**Resumo nº 43**

# MATURIDADE METODOLÓGICA E TRANSLACIONAL DA EXTRAÇÃO COM FLUIDOS SUPERCRÍTICOS: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Emily Vargas Kutscher[1], Amanda Rodrigues[2], Alessandro Cazonatto Galvão[3], Weber da Silva Robazza[4]

1 Bolsista IC/UDESC/CEO

2 Estudante UDESC/CEO

3. Professor UDESC/Oeste

4 Professor Coordenador do projeto UDESC/CEO

## INTRODUÇÃO

A expansão da produção científica relacionada a uma tecnologia não implica necessariamente avanço equivalente em direção à aplicação industrial. No caso da extração com fluidos supercríticos (SFE), a transição de resultados obtidos em laboratório para processos robustos e escaláveis depende, entre outros fatores, da caracterização adequada das interações entre as variáveis operacionais. Em sistemas envolvendo dióxido de carbono supercrítico, pressão e temperatura afetam simultaneamente propriedades do fluido, solubilidade e fenômenos de transferência de massa, tornando insuficiente, em muitos casos, a avaliação isolada dos fatores (DHARA et al., 2022). Paralelamente, a atividade de patenteamento pode fornecer uma perspectiva complementar sobre a evolução tecnológica, ainda que não represente diretamente adoção comercial. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar indicadores de maturidade metodológica das pesquisas em SFE e comparar a dinâmica temporal da produção científica com a atividade de propriedade intelectual associada à tecnologia.

## DESENVOLVIMENTO

Foi analisado um portfólio constituído por 1.204 documentos científicos relacionados à SFE, obtidos por busca sistemática nas bases Scopus, Web of Science Core Collection e PubMed. Os estudos foram classificados segundo as estratégias experimentais empregadas na avaliação e otimização dos processos, distinguindo-se abordagens que modificam um fator por vez, denominadas One-Factor-At-a-Time (OFAT), de métodos formais de planejamento experimental. Entre estes últimos, foram identificados os principais delineamentos utilizados e avaliada sua distribuição temporal. Complementarmente, foram analisados 3.844 registros de patentes recuperados na base Lens. As trajetórias acumuladas de publicações científicas e patentes foram ajustadas por modelos exponenciais de primeira ordem, possibilitando a comparação das respectivas constantes de crescimento como indicadores das velocidades relativas de expansão científica e tecnológica.

## RESULTADOS

A análise das estratégias experimentais revelou acentuada predominância de abordagens OFAT. Dos estudos avaliados, 1.059, correspondentes a 88%, utilizaram essa estratégia, enquanto apenas 145, ou 12%, empregaram métodos formais de planejamento experimental. Entre os trabalhos que utilizaram metodologia de superfície de resposta, o delineamento Box-Behnken foi o mais frequente, com 59 estudos, seguido pelo delineamento composto central, identificado em 41. Além da baixa participação relativa dos planejamentos experimentais, sua adoção não apresentou trajetória contínua de crescimento ao longo do período analisado, com oscilações entre os anos. A distribuição das estratégias metodológicas e sua evolução temporal são apresentadas na Figura 1.

Esse padrão é relevante porque a variação isolada de uma condição operacional pode representar inadequadamente o comportamento de sistemas supercríticos, nos quais diferentes fatores interferem simultaneamente nas propriedades do solvente e na transferência de massa. Assim, a elevada frequência de OFAT sugere que parcela considerável da literatura permanece orientada à demonstração de extratabilidade e identificação de condições favoráveis, em vez de à caracterização sistemática das interações entre variáveis.

A comparação entre produção científica e atividade de patenteamento revelou também diferenças nas velocidades de expansão. A constante de crescimento das publicações foi de 0,1664 $ano^{-1}$, enquanto a estimada para as patentes foi de 0,1335 $ano^{-1}$. Os respectivos intervalos de confiança de 95% não apresentaram sobreposição, sustentando uma expansão temporal mais rápida da produção científica, conforme apresentado na Figura 2. Esse comportamento é compatível com uma dinâmica do tipo *science-push*, na qual a geração de conhecimento e a exploração acadêmica de novas aplicações avançam mais rapidamente que o desenvolvimento tecnológico protegido (AHMADPOOR; JONES, 2017). Essa diferença, entretanto, não deve ser interpretada como ausência de utilização industrial da SFE, uma vez que o número de patentes representa apenas uma dimensão da atividade tecnológica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão científica da extração com fluidos supercríticos não tem sido acompanhada, na mesma proporção, pela consolidação de estratégias experimentais multivariáveis e pelo crescimento da atividade de patenteamento. A forte predominância de abordagens OFAT indica espaço para maior incorporação de planejamento experimental e de métodos capazes de caracterizar simultaneamente os efeitos das condições operacionais. A redução da distância entre investigação científica e desenvolvimento tecnológico deverá envolver maior ênfase em otimização multivariável, modelagem de processos, validação em escala piloto e avaliação do desempenho em condições relevantes para aplicação industrial. Esses avanços podem contribuir para transformar resultados promissores obtidos em laboratório em processos mais robustos, escaláveis e tecnologicamente consolidados.

**Palavras-chave:**
extração supercrítica; planejamento experimental; maturidade tecnológica; patentes; desenvolvimento de processos.

## ANEXOS

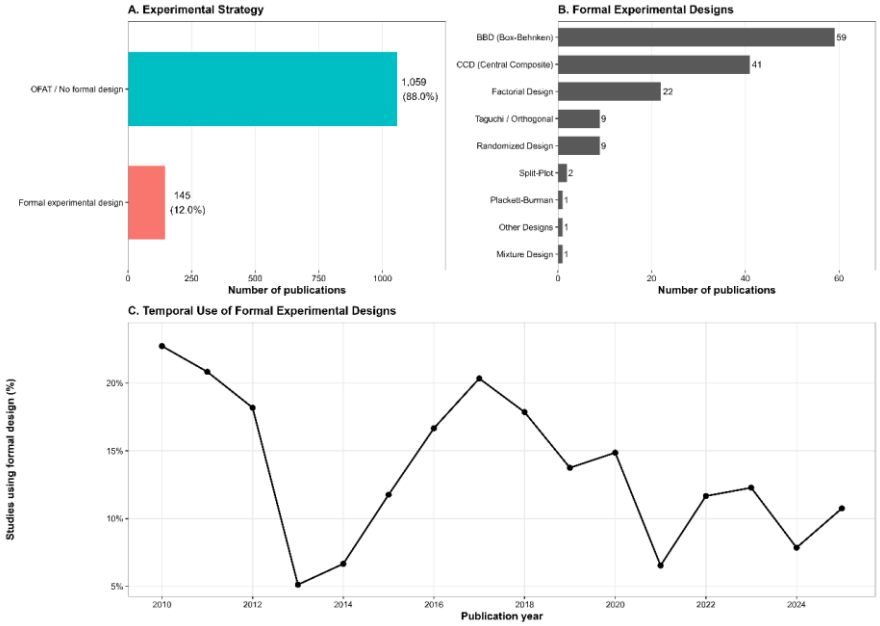



**Figura 1.** *Estratégias experimentais utilizadas em estudos de extração com fluidos supercríticos: (A) OFAT versus planejamento formal; (B) principais delineamentos experimentais; e (C) evolução temporal do uso de planejamento formal.*

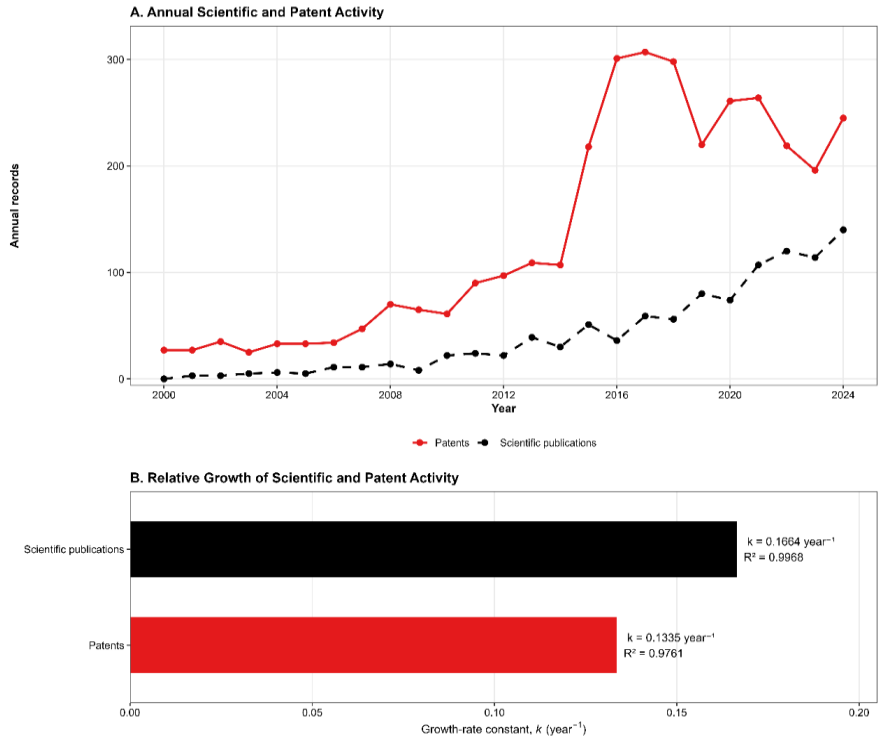



**Figura 2.** *Evolução da produção científica e da atividade de patenteamento em extração com fluidos supercríticos e respectivas constantes de crescimento.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADPOOR, M.; JONES, B. F. The dual frontier: patented inventions and prior scientific advance. *Science*, v. 357, p. 583–587, 2017. DOI: 10.1126/science.aam9527.

DHARA, O.; RANI, K. N. P.; CHAKRABARTI, P. P. Supercritical carbon dioxide extraction of vegetable oils: retrospective and prospects. *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 124, 2200006, 2022. DOI: 10.1002/ejlt.202200006.