
A Bioquímica do Aquecimento Global: Perspectivas, Desafios e Soluções

Isabela Ferreira Henrique

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-28-2.c1>

Resumo

Neste capítulo, abordaremos um tema de grande relevância na atualidade, o aquecimento global. A partir de uma perspectiva histórica, científica e bioquímica, exploraremos o conceito de efeito estufa e os problemas associados aos seus principais gases, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Também discutiremos a poluição resultante das atividades humanas e os ciclos ambientais que ela afeta, tendo como objetivo esclarecer alguns equívocos comuns sobre esses temas e destacar os processos bioquímicos que estão envolvidos, demonstrando como a bioquímica pode desempenhar um papel fundamental na mitigação dos impactos causados pelas alterações climáticas.

Palavras-chave: Aquecimento global, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrogênio, ciclos ambientais, bioquímica e o meio ambiente.

Abstract

In this chapter, we will address a topic of great relevance today: global warming. From a historical, scientific, and biochemical perspective, we will explore the concept of the greenhouse effect and the issues associated with its main gases, carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and nitrogen oxides (NO_x). We will also discuss the pollution resulting from human activities and the environmental cycles it affects, with the goal of clarifying some common misconceptions about these topics and highlighting the biochemical processes involved. Furthermore, we will demonstrate how biochemistry can play a fundamental role in mitigating the impacts caused by climate change.

Keywords: Global warming, carbon dioxide, methane, nitrogen oxides, environmental cycles, biochemistry and the environment.

1. Preservação: Estamos no Caminho Certo?

As sociedades pré-industriais dependiam diretamente dos recursos naturais para obtenção de alimento, água e abrigo, logo, o lixo produzido era composto majoritariamente por matéria orgânica.¹ Com o avanço da revolução industrial e o foco voltado para o crescimento econômico e tecnológico da sociedade, o uso de matéria prima aumentou consideravelmente, ampliando a variedade de resíduos descartados no meio ambiente, ou seja, materiais como vidros, plásticos, isopor, borrachas, alumínio, entre outros, de difícil manipulação, foram incorporados ao descarte.

A falta de preparo para lidar com os efeitos negativos da industrialização sobre os recursos naturais do planeta, acendeu um alerta vermelho na comunidade científica que, através de alguns estudos, sugeriram uma potencial alteração climática derivada das práticas exploratórias, como o aquecimento global, decorrente da ação dos gases causados pelo efeito estufa. Tal fato fez com que em meados do século XX surgisse a necessidade de conscientização sobre os impactos negativos das atividades humanas no meio ambiente. A partir das décadas de 1960 e 1970, surgiram leis ambientais e regulamentações relacionadas à proteção do ar, da água e da vida selvagem.² Em 22 de Abril de 1970, ocorreu o primeiro “dia da terra”, onde 20 milhões de pessoas participaram de manifestações a favor da proteção ambiental, com o objetivo de implementar políticas públicas mais rigorosas. Já em 1972, houve a conferência das nações unidas sobre o meio ambiente humano (conferência de Estocolmo), onde representantes de 113 países se reuniram para discutir questões ambientais globais e desenvolver um plano de ação para enfrentá-las. Após a conferência, foram definidos 26 princípios sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, entre eles, a proteção dos recursos naturais, a redução da poluição e a garantia de que o desenvolvimento econômico não se sobreporia à preservação ambiental.³

Mais adiante, em 1990, tornou-se necessário o entrelaçamento de políticas de preservação ambiental com a saúde humana. Sob liderança da Organização Mundial da Saúde, OMS, foi legitimada a “Saúde Ambiental” como um novo campo de saúde pública, abrangendo a avaliação e controle de fatores físicos, químicos e biológicos externos que podem afetar a saúde humana.⁴ Na

mesma década, o debate global sobre o aquecimento do planeta se intensificou, levando ao Protocolo de Kyoto em 1997, o primeiro grande acordo internacional para reduzir as emissões de gases do efeito estufa.⁵

Desde então, o aquecimento global tem sido um dos tópicos mais debatidos em fóruns internacionais, como as Conferências das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP), resultando no Acordo de Paris em 2015, que visou limitar o aumento da temperatura global.⁶

No entanto, é possível dizer que estamos no caminho certo?

Cerca de 260 anos após o início da Revolução Industrial, fica evidente que as medidas adotadas para mitigar os impactos ambientais do desenvolvimento e da expansão desenfreada foram insuficientes e ineficazes. A quantidade de dióxido de carbono (CO₂), principal gás responsável pelo aquecimento global, aumentou em 40% na atmosfera.⁷ Agora, a humanidade enfrenta um cenário de “esgotamento planetário” alarmante. Em 1961, utilizava-se 73% dos recursos naturais que a Terra poderia renovar em um ano, a partir dos anos 2000, consumimos 160% da biocapacidade da Terra. É como se vivêssemos em um planeta e meio, embora só tenhamos um.⁸

Inúmeros acontecimentos consequentes das mudanças climáticas vêm sendo registrados pelo mundo afora, em 2024, o Brasil teve São Paulo declarada a cidade com o ar mais poluído do mundo, devido às queimadas na região.⁹ Na Grécia, mais de 100 toneladas de peixes morreram devido às flutuações climáticas extremas, levando o país a declarar estado de emergência.¹⁰ Segundo a Agência de Imprensa Saudita (SPA), o calor extremo vitimou mais de 1.000 pessoas durante a peregrinação do Hajj, na Arábia Saudita, onde as temperaturas atingiram 51,8°C. Enquanto isso, na China, inundações graves nas províncias de Henan e Chongqing destruíram cidades e desalojaram milhões.¹¹ Partes da Europa Central e Oriental que incluem Áustria, Alemanha, Polônia, República Tcheca e Eslováquia, também sofreram enchentes intensas.¹²

Convido o leitor a refletir sobre a urgência da situação atual, abandonando qualquer postura negacionista, para entender de maneira clara e científica como chegamos a esse ponto crítico. Há bioquímica por trás do aquecimento global e das mudanças climáticas, tomando conhecimento desse fato, podemos utilizar a

bioquímica a nosso favor, com intuito de reestruturar nosso sistema em torno de modelos sustentáveis que equilibrem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental.

2. Filtros naturais do planeta: O Efeito estufa e a Bioquímica do Ciclo do Carbono

Para entendermos o desequilíbrio climático que estamos enfrentando é essencial compreendermos o conceito de efeito estufa, muitas vezes mal interpretado como algo negativo. O efeito estufa é, na verdade, um processo natural que mantém a Terra aquecida, funcionando de maneira semelhante a uma estufa de plantas. Quando a radiação solar atinge a Terra, a luz ultravioleta passa pela atmosfera e aquece a superfície. Parte desse calor é refletida de volta em forma de radiação infravermelha, mas é parcialmente retida pelos gases de efeito estufa, que impedem que o calor escape totalmente para o espaço, aquecendo o planeta. Um bom exemplo para explicar esse fenômeno é, que no caso das estufas de plantas, ele permite que plantas tropicais floresçam dentro de uma estufa, mesmo durante o inverno. Sem esse efeito natural, a Terra seria muito fria para a existência de vida como conhecemos.¹³

No entanto, o aumento das emissões dos gases do efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e gases fluorados, intensifica esse processo, elevando as temperaturas globais e causando o que chamamos de aquecimento global. Tal excesso ocorre principalmente devido à atividade humana, como a queima de combustíveis fósseis, o uso desenfreado de produtos químicos na agricultura e o desmatamento.¹⁴ Assim como o efeito estufa, o ciclo do carbono é um processo natural que permite a vida na Terra, uma vez que o carbono é um elemento essencial para a vida porque está presente em quase todos os compostos orgânicos. O ciclo começa com a absorção de CO_2 da atmosfera pelas plantas durante a fotossíntese, liberando oxigênio como subproduto. Quando os seres vivos se alimentam dessas plantas ou de animais que ingeriram as mesmas, o carbono é metabolizado e, eventualmente, liberado novamente na atmosfera via respiração celular. Organismos decompositores presentes no solo também devolvem o carbono à

atmosfera ao decomporem matéria orgânica morta. No entanto, em condições sem oxigênio, como no soterramento de organismos mortos, o carbono pode se transformar em combustíveis fósseis, petróleo e carvão, que, quando queimados, liberam o carbono acumulado de volta à atmosfera, aumentando ainda mais as concentrações de CO_2 .¹⁵

O desequilíbrio do ciclo do carbono gera um acúmulo excessivo de CO_2 na atmosfera e não só contribui para o aquecimento global, mas também para a acidificação dos oceanos, devido ao aumento do gás que provoca uma redução no pH da água, comprometendo a vida dos organismos marinhos.¹⁶ Já o desmatamento agrava ainda mais esse desequilíbrio. As florestas, especialmente grandes biomas como a Amazônia, funcionam como sumidouros de carbono, absorvendo bilhões de toneladas de CO_2 da atmosfera¹⁵, quando essas florestas são destruídas, essa capacidade de absorção é perdida, e o carbono armazenado nas árvores é liberado, intensificando a crise climática, e aqui conseguimos compreender a importância de um tema tão falado como a preservação das florestas, elas são os filtros naturais do planeta.

3. O perigo também está no solo: Ciclo do Nitrogênio

Como foi dito anteriormente, embora o dióxido de carbono (CO_2) seja o gás mais estudado por seu impacto na regulação do clima global, outros gases como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) também contribuem para o aquecimento global.

O nitrogênio (N_2), por sua vez, tem seu desempenho voltado para a formação de proteínas e DNA, essenciais para todos os seres vivos. O problema é que nós e outros organismos multicelulares não somos capazes de absorver o nitrogênio diretamente do ar em sua forma gasosa. Como alternativa, o mesmo é transformado em compostos que as plantas e animais possam metabolizar através de um processo que se inicia com a fixação do nitrogênio, realizada por bactérias encontradas no solo ou nas raízes de plantas leguminosas. Essas bactérias convertem o nitrogênio gasoso (N_2) em amônia (NH_3), que depois é convertida em nitrito (NO_2^-) e, em seguida, em nitrato (NO_3^-) através de um processo chamado nitrificação. As plantas absorvem esses nitratos pelas raízes,

e os animais obtêm o nitrogênio consumindo as plantas. Quando os animais e plantas morrem ou eliminam resíduos, como fezes, liberam compostos de nitrogênio no solo, que são decompostos por bactérias, dando continuidade ao ciclo. Parte desse nitrogênio é novamente transformada em gás e devolvida à atmosfera em um processo chamado desnitrificação, fechando o ciclo.¹⁷

Mas por que o perigo está no solo? As plantas dependem do solo para obter nitrogênio, que é necessário para a produção de clorofila, pigmento verde que permite que a fotossíntese ocorra. Sabendo disso, os produtores buscam melhorar suas culturas através do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, sendo a exploração excessiva desse sistema natural o verdadeiro perigo. Embora esses fertilizantes nitrogenados promovam o crescimento rápido das plantas, o excesso de nitrogênio pode resultar em uma maior liberação de óxido nítrico. Tal fato pode comprometer a saúde do solo, onde o acúmulo de nitrogênio altera a estrutura do mesmo, prejudicando a biodiversidade subterrânea, incluindo bactérias e fungos essenciais para a decomposição de matéria orgânica e o ciclo de nutrientes. Com o tempo, solos sobrecarregados de fertilizantes se tornam menos férteis, exigindo ainda mais insumos para manter a produtividade agrícola, gerando um ciclo vicioso que pode levar à degradação do solo, reduzindo a sua capacidade de sustentar plantações a longo prazo.¹⁸

4. O impacto do Enxofre e dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs)

Agora, abordando o tema de maneira mais aprofundada, podemos encontrar outro tipo de ciclo muito importante na natureza, o ciclo do enxofre. Assim como o carbono e o nitrogênio, o enxofre é um elemento essencial para a vida, desempenhando um papel importante na formação de proteínas e em várias outras funções bioquímicas vitais.

O ciclo do enxofre envolve a circulação desse elemento entre a atmosfera, o solo, os corpos d'água e os organismos vivos. No meio ambiente, o enxofre pode ser liberado por fontes naturais, como erupções vulcânicas, decomposição de matéria orgânica e a erosão de rochas. Após ser liberado, o enxofre é absorvido pelas plantas na forma de sulfato (SO_4^{2-}). Através de processos

bioquímicos, como a assimilação do sulfato, as plantas convertem essa substância em aminoácidos contendo enxofre, como a cisteína e a metionina, que são blocos de construção das proteínas.¹⁹ Dessa forma, o enxofre entra nas cadeias alimentares e, eventualmente, é devolvido ao solo e à atmosfera pela decomposição e respiração dos seres vivos.

Contudo, mais uma vez, a ação humana interfere significativamente nesse ciclo natural. A queima de combustíveis fósseis, libera compostos de enxofre, especialmente o dióxido de enxofre (SO₂), na atmosfera.²⁰

Esse gás, ao entrar em contato com a umidade do ar, sofre oxidação e se converte em ácido sulfúrico (H₂SO₄), contribuindo para a formação da chuva ácida, que tem efeitos prejudiciais sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos. Nos ambientes terrestres, a chuva ácida acidifica os solos, removendo nutrientes importantes, como cálcio e magnésio, o que prejudica o crescimento das plantas. Além disso, a acidificação altera a microbiota do solo, impactando negativamente os ciclos de nutrientes e afetando o equilíbrio ecológico. Já nos ecossistemas aquáticos, a chuva ácida pode reduzir o pH da água a níveis críticos, prejudicando organismos aquáticos sensíveis e afetando toda a cadeia alimentar.²¹

Outro problema ambiental significativo está relacionado ao ciclo biogeoquímico dos poluentes orgânicos persistentes (POPs), que são um grupo de substâncias químicas que incluem pesticidas, plásticos e outros compostos sintéticos.²² Os POPs são altamente resistentes à degradação química e biológica, isso faz com que permaneçam no ambiente por muito tempo e se acumulem nos organismos vivos.²³

Esses poluentes entram nos ecossistemas principalmente por meio do uso de pesticidas na agricultura e pelo descarte inadequado de plásticos. Uma vez liberados no ambiente, os POPs são absorvidos pelos organismos e, devido à sua solubilidade em gordura, tendem a se acumular nos tecidos adiposos.²⁴ Esse processo de bioacumulação, no qual as concentrações de poluentes aumentam ao longo da cadeia alimentar, leva à biomagnificação, em que os níveis de POPs em predadores de topo, como aves de rapina, mamíferos

marinhos e humanos, são muito maiores do que em organismos que estão abaixo da cadeia alimentar.²⁵

A bioacumulação e biomagnificação de POPs têm efeitos devastadores sobre a saúde dos ecossistemas e dos seres humanos. Nos ambientes aquáticos, peixes e outros organismos que habitam águas contaminadas acumulam altas concentrações de POPs, comprometendo não só a saúde das espécies, mas também a de seus predadores, incluindo aves, mamíferos e, eventualmente, os seres humanos. Esses compostos causam problemas reprodutivos, imunológicos e de desenvolvimento nos organismos afetados.²⁶ Nos seres humanos, a exposição aos POPs, especialmente através do consumo de alimentos contaminados, está associada a uma série de problemas de saúde, incluindo distúrbios hormonais, malformações fetais, câncer e danos neurológicos. Esses compostos químicos podem atravessar a placenta e ser transmitidos pelo leite materno, afetando gerações futuras e representando um sério risco à saúde pública.²⁷ O aumento das emissões de dióxido de enxofre, que contribui para a formação de chuvas ácidas, e a disseminação de poluentes orgânicos persistentes reforçam a necessidade urgente de políticas globais que promovam a redução de poluentes e a adoção de práticas sustentáveis. Proteger os sistemas naturais não é apenas uma questão de preservar a biodiversidade, mas também de garantir a sobrevivência da humanidade diante dos desafios ambientais impostos pelo aquecimento global e pela degradação ambiental.

5. Sobrevivendo a mudanças climáticas: Como os ecossistemas e os organismos têm se adaptado bioquimicamente às mudanças climáticas.

Todos os eventos de poluição e mudanças climáticas impulsionadas pelo aquecimento global que foram citados até aqui, têm induzido adaptações bioquímicas em diversos ecossistemas e organismos. Essas adaptações ocorrem em resposta a fatores como aumento de temperatura, variações na disponibilidade de água e nutrientes, e alterações nos padrões de precipitação. Para sobreviver em um ambiente cada vez mais instável, muitas espécies estão desenvolvendo adaptações bioquímicas que permitem ajustes metabólicos, fisiológicos e comportamentais.²⁸

Nos ecossistemas terrestres, as plantas estão entre os organismos mais afetados pelas mudanças climáticas, já que são os principais fixadores de carbono e desempenham papel central no equilíbrio de gases atmosféricos.²⁹ Com o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂), algumas espécies, especialmente plantas C3, que realizam fotossíntese pela via de Calvin, ou seja, utilizam o dióxido de carbono e água para transformar luz solar em energia, estão mostrando uma intensificação na atividade fotossintética, isso pode levar a um crescimento mais rápido e a uma maior absorção de carbono, ajudando a mitigar o aquecimento global.³⁰ No entanto, essa resposta é limitada, pois o aumento das temperaturas e a maior frequência de secas podem comprometer a disponibilidade de água e nutrientes no solo.

Mas as plantas também estão adaptando seus mecanismos de defesa bioquímicos para lidar com o estresse hídrico e térmico. Uma das respostas mais comuns é a produção de compostos osmoprotetores, como prolina, glicina-betaina e açúcares solúveis, que ajudam a manter o equilíbrio osmótico e protegem as células contra a desidratação. Em resposta a temperaturas elevadas, certas plantas ajustam seu metabolismo, aumentando a produção de enzimas que protegem contra o estresse térmico. Essas mudanças permitem que as plantas mantenham suas funções vitais mesmo em condições adversas.³¹ Algumas espécies desenvolvem adaptações morfológicas, como folhas mais espessas ou sistemas radiculares mais profundos, para reduzir a perda de água e aumentar a eficiência na absorção de nutrientes, garantindo sua sobrevivência em ambientes mais secos e quentes.

Em espécies animais, as mudanças na bioquímica do metabolismo energético são outra adaptação importante. Em resposta ao aumento das temperaturas, alguns animais estão alterando suas taxas metabólicas para economizar energia e regular a temperatura corporal. Isso inclui ajustes nos processos de glicólise e respiração celular, que permitem maior eficiência no uso de nutrientes em condições de estresse térmico. Espécies de sangue quente, como aves e mamíferos, ajustam sua fisiologia para manter a temperatura corporal em ambientes mais quentes. Por exemplo, algumas aves têm aumentado o tamanho de seus bicos para dissipar melhor o calor, em contrapartida, muitos animais alteram seus padrões de atividade, como migrar

para áreas mais frescas ou ajustar seus horários de alimentação, para evitar o estresse térmico e otimizar o consumo de energia.³²

Nos ecossistemas aquáticos, a acidificação dos oceanos, causada pela absorção de grandes quantidades de CO₂, está forçando muitas espécies a se adaptarem bioquimicamente para manter o equilíbrio ácido-base em seus corpos. Os corais, por exemplo, que dependem da calcificação para formar seus esqueletos, estão enfrentando sérios desafios. A redução do pH nos oceanos diminui a disponibilidade de carbonato de cálcio, essencial para a formação de suas estruturas.³³ Em resposta, algumas espécies de corais estão alterando a bioquímica de suas células, aumentando a concentração de íons bicarbonato para compensar a escassez de carbonato, embora essa adaptação tenha limites. Peixes e outros organismos marinhos também estão ajustando seus mecanismos de regulação de íons e ácidos, utilizando enzimas como a anidrase carbônica para controlar o equilíbrio ácido-base em seus fluidos corporais.³⁴ Essa enzima catalisa a conversão de CO₂ em bicarbonato, o que ajuda a neutralizar os efeitos da acidificação, mas essas respostas bioquímicas demandam muita energia do organismo e podem comprometer outras funções fisiológicas, como o crescimento e a reprodução.

Além disso, a elevação da temperatura dos oceanos está forçando a migração de muitas espécies devido ao aumento de temperatura nos oceanos para áreas mais frias, afetando suas interações bioquímicas com o ambiente.³⁵ A bioquímica das membranas celulares dos organismos aquáticos também está sendo alterada, com mudanças na composição de lipídios para manter a fluidez das membranas em temperaturas mais altas. Essas adaptações, que buscam manter a flexibilidade e o funcionamento adequado das células, permitem que as membranas celulares funcionem corretamente mesmo em condições de estresse térmico, garantindo a troca de gases e nutrientes através das células.

Os microrganismos desempenham um papel crucial na regulação dos ciclos bioquímicos globais, como o ciclo do carbono, do nitrogênio e do enxofre. À medida que as temperaturas aumentam, muitas populações microbianas estão se adaptando para resistir às novas condições ambientais. Em solos aquecidos, por exemplo, microrganismos decompositores estão aumentando a taxa de

degradação da matéria orgânica, o que pode acelerar a liberação de CO₂ e metano (CH₄), exacerbando o efeito estufa.³⁶

Além disso, alguns microrganismos que realizam a fixação de nitrogênio em simbiose com plantas estão alterando sua atividade enzimática para manter a eficiência nesse processo, mesmo sob condições de seca e altas temperaturas. Enzimas como a nitrogenase estão sendo ajustadas bioquimicamente para funcionar em ambientes com menor disponibilidade de água, garantindo que as plantas continuem a receber nitrogênio suficiente para o crescimento.³⁷

Embora muitas espécies estejam desenvolvendo adaptações bioquímicas em resposta às mudanças climáticas, essas respostas têm seus limites. Algumas adaptações bioquímicas são custosas em termos de energia e podem comprometer outras funções vitais, como a reprodução e o crescimento. Além disso, a capacidade adaptativa demanda tempo, que pode ser ultrapassado pela velocidade com a qual as mudanças climáticas vem ocorrendo, levando à extinção de organismos que não conseguem se ajustar rapidamente. Espécies mais adaptáveis podem proliferar, enquanto aquelas menos capazes de se ajustar podem declinar ou até mesmo desaparecer, levando a mudanças na biodiversidade e na estrutura dos ecossistemas. Enquanto isso, as mudanças no metabolismo de plantas e animais podem influenciar os ciclos de nutrientes, afetando a disponibilidade de recursos como nitrogênio e fósforo no solo e na água.³¹ Ecossistemas adaptados podem continuar a fornecer serviços essenciais, como purificação de água e sequestro de carbono, embora possivelmente de maneira menos eficiente, dependendo do grau de adaptação e das espécies envolvidas.

A perda de biodiversidade associada às mudanças climáticas também compromete a resiliência dos ecossistemas, já que muitas das adaptações bioquímicas dependem de interações complexas entre diferentes organismos. Por exemplo, plantas que ajustam sua bioquímica em resposta à seca podem depender de microrganismos no solo para a fixação de nutrientes, e esses microrganismos, por sua vez, também precisam se adaptar ao novo clima.

6. A Bioquímica pode salvar o planeta: soluções bioquímicas para mitigar os efeitos do aquecimento global.

A bioquímica, citada diversas vezes ao longo deste capítulo, estuda os processos químicos que ocorrem nos organismos vivos e pode oferecer soluções inovadoras para mitigar os efeitos do aquecimento global. Ao explorar as interações químicas e moleculares, os cientistas têm trabalhado incansavelmente para encontrar soluções a fim de criar um futuro sustentável para as próximas gerações.³⁸

Uma das formas mais promissoras de usar a bioquímica para combater o aquecimento global é a fixação biológica de carbono. Através da engenharia genética, cientistas podem desenvolver plantas que são mais eficientes na fotossíntese, e capturam maiores quantidades de CO₂.³⁹ Outra alternativa é o cultivo de microalgas, as mesmas podem ser utilizadas como um sumidouro de CO₂, combinando com o tratamento simultâneo de águas residuais, valorização de resíduos e produção sustentável de biocombustíveis, auxiliando a reduzir as concentrações do CO₂ atmosférico. Ao fermentar biomassa vegetal com microrganismos é possível produzir biocombustíveis como o etanol e o biodiesel. Ao contrário dos combustíveis fósseis, os biocombustíveis são renováveis e, em muitos casos, produzem menos emissões de gases de efeito estufa.⁴⁰ A bioquímica permite a otimização desses processos, tornando-os mais eficientes e economicamente viáveis.

A biorremediação também pode ser eficaz para a remoção e neutralização de poluentes do ambiente, para isso são utilizados organismos vivos como microrganismos ou plantas.⁴¹ Alguns microrganismos, como as bactérias metanotróficas, podem metabolizar o metano e convertê-lo em dióxido de carbono e água. Essas bactérias podem ser usadas em aterros e áreas agrícolas para capturar e degradar metano antes que o mesmo chegue à atmosfera, além disso, podem ser imaginados como catalisadores microbianos que podem substituir o metano por açúcares como matéria-prima de carbono.⁴² Já no processo de fitorremediação, certas plantas têm a capacidade de absorver poluentes do solo, como metais pesados, bioacumulando-os nas raízes, caules e folhas, ajudando a restaurar a saúde do solo e a evitar a contaminação de ecossistemas aquáticos.⁴³

A substituição de plásticos derivados de petróleo por bioplásticos biodegradáveis é outra estratégia importante para reduzir os impactos ambientais e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Através da bioquímica, materiais plásticos podem ser produzidos a partir de fontes renováveis, como plantas e resíduos agrícolas, que são biodegradáveis e geram menos poluição. O uso de bioplásticos também contribui para a redução de resíduos plásticos que se acumulam em ecossistemas e liberam gases de efeito estufa ao se degradar lentamente.⁴⁴ A química verde, que envolve a busca por processos químicos mais seguros e sustentáveis, também está avançando, utilizando catalisadores biológicos como enzimas, que promovem reações em condições mais brandas, diminuindo o consumo de energia e reduzindo a liberação de poluentes.⁴⁵

Como podemos observar ao longo do capítulo, compreendendo a bioquímica por trás das causas do aquecimento global, podemos utilizar os seus princípios para mitigar os efeitos causados por esse evento climático, oferecendo soluções que podem ajudar a reduzir emissões de poluentes e restaurar o equilíbrio planetário. Um dos principais focos bioquímicos envolve o desenvolvimento de biotecnologias que favoreçam processos naturais, capturando e utilizando os gases do efeito estufa, além do restabelecimento de áreas já contaminadas. No entanto, esses avanços biotecnológicos só serão efetivos se unidos à políticas públicas sustentáveis, sendo cruciais para combater o aquecimento global e promover um futuro no qual haja qualidade de vida para todos os seres vivos.

7. Referências

1. QUALMAN, Darrin. **Civilização crítica: energia, comida, natureza e o futuro**. Fernwood Publishing, 2019.
2. COGLIANESE, Cary. Social movements, law, and society: The institutionalization of the environmental movement. **University of Pennsylvania Law Review**, v. 150, n. 1, p. 85-118, 2001.
3. SOHN, Louis B. Stockholm declaration on the human environment, the. **Harvard International Law Journal**, v. 14, p. 423, 1973.
4. VEIGA, José Eli da. Saúde e sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 34, n. 99, p. 303-310, 2020.

5. VICTOR, David G. **The collapse of the Kyoto Protocol and the struggle to slow global warming**. 2011.
6. DEPLEDGE, Joanna. The Paris Agreement: A significant landmark on the road to a climatically safe world. **Chinese Journal of Urban and Environmental Studies**, v. 4, n. 1, p. 1650011, 2016.
7. PRENTICE, Iain Colin et al. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: **Climate change 2001: the scientific basis**. Intergovernmental panel on climate change, 2001.
8. WACKERNAGEL, Mathis et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 14, p. 9266-9271, 2002. DOI: 10.1073/pnas.142033699
9. IQAir. **World Air Quality Report: 2024 Ranking of World's Most Polluted Cities**. IQAir, 2024.
10. Associated Press. A climate-related mass die-off leaves over 100 tons of dead fish collecting at a Greek port. **Associated Press**, Aug. 29, 2024.
11. McCARTHY, Simone; JIANG, Joyce. Summer of devastating floods shows steep challenge for China as it grapples with extreme weather. **CNN**, Jul. 22, 2024.
12. MICULITA, Emmanuel et al. At least 8 dead as heaviest rain in decades hits parts of central and eastern Europe. **CNN**, Sep. 16, 2024.
13. KWEKU, Darkwah Williams et al. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 17, n. 6, p. 1-9, 2018.
14. TIAN, Hanqin et al. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2015.
15. MANABE, Syukuro. Dióxido de carbono e mudanças climáticas. **Advances in Geophysics**, v. 25, p. 39-82, 1983.
16. CALDEIRA, Ken; WICKETT, Michael E. Anthropogenic carbon and ocean pH. **Nature**, 2003.
17. "The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact". **Nature Education Knowledge**.
18. AHMED, Moddassir et al. Excessive use of nitrogenous fertilizers: an unawareness causing serious threats to environment and human health. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 26983-26987, 2017.
19. STEVENSON, Frank J.; COLE, Michael A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. John Wiley & Sons, 1999.

20. KOMARNISKY, Lioudmila A.; CHRISTOPHERSON, Robert J.; BASU, Tapan K. Sulfur: its clinical and toxicologic aspects. **Nutrition**, v. 19, n. 1, p. 54-61, 2003.
21. SIX, Katharina et al. Aquecimento global amplificado por fluxos reduzidos de enxofre como resultado da acidificação dos oceanos. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 975-978, 2013. DOI: 10.1038/nclimate1981.
22. UNEP. Diretrizes técnicas gerais para o gerenciamento ambientalmente saudável de resíduos que consistem em, contêm ou estão contaminados com poluentes orgânicos persistentes (POPs). **Série de convenções de Basiléia**, SBC Nr.2005/1, 2005.
23. JONES, Kevin C. Persistent organic pollutants (POPs) and related chemicals in the global environment: some personal reflections. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 14, p. 9400-9412, 2021.
24. MA, Jianmin; HUNG, Hayley; BLANCHARD, Pierrette. How do climate fluctuations affect persistent organic pollutant distribution in North America? **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 9, p. 2538-2543, 2004.
25. COUSINS, Ian T. et al. Mudanças climáticas e POPs: prevendo os impactos. **Relatório do Grupo de Peritos do PNUMA/AMAP**, p. 21-28, 2010.
26. HARMON, S. Michele. The toxicity of persistent organic pollutants to aquatic organisms. In: ZENG, Eddy Y. (Ed.). **Comprehensive Analytical Chemistry**. Elsevier, 2015. v. 67, p. 587-613.
27. LI, Qing et al. Poluentes orgânicos persistentes e efeitos adversos à saúde em humanos. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Parte A, v. 69, n. 21, p. 1987-2005, 2006. DOI: 10.1080/15287390600751447.
28. VITOUSEK, Peter M. Beyond global warming: ecology and global change. **Ecology**, v. 75, n. 7, p. 1861-1876, 1994.
29. FORTIER, J. de S. et al. Meta-analysis of the responses of Brazilian trees and herbs to elevated CO₂. 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2604847/v1.
30. TUBIELLO, Francesco N. et al. Efeitos das mudanças climáticas e do CO₂ elevado em sistemas de cultivo: previsões de modelos em duas localidades italianas. **European Journal of Agronomy**, v. 13, p. 179-189, 2000.
31. WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas com elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, v. 9, p. 1564-1571, 2015.
32. RYDING, Sara et al. Shape-shifting: changing animal morphologies as a response to climatic warming. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 11, p. 1036-1048, 2021.
33. "Ocean Acidification and Coral Calcification". **Science**. DOI: 10.1126/science.1192286.

34. "Ion Regulation in Fish and the Role of Carbonic Anhydrase". **Journal of Comparative Physiology B**. DOI: 10.1007/s00360-019-01224-3.
 35. "Climate Change and the Distribution of Marine Species". **Global Change Biology**. DOI: 10.1111/gcb.12454.
 36. "Soil Microbial Decomposition and Greenhouse Gas Emissions". **Nature**. DOI: 10.1038/nature11869.
 37. "Nitrogenase Regulation and Adaptation to Water Limitation". **Journal of Bacteriology**. DOI: 10.1128/jb.00548-21.
 38. BRADU, Pragya et al. Recent advances in green technology and Industrial Revolution 4.0 for a sustainable future. **Environmental Science and Pollution Research International**, p. 1, 2022.
 39. MANN, Charles C. Genetic engineers aim to soup up crop photosynthesis. **Science**, v. 314, p. 314-316, 1999.
 40. COLLOTTA, M. et al. Águas residuais e CO₂ residual para biocombustíveis sustentáveis de microalgas. **Algal Research**, v. 29, p. 12-21, 2018. DOI: 10.1016/j.algal.2017.11.013.
 41. "Bioremediation of Polluted Environments: An Overview". **Current Opinion in Biotechnology**. DOI: 10.1016/j.copbio.2021.08.002.
 42. KALYUZHNYAYA, Marina G.; PURI, Aaron W.; LIDSTROM, Mary E. Metabolic engineering in methanotrophic bacteria. **Metabolic Engineering**, v. 29, p. 142-152, 2015.
 43. GAVRILESCU, Maria. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 74, p. 21-31, 2022.
 44. SHAMSUDDIN, Ibrahim Muhammad et al. Bioplastics as better alternative to petroplastics and their role in national sustainability: a review. Adv. **Biosci. Bioeng**, v. 5, p. 63, 2017.
- "Bioplastics and Their Role in Environmental Sustainability"Fonte: **Green Chemistry**.DOI: 10.1039/C9GC01496K.

Autores

Isabela Ferreira Henrique

Programa de Pós Graduação em Bioquímica, Universidade Estadual de Maringá.