

## A acidificação dos oceanos: há solução?

Após a primeira revolução industrial, que ocorreu no século XVIII, os índices de emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ) e outros gases poluentes aumentaram drasticamente, trazendo inúmeros problemas para o meio ambiente e a vida na Terra. Dentre esses problemas, a mídia enfatiza a exacerbação do efeito estufa e o consequente aquecimento global, os quais ocasionam o derretimento de calotas polares. Entretanto, a emissão de  $\text{CO}_2(\text{g})$  é capaz de causar diversos outros danos aos oceanos, que podem afetar diretamente a sociedade. Devido ao aumento nas emissões antropogênicas de  $\text{CO}_2(\text{g})$ , pós-revolução industrial, ocorre acidificação dos oceanos e, conseqüentemente, causa uma redução no pH dessas águas. Estudos indicam que cerca de 30% das emissões anuais de dióxido de carbono são absorvidos pelos mares e essa absorção é a causa da diminuição do pH, pois uma vez dissolvido na água esse óxido altera o equilíbrio químico. O  $\text{CO}_2(\text{aq})$ , ao entrar em contato com a água ( $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ), origina o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ), que é instável e se dissocia formando íons  $\text{H}^+(\text{aq})$  e íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ ) [1].

Por conseguinte, os íons  $\text{H}^+(\text{aq})$  associam-se aos íons carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) livres no oceano, originando mais  $\text{HCO}_3^-$ , o que, em partes, evita a diminuição do pH da água. Porém, isso ocasiona na menor disponibilidade de  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  para seres marinhos que dependem desse íon para produzir carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3(\text{s})$ ), principalmente como estrutura de sustentação. Além disso, o excesso de  $\text{CO}_2(\text{aq})$  acarreta uma maior quantidade de  $\text{H}^+(\text{aq})$  na água e, não havendo  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  suficiente para se associar, observa-se um aumento na acidez da água. A seqüência de reações químicas é melhor exemplificada abaixo e pela figura 1:

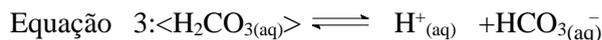
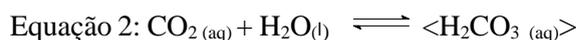
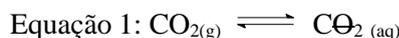
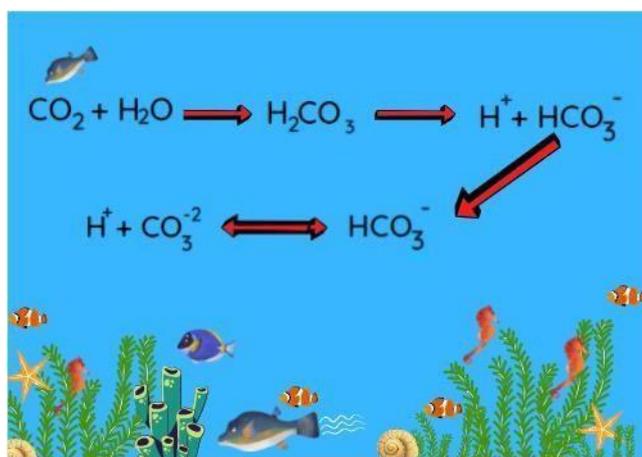


Figura 1:  $\text{CO}_2(\text{aq})$  antropogênico lançado na atmosfera entra em contato com água deixando o oceano mais ácido [2].

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, uma outra reação química ocorre para a formação de íons de bicarbonato, conforme a equação 5:



Para comprovar que o dióxido de carbono causa uma diminuição de pH da água, foi realizado um experimento caseiro com extrato de repolho roxo, pois possui a substância antocianina, que funciona como um indicador ácido-base. O experimento consistiu em fazer o extrato aquoso e distribuí-lo em quatro copos diferentes. No primeiro copo foi adicionado somente o suco para usá-lo como controle de coloração. No segundo foi adicionado “suco” e vinagre para a solução ser ácida, assim, ficou com uma coloração rosa forte. No terceiro copo, através de um canudo, foi soprado gás carbônico no suco, depois de um tempo foi observado que a cor começou a alterar de roxo para um rosa fraco, comprovando que o  $\text{CO}_2(\text{aq})$ , quando em contato com a água deixa o meio ácido, uma vez que a cor do terceiro copo se aproxima do segundo. Em um quarto copo foi adicionado bicarbonato de sódio no extrato para deixar a solução básica, demonstrando um contraponto, e foi observada a mudança para uma coloração esverdeada/azulada. O resultado do experimento pode ser observado na figura a seguir.



Figura 2: Experimento caseiro com suco de repolho roxo para comprovar que o CO<sub>2</sub> causa acidez na água. Fonte: Autor do texto

Cientistas indicam que desde a revolução industrial a acidez dos oceanos aumentou em 30%, isso na escala de pH representa uma diminuição de 0,1, passando de 8,2 para 8,1 (os valores podem variar de localidade e profundidade no oceano). Especula-se que até o final do século XXI pode ocorrer um declínio de até 0,4 unidades de pH. Uma vez que a escala de pH é logarítmica, qualquer pequena alteração pode causar altas variações de acidez ou de alcalinidade.

Devido o aumento da acidez dos oceanos, a água fica mais “corrosiva” e segundo um estudo feito pelos cientistas Stephen Widdicombe e John Spicer em “*Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us?*” dizem que “a acidificação dos oceanos tem o potencial de reduzir a biodiversidade bentônica pelo impacto nos principais processos biológicos deles, como crescimento, respiração, calcificação e taxa de metabolismo”<sup>[3]</sup>, também afirmam que pode afetar o sistema nervoso e o comportamento de alguns animais marinhos.

A acidificação afeta principalmente os animais marinhos conhecidos como calcificadores. São seres que produzem estruturas calcárias (conchas, exoesqueleto, etc), como crustáceos, equinodermos, moluscos bivalves, corais, entre outros. Eles são afetados pelo fato de que, como os íons H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> se associam aos íons

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> acaba gerando uma diminuição da concentração desse ânion, assim ocasiona em um impedimento ou dificuldade na formação de CaCO<sub>3</sub> (s), que é uma molécula importante no processo de calcificação <sup>[1]</sup>. Com isso, os organismos ficarão sem sua devida proteção contra predadores, o que resultará em um decréscimo dessa população ou até mesmo a extinção; por consequência modificará a teia trófica dos oceanos.

Para resolver a acidificação foram propostas várias ideias pela geoengenharia, entre eles um grupo internacional de cientistas realizou uma mistura de soda cáustica e corante, e despejou sobre um recife de corais com o intuito de neutralizar o pH da água. Esse experimento foi realizado durante 22 dias em uma lagoa e averiguou-se um crescimento de 7% dos corais. Entretanto, esse processo em escala global seria inviável, pois exigiria muito dinheiro, recursos, além de que os efeitos no meio ambiente são desconhecidos. Apesar desses efeitos serem desconhecidos, poderia ser útil para salvar recifes de corais que estão em risco eminente.

Outra proposta da engenharia planetária foi a fertilização dos oceanos por meio do despejo de ferro, pois ele aumenta a atividade metabólica do fitoplâncton, ocasionando na realização de mais fotossíntese, assim absorve mais CO<sub>2</sub> (g) da atmosfera e gera um crescimento da população. Com a morte desses microrganismos, o gás carbônico é levado para o fundo do mar, gerando um depósito de CO<sub>2</sub>. Todavia, não é uma alternativa muito boa, visto que a matéria orgânica iria se decompor e o CO<sub>2</sub> seria liberado novamente causando uma acidificação no fundo do mar. Além disso, espécies planctônicas de diatomáceas do gênero *Pseudo-nitzschia* produzem a neurotoxina ácido domóico (C<sub>15</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>6</sub>), que é responsável pelo envenenamento por amnésia em seres humanos <sup>[4]</sup>. Também é necessário ressaltar que, com esse aumento de nutrientes, a população do fitoplâncton se elevaria de maneira pouco seletiva, e, se as algas pirrofíceas forem beneficiadas neste processo, poderia levar a imensas e frequentes ocorrências de marés vermelhas, causando a morte massiva de inúmeros organismos marinhos <sup>[5]</sup>.

O conhecimento da geoengenharia ainda precisa evoluir muito para conseguir chegar em resultados eficientes para a questão da acidificação dos oceanos. É preciso haver mais investimentos e institutos especializados nesse assunto para que consiga resolver o problema. Por isso, o foco das discussões deve ser voltado para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> (g).

É necessário ressaltar que medidas de mitigação dos impactos climáticos como redução da temperatura global e redução nas emissões dos outros gases de efeito estufa não têm efeito sobre o problema da acidificação dos oceanos. A acidificação é causada pelas emissões antropogênicas de  $\text{CO}_2(\text{g})$ , por isso os esforços devem ser voltados para a diminuição nas emissões e no desenvolvimento de tecnologias viáveis para a eliminação de dióxido de carbono da atmosfera.

Atualmente, várias empresas têm se esforçado para retirar o  $\text{CO}_2(\text{g})$  do ar através de métodos químicos, entre eles alguns especialistas do Instituto de Tecnologia de Massachussts (MIT), desenvolveram uma tecnologia que consiste em uma bateria que absorve o dióxido de carbono do ar através de seus eletrodos enquanto é carregada. Tais eletrodos são cobertos pela poliantraquinona, que é composto por nanotubos de carbono, sendo que esse último é importante para aumentar a condutividade dos eletrodos. A captura do  $\text{CO}_2(\text{g})$  ocorre porque os eletrodos possuem uma afinidade natural com ele, assim eles reagem, separando o gás carbônico dos demais gases. E para liberar o  $\text{CO}_2(\text{g})$  “aprisionado” para outro lugar basta descarregar a bateria [6].

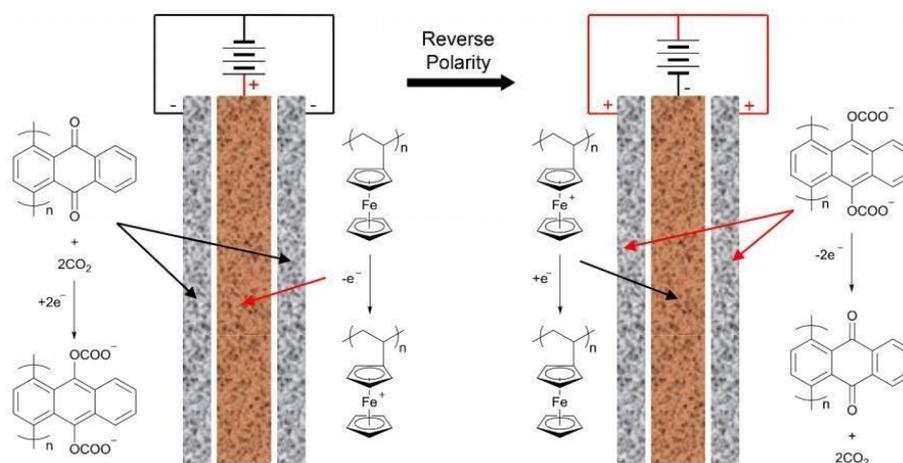


Figura 3: Bateria de poliantraquinona coberta por nanotubos de carbono, que capturam  $\text{CO}_2(\text{g})$  em processo eletroquímico. Fonte: Resumo apresentado no Congresso GHGT-14 [7].

Outra tecnologia desenvolvida para retirar o  $\text{CO}_2(\text{g})$  do ar foi a Captura e Armazenamento de Carbono (CCS, sigla em inglês para Carbon Capture and Storage). Essa técnica pode ser realizada de duas maneiras, ou o  $\text{CO}_2(\text{g})$  é retirado diretamente do ar atmosférico, ou antes dele ser liberado para a atmosfera, sendo necessário separá-lo dos demais gases através de um processo que o transforma do estado gasoso para o líquido. Após o processo, o  $\text{CO}_2(\text{g})$  é levado através de tubulações para reservatórios geológicos com capacidade de armazenar cerca de milhares de gigatoneladas de carbono. A aplicação dessa tecnologia reduziria em torno de 13% da quantidade de carbono da atmosfera até 2050 [8].

Entretanto, as tecnologias existentes são caras e necessitam de muita energia para serem realizadas, e pouco adianta utilizá-las se a humanidade continuar emitindo altos índices de  $\text{CO}_2(\text{g})$ . São tecnologias ainda precisam ser aprimoradas para que sejam viáveis no uso em larga escala. Portanto, torna-se urgente os cortes drásticos nas emissões, dentre elas, as originárias do desflorestamento, da queima de combustíveis fósseis, substituindo carros a gasolina por carros elétricos e incentivando o uso de transporte público; e também buscando alternativas às práticas industriais que liberam muito dióxido de carbono, como acontece na produção de cimentos por exemplo. Essas ações são, de fato, o único meio realmente comprovado para a redução de  $\text{CO}_2(\text{g})$ .

Outra maneira de colaborar para diminuir as emissões é através de mudanças nas matrizes energéticas, uma vez que países como os Estados Unidos, que é a maior economia mundial, possuem um sistema energético baseado no petróleo e gás natural, ocasionando em uma maior liberação de compostos tóxicos ao meio ambiente. Por isso, o ideal seria uma matriz diversificada com um enfoque em fontes renováveis e energia limpa, como a eólica e a solar fotovoltaica. E, além disso, criação e cumprimento de leis e protocolos mais rígidos que forcem os países a mudarem e tomarem as devidas providências, um exemplo disso é o protocolo de Kyoto, que tem como objetivo diminuir as emissões de gases do efeito estufa no planeta, mas é necessário

que seja mais rigoroso e principalmente que tenha a colaboração de todos. Dessa

forma, exige-se como ação global planejamento e incentivos governamentais para que essas mudanças realmente ocorram.

Em suma, a acidificação é um problema sério que não pode ser menosprezado. É necessário que os governantes tomem providências nos cortes de emissão de CO<sub>2(g)</sub> e invistam em tecnologias para a solução desse problema, pois quanto mais postergar, menores serão as chances de conseguir reverter esse panorama no futuro.

### **Referencias:**

1. Hatje, V.;\* da Cunha, L. C.; Costa, M. F. Em: Mudanças Globais, Impactos Antrópicos e o Futuro dos Oceanos. Disponível em:<<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n6a15.pdf>>. Acesso em: 12/01/2021.
2. Figura 1 criada no CANVA, 2012 pelo autor. Disponível em:<[https://www.canva.com/design/DAEV4lEnSXU/J0plpoZlJk2ZAKtOeT\\_Fkg/view?utm\\_content=DAEV4lEnSXU&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=publishsharelink](https://www.canva.com/design/DAEV4lEnSXU/J0plpoZlJk2ZAKtOeT_Fkg/view?utm_content=DAEV4lEnSXU&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=publishsharelink)>. Acesso em: 12/02/2021.
3. Spencer W.; John I. S. Em: *Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us.* Disponível em:<[http://www.gso.uri.edu/merl/ARIR2\\_pdfs/Widdicombe&Spicer\\_2008.pdf](http://www.gso.uri.edu/merl/ARIR2_pdfs/Widdicombe&Spicer_2008.pdf)>. Acesso em: 21/01/2021.
4. Henry Fountain. Em: A Risk of Poisoning the Deepest Wells. Disponível em:<<https://www.nytimes.com/2010/03/16/science/16obiron.html>>. Acesso em: 25/01/2021
5. Magalhães Lana. Em: Maré Vermelha. Toda Matéria. Disponível em:. Acesso em: 21/04/2021.
6. David Chandler. Em: MIT News. Disponível em:<<https://news.mit.edu/2019/mit-engineers-develop-new-way-remove-carbon-dioxide-air-1025>>. Acesso em: 26/01/2021
7. Figura 3 – Resumo apresentado no Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT) conference (GHGT-14), 2018. Voskian, S. and Hatton, T.A. - Faradaic Electro-Swing Reactive Adsorption for Carbon Capture at Low Concentrations. Disponível em: <<https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteuprod/production-ieaghg-public/a929364b4e804b79ad0240518741191d>>. Acesso em 26/02/2021.
8. Equipe eCycle. Em: Técnicas de neutralização de carbono: captura e armazenamento de carbono (CCS). Disponível em:< <https://www.ecycle.com.br/5038-neutralizacao-de-carbono-armazenamento-de-carbono.html>>. Acesso em:13/02/2021

### **Bibliografia**

Disponível em:<<https://www.ecycle.com.br/1382-acidificacao-dos-oceanos>>. Acesso em: 12/01/2021.

Disponível em:<[http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol36No10\\_1497\\_03-NE13524.pdf](http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol36No10_1497_03-NE13524.pdf)>. Acesso em: 12/01/2021.

Disponível em:<<https://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/emissoes-de-co2-deixam-oceanos-mais-acidos-e-podem-levar-especies-a-extincao>>. Acesso em: 16/01/2021.

Disponível em:<<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2010-058.pdf>>. Acesso em: 22/01/2021.

Disponível em:<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/indicadores-acido-base-naturais.htm>>. Acesso em: 13/02/2021

Disponível em:< <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/o-desafio-da-energia/mundo/japao-busca-fontes-mais-seguras/eua-investem-em-eficiencia>>. Acesso em 04/03/2021.

Disponível em:< <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19195/pdf>>. Acesso em 04/03/2021.

Disponível em:< <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/protocolo-kyoto.htm>>. Acesso em 04/03/2021.