

**BIOSSORÇÃO DE ÓLEOS POLUENTES COM O USO DA MACRÓFITA *Salvinia natans***  
(L.) All.

Joedson de Paiva Ferreira da **Costa**<sup>1</sup>, Oscar Mitsuo **Yamashita**<sup>2</sup>, Elizeu Merizio **Munhoz**<sup>3</sup>, Marco Antonio Camillo **de Carvalho**<sup>4</sup>

(1 – Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, [joedsonpf@hotmail.com](mailto:joedsonpf@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5917-4086>, 2 – Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, [yama@unemat.br](mailto:yama@unemat.br), <https://orcid.org/0000-0001-6715-626X>, 3 – Timac Agro, [zeu.munhoz@hotmail.com](mailto:zeu.munhoz@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1835-0071>, 4 – Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, [marcocarvalho@unemat.br](mailto:marcocarvalho@unemat.br), <https://orcid.org/0000-0003-4966-1013>)

**Resumo:** Estudos e desenvolvimento de métodos mais limpos para a produção de materiais com potencial descontaminante vem crescendo atualmente. Porém, ainda são poucas as pesquisas, quando comparadas à grande quantidade e tipos de poluentes que são lançados no meio ambiente a cada dia. O emprego da macrófita *Salvinia natans* como material bioissorvente de óleos tem se mostrado eficiente devido a sua alta capacidade de adsorção de diversos poluentes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de bioissorção de óleos poluentes com a macrófita *S. natans*. Nos testes realizados em laboratório, foram empregadas quantidades crescentes da macrófita como bioissorvente, sendo produzidas a partir da secagem da planta inteira, apenas das folhas com haste e somente das raízes, em dois tipos de óleos de frequente contaminação em recursos hídricos (óleo de soja e óleo diesel comum). Os resultados obtidos nos testes para todas as partes analisadas comprovam grande potencial de bioissorção da planta estudada. Para as quantidades estudadas, 0,8g de bioissorvente foi suficiente para adsorção superior a 300% de seu peso em óleo, atingindo 591% de seu peso para folhas e hastes em óleo de soja.

**Palavras-chave:** Adsorção; Bioissorvente; Eficiência; Óleo

**Biosorption of oil pollution with the use of *Salvinia natans* (L.) All.**

**Abstract.** Studies and development of cleaner methods for the production of materials with decontamination potential are growing nowadays. However, there is still little research compared to the large amount and types of pollutants that are released into the environment every day. The use of the macrophyte *Salvinia natans* as a biosorbent material for oils has been shown to be efficient due to its high adsorption capacity for various pollutants. This work aimed to evaluate the efficiency of biosorption of polluting oils with the macrophyte *S. natans*. In the tests carried out in the laboratory, increasing amounts of the macrophyte were used as a biosorbent, being produced from drying the entire plant, only the leaves with stems and only the roots, in two types of oils that are frequently contaminated in water resources (soybean oil and regular diesel oil). The results obtained in the tests for all analyzed parts prove the great biosorption potential of the studied plant. For the amounts studied, 0.8g of biosorbent was sufficient for adsorption of more than 300% of its weight in oil, reaching 591% of its weight for leaves and stems in soybean oil.

**Keywords:** Adsorption; Biosorbent; Efficiency; Oil

### **Biosorción de aceites contaminantes utilizando la macrofita *Salvinia natans* (L.) All.**

**Resumen.** Los estudios y el desarrollo de métodos más limpios para la producción de materiales con potencial de descontaminación están creciendo en la actualidad. Sin embargo, todavía hay poca investigación en comparación con la gran cantidad y tipos de contaminantes que se liberan al medio ambiente todos los días. El uso de la macrofita *Salvinia natans* como material biosorbente de aceites ha demostrado ser eficiente debido a su alta capacidad de adsorción de diversos contaminantes. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de biosorción de aceites contaminantes con la macrofita *S. natans*. En las pruebas realizadas en el laboratorio, se utilizaron cantidades crecientes del macrofito como biosorbente, produciéndose a partir del secado de toda la planta, solo las hojas con tallo y solo las raíces, en dos tipos de aceites que frecuentemente se contaminan en los recursos hídricos. (aceite de soja y gasóleo normal). Los resultados obtenidos en los ensayos para todas las partes analizadas prueban el gran potencial de biosorción de la planta estudiada. Para las cantidades

estudiadas, 0.8 g de biosorbente fueron suficientes para la adsorción de más del 300 % de su peso en aceite, alcanzando el 591 % de su peso para hojas y tallos en aceite de soja.

**Palabras clave:** Adsorción; biosorbente; Eficiencia; Aceite

## Introdução

A água é essencial para a sobrevivência dos seres vivos. Cerca de 70% da superfície da Terra é composta de água, com 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos de água cobrindo a superfície da Terra. Devido a essa importância, proteger esse bem é importante para sustentar a vida na Terra. (CARLÃO, 2018).

Quando ocorre algum derramamento de petróleo ou outro óleo, como o de cozinha, no ambiente marinho ou oceânico, inicialmente somente os componentes solúveis afetam os organismos que vivem na sub-superfície. Porém há uma grande influência dos ventos, ondas e correntes que agem sobre a mancha de óleo, misturando água a outros componentes não solúveis. Quanto maior a solubilidade, maior será a gravidade dos poluentes sobre a biodiversidade marinha (SILVA et al., 2021).

O óleo de soja, como citado anteriormente, é uma gordura extraída da soja e tem como base triacilgliceróis (GONÇALVES et al., 2019), sendo empregada em maior escala para fritura de alimentos, o que gera uma grande quantidade de resíduos (ALMEIDA et al., 2013). Como todas as gorduras, os óleos vegetais são ésteres de glicerol e uma mistura de ácidos graxos sendo insolúveis em água, mas apresentam alta solubilidade em solventes orgânicos (MORETTO; FETT, 1998). Em contato com os corpos d'água, o óleo de soja dificulta a oxigenação da água e a entrada de luz, comprometendo a cadeia alimentar e prejudicando diversas espécies aquáticas e dependentes destas (BORTOLUZZI, 2011).

Nos últimos anos, os processos de adsorção têm sido estudados em larga escala, especialmente devido ao grande potencial de alguns adsorventes naturais. Diversos estudos comprovam a eficiência de alguns desses adsorventes para o tratamento de água e efluentes contaminados por óleo, metais pesados e outras substâncias tóxicas (VOLESKY, 2007; BARROS et al., 2017; GARNICA et al., 2017).

A bioadsorção consiste em um processo de purificação em que os materiais poluentes são removidos do meio aquoso, através da adsorção com a utilização de biomassas vegetais (THE et al., 2017).

Além da preocupação com eficiência da remoção destes contaminantes, o destino do material após adsorção dos resíduos também requer atenção. Assim, têm sido intensificadas a pesquisa por materiais adsorventes de baixo custo e reutilizáveis em outras funções, tendo seu valor agregado aumentado pelo processo de adsorção (SARKAR et al., 2017; SILVA, et al., 2021).

São diversos os materiais vegetais empregados como biossorventes, tais como: serragem de madeira, bagaço de cana, sabugo de milho, casca de banana, coco babaçu, coco da praia, macrófitas entre outros. Esses materiais podem ser utilizados como suporte para novos adsorventes ou utilizados em seu estado original (LEANDRO-SILVA et al., 2020).

Por serem altamente porosos, todos os biossorventes apresentam elevada área superficial, o que implica em uma enorme capacidade de acumulação de solutos (COELHO, 2017).

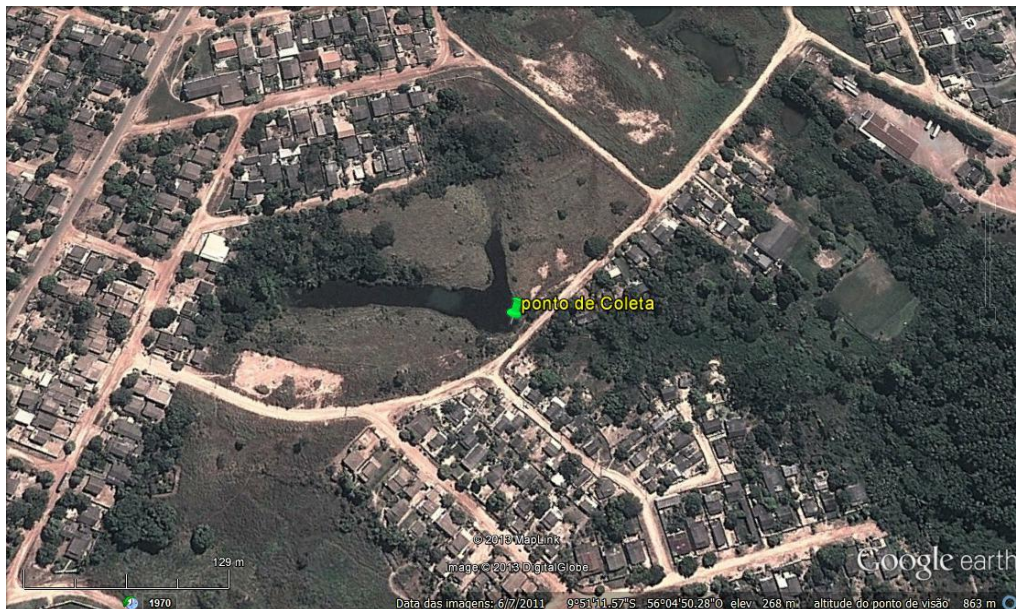
Mesmo após a secagem, algumas espécies de macrófitas mantém suas propriedades químicas. Um exemplo é a presença de cera no pêlo das folhas do gênero *Salvinia*, o que lhe confere um comportamento hidrofóbico, repelindo a água e permitindo a adsorção e absorção de óleo (COELHO, 2017; ROCKER et al., 2019). Alguns trabalhos desenvolvidos em outras pesquisas, apresentaram resultados promissores, entretanto, com outros óleos e outras espécies de plantas, sem a adsorção de biossorventes, demonstrando a importância deste estudo.

No presente trabalho, foi avaliado os efeitos de biossorção da macrófita *Salvinia natans* em quantidades crescentes, no óleo de cozinha e óleo diesel.

## Material e Métodos

A coleta foi realizada no Estado de Mato Grosso, município de Alta Floresta, localizado no extremo norte, em região considerada Amazônia Meridional, coletando-se vinte plantas da espécie *Salvinia natans* (L.) All., em uma represa na zona rural deste município (Figura 1). As coordenadas geográficas são: Latitude 9°51'11.81"S e Longitude 56°4'50.61". Previamente foi levantado histórico de uso de agroquímicos na propriedade, especialmente no entorno da área de coleta, sendo observado que, pela prática agroecológica adotada pelo proprietário, não havia uso de quaisquer produtos dessa natureza há pelo menos 20 anos.

**Figura 1.** Ponto de coleta da espécie pesquisada.



Fonte: Google Earth.

A coleta foi realizada manualmente, retirando-se as plantas (Figura 2) e colocando-as dentro de sacolas plásticas e imediatamente transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Sementes e Matologia (LaSeM) do Centro de Pesquisa e Tecnologia da Amazônia Meridional (CEPTAM) da Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, Campus de Alta Floresta.

As plantas foram lavadas em água corrente e colocadas para escorrer o excesso de água (sobre papelão), em bancada do laboratório durante 24 horas, sob temperatura ambiente. Logo após esse período, as plantas foram separadas em três partes: uma contendo as plantas inteiras, outra, apenas a parte aérea (folha e caule) das plantas, e a última, apenas o sistema radicular.

Em seguida, estes três grupos foram colocados separadamente dentro de sacos de papel tipo kraft e levados para secagem em estufa de circulação forçada de ar, regulada para 65 °C, onde permaneceram por 7 dias, para a total desidratação. Após a secagem, as partes das plantas, em cada tratamento separadamente, foram trituradas em moinho Willey e armazenadas em



recipientes plásticos, até o uso. Esta pesquisa seguiu o procedimento metodológico descrito por Costa (2013).

**Figura 2.** Lagoa onde foram realizadas as coletas do material.



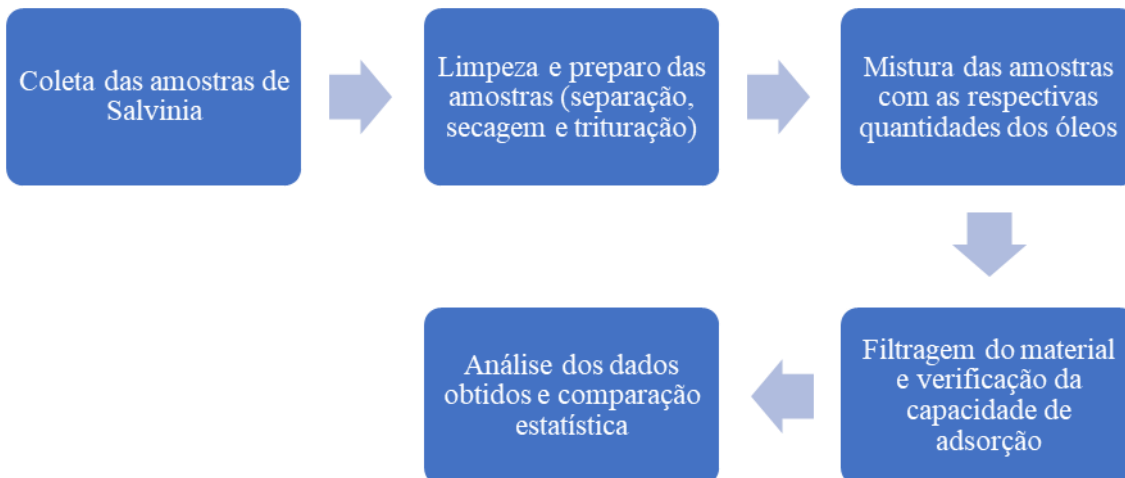
Fonte: os autores.

Foram realizados três ensaios: o primeiro ensaio utilizou o pó da planta inteira, no segundo ensaio, apenas com a parte aérea (folha e caule) da planta e o terceiro ensaio, apenas com o pó do sistema radicular. Em todos os três ensaios, foi utilizado o óleo de cozinha (óleo de soja) e o óleo diesel comum como agentes contaminantes.

A *Salvinia* triturada foi peneirada em peneira de análise granulométrica de 0,85 mm, para padronização das partículas.

Para todos os experimentos, foram utilizadas as seguintes quantidades: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 g de biossorbente por recipiente. Dessa forma, o estudo foi organizado em esquema fatorial 2 x 5, sendo tipo de óleo (óleo de soja e óleo diesel) e cinco quantidades de biossorbente, com quatro repetições (Figura 3).

**Figura 3.** Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: os autores.

Para cada recipiente, foi adicionado 100 mL de cada óleo (de soja ou diesel comum) em cada unidade experimental, representada por um frasco de *erlenmeier* com capacidade para 250 mL (Figura 4).

Cada quantidade pesada, usada para cada tratamento, foi adicionada dentro dos recipientes já com o referido óleo. Após a adição das diferentes quantidades do biossorvente nas unidades experimentais contendo os óleos, estes tiveram suas bocas vedadas com papel alumínio e posteriormente foram levados para agitação a 200 rpm por 120 minutos em mesa agitadora orbital.

Após a agitação de cada Erlenmeyer, o material foi retirado da mesa agitadora orbital e despejado sobre o papel filtro com as respectivas quantidades de *Salvinia*, que estavam dentro de cada Erlenmeyer. O óleo despejado, contendo o material ficou sobre processo de filtragem durante 48 horas, constituindo-se uma amostra.

**Figura 4.** Imagens das etapas de desenvolvimento da pesquisa. A – Funis e garrafas pet utilizadas no experimento. B – Filtro de papel para filtragem das amostras. C – Biossorventes submetidos ao processo de adsorção. D – Biossorventes sendo filtrados para determinação das quantidades retidas nas amostras.



Fonte: os autores.

Decorrido o tempo, cada papel filtro foi novamente pesado com auxílio de balança analítica. Antes de analisar os valores de quantidades adsorvidas pela *Salvinia*, foi realizado o cálculo para determinação do coeficiente de desconto tanto do óleo de cozinha como do óleo diesel comum, adsorvidos pelo papel filtro. O coeficiente de desconto consistiu na pesagem de 20 papéis filtro secos para cada um dos óleos estudados ( $P_1$ ). Posteriormente, estes papéis secos foram embebidos com seus respectivos óleos ( $P_u$ ) e colocados para escoamento dentro dos funis, por um período de 48 horas. Após a retirada, os papéis foram pesados novamente e seus



respectivos pesos anotado, obtendo ao final, o valor médio de adsorção de óleo de cozinha e do óleo diesel comum, pelo papel filtro (P<sub>2</sub>). Este coeficiente de desconto serviu para todos os ensaios realizados.

Os valores de capacidade de adsorção de todos os tratamentos foram determinados a partir da seguinte equação:

$$PV = Pu - P_1 - P_2$$

Onde peso da parte vegetal com óleo adsorvido em gramas (PV), Peso do papel úmido (Pu), Peso do Papel Seco (P<sub>1</sub>), Peso absorvido somente de óleo pelo papel (P<sub>2</sub>).

Em seguida, realizou-se a quantificação apenas do óleo adsorvido pela *Salvinia* nas diversas partes vegetais analisadas, (planta inteira, parte aérea e sistema radicular).

$$PO = PV - Ps_1$$

Peso de óleo adsorvido pela parte da planta analisada em gramas (PO), peso da parte vegetal com óleo adsorvido (PV), Peso inicial da *Salvinia*, (Ps<sub>1</sub>).

A Taxa de adsorção em porcentagem das diversas partes e quantidades de *Salvinia*, em cada um dos óleos estão descritas a seguir.

$$EA = (PA / Ps_1) \cdot 100$$

Taxa de Adsorção % (EA), Peso de óleo adsorvido pela parte da planta analisada (PA), peso inicial da *Salvinia*, (Ps<sub>1</sub>).

As médias obtidas foram submetidas à análise de variância pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando as médias eram quantitativas, estas foram verificadas pela análise de regressão e posteriormente confeccionado os respectivos gráficos. Para isso, foi utilizado o software estatístico Sisvar (2019).

## Resultados e Discussão

Os resultados foram divididos em duas partes: “planta inteira e raiz” e “folha”, para facilitar a apresentação dos dados e sua respectiva discussão. Essa separação se deu pela dimensão e importância do volume de folhas presentes na planta estudada e as demais partes, agrupadas em outro grupo.

### Planta inteira e raiz

Verificou-se, nos resultados obtidos para as seguintes partes da planta estudadas: planta inteira e raiz, uma interação significativa entre o tipo de óleo e a quantidade de biossorvente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Quadrado médio dos valores de adsorção de planta inteira e de raiz de *Salvinia natans*, para contenção de resíduos de óleo de cozinha (óleo de soja) e de óleo diesel.

Fonte de variação	Quadrado médio	
	Planta inteira	Raiz
Óleo (O)	3,249000*	4,496373*
Biossorvente (B)	54,277565*	53,055576*
Óleo * Biossorvente	0,112563*	0,340926*
Erro	0,012903	0,015313
Coefficiente de variação (%)	4,73	5,72

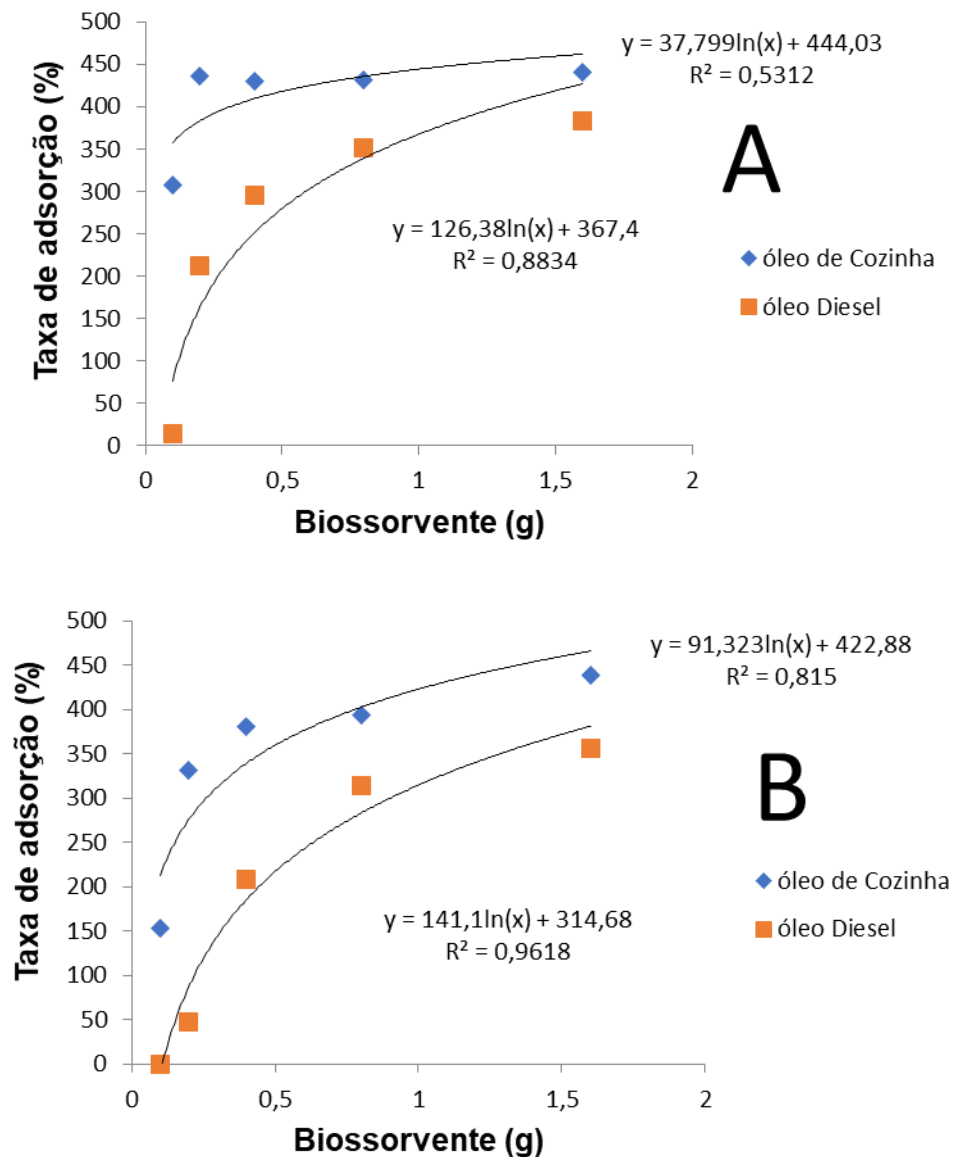
\*significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os dados demonstraram um comportamento muito semelhante para ambos os óleos quando comparados à tendência de adsorção em (%) do biossorvente (Figura 5). Entretanto, é significativa a maior capacidade de biossorção do óleo de cozinha nas menores quantidades de biossorventes avaliadas.

O óleo de cozinha demonstrou uma certa estabilização na porcentagem adsorvida a partir de 0,4 g de biossorvente para todas as partes analisadas, apresentando a partir daí uma média biossorvida para planta inteira de 434% de seu peso em óleo de cozinha, e para raiz 404%.

Já para o óleo diesel, a estabilização da adsorção das partes analisadas tendeu a ocorrer em 0,8 g, onde a partir deste ponto o bioissorvente adsorveu para planta inteira 370% de seu peso em óleo diesel, e para raiz 333%.

**Figura 5.** Taxa de adsorção (%) da planta inteira (A) e da raiz (B) de resíduos sólidos de *Salvinia natans*, em óleo de cozinha e óleo diesel comum.



O possível comportamento diferente de adsorção do óleo de cozinha até 0,4 g e do óleo diesel até 0,8 g dos demais se explica devido à quantidade e à dificuldade de mensuração,

principalmente para valores inferiores a 0,2 g de biossorvente, necessitando-se de ferramentas com escalas menores e mais precisas. Outro possível fator é devido a retirada de uma amostra pouco homogênea, correndo-se o risco de apresentar mesmo que lavada e processada partículas de terra e detritos de outros materiais que podem vir a mascarar o resultado.

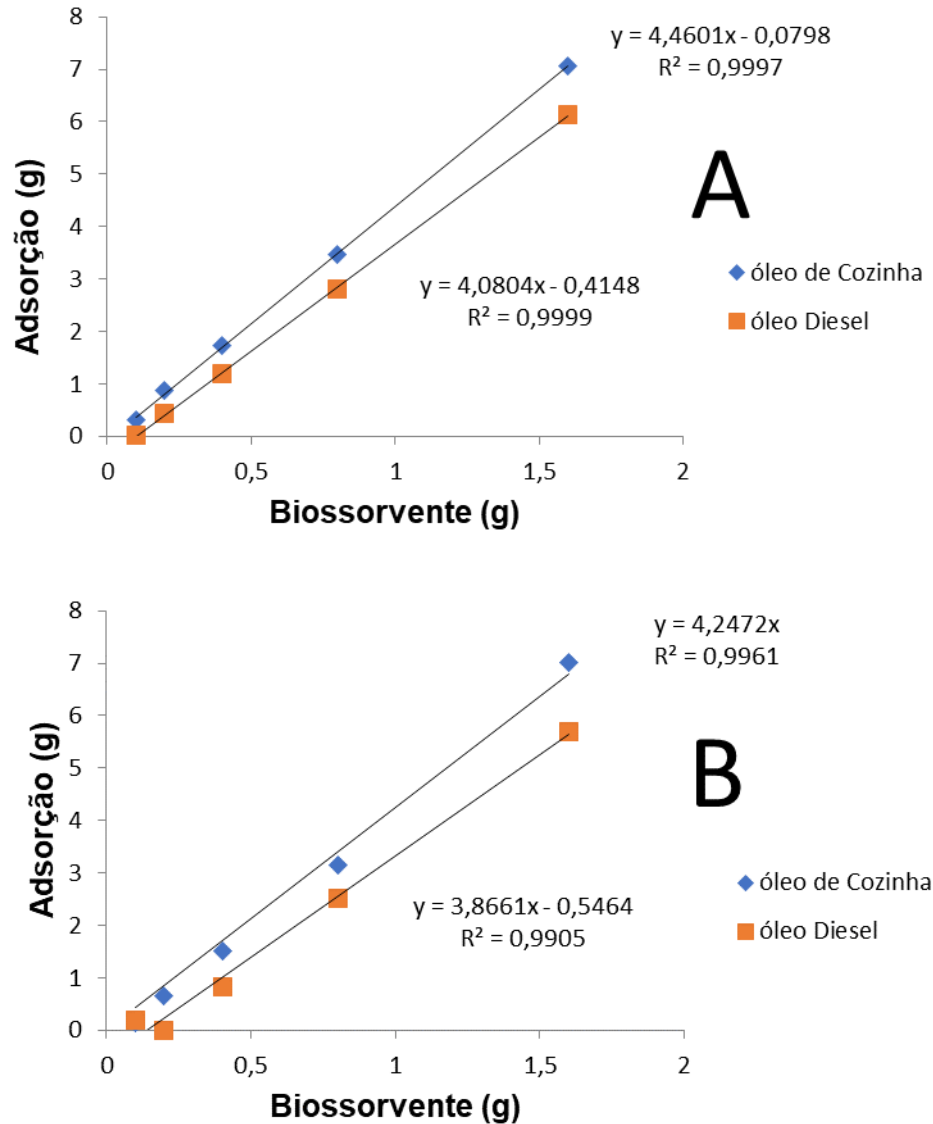
É importante ressaltar que o tempo de contato do biossorvente com os óleos foi de 120 minutos, em agitação constante. Considera-se um tempo curto e, como indicam os resultados, mesmo assim, a capacidade de adsorção chama a atenção. Algumas pesquisas com plantas aquáticas indicam tempos muito mais longos, como os de Chakraborty & Mukherjee (2013), com 144 minutos e Rocker et al. (2019) em 240 minutos. Assim, percebe-se uma importante característica na utilização desta macrófita como agente de biossorção em situações de derramamento de óleo. A velocidade de captura do material contaminante, apenas pelo uso de biomassa seca e triturada desta planta, que ocorre de forma natural em grande volume na região em que foi realizado o estudo.

As macrófitas, como a *S. natans*, têm como característica, a produção de grande volume de massa vegetal e se constituem um importante grupo de “agentes purificadores” e, por este motivo, podem ter potencial para uso na extração de elementos contaminantes do meio (ROCKER et al., 2019). Outros estudos demonstraram que certas espécies de macrófitas, como o aguapé, se comportou de maneira similar aos resultados verificados neste estudo. A exemplo disso, Saraswat & Rai (2010) relataram que íons metálicos como zinco, cádmio e cromo foram removidos com até 120 minutos em contato com biomassa de *Eichhornia crassipes*. Este tempo foi o mesmo utilizado nesta pesquisa.

Para os valores totais de adsorção, os números observados para planta inteira e raiz seguiram uma tendência de crescimento linear (Figura 6). Em ambas as figuras, observa-se que quando há um aumento nas quantidades de materiais biossorventes, há um aumento proporcional no material adsorvido. Porém dentro de cada uma das figuras os valores adsorvidos entre os dois óleos foram diferentes. Na planta inteira, para óleo de cozinha, houve diferença de adsorção para todas as quantidades, onde o menor valor adsorvido foi para 0,1 g (0,309 g) e o maior para 1,6 g (7,062 g). Na mesma figura, porém analisando o óleo de diesel, houve diferenciação também para todos os valores onde o menor valor adsorvido foi para 0,1 g (0,015 g), e o maior valor para 1,6 (6,134 g).



**Figura 6.** Adsorção (g do resíduo) da planta inteira (A) e raiz (B), de resíduos sólidos de *Salvinia natans*, para óleo de cozinha e óleo diesel (valores de biossorvente – g de *Salvinia*).



A adsorção da raiz também seguiu uma linha de tendência crescente, ou seja, conforme aumentado à quantidade em gramas de biossorvente foi aumentado os valores adsorvidos. No óleo de cozinha, o menor valor adsorvido foi para 0,1 g (0,2), e o maior valor adsorvido foi para 1,6 g (5,703). Resultados semelhantes foram descritos por DHIR & KUMAR (2010), que estudaram a mesma macrófita aquática (*Salvinia* sp.) em metodologia semelhante e outros resíduos agrícolas (palhas de arroz e de trigo), visando verificar a capacidade destes materiais na

remoção de metais pesados (Cr, Cd e Ni), a biomassa de *Salvinia* sp. apresentou maior potencial de remoção para estes elementos (até 0,32 g L<sup>-1</sup> em até 120 minutos).

Para as menores quantidades a baixa taxa de adsorção ocorreu pelos fatos já mencionados na primeira parte da discussão, sobre a dificuldade de mensuração dos dados com quantidades de bioissorvente muito baixas, e a chance de partículas de outros materiais estarem presentes principalmente para valores baixos do bioissorvente.

Outro fator é devido a haver uma tendência de o óleo diesel ser adsorvido em menor quantidade pelo bioissorvente quando comparado ao óleo de cozinha. Segundo SIRINIVASAN & VIRAGHAVAN (2008), quanto mais viscoso o óleo maior é sua adsorção e tempo de permanência nos poros do bioissorvente. O que também explica a diferença de absorção entre os dois óleos.

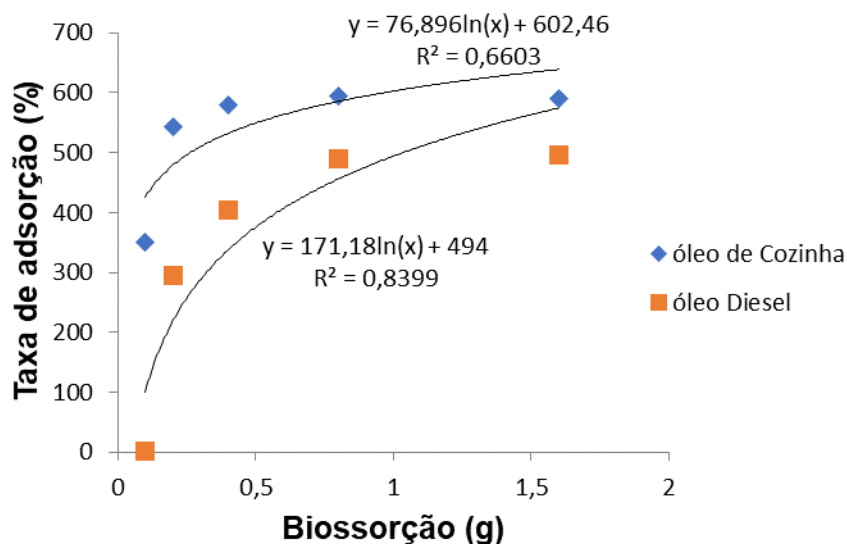
Uma característica importante a ser levada em conta é a estrutura do material adsorvente que, segundo BONI (2012), é essencial, pois afeta a seletividade do adsorvente, tendo como duas características importantes do sólido a área superficial e seu tamanho de poros.

## Folha

Os dados de taxa de adsorção em (%) para folha são apresentados na Figura 7. Ocorreu um comportamento semelhante aos anteriores para os dois óleos já citados, ou seja, significância para a interação entre óleo e quantidade de bioissorvente. Houve certa estabilização nas mesmas quantidades elencadas anteriormente para os dois óleos, porém a Taxa de adsorção foi superior onde o menor valor 0,1g adsorveu em torno de 350% seu peso em óleo de cozinha e 1,75% de seu peso em diesel, e o maior valor 1,6 g adsorveu em torno de 591% para óleo de cozinha, e 497% para óleo diesel respectivamente.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias estatísticas de adsorção de óleo diesel e óleo de cozinha pela macrófita. Houve diferença significativa entre os dois tratamentos, devido principalmente à diferença de viscosidade entre os óleos analisados.

**Figura 7.** Taxa de adsorção (%) da folha transformada em resíduos sólidos de *Salvinia natans*, para óleo de cozinha e óleo diesel.



**Tabela 2.** Médias de adsorção das folhas secas (g) *Salvinia natans*, de óleo diesel e óleo de cozinha.

Óleo	Média
Óleo diesel comum	3,03 a
Óleo de cozinha	3,80 b
DesvPad.	0,12
DMS	0,37
CV (%)	16,80

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. DesvPad. = Desvio padrão da média; DMS = diferença mínima significativa; CV = coeficiente de variação.

De acordo com BROWN et al. (2005), a viscosidade é a resistência da partícula ao deslocamento e à ação da gravidade. O óleo de cozinha apresenta maior viscosidade à temperatura ambiente do que o óleo diesel, sendo este mais adsorvido pelo biossorvente, como também observado por TEAS et al. (2001), em que, conforme se aumenta a viscosidade do material, ocorre uma maior adsorção nos poros do biossorvente.

O tratamento com folhas da macrófita, apresentou os valores médios de adsorção dos óleos analisados, havendo diferença significativa para os valores a partir de 0,4g de biossorvente. Conforme é apresentado na Tabela 3, o menor valor (0,24g) foi obtido quando foi colocado apenas 0,1g do biossorvente e, à medida que a quantidade de biossorvente era aumentada, as médias de adsorção foram sendo incrementados, com diferença significativa entre eles e, o maior valor adsorvido (8,72g) foi obtido com 1,6g de pó de folhas secas de *S. natans*.

**Tabela 3.** Adsorção média dos resíduos de óleo de cozinha e óleo diesel comum pelo pó de folhas secas (g) de *Salvinia natans*,

Biossorvente (g)	Média (g)
0,1	0,24 a
0,2	0,95 a
0,4	2,28 b
0,8	4,90 c
1,6	8,72 d
DesvPad.	0,20
DMC	0,83
CV (%)	16,80

Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não se diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. DesvPad. = Desvio padrão da média; DMC = diferença mínima significativa; CV = coeficiente de variação.

A maior adsorção observada pelas partes analisadas se deu para a folha com caule principalmente devido à presença de pilosidade e cerosidade nas folhas e caule, o que confere a estas partes um comportamento hidrofóbico, repelindo água e tendo afinidade com materiais também hidrofóbicos, segundo JAMPEETON & BRIX (2009), as hastes da *Salvinia* apresentam epiderme e córtex ligeiramente alongados, suas células da epiderme são recobertas por uma fina camada de parede celular, com cutícula pouco espessa com presença de pilosidade simples e fina.

E segundo COELHO (2017), mesmo após a secagem das plantas aquáticas biossorbentes elas mantêm mesmo que biologicamente inativas várias de suas propriedades químicas, tais como cerosidade e pilosidade que confere a *Salvinia*, o comportamento hidrofóbico.

Além disso, vale ressaltar que é possível haver a reutilização do biossorvente, através da regeneração do material usado por meio da dessorção. Este método, relatado por ROCKER et al.



(2019), merece destaque, visto que reduz, de maneira significativa os custos do tratamento de locais contaminados, além de possibilitar até a recuperação de metais pesados extraídos (VOLESKY, 2001). Após o uso na bio sorção dos contaminantes, a biomassa poderá ser submetida a um processo de dessorção, ou seja, por meio do mecanismo de troca iônica, espera-se que os íons  $H^+$  possam substituir o cátion que seja bio sorvido (MIMURA et al., 2010), permitindo a reutilização do bio sorvente.

### Conclusão

- Com base nos dados gerados é possível concluir que a *Salvinia natans* apresenta grande potencial como material adsorvente para os óleos analisados. E que, para todas as partes e quantidades de bio sorventes analisadas acima de 0,8g, há adsorção de no mínimo 300% maior que seu peso em óleo, chegando até 591% para folhas em óleo de cozinha.
- Com base nos dados obtidos, o óleo de cozinha foi mais adsorvido que o óleo diesel, entretanto, mesmo havendo essa diferença, em ambos os óleos contaminantes, a efetiva adsorção pela *Salvinia* é evidente e merece destaque, especialmente pelas folhas.
- Estes resultados indicam grande possibilidade de uso dessa planta como bio sorvente de contaminantes, especialmente porque esta ocorre com frequência e em diversas regiões é tratada como planta daninha. Dessa maneira, o acesso a grandes volumes dessa planta, o custo para preparo do material e a reduzida capacidade de provocar danos ambientais torna-a interessante.
- Explorar mais a fundo os estudos relacionados a outros contaminantes e diferentes quantidades dessa planta podem representar os próximos passos a serem tomados. No futuro próximo, é possível contar com mais uma ferramenta de grande importância para mitigar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente causados pela contaminação proveniente de derramamentos de óleo na natureza.

### Referências

ALMEIDA, K. M., MEDEIROS, E. P., GOMES, J. P., SOUSA, E. P., & SANTOS, J. W. (2013). Caracterização físico-química de misturas de óleos vegetais para fins alimentares. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(1), 218–222.

- BARROS, D. C., CARVALHO, G., & RIBEIRO, M. A. (2017). Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. *Biotecnologia & Ciência*, 6(1), 1–15.
- BONI, H. T. (2012). *Aplicação de biomassa na redução do teor de óleos e graxas presentes em efluentes aquosos* [Mestrado em Engenharia Química]. Universidade Federal de Santa Catarina.
- BORTOLUZZI, O. R. S. (2011). *A poluição dos solos e águas pelos resíduos de óleo de cozinha* [Monografia em Licenciatura em Ciências Biológicas]. Universidade Estadual de Goiás.
- BROWN, T. L., LEMAY, H. E., & BURSTEN, B. E. (2005). *Química: a ciência central* (9th ed.). Pearson Universidades.
- CARLÃO, L. F. B. (2018). A escassez de água no mundo não é mais uma hipótese ou teoria: é o alerta para a mudança do modelo de desenvolvimento humano. *Leopoldianum*, 44(123), 37–47.
- CHAKRABORTY, R., & MUKHERJEE, S. (2013). Kinetic studies of chromium phytoremediation for polishing treated tannery effluent by water lettuce (*Pistia stratiotes*). *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 4(2), 179–184.
- COELHO, J. C. (2017). *Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária* [Mestrado em Agronomia]. Universidade Estadual Paulista.
- COSTA, J. P. (2013). *Biossorção de óleos poluentes com o uso da macrófita *Salvinia natans* (L.) All.* [Monografia em Agronomia]. Universidade do Estado de Mato Grosso.
- CURBELO, F. D. S. (2002). *Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada* [Mestrado em Engenharia Química]. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- DHIR, B., & KUMAR, R. (2010). Adsorption of heavy metals by *Salvinia* biomass and agricultural residues. *International Journal Environmental Research*, 4(3), 427–432.
- FERREIRA, D. F. (2019). Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Brazilian Journal of Biometrics*, 37(4), 529–535.
- GARNICA, A. I. C., CURBELO, F. D. S., ARAÚJO, D. A., & BRAGA, R. M. (2017). Remoção do óleo da água produzida utilizando o carvão ativado comercial. *Holos*, 8(1), 12–31.
- GONÇALVES, R. P., GONÇALVES, T., MARANGONI, R. F., MATSUSHITA, M., MARÇO, P. H., & VALDERRAMA, P. (2019). Avaliação de óleo e gordura vegetal de soja submetidos a

ciclos de fritura através de espectroscopia UV-Vis e MCR-ALS. *Brazilian Journal of Food Research*, 10(3), 15–31.

JAMPEETONG, A., & BRIX, H. (2009). Nitrogen nutrition of *Salvinia natans*: effects of inorganic nitrogen form on growth, morphology, nitrate reductase activity and uptake kinetics of ammonium and nitrate. *Aquatic Botany*, 90(1), 67–73.

LEANDRO-SILVA, E., PIPI, A. R. F., MAGDALENA, A. G., & SILVA, M. P. (2020). Aplicação dos modelos de Langmuir e Freundlich no estudo da casca de banana como bioadsorvente de cobre (II) em meio aquoso. *Revista Matéria*, 25(2), e-12656.

MIMURA, A. M. S., VIEIRA, T. V. A., MARTELLI, P. B., & GORGULHO, H. F. (2010). Utilization of rice husk to remove  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  from wastewater. *Química Nova*, 33(6), 1279–1284.

MORETTO, E., & FETT, R. (1998). *Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos* (Vol. 1). Varela.

ROCKER, C., CAETANO, J., GONÇALVES JÚNIOR, A. C., MEES, J. B. R., & DRAGUNSKI, D. C. (2019). Biossorção de íons Cr (III) de soluções aquosas sintéticas e efluente de curtume utilizando a macrófita aquática *Pistia stratiotes*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(2), 335–348.

SARASWAT, S., & RAI, J. P. N. (2010). Heavy metal adsorption from aqueous solution using *Eichhornia crassipes* dead biomass. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3–4), 203–206.

SARKAR, M., RAHMAN, A. K. M. L., & BHOUMIK, N. C. (2017). Remediation of chromium and copper on water hyacinth (*E. crassipes*) shoot powder. *Water Resources and Industry*, 17(1), 1–6.

SILVA, D. C. P., MELHO, C. S., OLIVEIRA, A. B., SANTOS, N. M. M., & PINTO, L. C. (2021). Derramamento de óleo no mar e implicações tóxicas da exposição aos compostos químicos do petróleo. *Revista Contexto & Saúde*, 21(44), 332–344.

SIRINIVASAN, A., & VIRAGHAVAN, T. (2008). Removal of oil by walnut shell media. *Bioresource Technology*, 99(8), 8217–8220.

TEAS, C., KALLIGEROS, S., ZANIKOS, F., STOURNAS, S., LOIS, E., & STOPOULOS, G. (2001). Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up. *Desalination*, 140(2), 259–264.

THE, L. C., TAN, V. M., & BINH, P. T. (2017). Removal of Pb<sup>+2</sup> from aqueous solution by adsorption onto composite based on eucalyptus leaf and polyaniline. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 55(1), 54–63.

VOLESKY, B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, 59(2–3), 203–216.

VOLESKY, B. (2007). Biosorption and me. *Water Research*, 41(18), 4017–4029.