

Tecnologias utilizadas para sequestro de dióxido de carbono na atmosfera com o objetivo de minimizar impactos ambientais no ecossistema marinho pela acidificação dos oceanos

A Oceanografia Química é uma área das Ciências do Mar que abrange a medição e a descrição da composição dos elementos e compostos químicos presentes nos oceanos e mares nas fases sólida, líquida e gasosa. Além disso, essa área analisa os impactos das ações antropogênicas nos oceanos e tenta minimizá-las, levando ao desenvolvimento sustentável [1].

Os oceanos cobrem a maior parte da superfície terrestre e ao longo dos anos têm exercido influência no clima de diversas regiões e, apesar de suas grandes dimensões, da quantidade de biomassa e carbono que eles comportam, é importante ressaltar que eles não operam de forma isolada, ou seja, os oceanos interagem com a atmosfera, as geleiras e os continentes. A partir dessas interações, principalmente entre água e atmosfera, ocorrem alterações significativas na água do mar como, por exemplo, o sistema envolvendo dióxido de carbono (CO₂)/água que afeta a composição química da água, a fauna e a flora da região. Assim, análises químicas oceanográficas nos permitem concluir que o oceano passou por diversas mudanças até chegar em sua constituição atual [1]. Essas mudanças, mesmo ocorrendo de forma extremamente lenta, foram responsáveis pela extinção de diversas espécies marinhas que não se adaptaram.

As mudanças aceleradas, devido a ações antrópicas, como poluição pela queima de combustíveis fósseis, emissão exagerada de gases poluentes, descarte inadequado e incineração de lixo e plásticos são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera. Essas emissões têm como uma de suas consequências a acidificação de oceanos.

A partir do gráfico da figura 1 [2], é possível observar, atualmente, que o ambiente marinho está mudando de forma extremamente rápida. Pela análise dos dados fornecidos abaixo, observa-se a variação do pH das águas marinhas de 25 milhões de anos atrás até uma previsão feita para o ano de 2150. Observa-se que em menos de 150 anos, pela previsão desse estudo, o pH variará de 8 para 7,6. Essas mudanças aceleradas ocorrem devido a ações antrópicas, como poluição, mudanças climáticas, emissão exagerada de gases poluentes, descarte de lixo e plásticos no mar e rios, entre outras.

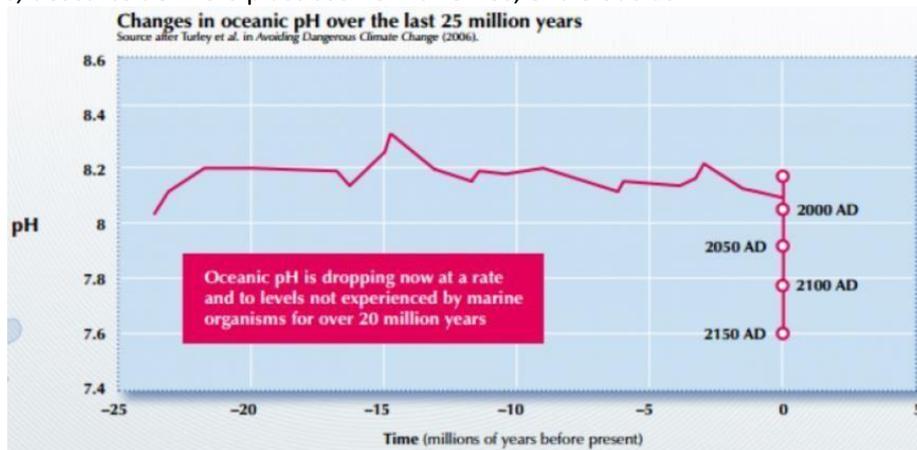


Figura 1 – Mudanças no valor de pH dos oceanos nos últimos 25 milhões de anos [2]

Logo, a emissão exagerada de gases poluentes, principalmente CO₂ que é liberado em diversos processos químicos, é responsável por um problema ambiental chamado acidificação dos oceanos, que consiste na diminuição do valor de pH das águas oceânicas. Essa variação na acidez prejudica espécies de corais e animais com concha formados por estruturas calcárias (CaCO₃) [6].

Uma vez que o cálculo de pH pode ser feito pela expressão $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, observa-se que a variação do pH (imagem 1) de 8 para 7,6 fez com que a concentração de íons H⁺ na água do mar passasse de 10⁻⁸ mol/L para 2,5. 10⁻⁸ mol/L, ou seja, a concentração mais que dobrou em um período menor que 150 anos.

Para discutir a acidificação dos oceanos e técnicas que minimizam esse fator (captura de CO₂), serão analisados e discutidos, respectivamente, os experimentos I [3], II [4] e III [5].

No experimento I [3], adicionou-se em um erlenmeyer (B), água do mar, conchas e algumas gotas do indicador fenolftaleína. Em outro erlenmeyer (A), foi adicionado solução de ácido acético (ácido carboxílico fraco que apresenta fórmula CH₃COOH e Ka = 1,74.10⁻⁵). Na sequência, os erlenmeyers foram conectados

por uma mangueira de borracha, como mostra a figura 2 a seguir. Posteriormente, foi adicionado ao Erlenmeyer (A) bicarbonato de sódio (NaHCO₃ – hidrogenocarbonato de sódio). Em seguida, fez-se a agitação de ambos os sistemas por alguns minutos e se observou que a solução do Erlenmeyer (B) tornou-se incolor.

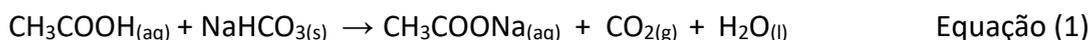


Figura 2 – Sistema inicial antes da acidificação [3]

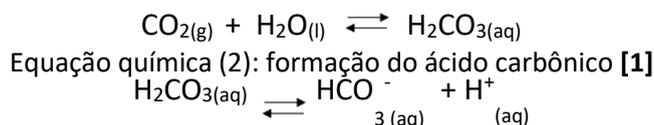


Figura 3 – Sistema final após acidificação [3]

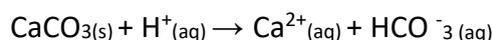
O Erlenmeyer (B) inicialmente apresenta coloração rósea, pois o indicador utilizado (fenolftaleína) em meio alcalino, com valor de pH acima de 8,0, apresenta coloração rosa, como mostra a figura 2. Em um segundo momento, a adição de bicarbonato de sódio ao ácido acético provoca a formação do gás dióxido de carbono, como mostra a equação química 1.



Para compreender essas alterações, é preciso analisar as três equações químicas a seguir que representam equilíbrios químicos relacionados ao processo de acidificação dos oceanos e sua relação com as estruturas calcárias formadas principalmente por carbonato de cálcio (CaCO₃).



Equação química (3): ionização parcial do ácido carbônico [1]

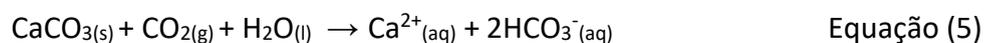


Equação química (4): Reação de carbonato de cálcio em meio ácido [1]

As equações químicas acima estão diretamente relacionadas com todo o processo de acidificação dos oceanos simulado no vídeo do experimento I. A equação química 2 mostra como o dióxido de carbono é dissolvido na água marinha, e, ao reagir com a água, forma o ácido carbônico que se ioniza na água do mar dando origem à formação dos íons bicarbonato e H⁺(equação 3), esse último íon é o responsável pelo decréscimo do pH e, portanto, pela mudança de coloração da solução contendo fenolftaleína que em meio ácido torna-se incolor (figura 3). Isso revela que quanto maior a quantidade de CO₂ dissolvido na água, menor será o pH e, conseqüentemente, o meio será mais ácido e mais prejuízos ao meio ambiente serão gerados.

A diminuição do valor de pH da água do mar provoca problemas ambientais. Por exemplo, são danificados seriamente os recifes de coral, constituídos, principalmente, de carbonato de cálcio pela acidificação dos oceanos [7] a partir da reação representada pela equação 4. Carbonato de cálcio possui valor de K_{ps} aproximadamente igual a 5.10⁻⁹ (fato esse que indica que o carbonato de cálcio é pouco solúvel em água). Contudo, devido à acidificação dos oceanos, há uma maior concentração de íons H⁺ na água do mar (equação 3) que reagem com o carbonato de cálcio. Dessa forma há um aumentando da dissolução do CaCO₃ na água do mar.

Associando-se as três equações químicas mostradas anteriormente, obtém-se a equação global (5) que representa simultaneamente a dissolução do dióxido de carbono na água do mar e a dissolução dos recifes de coral:



Para analisar o comportamento do carbonato de cálcio em diferentes condições, foi analisado o experimento II [4]. Nessa prática foi estudada a solubilidade desse sal em diferentes situações (meio aquoso e meio ácido), como mostra a figura 4 [4].

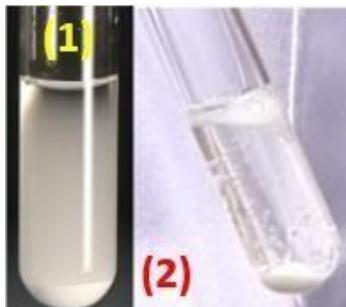


Figura 4 [4]: Soluções de carbonato de cálcio em: (1) água a temperatura ambiente e em (2) meio ácido.

Enumerando os tubos de ensaio e béquer da esquerda para direita, observa-se que o tubo 1 possui uma solução aquosa saturada de carbonato de cálcio com corpo de fundo. É possível observar que esse sal é pouco solúvel em água uma vez que há a formação de uma mistura heterogênea bifásica com precipitado. No tubo 2 há uma solução de carbonato de cálcio em meio ácido, evidenciando que o sal reagiu com o ácido (liberação de gás CO_2).

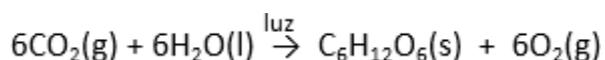
Portanto, como é possível observar na imagem, a acidificação dos oceanos, juntamente com o aquecimento global, causa impactos diretos no desenvolvimento de corais, o chamado branqueamento dos corais (figura 5) [8], e nos animais marinhos que possuem concha, uma vez que o CaCO_3 presente nessas estruturas passa a se dissolver com o decréscimo do valor de pH da água. Além disso, também existem prejuízos indiretos, como em peixes que utilizam os corais como abrigo, no turismo, cadeia alimentar marinha, atividades pesqueiras, entre outras [7].



Figura 5 [8] – Branqueamento de corais pela acidificação dos oceanos

A partir do experimento I, observa-se a importância da discussão desenvolvimento de novas fontes de energia menos poluentes e sobre técnicas de captura de dióxido de carbono que podem ser realizadas de forma natural ou artificial.

Uma das melhores formas naturais, sem dúvida nenhuma, de remover boas quantidades de CO_2 da atmosfera é através da fotossíntese. Isso se dá, pois as árvores utilizam o dióxido de carbono para o processo de fotossíntese, como mostra a equação química 6 e, portanto, removem grande quantidade de CO_2 da atmosfera. Estudos estimam que, por exemplo, uma árvore da Mata Atlântica chega a retirar aproximadamente 163 kg de CO_2 da atmosfera em um período de 20 anos [9]. A fotossíntese remove dióxido de carbono naturalmente e as árvores são especialmente boas para armazenar o carbono removido da atmosfera pela fotossíntese. A partir disso, torna-se importante evitar o desmatamento e incentivar o reflorestamento e restauração de florestas existentes para incentivar mais absorção de carbono que podem alavancar o poder da fotossíntese para converter o dióxido de carbono do ar em carbono armazenado em madeira e solos.



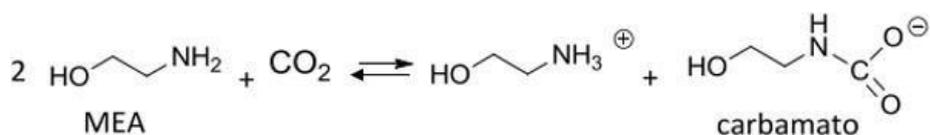
Equação (6) [6]

Uma das técnicas industriais (artificiais) de remoção (captura) de CO_2 , muito utilizada por usinas termelétricas e em refinarias de petróleo, é a captura com utilização de solventes (experimento III). Nesse processo de captura, utiliza-se a técnica de absorção do gás dióxido de carbono (previamente separado de outros gases gerados com ele) em soluções aquosas de aminas, tais como: monoetanolamina e

trietanolamina [10]. O experimento III, mostrado no vídeo, explica todo o processo.

A absorção pelas aminas é um processo cíclico em que são utilizadas duas torres, uma de absorção e outra de dessorção. Na torre de absorção, CO₂ (óxido ácido) reage rapidamente com aminas primárias ou secundárias (bases orgânicas) dando origem aos carbamatos, em uma reação reversível (reação de equilíbrio químico). Posteriormente, nesse processo, são recuperados por aquecimento na torre de dessorção tanto CO₂ quanto a amina [10]. Dessa maneira, conclui-se que a reação direta (produção do carbamato) é um processo exotérmico enquanto a reação inversa (recuperação do CO₂ e da amina) é uma reação endotérmica.

A reação de equilíbrio químico que ocorre entre dióxido de carbono e monoetanolamina (MEA) é mostrada na equação química 7.



Equação (7) [10]

Após a etapa de captura, é de extrema importância que o dióxido de carbono seja armazenado de forma segura e que não prejudique o meio ambiente. Para isso, pode-se recorrer à injeção desse gás no subsolo, como proposto e realizado por pesquisadores na Islândia que conseguiram pela primeira vez injetar CO₂ nas reservas geológicas de basalto vulcânico e convertê-lo em carbonato. Nesse processo, conhecido como método de carbonatação mineral, 95% do CO₂ injetado sofreu transformação em cerca de um ano e meio, ficando armazenado nessas reservas sem qualquer risco de vazamento. Esse fato demonstra a viabilidade da técnica [12].

Partindo desses dados, a ONU (Organização das Nações Unidas) declarou que a década de 2021-2030 é a década da ciência oceânica, visando diminuir os impactos humanos no ecossistema marinho e tentando evitar um evento de extinção de espécies marinhas como animais com concha, corais, ostras, dentre outras. Logo, é de extrema importância que se invista cada vez mais em pesquisa e na ciência relacionada à Química dos oceanos, visto que, a partir de mais estudos na área, seguindo medidas da química verde, será possível descobrir novas maneiras de desacelerar a acidificação dos oceanos, salvando o ecossistema marinho e todos que dependem dele.

Referências Bibliográficas

- [1] SILVA, C. A. R. Oceanografia Química, 1. Ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- [2] Site: <<https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/ocean-acidification>> Acessado em 25/03/2021.
- [3] Site: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z7Ltk7IXJ5A>> Acessado em 25/03/2021.
- [4] Site: <<https://www.youtube.com/watch?v=JGfQq1WWMKds&list=PLVOp5dEjRMNtbDTtfYA51DDq3eYiunX6&index=4>> Acessado em 25/03/2021.
- [5] Site: <<https://www.youtube.com/watch?v=hWpsEleKFe4>> Acessado em 25/03/2021.
- [6] ATKINS, P; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de Química : questionando a vida moderna e o meio ambiente, 7. Ed., Porto Alegre : Bookman, 2018.
- [7] HATJE, V. COSTA, M. F. CUNHA, L. C. Oceanografia e Química: unindo conhecimento em prol dos oceanos e da sociedade, Quim. Nova, Vol. 36, No. 10, 1497-1508, 2013. Disponível em: <http://static.sites.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol36No10_1497_03-NE13524.pdf> Acessado em 22/03/2021.
- [8] Site: <<https://repeatingislands.com/2013/09/25/a-sea-change-for-ocean-and-climate-science-catlina-global-reef-record/>> Acessado em 20/03/2021.
- [9] Site: <<https://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/cada-arvore-da-mata-atlantica-chega-a-retirar-163-kg-de-co2-da-atmosfera/>> Acessado em 20/03/2021.
- [10] SANTOS, T. C.; RONCONI, C. M. Captura de CO₂ em materiais híbridos. Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (1), 112-130. Site: <<http://static.sites.sbgq.org.br/rvq.sbgq.org.br/pdf/v6n1a09.pdf>> Acessado em:18/03/2021.
- [11] Site: <<https://www.youtube.com/watch?v=gUrBP6ei4fs&list=PLVOp5dEjRMNtbDTtfYA51DDq3eYiunX6&index=3>> Acessado em 18/03/2021.
- [12] Site: <<https://www.ecycle.com.br/5038-neutralizacao-de-carbono-armazenamento-de-carbono.html>> Acessado em 20/03/2021.