

**Nome da autora:** Laura Moraes Brito

**Série em 2025:** 1ª série

**Título da redação:** “Absorção de CO<sub>2</sub>: de Possibilidade à Necessidade”

O conceito “descarbonização”, embora recente, tem ganhado notoriedade em resposta às alarmantes mudanças climáticas – entre elas, o aumento da temperatura global – que ocorrem de maneira antinatural desde a Revolução Industrial, no século XVIII. O conceito em questão pode ser entendido como o processo de diminuição das emissões ou, até mesmo, de retirada de carbono, especialmente em sua forma de dióxido de carbono, ou gás carbônico (CO<sub>2</sub>), da atmosfera terrestre.

Para entendermos sua importância, precisamos antes compreender os termos “efeito estufa” e “aquecimento global”. O primeiro trata-se de um fenômeno natural que consiste na retenção dos raios infravermelhos em forma de calor, emitidos pelo Sol, por moléculas de H<sub>2</sub>O e pelos gases de efeito estufa (GEE) – como CO<sub>2</sub> e metano (CH<sub>4</sub>), por exemplo – na atmosfera. Alguns desses raios se dissipam para a superfície terrestre e para os oceanos, aquecendo-os e, assim, garantindo a manutenção da vida. Já por aquecimento global, entende-se a intensificação do efeito estufa devido a ações antrópicas que liberam GEE, contribuindo, dessa forma, para o aumento da temperatura.

Diante disso, é possível reconhecer o tema da descarbonização como fundamental para a mitigação das catástrofes ambientais, sociais e econômicas provenientes das mudanças climáticas, uma vez que o aquecimento global é fruto, sobretudo, da intensificação das emissões de CO<sub>2</sub>, que corresponde a cerca de 55% do total de liberações de GEE [1]. Veja a realização de um experimento que atesta a influência de CO<sub>2</sub> na retenção de calor (Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3) [2].



*Fig. 1 – Um erlenmeyer foi preenchido por CO<sub>2</sub>, este produzido através da reação de ácido acético e bicarbonato de sódio em outro recipiente, que também produz acetato de sódio e água. Dada a equação: CH<sub>3</sub>COOH (aq) + NaHCO<sub>3</sub> (s) → CO<sub>2</sub> (g) + H<sub>3</sub>CCOONa (aq) + H<sub>2</sub>O (l). Enquanto o segundo erlenmeyer foi preenchido com ar atmosférico, para fins comparativos. Fig. 2 – Agora, ambos têm suas bocas cobertas. Fig. 3 – Com uma lâmpada que emite luz infravermelha (simulando luz solar), os erlenmeyers apresentaram diferentes variações de temperatura: o primeiro, com CO<sub>2</sub>, apresentou uma variação de até 5°C em comparação ao segundo, com 36°C e 31°C, respectivamente.*

No cotidiano, quase tudo que consumimos há, mesmo que indiretamente, a emissão de CO<sub>2</sub>, condição que torna o processo de descarbonização tão complexo. A produção de alimentos, por exemplo, foi responsável pela liberação de mais de 27% do total de GEE – dentre eles, carbono – emitidos em 2023, no Brasil [3]. Ou seja, mesmo sem consciência, estamos indiretamente consumindo carbono. Mas longe de ser só isso: na produção de nossas roupas, nos meios de transporte, construção de edifícios e rodovias, produção de cosméticos e produtos farmacêuticos e, até mesmo, assistir à televisão e mexer no celular contribuem na intensificação das emissões de GEE [4]. Somos dependentes do carbono para sustentar nosso modo de consumo.

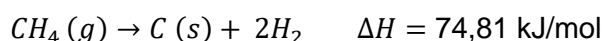
Sob essa ótica, com o intuito de conciliar os interesses humanos com a sustentabilidade, fez-se necessária a intervenção humana no desenvolvimento de novas tecnologias de redução de CO<sub>2</sub> ou, inclusive, de sequestro de carbono da atmosfera, uma vez que a fotossíntese – processo bioquímico natural que, de forma concisa, consiste na retirada de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico, realizada por plantas e algas – não conseguia anular as emissões de carbono, que, por sua vez, acumulavam-se na atmosfera. Atualmente, são estudados e testados múltiplos métodos de descarbonização que envolvem o sequestro de carbono, porém ficaremos a cargo de propor um dentre eles: a **metanação de dióxido de carbono para produção de carbono sólido (NECOC)**.

A reação de metanação de CO<sub>2</sub> envolve a retirada de dióxido de carbono da atmosfera de modo a produzir uma reação com dióxido de carbono e gás hidrogênio, adsorvidos no catalisador, para produzir metano sintético (ou metano elétrico, e-CH<sub>4</sub>) e vapor de água. Segue a equação simplificada da reação, também conhecida como “reação de Sabatier”, e sua entalpia.



Na metanação convencional, o composto produzido – e-CH<sub>4</sub> – seria utilizado como fonte de energia. Apesar de mais sustentável que o metano oriundo de combustíveis fósseis, a utilização do metano sintético ainda acarretaria na intensificação do efeito estufa, visto que ele é capaz de reter até 25 vezes mais calor que o próprio CO<sub>2</sub> [5]. A fim de contornar tal problema, vem sendo desenvolvida uma alternativa: o metano produzido na metanação é submetido à pirólise e, assim, é “quebrado” em hidrogênio e em carbono sólido puro, com variações alotrópicas, como o grafite e o grafeno, que possuem grande utilidade na indústria [6]. Essa metodologia é chamada de Dióxido de Carbono Negativo para Carbono, ou NECOC [7].

A seguir, encontra-se a equação simplificada da pirólise de CH<sub>4</sub> e sua entalpia.



Caso o processo utilize fontes de energia elétrica renováveis e mantenha a regulamentação na extração de estanho, o NECOC é, portanto, uma forte potência na mitigação dos impactos causados pelas emissões de GEE, uma vez que as torna não apenas neutras, mas negativas.

Após uma breve análise teórica quanto a um processo que envolve a captura de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico, agora, iremos aferir dois experimentos químicos de fácil visualização que possuem a mesma finalidade – apesar de em menor escala.

### 1. Absorção de CO<sub>2</sub> por hidróxido de cálcio

Esse experimento consiste a partir da obtenção de CO<sub>2</sub> a partir dos reagentes bicarbonato de cálcio e ácido acético, formando acetato de cálcio, água e gás carbônico. Em outro recipiente,

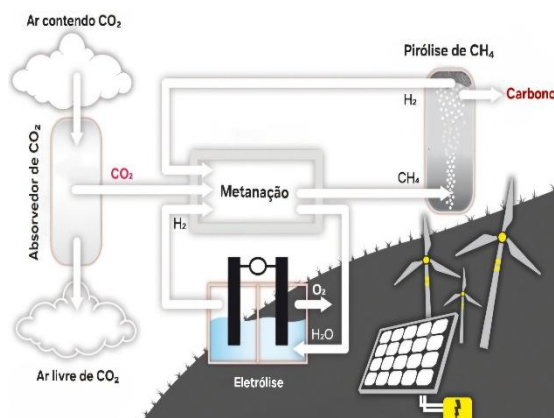


Fig.4 – Esquema simplificado do NECOC. Retirado e traduzido da referência [4].

encontra-se cal diluído em água (hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), que reage com o  $\text{CO}_2$  para produzir carbonato de cálcio, em forma de precipitado, e água. Seguem as equações balanceadas e imagens das reações (Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7) [8]:

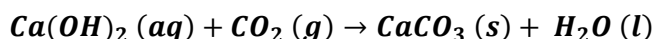
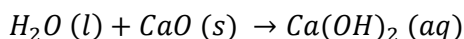
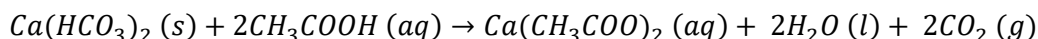


Fig. 5 – No erlenmeyer, há, inicialmente,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e, no béquer,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ambos conectados por um tubo. Fig. 6 – Já tendo adicionado  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ao erlenmeyer, produzindo assim  $\text{CO}_2$ , o gás perpassa pelo tubo e reage com o hidróxido de cálcio. Fig. 7 – Com o passar de alguns minutos, a reação de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{CO}_2$  passa a formar o precipitado  $\text{CaCO}_3$ , resultando na mudança de coloração da substância, antes incolor, para esbranquiçada.

## 2. Captura de $\text{CO}_2$ com hidróxido de sódio

Aqui, há a reação entre o hidróxido de sódio, mais conhecido como soda cáustica, em solução aquosa – liberando, portanto,  $\text{Na}^+$  e  $\text{OH}^-$  – e o dióxido de carbono, formando carbonato de sódio e água. Assim como o experimento anterior,  $\text{CO}_2$  pode ser obtido através da reação entre bicarbonato de cálcio (ou até mesmo bicarbonato de sódio, de fórmula química  $\text{NaHCO}_3$ ) e ácido acético. Seguem as equações e imagens da realização do experimento (Fig. 8, Fig. 9 e Fig.10) [9]:

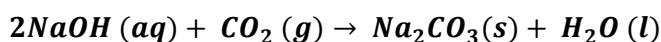
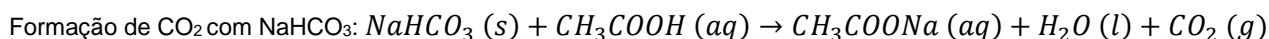


Fig. 8 – No recipiente à esquerda, encontra-se  $\text{NaOH}$  em solução aquosa – ocorrendo dissociação iônica, liberando o cátion  $\text{Na}^+$  e o ânion  $\text{OH}^-$  – e, no recipiente à direita,  $\text{CO}_2$ . Fig. 9 – A soda cáustica é despejada no recipiente com dióxido de carbono, que, então, é fechado. Fig. 10 –  $\text{CO}_2$  é absorvido pela soda cáustica, formando  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , com isso, cria-se um vácuo no recipiente, comprimindo-o.

A partir de uma simples comparação, é fácil perceber que ambas as substâncias que reagem com  $\text{CO}_2$  são hidróxidos, logo, têm caráter básico, e qualquer base é adequada para capturar carbono (umas necessitando mais energia). Quando reagidas com  $\text{CO}_2$  – um óxido ácido –, a reação caracteriza-se como ácido-base, de neutralização, produzindo sal e água. Pode-se inferir, portanto, que reações de neutralização ácido-base são eficientes na absorção de  $\text{CO}_2$ .

Não devemos desconsiderar que há diversos desafios para a implementação de processos semelhantes em larga escala. Assim como o NECOC, a absorção química por meio de reações ácido-base está sujeita a questões como elevados custos, falta de incentivo governamental, geração de subprodutos indesejáveis e possíveis impactos ambientais diretos e indiretos.

Em suma, a descarbonização – com foco ao sequestro de carbono – deixou de ser apenas uma possibilidade; agora, ela é a solução na mitigação dos impactos socioambientais causados pelas mudanças climáticas. Diante disso, o processo de negatização das emissões de carbono NECOC apresenta-se como potencial na redução de gases poluentes. Em paralelo, foram analisados dois experimentos que sintetizam a absorção de CO<sub>2</sub> a partir de reações ácido-base, e, em seguida, foram expostos os desafios na implementação em larga escala desses processos.

Ademais, vale ainda ressaltar que, com a constante busca pelo “progresso” em detrimento da natureza e a expansão do negacionismo científico, abordagens interdisciplinares e acordos geopolíticos tornaram-se mais necessários do que nunca para garantir o sucesso da descarbonização. Outrossim, possibilitar a garantia de manutenção não apenas da vida humana, mas também da vida da fauna e da flora, que estão sendo ameaçadas em virtude do nosso modo insustentável de interagir com a natureza.

## Referências

- [1] SCABIN, Denise. **GASES DE EFEITO ESTUFA – GEE**. 2024. Acesso em 23 de fevereiro de 2025: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/gases-de-efeito-estufa-gee/>
- [2] Cienciabit: Ciencia y Tecnología. **Efecto Invernadero. EXPERIMENTO**. Vídeo, 2014. Acesso em 24 de fevereiro de 2025: <https://www.youtube.com/watch?v=LvdV61Q6otI>
- [3] Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Emissões totais – 1990 a 2023**. Acesso em 23 de fevereiro de 2025: <plataforma.seeg.eco.br>
- [4] BERNERS-LEE, Mike. **The Carbon Footprint of Everything**. Editora Greystone, 2022.
- [5] PORTILLO, Germán. **Gás metano: características, usos, extração e seu impacto no aquecimento global**. 2024. Acesso em 23 de fevereiro de 2025: <https://pt.renovablesverdes.com/metano/>
- [6] **Hidrogênio Turquesa: Produção a partir da pirólise do gás natural**. 2022. Acesso em 23 de fevereiro de 2025: [www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-663/Nota%20Tecnica%20Hidrogenio%20Turquesa\\_12.04.22.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-663/Nota%20Tecnica%20Hidrogenio%20Turquesa_12.04.22.pdf)
- [7] Startupmag. **Klimaschutz: Diese Anlage macht Kohlenstoff aus Luft**. 2022. Acesso em 23 de fevereiro de 2025: [www.startupmag.de/klimaschutz-diese-anlage-macht-kohlenstoff-aus-luft/](http://www.startupmag.de/klimaschutz-diese-anlage-macht-kohlenstoff-aus-luft/)
- [8] **Q7 – Água de cal**. Acesso em 25 de fevereiro: [www.youtube.com/watch?v=5sDT1Nb-3Rk](http://www.youtube.com/watch?v=5sDT1Nb-3Rk)
- [9] **Tank Implosion Caused by Caustic Soda and CO2**. Acesso em 25 de fevereiro: [https://www.youtube.com/watch?v=IUFyCw\\_Nw3g](https://www.youtube.com/watch?v=IUFyCw_Nw3g)