (BRASIL, 2014).

Os parâmetros DBO e DQO são utilizados para indicar a presença de matéria orgânica na água. Sabe-se que a matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas, que é a redução na concentração de oxigênio dissolvido. Isto ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização da matéria orgânica. Portanto, a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os referidos parâmetros DBO e DQO indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessários para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água. Esta demanda é referida, convencionalmente, a um período de cinco dias, já que a estabilização completa da matéria orgânica exige um tempo maior, e a uma temperatura de 20°C (BRASIL, 2014)

A diferença entre DBO e DQO está no tipo de matéria orgânica estabilizada; enquanto a DBO refere-se, exclusivamente, à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, a DQO engloba, também, a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Assim sendo, o valor da DQO é sempre superior ao da DBO. Além do mais, a relação entre os valores de DQO e DBO indica a parcela de matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica. Tanto a DBO quanto a DQO são expressas em



mg L⁻¹. A concentração média da DBO – que é, entre os dois, o parâmetro normalmente mais utilizado – em esgotos domésticos é da ordem de 300 mg L⁻¹, o que indica que são necessários 300 miligramas de oxigênio para estabilizar, em um período de cinco dias e a 20 °C, a quantidade de matéria orgânica biodegradável contida em 1 litro da amostra. Alguns efluentes de indústrias que processam matéria orgânica apresentam valores de DBO na ordem de grandeza de dezenas ou mesmo centenas de gramas por litro. Em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg L⁻¹ a 10 mg L⁻¹), podendo atingir valores bem mais elevados em corpos d'água sujeitos à poluição orgânica, em geral decorrente do recebimento de esgotos domésticos ou de criatórios de animais (BRASIL, 2014).

Quanto à acidez e à alcalinidade são parâmetros de extrema importância para a digestão anaeróbia. Os ácidos graxos voláteis devem estar em equilíbrio com a alcalinidade do sistema. A inibição do processo anaeróbio por ácidos graxos voláteis está associada ao pH. Baixos valores de pH estão geralmente relacionados a altas concentrações de ácidos graxos voláteis, e, conseqüentemente, a falência do processo (Kus e Wismann, 1995). Para a grande maioria das bactérias, o pH ótimo de crescimento se localiza entre 6,5 e 7,5. As variações máximas e mínimas, para a maior parte delas, estão entre pH 4 e 9. Porém, se cultivadas em meio ajustado a um pH determinado, é provável que esse pH se altere, como resultado dos metabólicos produzidos, que podem ser tanto ácidos como alcalinos (Campos et al., 2006).

Nos processos de tratamento anaeróbio, procura-se acelerar as reações de digestão da matéria orgânica, criando-se condições favoráveis para crescimento e manutenção de microorganismos no reator (Campos et al., 2005a).

Um estudo realizado por HU (2019), avaliou a capacidade de *Lemna minor* em remover poluentes orgânicos e inorgânicos em um sistema de tratamento de efluentes. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 97% de matéria orgânica e 99% de fósforo do efluente. Além disso, a planta mostrou ser eficiente na remoção de metais pesados, como chumbo e zinco, com eficiência de remoção de até 88% a 96%, respectivamente.

Outro estudo realizado por Kivaisi (2001) investigou a capacidade de *Lemna minor* em remover matéria orgânica de efluentes de uma fábrica de papel. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 88% de matéria orgânica do efluente. Além disso, a planta também foi eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo, com eficiência de remoção de até 98% a 92%, respectivamente.

Khan et al. (2002) avaliou a capacidade de *Lemna minor* em remover pesticidas do efluente de uma fábrica de pesticidas. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 97% dos pesticidas presentes no efluente.

O estudo ecológico acerca do cultivo e manejo de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes tem sido cada vez mais abordado por pesquisadores em razão dos resultados promissores que demonstram. A inserção dessa vegetação auxilia na remoção de nutrientes e apresenta boa eficiência na diminuição de



demanda bioquímica de oxigênio e demanda de química de oxigênio. Além disso, esse método é bastante atrativo devido aos baixos custos de implantação, operação e manutenção quando comparado a outras tecnologias de tratamento convencional (TIMM, 2015; LEMES et al., 2008).

2 OBJETIVO

Considerando o exposto, este artigo aborda a utilização de fitorremediação, aplicando a Lemna minor, para o controle dos níveis de DQO, DBO e pH de efluentes de uma empresa de extração de óleo de soja, visando assim alinhar a economia de recursos com o cuidado ambiental.

3 METODOLOGIA

A investigação do impacto da fitorremediação foi realizada no efluente da indústria Coopertadição, localizada na cidade de Clevelândia, no Estado do Paraná. A empresa possui três lagoas, sendo a primeira caracterizada como anaeróbica, pela falta de oxigênio dissolvido na água. Isso cria um ambiente propício ao crescimento de bactérias anaeróbicas, que são capazes de decompor a matéria orgânica na água residual na ausência de oxigênio. A segunda lagoa é considerada uma lagoa de estabilização, capaz de fazer remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (como nitrogênio e fósforo) e patógenos (microrganismos causadores de doenças). E a terceira lagoa de maturação que é usada para o polimento final, remoção de patógenos e melhoria da qualidade estética da água tratada. Sendo elas com uma vazão de entrada de 10 a 12 m³ hora, com uma saída final da terceira lagoa de 8m³ horas.

O tratamento através das Lemnas ocorreu com a utilização de aproximadamente 2kg da macrófita lemna na segunda lagoa que caracteriza-se por lagoa de estabilização em 2019. Como a macrófita tem um elevado teor de proliferação, em aproximadamente 2 anos, a segunda e terceira lagoa já estavam 100 % cobertas de lemnas, a segunda lagoa possui uma área de 4.505 m² e a terceira uma totalizando uma área de 1.098 m².

Normalmente, para o controle dos níveis de DQO, DBO e pH, a empresa utilizava o tratamento convencional com NaOH e H₂SO₄, até que os parâmetros físico-químicos se mantivessem conforme as instruções normativas. As coletas foram realizadas bimestralmente nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro a partir do ano de 2020 da água superficial.

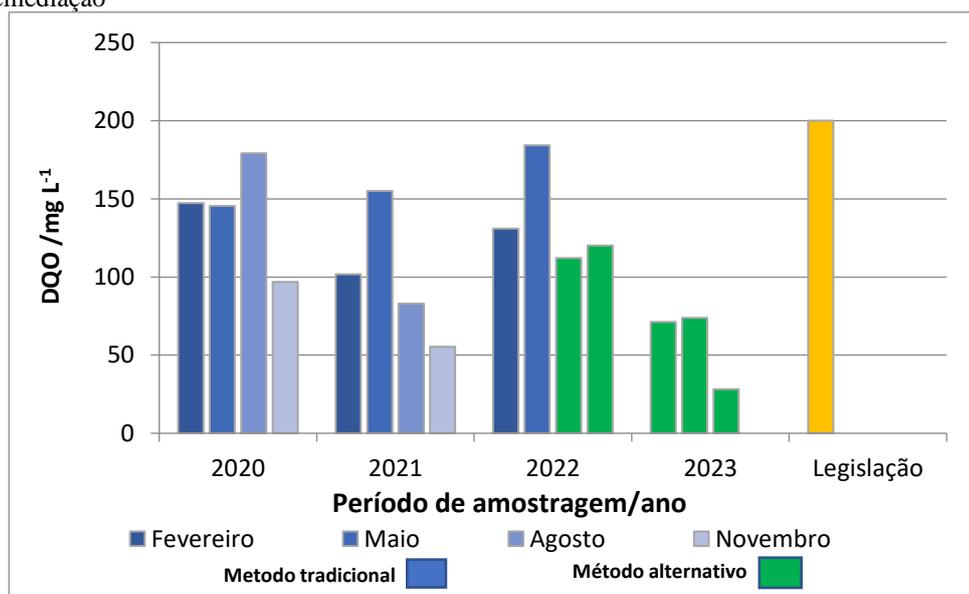
O pH da água foi determinado in situ e DQO e DBO foram determinados em laboratórios parceiros. Para determinação de DQO a técnica utilizada foi PE FQ 015, para DBO técnica utilizada APHA, AWWA, WEF - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23^a ed. 2017.

4 DESENVOLVIMENTO

A resolução 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005) alterada pela Resolução n° 430/2011 (BRASIL, 2011) não faz referência a DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, mas solicita valores do parâmetro de DBO. Está relacionada com a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em determinada amostra de um efluente. É o parâmetro mais utilizado para medir o nível de poluição das águas uma vez que esses microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático por meio de processos oxidativos, sobretudo pela respiração.

No Gráfico 1 estão descritos os níveis de DQO com o tratamento tradicional e durante o processo de fitorremediação. Até agosto de 2022, os níveis de DQO foram estabilizados utilizando a metodologia tradicional com uso de agentes químicos que auxiliam no tratamento realizando a sedimentação do lodo ativado. Observa-se que em todas as situações as concentrações foram menores do que 200 mg L⁻¹ estipulado pela Portaria 256/2013 que é uma extensão da Resolução 357/2005 alterada para Resolução 430/2011, porém sempre com auxílio de reagentes químicos. Após este período esses produtos não foram mais utilizados, ficando apenas a ação da fitorremediação pelas lemnas. É possível observar que após agosto de 2022, quando 100% das lagoas estavam cobertas pelas macrófitas foi possível obter níveis extremamente satisfatórios, chegando a 110 mg L⁻¹. Porém, em 2023 esses níveis baixaram ainda mais, chegando a 30 mg L⁻¹. Desta forma, comprova-se que a ação da fitorremediação utilizando lemnas proporcionou a redução da matéria orgânica presente no ambiente.

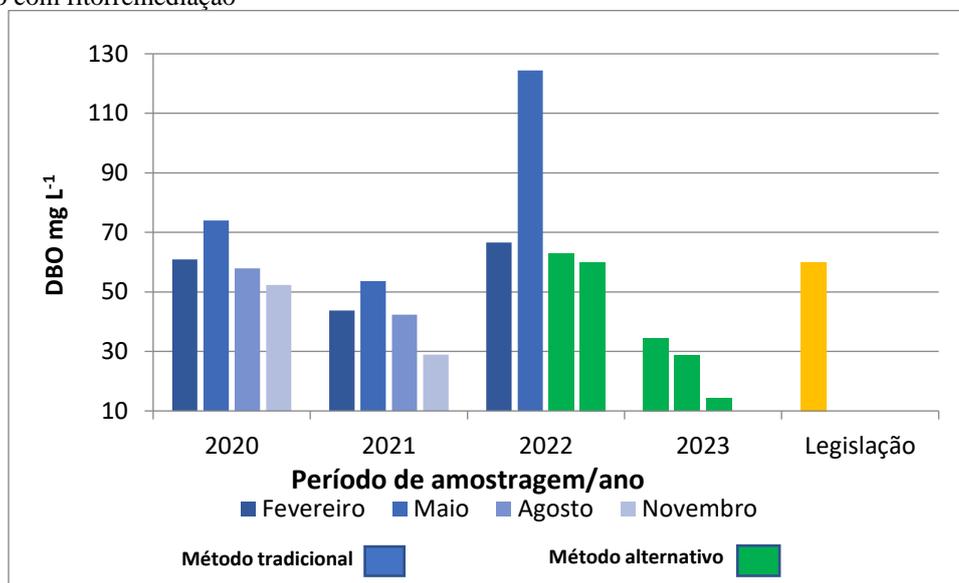
Gráfico 1. Níveis da demanda química de oxigênio em efluente de indústria de óleo de soja após tratamento tradicional e durante tratamento com fitorremediação



No Gráfico 2 está descrito o acompanhamento dos níveis de DBO antes e durante o processo de fitorremediação. Até agosto de 2022 era utilizada a metodologia tradicional para manutenção destes níveis; com a fitorremediação foram obtidos níveis muitos satisfatórios, atendendo perfeitamente a Portaria 256/2013 que é uma extensão da Resolução 357/2005 alterada para Resolução 430/2011 que estipula índices de DBO menor que 60 mg L^{-1} conforme a vazão final de lançamento do efluente em corpos receptores.

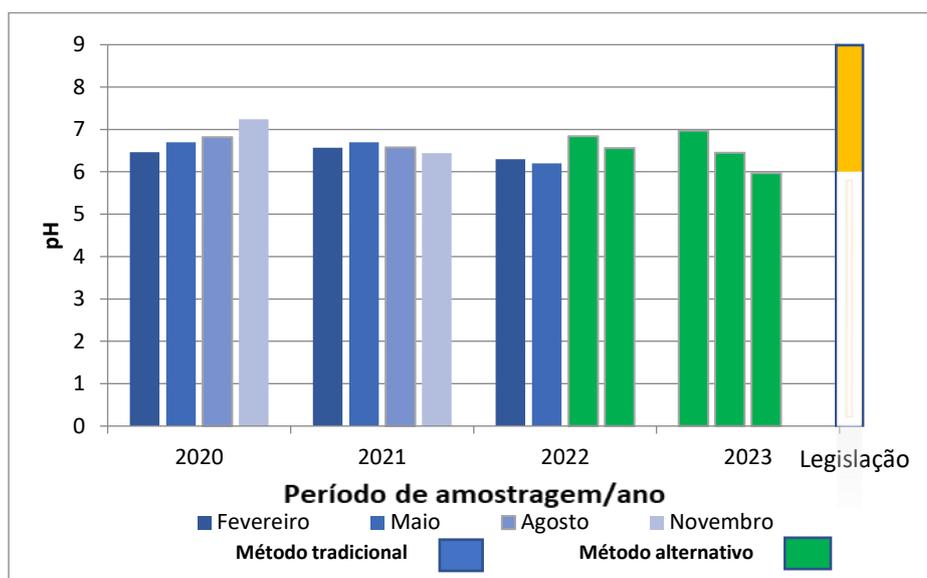
Porém, em 2023 esses níveis baixaram ainda mais, chegando em $14,18 \text{ mg L}^{-1}$. Melhor índice dos últimos anos, portanto, comprova-se que a ação da fitorremediação utilizando lemnas proporcionou a redução da matéria orgânica presente no ambiente, melhorando consideravelmente, a qualidade do tratamento do efluente.

Gráfico 2. Níveis da demanda bioquímica de oxigênio em efluente de indústria de óleo de soja após tratamento tradicional e durante tratamento com fitorremediação



No Gráfico 3 estão descritos os níveis de pH antes e durante o processo de fitorremediação. Os agentes químicos eram utilizados como forma de estabilização dos níveis do pH até o ano de 2022 para atendimento da resolução N° 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estipula índices de pH entre 6 e 9. Com a utilização da fitorremediação notou-se que houve uma estabilização dos níveis de pH não sendo mais necessário a utilização de agentes químicos.

Gráfico 3. Níveis de pH em efluente de indústria de óleo de soja após tratamento tradicional e durante tratamento com fitorremediação



Até 2022, a indústria tratava o seu efluente através do método tradicional com adição de produtos químicos, sejam eles biodegradáveis e não biodegradáveis, com um custo anual médio em produtos de R\$ 71.736,00 para obter a decantação do lodo ativado. Porém, este método além de demandar um custo financeiro para a empresa devido a aquisição dos produtos químicos, também necessitava de um funcionário para fazer a remoção do sobrenadame esta etapa consiste na separação do sólido (lodo-líquido) (efluente bruto) por meio da sedimentação das partículas sólidas.

Nesta etapa o lodo era retirado manualmente das lagoas e depositado em caixas específicas para posterior recolhimento por uma empresa certificada e credenciada a dar a devida destinação aos resíduos gerados pelas lagoas.

Contudo este processo de destinação gerava um alto custo para a empresa, pois o descarte era faturado por m³ recolhido e este valor estava estipulado em R\$ 500 por m³ sendo assim no mês de fevereiro de 2021 gerou-se um custo com aproximadamente R\$ 90.000 em destinação de resíduos orgânicos das lagoas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir da aplicação de Lemna minor no tratamento de efluentes de uma indústria de produção de óleo de soja demonstraram que a fitorremediação é capaz de remover uma grande quantidade de poluentes presentes na água, pois os níveis de DQO, DBO e pH se mantiveram dentro do estabelecido pela legislação vigente sem o uso de produtos químicos. As lemnas possuem um elevado potencial na redução de matéria orgânica oxidável, deste modo podem, além de reduzir a carga poluidora de efluentes orgânicos, e também amenizar o custo com tratamentos de efluentes.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. R. de. Avaliação do potencial de Lemna Minor L. como bioindicador de toxicidade em águas residuais. 2018. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

ALTHER, G. Limpeza de águas residuais: remoção do óleo da água com argilas organofílicas. Filtração+Separação. v.5, n.3 p.22-24, 2008.

AMBIENTAL TERA. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/efluentes-industriais-o-impacto-do-descarte-sem-tratamento-correto> acesso em 28 de junho de 2023.

APPENROTH, K.-J. et al. Ressurgimento da pesquisa e aplicações de duckweed: relatório da 3ª Conferência Internacional de Duckweed. *Biologia Molecular Vegetal*, v. 89. 647-654, oct. 2015. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014.112 p.

BRASIL. Resolução n. 430, de 13 maio de 2011. Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 16 de mai.2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em 26 maio 2022.

CAMPOS, C. M. M.; SALÉH, B. B.; CARMO, F. R. Determination of kinetic parameters of a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) removing organic loading from swine manure effluents. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, p. 1045-1051, 2005a.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R. DO; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. da, Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, p. 140-147, 2006.

CORRELL, D. S., CORRELL, H. B. Plantas aquáticas e de zonas húmidas do sudoeste dos Estados Unidos. Agência de Proteção Ambiental (EPA. Disponível em: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/419>. Acesso em: 26 maio 2022.

EKPERUSI, A. O., SIKOKI, F. D., NWACHUKWU, E. O. Aplicação de erva-de-pato comum (Lemna minor) na fitorremediação de produtos químicos no meio ambiente: estado e perspectiva futura. *Quimiosfera*, v. 223, 285-309, maio 2019.

HU, H. et al. Fitorremediação de águas residuárias de suínos digeridas anaerobicamente contaminadas por oxitetraciclina via Lemna aequinoctialis: Remoção de nutrientes, características de crescimento e vias de degradação. *Tecnologia de biorecursos*, v. 121853, 2019.

KIVAIISI, A. K. O potencial das zonas húmidas construídas para tratamento e reúso de águas residuais em países em desenvolvimento: uma revisão. *Engenharia Ecológica*, v. 16, p. 545-560, 2001.

KUS, F.; WIESMANN, U. Degradation kinetics of acetate and propionate by immobilized anaerobic mixed cultures. *Water Research, New York*, v. 29, n. 29, n. 6, p. 1437-43, 1995.



KHAN M. J. STEINGASS H.; DROCHNER W. Avaliação de algumas plantas aquáticas de Bangladesh através de medidas de composição mineral, produção de gases in vitro e degradação in situ. Asian – Revista Australiana de Zootecnia. 15(4), p. 537-542, 2002.

LELINSKI, D. Flotação de cinzas de gotículas de óleo dispersas. Um sistema modelo para flotação betuminosa a partir de areias betuminosas. Utah: Universidade de Utah, 125f. 1993.

MARQUES, J. R. Gestão ambiental é um método administrativo que prioriza o desenvolvimento, de 24 de junho 2015. Disponível em: ibccoaching.com.br. Acesso em 27/05/2022.

MEDEIROS, M. V. Policultivo de tabaqui e camarão-da-amazônia: características limnológicas, avaliação do impacto ambiental e tratamento do efluente. 2017. 111 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de PósGraduação de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2017.

MORITA, A. K. M.; Moreno, F. N. Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. Engenharia Sanitaria E Ambiental, 27(2), 377–384, 2022

PIRES, F. R.; et. al. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, n. 4, p. 627-634, 2005.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Extração e Refino de Óleos Vegetais. In: OETTERER M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Manole: São Paulo, SP, 2006. p.300-354.

ROCHA S.B.; PIVETZ K.; MADALINSKI, A.A.; WILSON T. Introdução à fitorremediação. Washington: Agência de Proteção Ambiental dos EUA, EPA/600/R-99/107 (NTIS PB2000-106690), 2000.

RODRIGUES, A. L. G. Efeitos de óleos e graxas para a tratabilidade de esgoto e poluição difusa. Divisão de Operação e Manutenção ETE Parque Novo Mundo. Disponível em: <https://docplayer.com.br/504582-Efeitos-de-oleos-e-graxas-para-a-tratabilidade-de-esgotos-e-poluicao-difusa.html>. Acesso em 28 de junho 2023.

SILVA, L.A.M., Silva, T.S., Pastich, E.A.; Santos, S.M. Uso sustentável de macrofitas no tratamento de efluentes: uma revisão sistemática. Journal of environmental Analysis and progress, 4(4), 228-238, 2019

SUKUMARAN D. Fitorremediação de Metais Pesados de Efluentes Industriais Utilizando Tecnologia de Wetland Construído. Ecologia Aplicada e Ciências Ambientais, v. 1, n. 5, 92-97, out. 2013.

TAVARES, Sílvio Roberto De Lucena. Técnicas de Remediação. Remediação De Solos E Águas Contaminadas Por Metais Pesados, [S. l.], p. 61–89, 2013.

TIMM, J. M. Estudo de casos de wetlands construídos descentralizados na região do Vale do Sinos e Serra Gaúcha. 2015. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

YANG, C. L. Coagulação eletroquímica para desmulsificação de água oleosa. Tecnologia de Separação e Purificação, v.54, p.388-395, 2007.