

ANÁLISE DA ADSORÇÃO CONTÍNUA DE CO₂ UTILIZANDO BIOCARVÃO

Rafael Tanios Fanganiello Zagni Abi Chedid ¹; Armando Zanone ²

¹ Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *Diversas formas de mitigar os impactos dos gases de efeito estufa na vida humana têm sido estudadas nos últimos anos. Uma das soluções identificadas foi a captura de CO₂, da atmosfera por meio de carvão ativado. Os objetivos do trabalho eram analisar a eficiência da adsorção, em um bagaço de cana seco, verificar se uma corrente diluída com ar prejudicaria a adsorção do gás, e também constatar a influência de substâncias adsorventes na porosidade e na capacidade de adsorção do biocarvão. O carvão foi obtido a partir da pirólise de bagaço de cana a 750°C por uma hora, seguida pela ativação da estrutura do carvão resultante a 850°C por duas horas. Ao comparar os dados de adsorção por carvão ativado e por bagaço de cana seco, verificou-se que a adsorção com bagaço de cana seco não é eficiente. Analisou-se o efeito da ativação do carvão, com NaOH e com H₃PO₄, no processo de captura do gás. Constatou-se que a ativação torna a estrutura do carvão mais compacta, permitindo um melhor aproveitamento do espaço e aumento no rendimento do processo, com elevação de até 500 % na captura de CO₂. Por fim, verificou-se que uma corrente diluída com ar compromete o processo de adsorção de CO₂ puro, levando ao comprometimento total do rendimento desse processo.*

Introdução

Desde o final do século XX, o aquecimento global se consolidou como um dos principais desafios ambientais enfrentados pela humanidade. Este fenômeno, é caracterizado pelo aumento da temperatura média do planeta, impulsionado pela crescente emissão de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO₂). A intensificação dessas emissões, principalmente devido às atividades industriais e ao uso de combustíveis fósseis, tem acelerado o processo de mudanças climáticas, que traz consequências diretas à vida humana e aos ecossistemas naturais.

De acordo com dados do *Global Carbon Project*, por volta de 52,74 % das emissões globais de CO₂ ocorreram após 1990 (BBC, 2021). No ano de 2020, com o início da pandemia, estes números tiveram um pequeno alívio. Segundo o *Projeto de Carbono Global*, do *Future Earth*, a interrupção parcial das atividades industriais fez com que ocorresse uma diminuição de 2,4 bilhões de toneladas de CO₂ liberados na atmosfera (REVISTA GALILEU, 2020). No entanto, essa mudança foi algo estritamente temporário. Dados da Agência Internacional de Energia (IEA) mostraram que a queda nos valores de emissão de poluentes teve uma vida breve, haja vista que, em dezembro de 2020, as emissões globais relacionadas à energia foram 2 % maiores do que no mesmo mês do ano anterior (CNN, 2021).

A partir de então, a emissão de gases estufa voltou a escalar de forma exponencial. Segundo a agência da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2022, as concentrações médias globais de CO₂, o gás de efeito estufa mais abundante na Terra, ultrapassaram em mais de 150 % os níveis da era pré-industrial (iniciada a partir de 1750), alcançando o pico histórico de 417,9 ppm (G1, 2023).

Diante desse cenário, torna-se cada vez mais urgente o desenvolvimento de tecnologias eficientes para capturar e reduzir as concentrações de CO₂ na atmosfera. Um desses métodos é a adsorção, que consiste na adesão de moléculas de gás, chamado de adsorvido, a superfícies sólidas, o adsorvente.

Um dos adsorventes mais conhecido e usado na indústria química é o carvão ativado. Este pode ser obtido pela pirólise e posterior ativação de diversos materiais orgânicos, como o bagaço de cana-de-açúcar e casca de coco. Estudos indicam que o bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto abundante da indústria sucroalcooleira, apresenta maior eficiência do que a casca de coco, o que torna uma alternativa viável e sustentável. De acordo com ensaios experimentais, o bagaço de cana-de-

açúcar adsorve 3,29 mmol de CO₂/g de carvão, enquanto a casca de coco adsorve 2,54 mmol/g (Tanios e Zanone, 2022).

Levando isso em consideração, os objetivos principais deste estudo incluem um levantamento sobre a eficiência da adsorção de CO₂ em bagaço seco, comparando seu desempenho com o de biocarvão ativado, além de uma análise detalhada da eficiência da adsorção de CO₂ em biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar, utilizando gás carbônico puro e uma corrente diluída com ar. Por fim, o trabalho avaliará a influência de substâncias ativadoras do carvão na porosidade e na capacidade de adsorção do carvão ativado.

Material e Métodos

Antes que a adsorção propriamente dita possa ser realizada, foi necessário realizar uma série de processos para o bagaço da cana-de-açúcar se transformar em carvão ativado. Primeiramente, de modo a retirar o máximo possível de umidade, este foi colocado em uma estufa, a 105 ° C, por 12 horas. Após todo o líquido ter evaporado, os pedaços de bagaço foram triturados até se tornarem pó, para que a superfície de contato entre o adsorvente e o CO₂ pudesse ser aumentada, melhorando a eficiência do processo.

Então, o pó resultante foi realocado para uma panela e dois cilindros, ambos de ferro, que, por sua vez, foram colocados em uma mufla, um aparelho responsável pela carbonização do bagaço e conectado a um sistema de exaustão externo, para evitar o vazamento de gases durante o processo. Nesse aparelho, a temperatura foi elevada, primeiramente, a 750 °C, para que ocorresse, por uma hora, a pirólise do bagaço em pó. Após esse período, aumentou-se a temperatura para 850 °C, e assim o carvão foi ativado, por mais 2 horas.

Com o carvão ativado produzido, foi possível realizar o processo de adsorção propriamente dito. Para isso, encheu-se um cilindro vazio, cujos volume e dimensões eram, respectivamente, 248 ml, 25,1 cm de comprimento e 3,55 cm de diâmetro, com o adsorvente. Este aparelho possui uma abertura, em uma das bases, que permite a entrada de CO₂. Com isso, o cilindro pôde ser conectado a uma bomba peristáltica para controle da vazão de entrada do gás. Este, por sua vez, ficou conectado, ao mesmo tempo, à saída do cilindro e a um tanque grande cilíndrico de CO₂ puro, o que possibilitou a circulação do gás carbônico, saindo do tanque, circulando pelo aparelho de vazão, depois chegando ao cilindro menor, ocorrendo o contato entre adsorvente e adsorvido.

Figura 1 – Cilindro onde acontece a captura de CO₂



Fonte: Autor, 2024

A figura 1 mostra o cilindro que foi utilizado para captura de gás carbônico. Para a realização dos testes, transferiu-se uma vazão constante de 1 L/min, por 10 minutos, do cilindro maior que continha o gás em questão, e isto fazia com que a pressão interna (bar) do cilindro menor aumentasse. Este aumento da pressão interna era controlado por um manômetro, que se encontrava na extremidade do cilindro.

Para analisar a influência de substâncias de ativação (abertura dos poros) do carvão na porosidade e conseqüente adsorção dele (Exemplo: ácido fosfórico e hidróxido de sódio), foi necessário colocar o carvão produzido na mufla, por 12 horas, em solução aquosa de H₃PO₄ em 30 % de concentração

(solução ácida) e de NaOH em 30 % de concentração (solução básica). Os dois processos foram realizados de forma separada, para efeitos de comparação, e após ambos, foi necessário colocar o carvão ativado em uma estufa, sem circulação de ar, a 105 °C, por mais 24 horas.

Para realizar a análise da porosidade, foi utilizado o microscópio eletrônico MEV, que forneceu imagens ampliadas em até 10 000 vezes.

Para testar se a passagem de uma corrente de ar dificulta o processo de adsorção de CO₂, utilizou-se uma válvula em “T”, que permitiu que fossem levados ao cilindro, ao mesmo tempo, corrente de ar e CO₂ puro misturados. A figura 2 mostra o esquema dos equipamentos utilizados para realizar este teste.

Figura 2 – Equipamentos utilizados para testar a influência da passagem de mistura de ar, na adsorção de gás carbônico



Fonte: Autor, 2024

Resultados e Discussão

Com as dimensões do cilindro de adsorção medidas, calculou-se o quanto de CO₂ poderia ser capturado dentro do cilindro, caso este estivesse completamente vazio. Estes dados podem ser encontrados na tabela 1. Considerando a pressão interna do sistema 3 bar, teríamos cerca de 0,132 g de CO₂ armazenada. Nessa mesma condição, realizando adsorção, com vazio constante, tendo bagaço de cana puro como adsorvente, obtivemos 0,17 g adsorvida do gás. Isso evidencia que o bagaço puro não é um bom adsorvente.

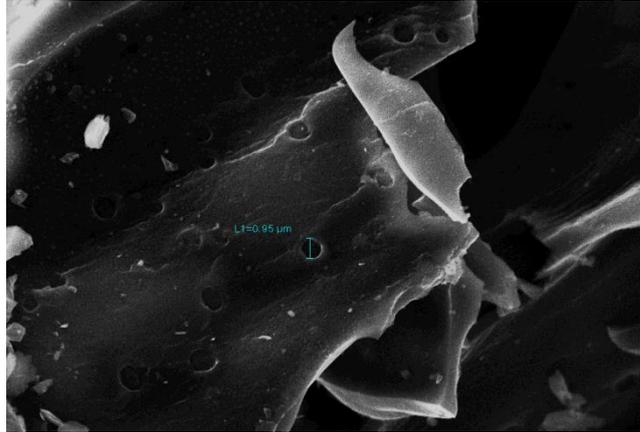
Tabela 1 – Valores da massa de CO₂ armazenada no cilindro, em função da pressão interna

Pressão interna (bar)	Massa de CO ₂ (g)
1	0,044
2	0,088
3	0,132
4	0,176
5	0,220

Fonte: Autor, 2024

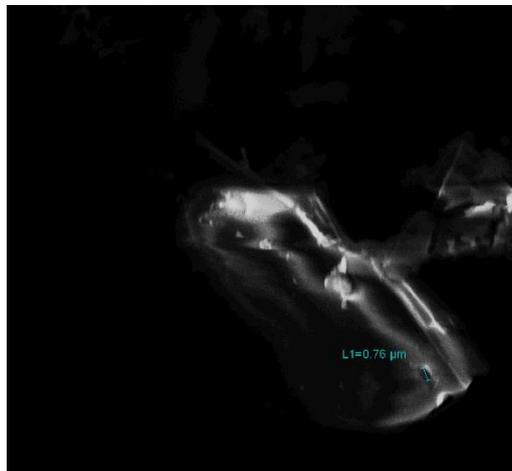
Após a análise das imagens fornecidas pelo Microscópio eletrônico MEV, da estrutura interna do carvão não ativado, ativado por ácido, e ativado por base (Figuras 3, 4 e 5, respectivamente), pôde-se perceber que quanto maior a porosidade do carvão, ou seja, quanto mais desobstruídos os poros do carvão estiverem, maior é a quantidade de CO₂ adsorvida.

Figura 3 – Estrutura interna de um carvão não-ativado (Ampliação 10000 vezes)



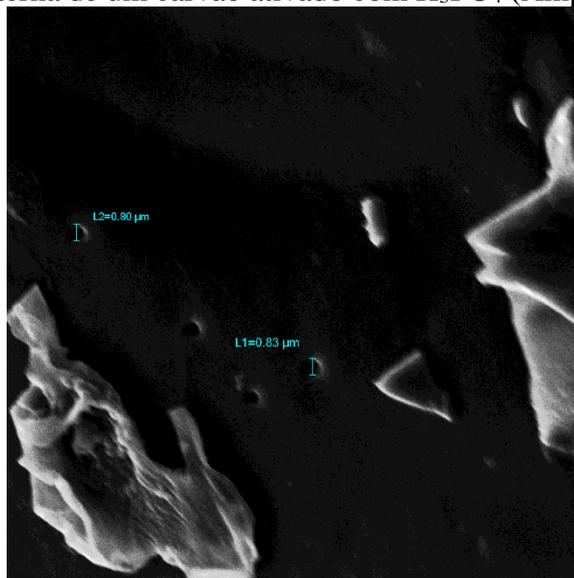
Fonte: Autor, 2024

Figura 4 – Estrutura interna de um carvão ativado com NaOH (Ampliação 10000 vezes)



Fonte: Autor, 2024

Figura 5 – Estrutura interna de um carvão ativado com H_3PO_4 (Ampliação 10000 vezes)



Fonte: Autor, 2024

Tabela 2 – Diâmetro do poro, massa de carvão armazenada no cilindro e massa de CO₂ adsorvida, em função do tipo de carvão

Tipo de carvão	Massa de carvão no cilindro (g)	Massa de CO ₂ adsorvida(g)	Diâmetro do poro (µm)	Quantidade de CO ₂ , por grama de carvão (mmol/g)
Não-ativado	10,03	0,8	0,95	0,181
Ativado com ácido	20,09	1,52	0,83	0,172
Ativado com base	34,97	4,22	0,76	0,274

Fonte: Autor, 2024

Após a análise das imagens fornecidas pelo Microscópio eletrônico MEV, da estrutura interna do carvão não ativado, ativado por ácido, e ativado por base (Figuras 3, 4 e 5, respectivamente), pôde-se perceber que quanto maior a porosidade do carvão, ou seja, quanto mais desobstruídos os poros do carvão estiverem, maior é a quantidade de CO₂ adsorvida.

Com os dados da Tabela 2, também constatou-se que a ativação do carvão diminui o tamanho dos poros dele, e este processo provoca desobstrução dos poros, aumentando a superfície de contato entre o CO₂ e o carvão, o que aumenta a massa de gás adsorvida.

Além disso, pôde-se perceber que a ativação do carvão torna a estrutura dele mais compacta, o que faz com que, para um mesmo volume a ser preenchido, possa-se colocar uma quantidade maior de massa de carvão, aumentando a captura de CO₂. Um exemplo é o que aconteceu com a ativação do carvão com base, em que pudemos aumentar a massa armazenada em aproximadamente 3,5 vezes, que resultou em uma massa 5 vezes maior de carbono adsorvido. Para esse caso, notou-se também que houve uma grande variação de temperatura (esta chegou a quase 70 °C) do cilindro, o que indicou uma grande quantidade de energia liberada no processo de adsorção.

Após os testes com carvão ativado, verificou-se se a passagem de corrente de ar poderia atrapalhar o processo de captura de gás carbônico, pelo carvão (equipamento figura 2).

Percebeu-se que, para as mesmas condições de realização do teste com emprego exclusivo de CO₂, a pressão da corrente de ar transmitida ao cilindro era muito grande, o que fez com que a mangueira que conecta a nossa bomba de ar ao cilindro estourasse com aproximadamente metade (4 min 30 s) do tempo de ensaio padrão (10 min).

Para esse ensaio, obteve-se aproximadamente 0,38 g de CO₂ adsorvida, que representa metade daquilo obtido no ensaio sem interferência da corrente de ar externa (0,80 g).

Conclusões

De acordo com os dados apresentados, pôde-se chegar à conclusão de que realizar adsorção de CO₂ com bagaço de cana-de-açúcar seco é algo ineficaz, e representa um desperdício de matéria e de espaço, sendo inclusive mais eficaz a captura de gás carbônico em um cilindro vazio.

Também conseguimos notar que a ativação do carvão é um processo extremamente eficiente na captura do gás, visto que, além de diminuir o tamanho dos poros do carvão, permite um melhor aproveitamento para um mesmo espaço de captura disponível, deixando a estrutura do carvão mais compacta, aumentando a massa deste produto que possa ser colocada no cilindro.

Por fim, comprovou-se que uma corrente de ar externa compromete o processo de captura de CO₂ puro. Por mais que não se tenha conseguido realizar o teste nas condições ideais de comparação (tempo de 10 minutos), pôde-se perceber que a captura de gás foi diminuída pela metade, com a presença da passagem de ar “intruso”.

Embora tenha havido problemas na realização deste teste, pois o volume do cilindro não suportava pressões muito elevadas, conseguiu-se comprovar o efeito da passagem de ar na captura de CO₂ puro, que era um dos pontos principais do projeto.

Referências Bibliográficas

BBC NEWS (Desconhecido). CO₂: os gráficos que mostram que mais da metade das emissões ocorreram nos últimos 30 anos. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520>. Acesso em: 05 ago. 2024.

CARDOSO, Mayara. Adsorção. 2020. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/adsorcao/>. Acesso em: 05 ago. 2024.

CHEDID, G. T. F. Z. A. ; ZANONE, ARMANDO . Produção de Carvão Ativado a Partir de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Casca de Coco. In: 14.º Seminário Mauá de Iniciação Científica, 2022, São Caetano do Sul. Anais do 14.º Seminário Mauá de Iniciação Científica, 2022.

CHEDID, G. T. F. Z. A. ; ZANONE, ARMANDO . Produção de carvão ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar. In: 22º Congresso Nacional da Iniciação Científica, 2022, São Paulo. Anais CONIC-SEMESP 2022, 2022.

KOTTASOVÁ, Ivana (ed.). Queda das emissões de gases estufa durante a pandemia está quase sendo revertida. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/queda-das-emissoes-de-gases-estufa-durante-a-pandemia-esta-quase-sendo-revertida/>. Acesso em: 05 ago. 2024.

PEIXOTO, Roberto (ed.). Gases de efeito estufa atingem novo recorde, e impactos climáticos aumentam, alerta ONU: agência das nações unidas publicou relatório apontando que a concentração de dióxido de carbono (co₂) e metano (ch₄) atingiram níveis sem precedentes no último ano.. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/11/15/gases-de-efeito-estufa-atingem-novo-recorde-e-impactos-climaticos-aumentam-alerta-onu.ghtml>. Acesso em: 05 ago. 2024.

REDAÇÃO GALILEU (Desconhecido). Revista Online (ed.). Emissões de CO₂ caíram em 2,4 bilhões de toneladas devido à pandemia. 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2020/12/emissoes-de-co2-cairam-em-24-bilhoes-de-toneladas-devido-pandemia.html>. Acesso em: 05 ago. 2024.