



## INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: PRODUÇÃO DE BIOADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE 2,4-D

Jean Lucas Dill<sup>1</sup>  
Caroline Graeff<sup>2</sup>  
Gerson Azulim Müller<sup>3</sup>  
Marina Josephine Bayer<sup>4</sup>  
Scheila Ribeiro Hollas<sup>5</sup>  
Felipe Ketzer<sup>6</sup>

**Instituição:** Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi

**Modalidade:** Relato de Pesquisa

**Eixo Temático:** Ciências da Natureza e suas Tecnologias

### 1. Introdução

O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, o que possibilita uma série de impactos ambientais, como, por exemplo, desequilíbrio ecológico e poluição de corpos hídricos. Além disso, o crescimento populacional e industrialização são fatores que contribuem para a contaminação de ambientes aquáticos (Freitas; Rocha, 2018).

Os agrotóxicos são substâncias utilizadas para o controle de organismos indesejáveis e doenças que prejudicam a qualidade de plantações. No Brasil, o registro destes produtos é verificado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Os impactos diretos e indiretos dos agrotóxicos no bem-estar da população são preocupações de cientistas e profissionais de saúde (Dias *et al.*, 2018).

Atualmente, diversas técnicas são utilizadas para a remoção de poluentes de águas contaminadas. Desta forma, a adsorção é um método alternativo para o tratamento de águas residuais, uma vez que apresenta baixo custo, fácil operação e elevada eficiência (Sessarego *et al.*, 2019). O carvão ativado é, frequentemente, utilizado como adsorvente, devido à sua grande área específica, estrutura porosa e capacidade reativa. Entretanto, ele possui um custo elevado e difícil recuperação final (Nascimento *et al.*, 2020).

A maioria dos resíduos orgânicos, como, por exemplo, caule, folhas, bagaço e casca, não é reaproveitada, o que origina riscos para o meio ambiente (Barbosa, 2023). Porém, a preocupação com questões ambientais permitiu o desenvolvimento de materiais alternativos para a adsorção, denominados bioadsorventes. Eles apresentam baixo custo, alta eficiência e grande disponibilidade. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a

<sup>1</sup> Discente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, jean.2022301274@aluno.iffar.edu.br.

<sup>2</sup> Discente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, caroline.2022303831@aluno.iffar.edu.br

<sup>3</sup> Docente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, gerson.muller@iffarroupilha.edu.br

<sup>4</sup> Discente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, marina.2022301327@aluno.iffar.edu.br

<sup>5</sup> Discente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, scheila.2022301372@aluno.iffar.edu.br

<sup>6</sup> Docente do Instituto Federal Farroupilha - *Campus* Panambi, felipe.ketzer@iffarroupilha.edu.br



eficiência do resíduo de malte como precursor de bioadsorvente para a remoção de herbicida 2,4-D de águas residuais.

## 2. Procedimento Metodológico

A metodologia adotada para desenvolver a etapa inicial de produção de *biochar* baseia-se em Silveira Neto (2023). Inicialmente, foi realizada a limpeza e secagem do resíduo de malte em estufa a 105 °C. Após a retirada de toda água presente, a matéria seca foi para a carbonização em mufla, a 500 °C. Este procedimento ocorreu em atmosfera não controlada e o produto obtido foi armazenado em um dessecador. Além disso, para os ensaios de adsorção, necessitou-se de 1L de solução contendo 100 ppm de 2,4-D.

O parâmetro cinético de adsorção foi fundamentado em Silva Junior; *et al.* (2022). Desta forma, foram efetuados dois testes de adsorção: a 20 °C e a 25 °C, para compreender o desempenho de adsorção em função do tempo e da temperatura. Os modelos cinéticos de adsorção de Pseudo-Primeira Ordem (PPO) e Pseudo-Segunda Ordem (PSO) estão representados nas Equações 1 e 2, respectivamente, em que  $Q_t$  é a quantidade adsorvida ao longo do tempo ( $\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ),  $k_1$  é a taxa constante de adsorção de Pseudo-Primeira Ordem ( $\text{min}^{-1}$ ),  $k_2$  é a taxa constante de adsorção de Pseudo-Segunda Ordem ( $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ),  $q_e$  é a quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) e  $q_t$  é a quantidade de soluto adsorvido na superfície do sorvente a qualquer momento ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).

$$Q_t = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

$$Q_t = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

Os modelos não-lineares de cinética foram avaliados com o auxílio de um software denominado *Matlab*<sup>®</sup>, seguindo metodologia utilizada em Klitzke; *et al.* (2024). De maneira complementar, foram estimados o intervalo de confiança dos parâmetros (95%) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada ajuste. Posteriormente, foi verificada a qualidade microbiológica de uma amostra de água contaminada. Ela foi retirada do Rio Fiúza, que está localizado no município de Panambi/RS.

Após a coleta, foram desenvolvidas duas situações, a primeira envolvendo somente a água bruta contaminada e a segunda contendo água bruta, hipoclorito de sódio  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  e *biochar* em um sistema de filtração. Ele apresenta uma bomba peristáltica e uma coluna (adsorção em leito contínuo). Para as análises microbiológicas foram utilizadas placas descartáveis *Compact Dry*<sup>™</sup>, com a finalidade de verificar coliformes e *Escherichia coli*. A identificação dos microrganismos foi realizada conforme a embalagem do fabricante.

## 3. Resultados e Discussões

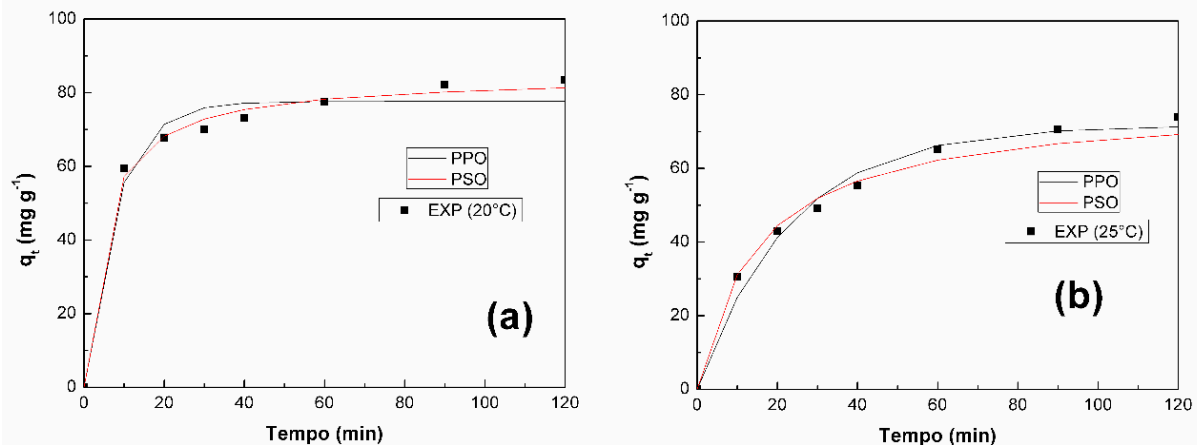
A Figura 2 apresenta os ajustes não lineares e a Tabela 1 indica os parâmetros cinéticos e estatísticos para os ensaios de adsorção de acordo com os modelos PPO e PSO. Com base na magnitude do intervalo de confiança e no valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é possível identificar que o modelo cinético de PSO adaptou-se melhor



aos dados experimentais. Este modelo é baseado na fase sólida (Langmuir, 1916), sob a suposição de que a etapa limitante é o fenômeno de adsorção química, o qual envolve forças de valência através do compartilhamento ou troca de elétrons entre o sorvente (*biochar*) e o sorbato (2,4-D).

Além disso, verificou-se que a taxa de adsorção é maior em 20 °C do que em 25 °C, indicando um possível comportamento exotérmico do fenômeno de adsorção. Sendo o modelo PSO o de melhor ajuste, a operação a 20 °C adsorveu, aproximadamente, 84,37 mg de 2,4-D em cada grama de *biochar*. Em contrapartida, a condição de 25 °C foi responsável pela adsorção de 77,65 mg de 2,4-D em cada grama de *biochar*. No experimento a 20 °C e 25 °C houve a remoção, respectivamente, de 83,54% e 73,95% de herbicida. Este resultado é próximo de referências obtidas na literatura para a remoção de 2,4-D com carvão ativado, cuja preparação é muito mais complexa do que o *biochar* (Holanda *et al.*, 2023).

Figura 2 – Ajuste PPO e PSO para o ensaio a 20 °C (a) e 25 °C (b)



Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 1 – Parâmetros cinéticos e estatísticos de ajustes dos modelos PPO e PSO

Modelo	Condição	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
PPO	20 °C	0,1259 ± 0,0052	77,6445 ± 5,3931	0,9743
	25 °C	0,0428 ± 0,0074	71,7016 ± 0,2017	0,9853
Modelo	Condição	$k_2$ (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
PSO	20 °C	0,0025 ± 0,0005	84,3668 ± 0,0195	0,9947
	25 °C	0,0009 ± 0,0002	77,6481 ± 0,1493	0,9862

Fonte: Autoria própria, 2024.



Na Tabela 2, visualiza-se os resultados adquiridos com a realização de análises microbiológicas. A primeira coluna indica a Amostra Bruta (AB) e a Amostra Tratada (AT). Além disso, a segunda coluna apresenta os valores de Unidades Formadoras de Colônias (UFC/mL) obtidos durante as análises.

Tabela 2 - Resultados referentes às análises microbiológicas

Amostras	Coliformes e <i>E. coli</i> (UFC/mL)
AB	$21 \times 10^1$
AT	0

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na AB, foram identificadas  $21 \times 10^1$  UFC/mL, uma vez que, visualmente, foi revelada a presença de 19 colônias magenta, correspondentes aos coliformes totais, e duas colônias azuis, identificadas como *Escherichia coli*. Estes resultados indicam uma significativa contaminação microbiológica da amostra antes do tratamento com *biochar*, evidenciando a presença de microrganismos potencialmente patogênicos.

A *Escherichia coli*, geralmente, é inofensiva e um constituinte natural da microbiota intestinal. Porém, existem estirpes patogênicas de *E. coli* que podem causar infecções graves, como, por exemplo, infecções no trato urinário, gastroenterites e quadros mais severos, sendo que um exemplo é a síndrome hemolítico-urêmica (Rodrigues, 2014).

A presença de *E. coli* na amostra bruta, não apenas demonstra contaminação fecal, mas também indica a possibilidade de estirpes patogênicas na água, o que aumenta o risco de doenças de origem hídrica. Em contrapartida, a amostra tratada não apresentou unidades formadoras de colônia, salientando a eficiência do procedimento de filtração com *biochar*.

#### 4. Conclusão

A Revolução Verde intensificou a utilização de agrotóxicos, evidenciando a poluição de corpos hídricos, contaminação de alimentos e alteração de biodiversidade. A adsorção é uma técnica segura e eficaz para a remoção de poluentes de águas contaminadas. Desta forma, verificou-se que a 20 °C e 25 °C o *biochar* de malte retirou, respectivamente, 83,54% e 73,95% de 2,4-D da água, o que indica um possível comportamento exotérmico do fenômeno de adsorção.

Além disso, constatou-se que o modelo cinético de Pseudo-Segunda Ordem (PSO) apresentou melhor adaptação aos dados experimentais. O procedimento realizado a 20 °C adsorveu, aproximadamente, 84,37 mg de 2,4-D em cada grama de *biochar*. Estes resultados confirmam a capacidade significativa de utilização de resíduo de malte como precursor de *biochar* e aplicação no tratamento de água, uma vez que ele foi responsável pela eliminação de microrganismos de amostra bruta.



## 5. Referências

- BARBOSA, B. S. **Caracterização de biochar de resíduos de laranjeira e seu efeito no crescimento inicial de Ipê-Roxo**. Capitão Poço: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2023.
- DIAS, A. P.; *et al.* **Agrotóxicos e Saúde**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2018.
- FREITAS, A. C.; ROCHA, J. B. T. **A importância da temática água no Ensino Médio: Uma proposta envolvendo a aprendizagem significativa**. *Aprendizagem Significativa*, v. 8, p. 38-48, 2018.
- HOLANDA, M.A.S.; *et al.* **Effectiveness of biochar as an adsorbent for pesticides: Systematic review and meta-analysis**. *Journal of Environmental Management*, v. 345, n. 118719, 2023.
- KLITZKE, E.; *et al.* **Adsorption of methane by modified-biochar aiming to improve the gaseous fuels storage/transport capacity: Process evaluation and modeling**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 1, p. 1, 2024.
- LANGMUIR, I. **The constitution and fundamental properties of solids and liquids**. Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, v. 38(11), p. 2221–2295, 1916.
- NASCIMENTO, R.; *et al.* **Uso de bioadsorventes lignocelulósicos na remoção de poluentes de efluentes aquosos**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2014.
- RODRIGUES, Ângela Maria Gonçalves. **Patogênese das Infecções Entéricas por *Escherichia coli***. Orientador: Dr. João Carlos Sousa. Dissertação de Mestrado. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2014.
- SESSAREGO, S.; *et al.* **Phosphonium-enhanced chitosan for Cr (VI) adsorption in wastewater treatment**. *Carbohydrate Polymers*, v. 211, p. 249-256, 2019.
- SILVA JUNIOR, O. J.; *et al.* **Síntese, caracterização e aplicação de Ca-MOFs na remoção do azul de metileno por adsorção**. *Química Nova*, v. 45, p. 507-517, 2022.
- SILVEIRA NETO, A. L.; *et al.* **Application of a biochar produced from malt bagasse as a residue of brewery industry in fixed-bed column adsorption of paracetamol**. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 194, p. 779–786, 2023.