



ADSORÇÃO DE CO₂ EM LEITO FIXO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Welliton Nalon Duarte¹, Licianne Pimentel Santa Rosa¹

¹Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil
(welliton.nalon.duarte@gmail.com)

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre a adsorção de CO₂ em colunas de leito fixo. Para tal, definiu-se um período de busca de 10 anos, considerado adequado para contemplar os avanços mais recentes e relevantes na área, garantindo a atualidade das informações analisadas. As buscas foram realizadas em bases de dados amplamente reconhecidas na literatura científica e tecnológica, incluindo o Lens.org, o Google Acadêmico e o ScienceDirect, permitindo abranger tanto publicações acadêmicas quanto documentos técnicos e patentários. A revisão bibliográfica (2015–2025) evidencia avanços em materiais adsorventes, com destaque para biocarvão, e o crescimento da produção científica na área. Apesar do potencial do Brasil, ainda há necessidade de maior incentivo à pesquisa e inovação tecnológica.

Palavras-chave: Adsorção; CO₂; Leito fixo; Biocarvão; Captura de CO₂

INTRODUÇÃO

A crescente concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, dentre eles o dióxido de carbono (CO₂) que compreende 74% das emissões de gases de efeito estufa. A maioria das emissões de CO₂ (89%) é proveniente do uso de combustíveis fósseis, especialmente para geração de eletricidade, calor, transporte, fabricação e consumo. (Ge e Friendrich, 2020). Nesse contexto, a busca por soluções eficazes, sustentáveis e inovadoras para a mitigação das emissões de CO₂ é uma prioridade científica e tecnológica mundial (IPCC, 2018).

Entre as diversas tecnologias de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS), a adsorção em coluna de leito fixo (ou *fixed bed adsorption column*) tem emergido como uma alternativa promissora e pode ajudar a reduzir para zero a emissão de gases do efeito estufa até 2050 (Ibrahim *et al*, 2024). A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos (Nascimento. *et al*, 2014). A eficácia do processo está intrinsecamente ligada à escolha do material adsorvente. As pesquisas recente tem se concentrado intensamente no desenvolvimento de materiais com desempenho superior e menor impacto ambiental.

Nesta revisão de literatura, focaremos na intersecção entre a inovação em materiais adsorventes e a sustentabilidade do processo de separação de CO₂ em colunas de adsorção. Serão examinados os avanços

nos últimos dez anos (período 2015-2025) com o uso de adsorventes de destaque, como as zeólitas e o carvão ativado. O objetivo é, portanto, sintetizar o conhecimento atual, destacando as inovações que promovem a sustentabilidade e os desafios remanescentes na aplicação em larga escala desses sistemas no contexto brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica para esta revisão de literatura foi conduzida com o propósito de identificar e quantificar os estudos mais relevantes e recentes sobre a adsorção de CO₂ em colunas de leito fixo, foco central deste trabalho. O foco da metodologia esteve voltado à inovação, contemplando novos materiais e processos, sendo considerados exclusivamente artigos científicos.

Uma pesquisa inicial de caráter exploratório foi realizada por meio da ferramenta de busca Google.com, utilizando os termos “captura de CO₂”, “CO₂ capture” e “Adsorption”. Essa etapa teve como objetivo a contextualização do tema, permitindo uma compreensão preliminar do estado da arte e contribuindo para o direcionamento da pesquisa bibliográfica que se seguiu.

A busca foi realizada em três bases de dados acadêmicas distintas e gratuitas (Lens.org, Google Acadêmico e ScienceDirect), abrangendo o período dos últimos dez anos (2015–2025). A ferramenta Lens.org foi especialmente escolhida pelas suas ferramentas estatísticas avançadas. Para garantir maior precisão e relevância nos resultados, foi

empregada uma combinação específica de operadores booleanos:

("carbon dioxide" OR "CO2") AND ("adsorption" OR "adsorbent") AND ("fixed bed" OR "adsorption column")

Onde:

- ("carbon dioxide" OR "CO2"): foi utilizado para filtrar artigos que tratam diretamente de CO₂;
- ("adsorption" OR "adsorbent"): assegurou a inclusão de artigos relacionados tanto ao processo de adsorção quanto aos materiais adsorventes;
- ("fixed bed" OR "adsorption column"): direcionou a busca para sistemas específicos, como leitos fixos ou colunas de adsorção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o quantitativo de artigos sobre captura de CO₂ em colunas de adsorção entre 2015 e 2025 nas bases: Lens.org, o Google Acadêmico e o ScienceDirect. Percebe-se que houve um aumento significativo no número de artigos publicados nos últimos anos, o que também reflete a crescente urgência global em combater as mudanças climáticas. Após acordos internacionais e o estabelecimento de metas de descarbonização, observa-se uma intensificação da pressão política e social para o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) (IPCC, 2018).

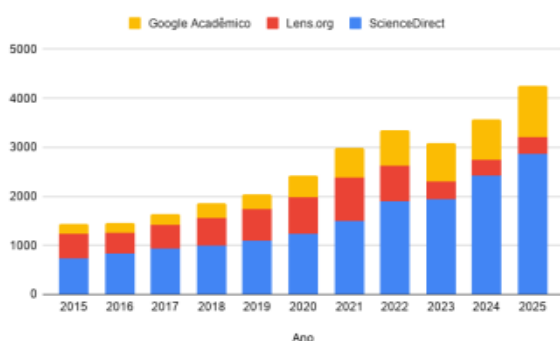


Figura 1. Artigos sobre captura de CO₂ em colunas de adsorção entre 2015 e 2025.

De acordo com Patel (2019), o uso de colunas de leito fixo em processos de adsorção apresenta diversas vantagens que justificam sua ampla aplicação em escala laboratorial e industrial. Esse sistema permite o tratamento contínuo tanto de efluentes quanto de gases de efeito estufa, garantindo contato constante entre o adsorvente e a substância a ser purificada, o que resulta em maior eficiência na

remoção de contaminantes. Além disso, as colunas de leito fixo são caracterizadas por projeto simples, baixo custo operacional e facilidade de automação e controle, tornando-se economicamente viáveis. Spitoni et al. (2019) e Karimi et al. (2024) destacam, ainda, a possibilidade de regeneração e reutilização do material adsorvente como uma vantagem relevante, contribuindo para a redução de custos e impactos ambientais. O método também se destaca pela baixa geração de resíduos e pela versatilidade na remoção de diferentes tipos de poluentes. Outro fator importante a ser considerado nesse crescimento é a maturação e a inovação tecnológica na área de adsorção (Yang et al., 2025).

Yaumi; Bakar; Hameed (2017) afirmam que as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO₂), são as principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Entre as tecnologias propostas para reduzir essas emissões, destaca-se a captura de CO₂ pós-combustão, devido à sua flexibilidade e fácil adaptação a sistemas existentes. Dentre os métodos disponíveis, a adsorção tem se mostrado uma alternativa promissora por apresentar baixo custo, cinética rápida e menor consumo energético em comparação à absorção química. O desempenho desse processo depende fortemente das propriedades do adsorvente, como área superficial e estrutura de poros.

Nesse contexto, materiais à base de carbono, como o biocarvão, têm atraído grande interesse devido à sua alta capacidade de adsorção, baixo custo e facilidade de regeneração. O uso de precursores de biomassa, como a casca de coco, associado a fontes de nitrogênio como a glucosamina, permite a obtenção de carvões ativados sustentáveis e eficientes para a captura de CO₂, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias limpas e economicamente viáveis. Outros estudos na literatura também exploram o desenvolvimento de novos materiais adsorventes. Por exemplo, Huang et al. (2025) analisaram a produção de biocarvão para aplicação em colunas adsorventes, utilizando casca de semente de canola como precursor por meio de pirólise lenta, obtendo resultados promissores para a adsorção de dióxido de carbono. De forma semelhante, Mrosso; Mecha; Kiplagat (2024) demonstraram com sucesso o uso de cal derivada de resíduos de casca de ovo na purificação de biogás em um sistema de leito fixo, alcançando elevada eficiência na remoção de CO₂.

A Figura 2 mostra a distribuição da Produção Científica em Captura de CO₂ em Colunas de Leito Fixo por País/Região utilizando as ferramentas estatísticas do Lens.org. Apesar de sua base de dados mais limitada em comparação com outras plataformas, foi possível visualizar graficamente a distribuição da produção científica e tecnológica por



país. A análise indica que o Brasil ocupa a 15ª posição no ranking mundial de publicações relacionadas à adsorção de dióxido de carbono (Figura 2). Esse posicionamento revela que o país possui participação relevante, porém ainda modesta, quando comparado às nações líderes na área, como China, Estados Unidos e países da União Europeia, que concentram a maior parte dos investimentos e da produção científica em tecnologias de captura de carbono.

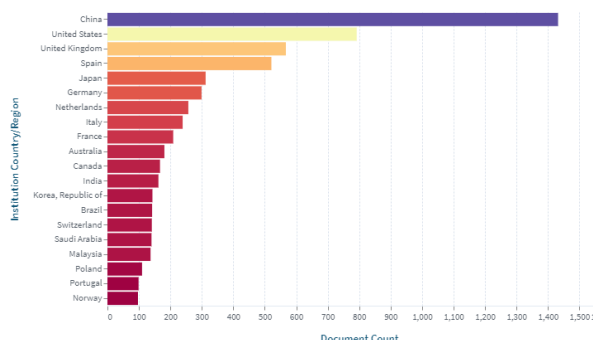


Figura 2. Distribuição da Produção Científica em Captura de CO₂ em Colunas de Leito Fixo por País/Região (Fonte: Lens.org).

Assim, a análise dos dados obtidos no Lens.org sugere que, embora o Brasil apresente potencial significativo na área de adsorção de CO₂, especialmente devido à sua elevada disponibilidade e diversidade de biomassa (Anjum, 2024) e à crescente demanda por soluções sustentáveis, ainda há espaço para o fortalecimento de políticas de incentivo à pesquisa, ampliação de colaborações internacionais e estímulo à inovação tecnológica, com o objetivo de melhorar sua posição no cenário global de captura e mitigação de emissões de carbono.

CONCLUSÃO

A revisão da literatura evidenciou uma crescente urgência global no desenvolvimento de tecnologias voltadas à captura de CO₂ refletida no aumento expressivo de publicações científicas ao longo dos últimos anos. Nesse contexto, destaca-se que a produção de biocarvão como material adsorvente para o preenchimento de colunas de leito fixo representa uma alternativa promissora, porém ainda em expansão no meio científico. Da mesma forma, o desenvolvimento de novos métodos de operação, otimização e aplicação de colunas de adsorção para captura de CO₂ ainda apresenta significativo potencial de crescimento, indicando que a área permanece aberta a inovações tanto em termos de materiais quanto de processos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPITEC pela concessão da bolsa de pesquisa, fundamental para o desenvolvimento deste

trabalho, e à AGITTE pelo apoio institucional e incentivo às atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANJUM, M. 15 Countries that Produce the Most Biomass Energy in the World. Disponível em: <https://finance.yahoo.com/news/15-countries-produce-most-biomass-181633817.html>

GE, M.; FRIEDRICH, J. 4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor. www.wribrasil.org.br

, 28 fev. 2020.

HUANG, Q. et al. Preparation of an adsorbent derived from canola hull by slow pyrolysis for effective carbon dioxide adsorption. *Canadian Journal of Chemistry*, v. 103, n. 6, p. 293–306, 1 jun. 2025.

IBRAHIM, S.; HAMEED, B. H.; ALMOMANI, F. A. Review on recent progress in post-combustion carbon dioxide capture using carbonaceous and non-carbonaceous materials in fixed-bed adsorption column. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, p. 114952, 28 nov. 2024.

IPCC. Chapter 1 — Global Warming of 1.5 °C. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-1/>

KARIMI, M. et al. Carbon dioxide separation and capture by adsorption: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 21, n. 4, p. 2041–2084, 16 mar. 2023.

MROSSO, R.; MECHEA, A. C.; KIPLAGAT, J. Performance evaluation of calcined eggshell waste (sorbent) for biogas upgrading: adsorption isotherms, adsorption kinetics, and fixed bed studies. *Environmental Challenges*, v. 16, p. 100961, ago. 2024.

NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

PATEL, H. Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review. *Applied Water Science*, v. 9, n. 3, 16 mar. 2019. Não enumere as referências.