



# CONSTRUÇÃO DE UM LEITO FIXO DE ADSORÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA USO DIDÁTICO EM PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

LOW COST FIXED-BED ADSORPTION CONSTRUCTION FOR DIDACTIC USE IN MASS TRANSFER PROCESSES

Tássia Tamires dos Santos Beiersdorf<sup>1</sup>, Régis da Silva Pereira<sup>2</sup>

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v42p185-196.2023

**RESUMO:** A execução de atividades práticas durante um curso de Engenharia é indispensável no processo ensino-aprendizagem, e essas atividades ficaram extensamente prejudicadas durante o período de pandemia. Nesse contexto, este trabalho apresenta a construção de um leito fixo de adsorção e a adaptação da metodologia analítica para o desenvolvimento domiciliar e de baixo custo de um trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química, de forma a permitir ao discente relacionar a teoria à prática. A coluna foi construída com tubulação e acessórios em PVC, o adsorvente utilizado foi o carvão vegetal ativado e o corante azul índigo como adsorvato, por serem de baixo custo e facilmente encontrados no mercado. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich (SILVA, 2020), indicando que a adsorção do sistema carvão/corante utilizado é favorável. O tratamento do efluente na coluna de adsorção atingiu cerca de 80% de remoção do corante. Os dados obtidos demonstram a redução da eficiência com a redução do tempo de detenção hidráulica e da temperatura. As isotermas construídas indicam a viabilidade da remoção do corante azul índigo por adsorção em carvão ativado. O desenvolvimento do experimento pela discente em seu domicílio estimulou a criatividade e a autonomia no processo ensino-aprendizagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** carvão ativado; azul índigo; isotermas; curva de ruptura.

**ABSTRACT:** Practical activities during an engineering course are indispensable in the teaching-learning process, which were harmed during the pandemic period. Therefore, this research presents a homemade and low-cost construction of a fixed bed of adsorption and adaptation of the analytical methodology, for development of a course conclusion work in Chemical Engineering to allow the student to relate theory with the practice. The column was built with tubes and accessories in PVC, the adsorbent used was activated carbon and indigo blue dye as adsorbent, the choices were for its low cost and for being easily found in the market. The experimental data were fitted to the Langmuir and Freundlich models (SILVA, 2020), indicating that the adsorption of the used charcoal/dye system is favorable. The effluent treatment in the adsorption column reached about 80% dye removal. The data obtained demonstrate the reduction in efficiency with the reduction of hydraulic detention time and temperature. The constructed isotherms indicate the viability of removing the indigo blue dye by adsorption on activated carbon. The development of the experiment by the student at home stimulated creativity and autonomy in the teaching-learning process.

**KEYWORDS:** activated carbon; indigo blue; isotherm; breakthrough curve.

<sup>1</sup> Engenharia Química da Dexco, tassiabeiersdorf@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Me., Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), regispereira@ifsul.edu.br



## INTRODUÇÃO

A construção do conhecimento técnico-científico em sala de aula é facilitada pelo desenvolvimento de atividades experimentais, pois nesse momento se torna possível a interação dos discentes com materiais e equipamentos do cotidiano profissional, além de que se permite a colaboração e o trabalho em equipe e se possibilita a manipulação de dados experimentais, relacionando teoria e prática.

No Ensino de Engenharia, a importância dessas atividades é evidenciada pelas Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (CNE/CES nº2 de 24/04/2019), que preveem a obrigatoriedade do desenvolvimento de práticas tanto para os conteúdos básicos quanto para os específicos e profissionais (BRASIL, 2019).

Tais atividades se tornaram um desafio durante a crise de saúde causada pela COVID-19, pois a necessidade de isolamento social impôs às instituições de ensino o fechamento de suas instalações. Assim, a execução experimental de projetos de pesquisa, as aulas práticas e os trabalhos de conclusão de curso acabaram sendo extremamente prejudicados.

A maioria das aulas práticas acabaram sendo adaptadas para a modalidade de observação, por meio de imagens e vídeos, em que os docentes demonstravam a montagem e execução do experimento, finalizando com a manipulação dos dados experimentais fornecidos (RODRIGUES, 2022). Em outros casos, utilizou-se laboratórios virtuais para o desenvolvimento das aulas práticas (SCHIMTZ, 2021). Entretanto, tais adaptações para o desenvolvimento de um projeto de pesquisa ou trabalho de conclusão de curso experimental são inviáveis.

Com o objetivo de dar continuidade a um trabalho de conclusão curso já em andamento do curso de Engenharia Química do Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Pelotas, na área de Transferência de Massa, com a temática de adsorção em leito fixo, adaptou-se a metodologia experimental de forma a possibilitar o desenvolvimento domiciliar do trabalho, opção feita pela discente ao invés de transformá-lo apenas em uma revisão bibliográfica.

Dessa forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar a coluna de adsorção de leito fixo construída com materiais de baixo custo e com o mínimo de equipamentos auxiliares para aplicação dos conceitos básicos dos fenômenos de transferência de massa.



## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamento de águas e águas residuárias, sendo empregada nas indústrias a fim de reduzir os níveis de compostos tóxicos dos efluentes que chegam ao meio ambiente (MOREIRA, 2008).

A adsorção pode ser definida como uma separação preferencial de substâncias de uma fase líquida ou gasosa para uma superfície de um substrato. No processo de adsorção, o soluto adsorvido é chamado de adsorvato, enquanto o sólido é o adsorvente. A migração desses componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio da fase fluida e a superfície do adsorvente (YUSUFF et al., 2013).

Quando o adsorvato é colocado em contato com o adsorvente, as moléculas ou íons tendem a fluir do meio aquoso para a superfície do adsorvente até que a concentração de soluto na fase líquida permaneça constante. Nesse estágio, é dito que o sistema atingiu o estado de equilíbrio, e a capacidade de adsorção do adsorvente é determinada, permitindo que seja verificável se o processo adsorvativo é favorável à remoção do adsorvato da fase fluida (ROCHA, 2017).

O uso de um modelo matemático que represente a isoterma é indispensável para um prognóstico confiável dos parâmetros de adsorção e para a comparação quantitativa do comportamento do processo adsorção em variados sistemas de adsorventes (GIMBERT et al., 2008). Vários modelos de isotermas têm sido desenvolvidos com a finalidade de analisar os dados experimentais e explicar o equilíbrio da adsorção, destacando-se os modelos de isoterma de Langmuir (Equação 1) e Freundlich (Equação 2), pois são aqueles que conseguem representar grande parte dos processos de adsorção (SILVA, 2020).

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

em que:  $q_e$  é a massa de adsorvato por grama de adsorvente no equilíbrio;  $q_{max}$  fornece capacidade máxima de adsorção;  $K_L$  é a constante de interação adsorvato/adsorvente;  $C_e$  representa a concentração do adsorvato no equilíbrio;  $1/n$  é a constante relacionada à heterogeneidade da superfície; e  $K_f$  expressa a constante de capacidade de adsorção de Freundlich.

Segundo Nascimento et al. (2014), sistemas de adsorção com leito fixo são mais econômicos, além de serem largamente empregados nas indústrias nos processos



de adsorção com diferentes objetivos, como na purificação de correntes na área alimentícia e farmacêutica, recuperação de solutos, separação de componentes de uma mistura e no tratamento de efluentes (FRANCO et al., 2017).

A aplicabilidade de um estudo em coluna de leito fixo é fundamentada na construção da curva de ruptura (*breakthrough*), a qual é obtida através do acompanhamento da variação ao longo do tempo da concentração de uma solução ao passar pelo leito fixo. Esta curva nos fornece informações sobre a eficiência da coluna e seus fenômenos cinéticos (ALFREDO, 2013). Diversos fatores, como vazão de alimentação, concentração inicial de soluto, altura do leito e natureza do equilíbrio do processo de adsorção, terão influência direta no comportamento da curva de ruptura (RIBAS, 2016).

## METODOLOGIA

### Adsorvente e adsorvato utilizados

Como adsorvato foi selecionado o corante o azul índigo (marca TUPY) devido à facilidade e ao custo de sua obtenção; também por ser um corante muito utilizado industrialmente e em pequenos estabelecimentos, pois é responsável por conferir a cor típica das peças de "jeans". Da mesma forma, o adsorvente escolhido foi o carvão ativado comercial, pois possui uma grande área específica e alta capacidade de adsorver substâncias orgânicas e inorgânicas, tanto na fase líquida quanto na gasosa (HE et al., 2016). Destaca-se ainda a facilidade de obtenção comercialmente em diferentes formas, sendo as mais usuais em pó e o granular.

### Preparo da solução estoque

Preparou-se a solução estoque (SE), conforme sugerido pelo fabricante, através da solubilização de 38 g do corante em 1 L de água fervente, deixou-se esfriar e avolumou-se até 5 L. A solução estoque resultante foi então transferida para um recipiente que ficou protegido da luz a fim de se evitar a sua possível degradação (MORITA, 2007).

A partir da solução estoque, preparou-se a solução do efluente a ser tratado. Com 400mL da SE, avolumou-se a 4 L, a partir do que se obteve a solução de trabalho (ST) com concentração de 0,76 g/L.

## Padrão para determinação das concentrações de adsorvato

A partir dessa ST, preparou-se por diluição 20,0 mL de soluções de diferentes concentrações (0; 0,152; 0,304; 0,456; 0,608 e 0,76 g/L) (Figura 1) que foram utilizadas para determinação da concentração do adsorvato na fase líquida após o tratamento na coluna por meio de comparação visual das cores, dispensado o uso de um espectrofotômetro.

## Determinação da isoterma de adsorção

Para avaliar a isoterma de adsorção, conforme método proposto por Nascimento et al. (2014), foram utilizados cinco tubos de ensaio contendo, em cada um, diferentes massas de adsorvente (4, 8, 12, 16 e 20 g) e mesmo volume (15mL) da solução de trabalho. Os tubos foram agitados a cada 30 minutos durante 3 horas, permanecendo o mesmo tempo de contato e a mesma temperatura, até que se atingiu o equilíbrio. Após atingido o equilíbrio, a fase líquida foi separada da fase sólida, dispensada a centrifugação e determinada a concentração de adsorvato de cada frasco (análise visual) para a construção das isotermas. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich.

Figura 1 – Esquema de preparo do padrão de cores



Fonte: elaborada pelos autores.

## Construção da coluna de adsorção de leito fixo

A coluna de leito fixo foi construída a partir de um tubo de PVC de 1" com 41,5 cm de comprimento. Na parte inferior da coluna foi instalado um adaptador soldável (1"), conectada uma luva (1") seguida de uma redução (1"x3/4") e instalada uma torneira, destinada à entrada do efluente. Na parte superior da



coluna também foi utilizado um adaptador soldável (1") conectado a uma derivação em T (1"); na via lateral foi conectada uma redução (1"x3/4") e instaladas uma torneira e uma mangueira, destinadas à coleta do efluente tratado. Já na via de cima foi colocado um bujão (1") para fechamento e para facilitar a manutenção do leito (Figura 2). Em todas as conexões, foram utilizadas fitas vedantes, a fim de evitar vazamentos durante a operação.

Na parte interna e inferior da coluna foi fixado ao adaptador um suporte para manutenção do adsorvente no leito. O suporte foi construído de plástico, no qual foram feitos furos do centro para as bordas para permitir a passagem do efluente bruto pelo leito. A seguir, colocou-se algodão entre o suporte e o carvão ativado. No interior da coluna, o leito de carvão ficou distribuído por 30 cm de comprimento.

### **Composição do sistema de adsorção**

O sistema de adsorção foi composto pela coluna de carvão ativado construída, uma bomba dosadora peristáltica com vazão inicialmente em 32 mL/min, mangueiras de silicone, um recipiente de 4 L contendo solução corante azul índigo, representando o efluente inicial, e um béquer de 1 L para receber o efluente tratado.

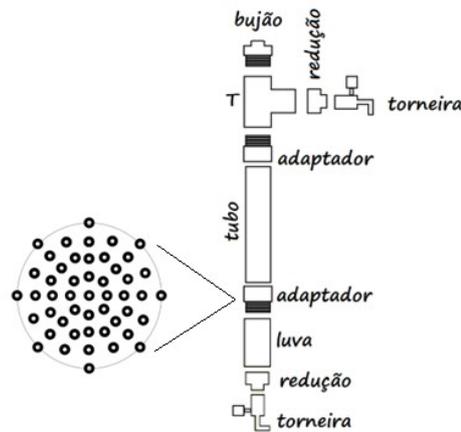
O carvão ativado utilizado foi o granular com tamanho de partícula médio de 2 mm, o qual teve sua granulometria reduzida por meio de uma máquina de moer alimentos manual, resultando em um tamanho médio de partícula entre 0,4 e 0,8 mm determinados através de amostragem e com uso de um paquímetro. A seguir o carvão foi peneirado, lavado e seco para retirada do pó.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Isotermas de adsorção**

O resultado inicial da obtenção da isoterma de adsorção foi inconclusivo, pois o carvão provocou uma turbidez na amostra, impossibilitando a comparação com a curva padrão. Assim, o experimento foi repetido seguindo-se a mesma metodologia inicialmente proposta, porém realizando-se a filtração da amostra em papel filtro, buscando, assim, diminuir a turbidez causada pelo pó de carvão residual. Após a filtração, as amostras foram deixadas em repouso por mais uma hora. Na sequência, foi realizada a comparação com a escala padrão de cores.

Figura 2 – Projeto da coluna de leito fixo



Fonte: elaborada pelos autores.

Embora tenha sido possível a comparação com a escala padrão, a diferença de cor entre alguns tubos não foi perceptível a olho nu, resultando em concentrações iguais em tubos consecutivos. A partir dos dados experimentais foram obtidos os parâmetros dos modelos de Langmuir e de Freundlich, utilizando o Solver do *Microsoft Excel* (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados do ajuste aos modelos de isotermas propostos

Langmuir		Freundlich	
$K_L$	0,1936	$K_f$	0,0058
$q_{max}$	0,0316	$n$	1,0000
$R^2$	0,8250	$R^2$	0,8339

Fonte: elaborada pelos autores.

A determinação do parâmetro  $K_L$  do modelo de Langmuir permite a determinação do fator de separação (Equação 3), cujo valor permite prever se um processo adsorptivo é favorável ou desfavorável. Para valores entre 0 e 1, a adsorção é considerada favorável, pois o corante teria maior afinidade com o carvão ativado. Para valores maiores que 1, a adsorção é considerada desfavorável, visto que o corante teria maior afinidade com a fase líquida do que com a sólida (SILVA, 2020).

$$R_L = \frac{1}{[1 + (K_L \times C_e)]} \quad (3)$$

Por meio dos dados obtidos, encontrou-se um fator de separação de 0,87, o que mostra que a adsorção foi favorável. Isso se deve à alta capacidade de



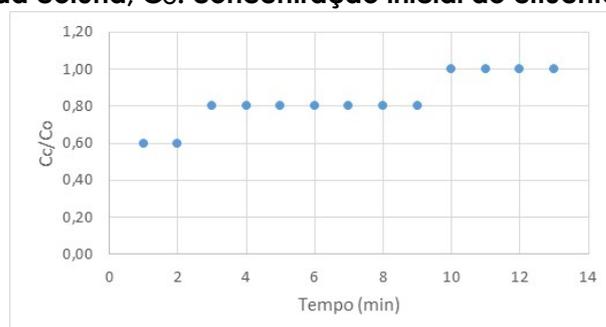
adsorção do carvão, o qual apresenta uma grande área superficial interna, na faixa de 500 a 1500 m<sup>2</sup>/g, segundo Peruzzo (2003). Essa viabilidade do processo de adsorção foi confirmada pelo valor obtido do parâmetro "1/n" de Freundlich, uma vez que, segundo Nascimento et al. (2014), quanto maior o valor de "n" mais forte a interação entre o adsorvato e adsorvente. Assim, quando "1/n" é igual a 1 ou maior, a adsorção será viável.

### Curva de ruptura

A obtenção da curva de ruptura passou pela mesma dificuldade já descrita para obtenção da isoterma de adsorção, ou seja, fazer a diferenciação das cores entre os tubos. Além disso, a forma escolhida para redução de tamanho do adsorvente levou a uma granulometria não uniforme e optou-se por não controlar a temperatura de alimentação do efluente, pois haveria necessidade de banho termostatizado. Assim, a vazão de alimentação do efluente se tornou a variável a ser manipulada.

Inicialmente o tratamento de efluente na coluna de leito fixo foi realizado a uma temperatura de 20 °C, utilizou-se 184 g de carvão ativado e uma vazão de alimentação de 32 mL/min; os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.

**Figura 3 – Experimento 1 da obtenção da curva de ruptura ( $C_c$ : concentração do efluente na saída da coluna;  $C_o$ : concentração inicial do efluente)**



Fonte: elaborada pelos autores.

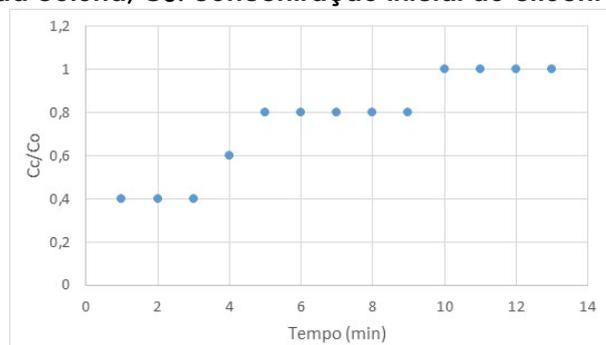
O resultado do experimento demonstra que a coluna foi ineficiente no tratamento do efluente, tendo em vista que a concentração final foi cerca de 60% da concentração inicial. A provável causa para este resultado obtido foi a vazão adotada inicialmente de 32 mL/min, o que resultou em um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 9,03 min. Em um experimento ou aplicação real, a vazão não deve ser muito baixa, a ponto de fazer com que o tratamento fique inviável devido ao tempo prolongado, nem muito alta, a ponto de não permitir que se tenha um



contato suficiente entre o adsorvente e adsorvato, diminuindo o tempo de serviço da coluna. Segundo Cooney (1999), os valores de TDH devem estar entre 15 e 30 min em operações reais.

Buscando a redução da concentração do efluente na saída da coluna, aumentou-se o TDH para o mínimo de 15 min, resultando numa vazão de 19,2 mL/min. Entretanto, nessa condição, a bomba utilizada não conseguiu alimentar a coluna devido à redução da potência para ajuste da vazão, impedindo que a altura manométrica necessária para alimentação fosse atingida. A vazão mínima possível de operação foi de 20,3 mL/min, levando a um TDH igual a 14,2 min. Assim, o experimento foi conduzido a 16 °C e 168 g de carvão ativado, pois, devido à heterogeneidade da granulometria, não foi possível manter a massa anterior na mesma altura no preenchimento da coluna. Os resultados são apresentados na Figura 4.

**Figura 4 – Experimento 3 da obtenção da curva de ruptura ( $C_c$ : concentração do efluente na saída da coluna;  $C_o$ : concentração inicial do efluente)**



Fonte: elaborada pelos autores.

Nessa situação, houve uma melhora na eficiência da coluna, tendo em vista que a concentração final foi cerca de 40% da concentração inicial. Esse resultado pode ser justificado pelo aumento do TDH, o que conseqüentemente aumenta o tempo de contato entre o corante e o carvão, facilitando a difusão, mesmo havendo uma redução de aproximadamente 9% da massa de adsorvente.

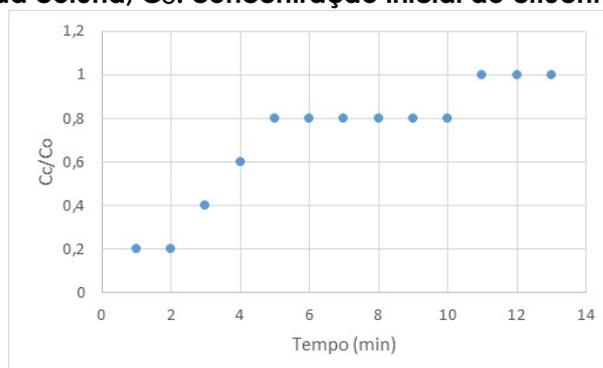
Com o intuito de obter uma melhor eficiência, o experimento foi repetido em um dia com a temperatura ambiente maior. Nessa ocasião, a vazão foi mantida igual a anterior, foram utilizados 154 g de carvão ativado e a temperatura observada foi de 26 °C. Nessas condições, houve uma melhora na eficiência da coluna, tendo em vista que a concentração final foi cerca de 20% da concentração inicial (Figura 5).

Apesar das condições operacionais serem muito próximas às utilizadas no experimento anterior, foi possível verificar uma maior eficiência, possivelmente



devido à temperatura ambiente registrada que foi 10 °C maior, uma vez que temperaturas mais altas aumentam a difusividade mássica e consequentemente facilitam a transferência de massa (SILVA, 2020).

**Figura 5 – Experimento 2 da obtenção da curva de ruptura ( $C_c$ : concentração do efluente na saída da coluna;  $C_o$ : concentração inicial do efluente)**



Fonte: elaborada pelos autores.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o adsorvente utilizado se mostrou adequado para adsorção do corante a ser removido, mesmo sob as dificuldades encontradas na realização do experimento.

Os dados experimentais das isotermas obtidas foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich, demonstrando, através dos parâmetros  $R_L$  e  $1/n$ , que o processo de adsorção é considerado favorável, segunda a literatura. A capacidade máxima de adsorção obtida foi de  $0,0316 \text{ g}_{\text{corante}}/\text{g}_{\text{carvão}}$ , enquanto a capacidade de equilíbrio foi de  $0,001773 \text{ g}_{\text{corante}}/\text{g}_{\text{carvão}}$ .

A avaliação do comportamento da adsorção na coluna de leito fixo foi realizada mediante o levantamento das curvas de ruptura, em que se pode observar que o valor de TDH influencia decisivamente nos resultados obtidos, visto que, no primeiro experimento, o TDH utilizado foi de 9,03 min, tempo insuficiente de contato entre o corante e o carvão, resultando em pouca eficiência de remoção do corante, apenas 40%. Por sua vez, um aumento em cerca de 57% do TDH resultou numa remoção de 80% do corante do efluente de alimentação.

Os experimentos ainda permitiram perceber a influência da temperatura no processo, pois mesmo sob condições de operação semelhantes, exceto pela temperatura (cerca de 10 °C maior), observou-se aumento na remoção do corante de 60% para 80%.



O desenvolvimento do experimento pela discente em seu domicílio estimulou a criatividade e a autonomia no processo ensino-aprendizagem. Os resultados obtidos das isotermas e da curva de ruptura permitiram a discente relacionar a teoria com a prática do processo de adsorção em leito, resultando na defesa e aprovação da discente em seu trabalho de conclusão de curso em dezembro de 2021.

A construção da coluna de leito fixo para fins didáticos, com materiais de baixo custo, descrita neste trabalho, apresenta uma alternativa à aquisição de módulos didáticos de alto custo, uma vez que o cenário econômico nacional, tanto para as instituições públicas quanto para privadas, muitas vezes inviabiliza a compra de equipamentos para a realização de todas as práticas previstas de um curso de Engenharia.

## REFERÊNCIAS

- ALFREDO, A. P. C. **Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistema em batelada e coluna de leito fixo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Toledo, 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Resolução CNE/CES 2/2019**. Diário Oficial da União, Brasília, 24 de abril de 2019.
- FRANCO, A. M. E. et al. Removal of Amoxicillin from Water by Adsorption on to Activated Carbon in Batch Process and Fixed Bed Column: Kinetics, Isotherms, Experimental Design and Breakthrough Curves Modelling. **Journal of cleaner production**, v. 161, p. 947-956, 2017.
- GIMBERT, F. et al. Adsorption isotherm models for dye removal by cationized starch-based material in a single component system: error analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 157, n. 1, p. 34-46, ago., 2008.
- HE, X. et al. Toxic cyanobacteria and drinking water: impacts, detection, and treatment. **Harmful Algae**, v. 54, p. 174-193, 2016.
- MOREIRA, S. A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pendúculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, 2008.
- MOREIRA, S. C. **Efeitos ecotoxicológicos dos corantes índigo sintético e natural sobre a microalga Raphidocelis Subcapitata e sobre o peixe Danio Rerio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2019.
- MORITA, T. **Manual de soluções, reagentes e solventes**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2007.
- NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: UFC, 2014.



- RIBAS, M. C. **Remoção de corantes têxteis pelo processo de adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir de subprodutos agroindustriais – estudos em batelada e coluna de leito fixo.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- ROCHA, J. V. **Remoção de metais pesados de efluentes da indústria de galvanoplastia: modelagem dos dados de equilíbrio da adsorção isotérmica de zinco por zeólita 4A.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, 2017.
- RODRIGUES, L. G. **O desafio da educação na pandemia: como seis professores de Ciências Biológicas na UFSC adaptaram as aulas práticas para o ensino remoto e o que a tecnologia tem a ver com isso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado/Licenciatura em Ciência Biológicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
- SCHMITZ, A.; NOGUEIRA, M. L.; NERVIS, L. O. Interfaces em laboratório virtual de aprendizagem em engenharias – caracterização física de solos. **Revista de Ensino em Engenharia**, v. 40, p. 497-509, 2021.
- SILVA, E. L. Aplicação dos modelos de Langmuir e Freundlich no estudo da casca de banana como bioadsorvente de cobre (II) em meio aquoso. **Revista Matéria**, v. 25, n. 2, p 3-5, 2020.
- YUSUFF, A. S. et al. Mathematical Modelling of Fixed Bed Adsorption Column for Liquid Phase Solute: Effect of Operating Variables. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 4, p. 811-822, 2013.