cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

# Simulação Numérica e Sustentabilidade na Adsorção em Leito Fixo: Validação de Modelo Multifísico para Tratamento de Efluentes

Nikelli da Rosa Rabelo[1]; Maykon Cargnin[1]; Thauan Gomes[2]; Ana Júlia Goulart Librelato[1]; Juliana Pavei Pizzolo[1]; Michael Peterson[1]

[1]Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma – SC, Brasil

[2]Instituto Federal de Santa Catarina, Gaspar – SC, Brasil

## Introdução

Os corantes presentes em efluentes têxteis exigem técnicas eficientes de remoção. As colunas de adsorção permitem operação contínua, enquanto a modelagem multifísica auxilia na previsão das curvas de ruptura e dos fenômenos de transporte (Zarcheva; Chu, 2026). O dimensionamento dessas colunas requer a análise de variáveis que influenciam a eficiência do processo e o comportamento do adsorvente.

## Objetivos

Validar um modelo matemático multifísico de adsorção em coluna de leito fixo, utilizando COMSOL Multiphysics, e analisar a influência de parâmetros operacionais nas curvas de ruptura e saturação.

## Metodologia

01 Modelo Multifísico › 02 Validação do Modelo › 03 Análise dos cenários

### EQUAÇÕES GOVERNANTES

#### 01 BALANÇO DE MASSA NO LEITO

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta c_i) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho c_{p,i}) + \nabla \cdot J_i + u \cdot \nabla c_i = R_i + S_i$$

$$J_i = -(D_{D,i} + D_{e,i})\nabla c_i$$

#### 02 TRANSPORTE DE MASSA NA PARTÍCULA

$$4\pi N \left[ r^2 {r_{pe}}^2 \varepsilon_{pe} \frac{\partial c_{pe,i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}\left( -r^2 D_{pe,i} \frac{\partial c_{pe,i}}{\partial r} \right) = r^2 {r_{pe}}^2 R_{pe,i} \right]$$

#### 03 MODELO LDF (Linear Driving Force Model)

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} = k_s(q_e - q_i)$$

### GEOMETRIA E MALHA COMPUTACIONAL

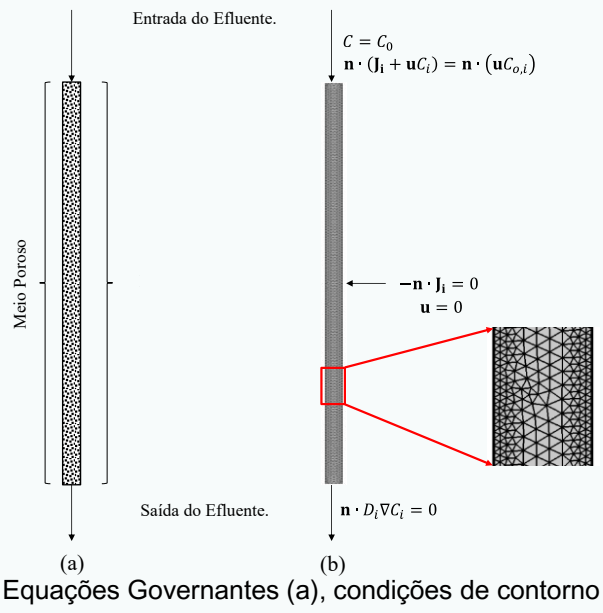



Figura 1: Equações Governantes (a), condições de contorno e malha computacional (b).

| Planejamento 01 | | | |
|---|---|---|---|
| Fatores | | Níveis | |
| Vazão Volumétrica (cm³/min) | 8 | 12 | 16 |
| Concentração de Alimentação (mg/L) | 10 | 20 | 30 |

| Planejamento 02 | | | |
|---|---|---|---|
| Fatores | | Níveis | |
| Vazão Volumétrica (cm³/min) | 8 | 12 | 16 |
| Porosidade do Leito | 0,32 | 0,42 | 0,52 |

Tabela 1 – Planejamentos de Experimentos 3².

## Resultados e Discussão

A validação acompanhou a curva experimental de Peruzzo (2003). Os planejamentos com lodo seco mostraram efeitos da vazão, concentração inicial e porosidade sobre o tempo de saturação (Vasques, 2008). Ruptura $C/C_0$ = 0,05 e Saturação $C/C_0$ = 0,95. $R^2$ = 1,00, ajustes estatísticos das superfícies de resposta das simulações.

.
.

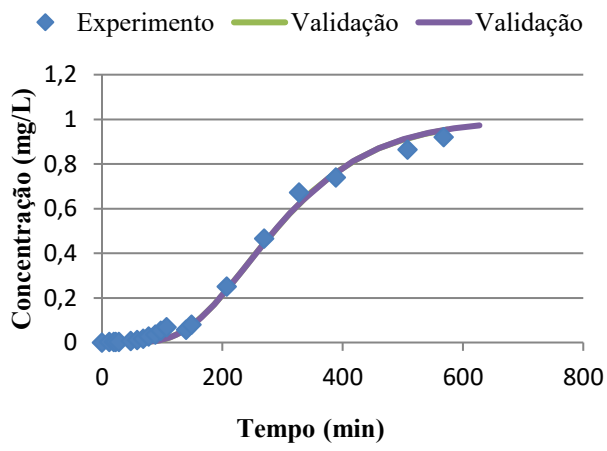



Figura 2: Resultados dos dados experimentais de Peruzzo (2003) e a validação do sistema físico simulados no COMSOL Multiphysics

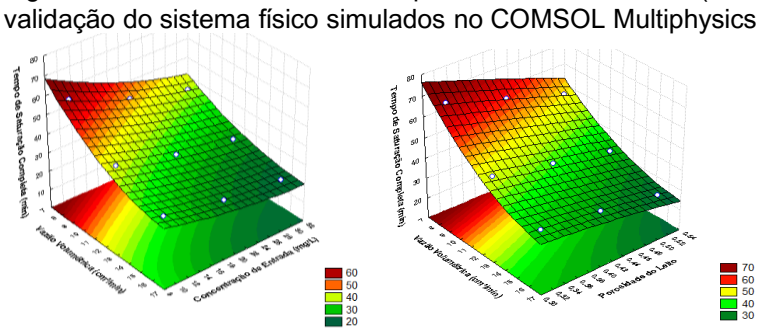


Figura 3: Superfície de resposta, resultado das simulações adicionadas no Software Statisitca, variação de saturação completa (min ), vazão volumétrica (cm³/min) pela concentração de entrada e porosidade do leito.

## Conclusões

O modelo reproduziu a tendência experimental e permitiu analisar condições operacionais para uma coluna com adsorvente residual. Vazão, porosidade e parâmetros de equilíbrio alteraram os tempos de ruptura e exaustão. A extrapolação exige novas validações independentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), ao Laboratório de Reatores e Processos Industriais (LabRePI) e aos professores do curso de Engenharia Química pelo apoio e pelas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

PERUZZO, L. C. Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo. Dissertação, 2003.

VASQUES, A. R. Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo. Dissertação, 2008.

ZARCHEVA, M. N.; CHU, K. H. Predictive and correlative modeling of breakthrough curves in fixed-bed adsorption of organic contaminants. Discover Water, v. 6, art. 86, 2026.