

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CASCA DE CÔCO

Gabriel Tanios Fanganiello Zagni Abi Chedid¹; Armando Zanone²

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

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *O meio ambiente ganhou relevância nos últimos anos, sendo a redução da emissão de CO₂ um dos focos, devido à sua alta emissão. Devido aos altos custos de adsorventes desse gás, como as zeólitas, procurou-se produzir carvão ativado, que além de substituir materiais mais caros, daria destino para resíduos com a mesma adsorção de CO₂, sendo necessária uma análise de custos comparando com processos tradicionais. Assim, utilizou-se bagaço de cana-de-açúcar e casca de coco como fonte de carbono na produção de carvão ativado. Realizou-se a pirólise da biomassa em mufla a 750 °C sem controle de atmosfera inerte e ativação a 850 °C, utilizando uma panela de ferro fechada, reduzindo o contato da biomassa com oxigênio. Produziu-se carvão a partir do bagaço de cana e da casca de coco, em lascas e triturados, e com tempos de exposição diferentes. O carvão produzido apresentou uma aparência porosa, característica desejada para a adsorção. O melhor resultado para a adsorção ocorreu para o bagaço de cana triturado, carbonizado por 1 h e ativado por 2 h, sendo resfriado lentamente por 24 h, chegando a 3,29 mmol de CO₂/g de carvão ativado e para a casca de coco, o melhor resultado foi com ela triturada, carbonizada e ativada por 3 horas, apresentando 1,28 mmol de CO₂/g de carvão ativado.*

Introdução

As atividades econômicas mundiais ainda se baseiam em demasia nos combustíveis fósseis. De acordo com a Agência Internacional de Energia, em 2021, 36,5 bilhões de toneladas de CO₂ foram emitidas no ar, superando os níveis de pré-pandemia, em 2019 (Revista Galileu, 2022). Ainda, segundo relatório feito pela ONG Greenpeace, em 2021, estima-se que a poluição ambiental é responsável por um dano no Produto Interno Mundial de 3,3 %, ou seja, mais de 2,9 trilhões de dólares, além de causar 6,7 milhões de mortes no ano de 2019 (Revista Exame, 2020). Por isso, atualmente, muitos pesquisadores estão focados em desenvolver novos produtos, mais baratos e eficientes, com o objetivo de mitigar a poluição. Entre eles, está o carvão ativado, material poroso capaz de adsorver gases poluentes, mitigando a crise climática. Os estudos para a produção desse material estão focados em produtos como biomassa e plásticos, o que está aliado a avaliação do ciclo de vida (LCA) dos materiais.

A adsorção é um processo que ocorre quando partículas líquidas ou gasosas ficam retidas nas superfícies de sólidos (Toda Matéria, 2017) Assim, a captura do CO₂ por meio de processos adsorptivos é uma técnica promissora. O adsorvente ideal deve ser seletivo para CO₂, e ter grande capacidade de adsorção e ser de fácil regeneração. Além disso, um dos adsorventes em potencial é uma zeólita, chamada de ZIF-8, que está sendo muito estudado pelos cientistas, mas tem o problema de ele ser caro (WU et al., 2015). Dentre os trabalhos sobre carvão ativado, destacam-se: o uso de bagaço de cana, cuja adsorção razoável é entre 1,10 mmol a 4,80 mmol de CO₂ adsorvido por grama de carvão ativado (Guo et al, 2019); casca de coco como matéria-prima, a qual tem adsorção ideal de 3,9 mmol/g (Jaroniec et al, 2013); resíduos de plásticos, os quais conseguem uma adsorção de 1,31 mmol/g (Kaur et al, 2019). Os valores de adsorção, nos três processos, referem-se à temperatura de 25 °C. Geralmente, os processos de fabricação de carvão ativado utilizando biomassa são realizados em estufas com recirculação de atmosfera inerte (N₂) tanto nas etapas de carbonização como ativação. Neste trabalho, propõe-se a produzir carvão ativado utilizando biomassa em um

sistema sem recirculação de atmosfera inerte, em um recipiente que reduza a entrada de O₂ e de outras partículas, além de poder ser reutilizado, em um processo mais econômico.

Material e Métodos

Primeiramente, a cana-de-açúcar foi moída de modo a remover todo o caldo e restar apenas o bagaço da cana. Este último foi seco em uma estufa (da marca Nova Ética, versão CTC-033) por 12 horas a 105 °C. Em seguida, ela foi dividida em duas amostras, uma em pedaços com cerca de 15 cm de comprimento e outra triturada, em um moinho de facas (da marca SP Labor) até pedaços com no máximo 1 cm de comprimento. Após isso, o bagaço seco foi colocado no interior de uma panela de ferro de 2,5 L (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e inserida na mufla (Figura 2) para o processo de carbonização por 1 hora, à 750 °C e ativação do carvão por 2 horas à 850 °C. Argamassa refratária foi passada ao redor da tampa para melhorar a vedação.

Figura 1- Panela de ferro de 2,5 L



Figura 2- Mufla Brasimet K-250 e exaustor utilizados na carbonização



De modo a evitar que gases gerados na pirólise ou combustão contaminassem o laboratório, conectou-se a mufla um exaustor, em que os gases resultantes do processo eram recolhidos por meio de um galão de PET de 5 L conectado ao exaustor por meio de tubulações de PVC. Após o uso da mufla, deixou-se o produto resfriar naturalmente por 24 horas, devido à alta temperatura no interior desse equipamento.

O rendimento na produção de carvão foi determinado gravimetricamente a partir das medições das massas antes e após o processo de fabricação do carvão ativado utilizando uma balança semi-analítica, da marca Mettler Toledo e modelo PB3002-S.

O processo de adsorção foi realizado em garrafas PET de 2,0 L (Figura 3), preenchendo-as com carvão ativado, que ocuparam de 10 % a 20 % do volume total da garrafa. Utilizou-se gelo seco como fonte de CO_2 para avaliar a capacidade de adsorção do carvão (Figura 4), sendo adicionado o dobro da massa de carvão aproximadamente.

Figura 3- Garrafa PET de 2,0 L



Figura 4- Carvão ativado em contato com o gelo seco



Durante o processo de adsorção a garrafa era agitada manualmente, de tempos em tempos, de modo a garantir o contato entre o carvão ativado e o gelo seco. Também se secava o fundo da garrafa, uma vez que o gelo seco se encontra a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ e ocorre a condensação e congelamento da umidade do ar. O fim do teste era determinado, justamente, quando o fundo da garrafa não apresentasse mais essa condensação de água e não fosse encontrado nenhuma pedra de gelo. A pressão interna da garrafa foi controlada por meio de uma válvula de alívio de pressão (3 bar) e um manômetro (Figura 5), aumentando a segurança do processo.

Figura 5- Válvula de alívio de pressão e manômetro na garrafa



O mesmo ensaio realizado primeiramente com o carvão ativado a partir do bagaço de cana foi realizado para avaliar o carvão ativado formado pela casca de coco. Assim, as cascas de coco foram secas na mesma estufa já mencionada, por 24 horas a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fim de retirar a umidade. Foram separadas duas amostras desse material: uma em pedaços e a outra triturada. Após isso, tais amostras foram carbonizadas e ativadas por 3 horas, a $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, na mufla da Figura 2, dentro da panela de ferro de 2,5 L (Figura 1). Depois desse processo, esperou-se resfriar o material por 24 horas e pesou-se as massas de carvão formado.

Em ambos os testes a capacidade de adsorção do carvão ativado produzido foi realizado gravimetricamente pela pesagem da garrafa com carvão antes e após o processo de adsorção.

Resultados e Discussão

Durante a etapa de produção do carvão ativado, obteve-se um rendimento de 13 % no caso do bagaço de cana triturado e 11 % para a cana em pedaços, evidenciando que, quanto maior a superfície de contato na carbonização, mais carvão ativado é formado no experimento, conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Rendimento do processo de carbonização do bagaço de cana

	Carvão triturado	Carvão em pedaços
Massa de cana usada (g)	74,01	28,05
Massa de carvão formado (g)	9,87	3,13
Rendimento (%)	13,34	11,16

Foi possível notar que a parte externa da amostra de carvão (Figura 6) apresentou uma superfície branca, um indicativo da combustão, ou seja, a reação da cana com o oxigênio já presente dentro da panela ou a possível entrada de oxigênio no interior da panela, fatores que seriam evitados se o processo ocorresse em atmosfera inerte, mas que não prejudicaram os resultados de adsorção. Além do mais, conforme a Figura 7, percebe-se a formação de um carvão ativado com grande porosidade, o que é essencial nesse tipo de produto. Também, percebe-se que a panela sofreu uma oxidação muito forte, devido à alta temperatura, mas que não interferiu no processo.

Figura 6- Carvão ativado a partir da cana triturada



Nos ensaios de adsorção da cana, percebe-se que, se o bagaço de cana estiver bem triturado, o carvão formado adsorve 3,29 mmol de CO₂/g de carvão, mais eficiente do que o bagaço apenas em pedaços, cuja adsorção foi de 2,54 mmol/g, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Comparação das adsorções das amostras de bagaço de cana carbonizada

	Carvão triturado	Carvão em pedaços
Massa de carvão (g)	9,87	3,13
Massa de CO ₂ adsorvido (g)	1,43	0,35
mmols de CO ₂	32,50	7,95
Razão mmol de CO ₂ /g de carvão ativado	3,29	2,54

Figura 7- Carvão ativado a partir da cana em pedaços



No caso do uso da casca de coco, a carbonização foi mais eficiente para o coco em pó, com rendimento de 29 %, maior do que o coco em pedaços, cujo valor foi de 24 %, conforme a Tabela 3. Além disso, ao analisar a adsorção do carvão ativado da casca de coco, conclui-se que a casca triturada forma um carvão que adsorve mais CO_2 , 1,28 mmol de CO_2/g de carvão ativado, sendo mais eficiente do que o carvão formado por pedaços da casca de coco, cuja adsorção foi de 0,27 mmol de CO_2/g de carvão ativado, conforme apresentado na Tabela 4. Entretanto, no caso da casca de coco, a adsorção foi bem menor do que o ideal, que seria de 3,9 mmol de CO_2/g de carvão ativado a 25°C , de acordo com Jaroniec et al. (2013).

Tabela 3- Rendimento do processo de carbonização da casca de coco

	Carvão triturado	Carvão em pedaços
Massa de coco usada (g)	456,52	139,42
Massa de carvão formado (g)	134,55	33,40
Rendimento (%)	29,47	23,96

Tabela 4- Comparação das adsorções das amostras de casca de coco carbonizada

	Carvão triturado	Carvão em pedaços
Massa de carvão (g)	36,67	35,21
Massa de CO_2 adsorvido (g)	2,06	0,42
mmols de CO_2	46,8	9,55
Razão mmol de CO_2/g de carvão ativado	1,28	0,27

Conclusões

Uma das análises que podem ser obtidas após os experimentos é que se deve utilizar o bagaço de cana ou casca de coco bem triturados, ao invés deles em pedaços. Isso está relacionado com a superfície de contato entre o material e o ar, pois quanto maior essa área de contato, melhor a pirólise e mais carvão ativado é formado, aumentando o rendimento e a eficiência do processo de adsorção pelo carvão com maior área superficial. Além disso,

mesmo não usando atmosfera inerte, conseguimos um bom resultado nos experimentos, estando dentro da faixa razoável de adsorção de CO₂ pelo carvão ativado a partir da cana reportado na literatura, apesar de não ter sido obtido um resultado similar para a casca de coco. Como continuidade a este trabalho, sugere-se a avaliação de outras biomassas e a possibilidade de utilizar resíduos plásticos como PET, além de se analisar morfologicamente o carvão ativado, por um microscópio eletrônico de varredura (MEV) e pela área superficial específica (BET).

Referências Bibliográficas

GUO, Yafei *et al.* Porous activated carbons derived from waste sugarcane bagasse for CO₂ adsorption. *Chemical Engineering Journal*, n. 381, p. 1-9, 2019.

JARONIEC, Mietek *et al.* Coconut shell-based microporous carbons for CO₂ capture. *Microporous and Mesoporous Materials*, n. 180, p. 1-4, 2013.

KAUR, Balpreet *et al.* Chemically activated nanoporous carbon adsorbents from waste plastic for CO₂ capture: Breakthrough adsorption study. *Microporous and Mesoporous Materials*, n. 282, p. 1-13, 2019.

Li, Chen *et al.* Zeolitic imidazolate metal organic framework ZIF-8 with ultra-high adsorption capacity bound tetracycline in aqueous solution. *RSC Advances*, n. 5, p. 82127-82137, 2015.

REVISTA EXAME. Poluição do ar custa US\$ 8 bilhões por dia, diz Greenpeace....[S. l.], 12 fev. 2020. Disponível em: <https://exame.com/economia/poluicao-do-ar-custa-us-8-bilhoes-por-dia-diz-greenpeace/?adlt=strict&toWww=1&redig=7F6F1777CB634F47933BD78E9AF1172A>. Acesso em: 25 ago. 2022.

REVISTA GALILEU. Emissão de CO₂ para gerar energia atingiu nível recorde em 2021. [S. l.], 9 mar.2022. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2022/03/emissao-de-co2-para-gerar-energia-atingiu-nivel-recorde-em-2021.html?adlt=strict&toWww=1&redig=F78D2ECD2B454F8AB1C68474D0329A16>. Acesso em: 25 ago. 2022.

TODA MATÉRIA. Adsorção. 21 out. 2017. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/adsorcao/?adlt=strict&toWww=1&redig=3CDBCE49FA124853A3A784D31011344C>. Acesso em: 25 ago. 2022.