

O AR QUE RESPIRAMOS



"Feliz quem seus prazeres e cuidados a alguns hectares paternos limita, contente em respirar o ar nativo em sua própria terra."

(Alexander Pope)

"A natureza não faz milagres, faz revelações."

(Carlos Drummond de Andrade)

Dos escritos de Neori Pavan na seção anterior sobre a disponibilidade e a qualidade da água na Terra, destaca-se o aviso sobre a "ameaça de controle da água por grupos econômicos transacionais" e sobre "a poluição de rios, lagos e solos". No caso do aquífero Guarani, este se estende do Brasil até outros três países da América do Sul.

A contaminação neste manancial d'água já existe, fruto da presença de componentes tóxicos relacionados à suinocultura, e ainda outros relacionados a agrotóxicos de lavouras. Como bem explicado por Neori, esses despejos acabam escoando também por rios e afetando reservatórios de água potável. A boa notícia é que ainda dá tempo de mudar a mentalidade de alguns que pensam ser o meio ambiente um depósito de lixo, detritos e tralhas.

Essa responsabilidade, aliás, como bem demonstrou Joana Silvia Mattia Debastiani em seu capítulo, transpassa fronteiras...

Adiante, nesta seção, vamos conhecer os danos causados por seres humanos à atmosfera, isto é, à imensa área que alberga os componentes do ar que respiramos. Nela estão os gases carbônico e metano, os quais, se em demasia, ameaçam a saúde humana e a dos animais.

Nesta seção: ar, atmosfera, oxigênio, gás carbônico, aquecimento global.



Indústria emitindo resíduos de seus processos de fabricação. As emissões de gases de efeito estufa ainda estão em níveis recordes, apesar de um movimento em direção à energia renovável em algumas partes do mundo (GILBERT, 2023).

CARBONO, ATMOSFERA E AQUECIMENTO GLOBAL

Heraldo Baialardi Ribeiro¹

▶ A atmosfera atual da Terra é produto da evolução geológica do planeta ao longo dos últimos 4,5 bilhões de anos, bem como de impactos antropogênicos mais recentes (HOEFS, 2022). Tornou-se a base da vida em nosso planeta, até porque é o único envoltório gasoso da Terra, com massa anual estimada em $5,13 \times 10^{18}$ kg. Tal massa é composta por gases principais, partículas sólidas suspensas e aerossóis e, embora se estenda desde a superfície terrestre até 100 km de altitude, aproximadamente 90% dela concentra-se na troposfera.



Parte I – Gás carbônico

O “efeito estufa natural” é um dos fatores mais importantes para manter a Terra quente, pois impede que parte do calor do planeta escape para o espaço. Contudo, se houver excesso de gases, tem-se o aquecimento global. *Gases são todos iguais?* Não. Há os de efeito estufa (GEE) e os de poluição atmosférica, com diferentes efeitos no meio ambiente. A poluição atmosférica está associada

¹ Natural de Alegrete – RS, formado em Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, especialista em Tecnologia pela Universidade de Passo Fundo, mestre em Química de Produtos Naturais, pela mesma universidade. Especialista em Projetos de Tratamentos de Resíduos Industriais – Pontifícia Universidade Católica – PUC/RS, Porto Alegre, mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fronteira Sul – Campus de Erechim – RS. Foi professor em várias disciplinas e em vários cursos durante 16 anos na URI – Campus de Erechim, e durante 14 anos na UnC – Universidade do Contestado, Campus de Concórdia. Especialista em Tecnologia de Alimentos pela UPF – Universidade de Passo Fundo e especialista em Projetos de Tratamentos de Efluentes Industriais pela PUC-RS. Foi Vice-Presidente do Instituto Sócio Ambiental Vida Verde – ELOVERDE de Erechim. Conselheiro do COMPAM. Presta serviços técnicos de consultoria e assessoria em tecnologia química e ambiental, gestão de resíduos e tratamentos de efluentes para pequenas e médias empresas.

a impactos na saúde humana e na de outros seres vivos, enquanto os GEE têm potencial de causar o aquecimento global, dadas as suas características de manter e refletir o calor, reduzindo o albedo (um coeficiente de reflexão), isto é, certa quantidade de radiação solar que determinada superfície planetária reflete para a atmosfera (LIMA & HAMZAGIC, 2020).

A composição química da atmosfera da Terra, de forma geral, é bastante simples, sendo o ar seco composto quase inteiramente por dois elementos: nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), em frações molares de 78,08% e 20,95% em volume, respectivamente. O terceiro elemento mais abundante na atmosfera (0,93%) é o gás inerte argônio (Ar) (HOEFS, 2022).

Porém, existem outros constituintes nela presentes em proporções variáveis no espaço e no tempo,² além de gases nobres como hélio, neônio, criptônio e xenônio. Existem, ainda, gases de efeito estufa (GEE), tais como dióxido de carbono, metano, dióxido de enxofre, ozônio e óxidos de nitrogênio (NO, NO_2 , N_2O) (HOEFS, 2022), e são as variações nas proporções dos compostos que se encontram em menor proporção na atmosfera que provocam esse efeito estufa. Esses gases, além do aquecimento global, causam mudanças climáticas na Terra, com ampliação na quantidade e na força de tempestades, instigando mudanças nas correntes oceânicas, derretimentos polares e elevação do nível dos mares.

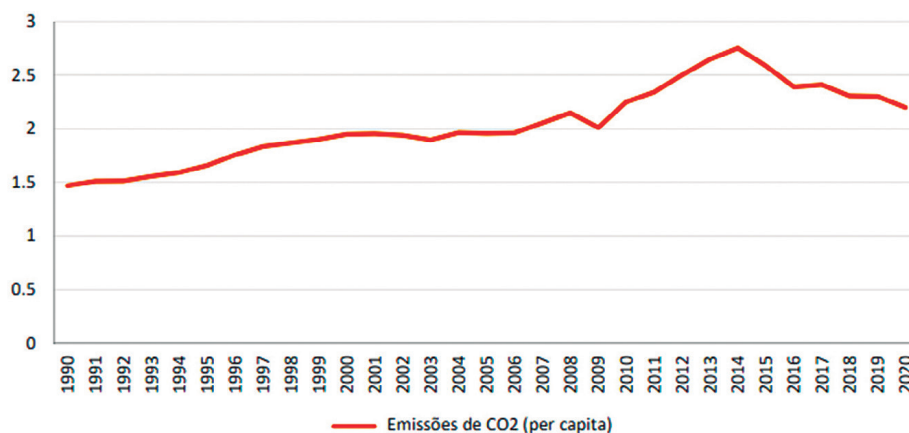
Na natureza, o carbono pode se encontrar em diversas formas e combinações, tais como gás carbônico (CO_2), monóxido de carbono (CO), gás metano (CH_4), derivados de clorofluorocarbonos (CFC), ou hidrocarbonetos ($HxCy$), entre outros. Os CFCs causam a redução da camada de ozônio.

Segundo Baird (2011), no último século, fruto das atividades antrópicas, a presença significativa destes gases na atmosfera iniciou processos ambientais de escala global, como o efeito estufa, o buraco de ozônio, *smog* fotoquímico etc.

² O uso da palavra "tempo" deve-se a que a atmosfera é extremamente variável. No momento em que se lê esta nota, várias interconversões estão ocorrendo na atmosfera, de modo que o que se tinha ligeiramente antes, já se modificou para outra coisa logo depois. É um exemplo a água que ao se misturar com gases derivados de enxofre e de nitrogênio transforma-se em ácido, sem falar das transformações de oxigênio para ozônio, entre outras, provocadas por ftons de luz solar, assim como por raios ultra-violetas e infravermelhos que ativam catalizadores foto-químicos.

O gás carbônico (CO₂), além da origem biogênica, produzido pela ação de organismos vivos, tem origem antrópica. Medições sistemáticas diretas da concentração de CO₂ na atmosfera foram iniciadas meados do século XX. Mais recentemente outros gases também são monitorados, como o metano. Dados paleo-atmosféricos medidos a partir de amostras de gelo polar revelam mudanças nas quantidades de alguns dos gases de efeito estufa (GEE), exibindo a atuação humana na concentração desses gases na atmosfera no período pós-revolução industrial (BORSARI & BALES, 2022).

A maior contribuição do homem para a concentração do gás carbônico na atmosfera vem da queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão, petróleo e gás natural. Cada pessoa, em países industrializados, libera cerca de 5.000 kg, em média, de gás carbônico por ano. Nos países em desenvolvimento, a emissão *per capita*, é em torno de 10% do que ocorre nos países desenvolvidos.



Emissões de CO₂ em toneladas *per capita* no Brasil, não relacionadas a mudanças do uso da terra no Brasil – 1990 a 2020.

Fonte: LIMA & HAMZAGIC, 2022.

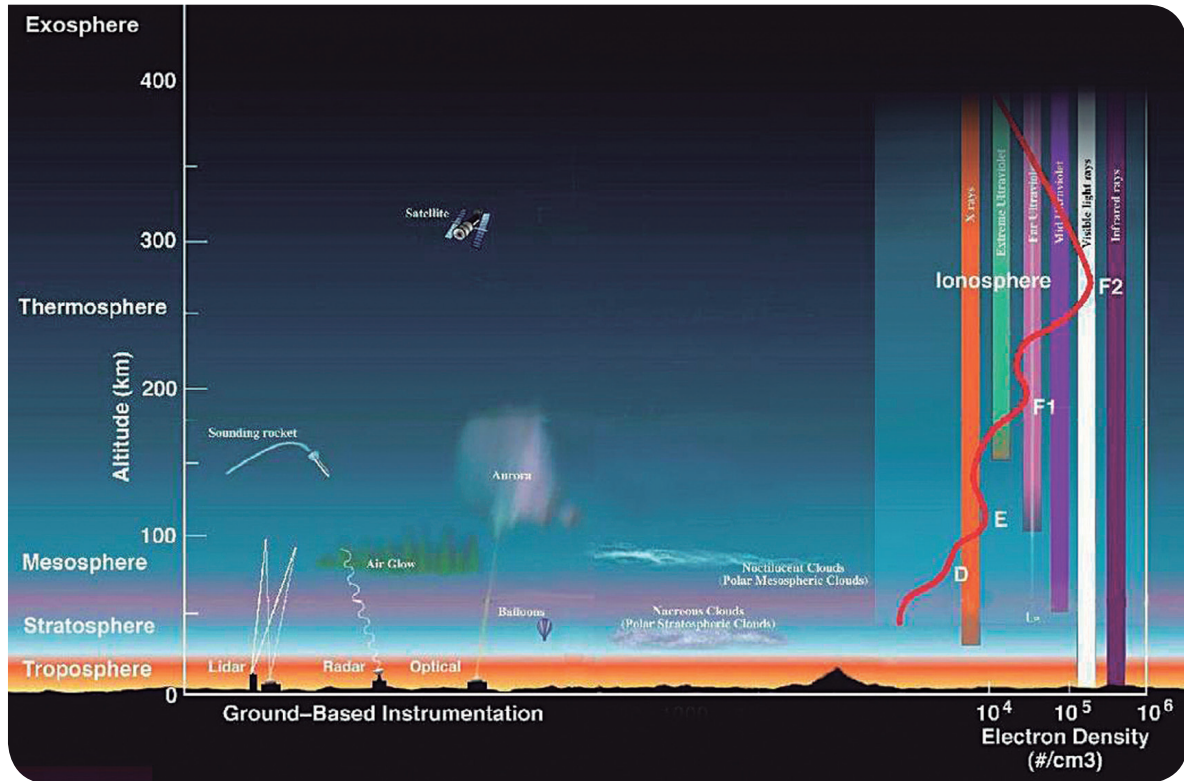
Existe uma variabilidade na liberação destes gases: a) liberação direta, por gases de exaustão de veículos, pela queima de combustíveis fósseis; b) liberação indireta, através da energia utilizada na produção e transporte de bens, aqueci-

mento e resfriamento de ambiente-fábricas, salas de aula e escritórios, produção e refino de petróleo, ou seja, após realizar qualquer atividade produtiva industrial. Também há contribuição significativa na emissão de gases resultantes da devastação de florestas, queima de madeiras e da terra para preparação agrícola. A maior quantidade pontual de desmatamento ocorre atualmente, nesta segunda década do século 21, no Brasil (BAIRD, 2011).

As atividades humanas injetam anualmente 9 milhões de toneladas adicionais de carbono fóssil na atmosfera. A concentração de CO₂ aumentou de 280 ppm para 400 ppm desde 1750. Desse total emitido para a atmosfera, 27% estão sendo absorvidos pelos oceanos, causando rápida acidificação. Cerca de 28% estão sendo absorvidos pelos ecossistemas terrestres. A diferença entre as emissões antropogênicas e a absorção de CO₂ pelos ecossistemas terrestres e aquáticos, que corresponde a 45%, está ficando na atmosfera e causando o aumento da concentração de CO₂ atmosférico (ARTAXO, 2014).

Os gases de efeito estufa (GEE), além de serem uns dos causadores das mudanças climáticas em nosso planeta, provocam, também, o aumento da quantidade e força de tempestades, gerando mudança das correntes marítimas, de gelos e elevações do nível dos oceanos. De acordo com Lima e Hamzagic (2022), a emissão de gases de efeito estufa vem aumentando no Brasil e está relacionada a dois setores bem definidos, majoritariamente o de transporte e o de agropecuária.

A redução das emissões de GEE é fator imperativo, atualmente, para a sobrevivência humana na Terra, e este tema foi motivo de um tratado internacional que vigorou a partir de fevereiro de 2005, o "Protocolo de Kyoto" (comentado em mais detalhes páginas atrás neste livro, no capítulo "*Chegou a vez florestas*"). A sua proposta, em síntese, foi a redução das emissões de GEE com fator preponderante à sobrevivência do homem na Terra. E, a partir de 2009, em Copenhague, Dinamarca, vem ocorrendo encontros de autoridades mundiais de vários países em busca de alternativas de aplicação do acordo inicial.



Holly Zell (NASA, 2017)

Segundo a agência estadunidense Nasa, as camadas da atmosfera têm as seguintes espessuras: (a) *Troposfera*: estende-se desde a superfície terrestre até 8 a 14,5 km de altura. (b) *Estratosfera*: entre 14,5 e 50 km de altura, estando aí a camada de ozônio, que absorve e espalha a radiação ultravioleta solar. (c) *Mesosfera*: entre 50 e 85 km de altura. (d) *Termosfera*: entre 85 e 600 km de altura. (e) *Ionosfera*: inicia a 48 km acima da superfície até a borda do espaço a cerca de 965 km de altura, sobrepondo-se à mesosfera e à termosfera. Esta região cresce e encolhe com base nas condições solares, sendo um elo crítico na cadeia de interações sol-Terra. Esta região é o que torna as comunicações de rádio possíveis. (f) *Exosfera*: entre 600 e 10.000 km de altura.

Contudo, segundo Emerson Galvani (2023), envolvem a Terra uma camada relativamente fina de gases e material particulado (aerossóis), e, "de fato, 99% da massa da atmosfera está contida numa camada de aproximadamente 32 km" de espessura, sendo esta "essencial para a vida e o funcionamento ordenado dos processos físicos e biológicos" sobre o nosso planeta. Por sua vez, Barry & Chorley (2011), dizem que esses 99% da massa da atmosfera, compostos de nitrogênio e oxigênio, foram detectados por testes com foguetes em misturas constantes até 100km de altura.

Fontes:

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J.; Traduzido por Ronaldo Cataldo Costa e Francisco Eliseu Aquino. *Atmosfera, tempo e clima*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

GALVANI, Emerson. *Atmosfera terrestre*. [Disciplina: Climatologia I]. Universidade de São Paulo - Departamento de Geografia. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4182990/mod_resource/content/1/Aula_2_Atmosfera_Terrestre.pdf>. Acesso: mar. 2023.

ZELL, Holly (Editor). *Earth's atmospheric layers*. National Aeronautics and Space Administration – NASA; Goddard. Jan 22, 2013. [Last Updated: Aug 7, 2017]. Available at: <https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html>. Access: mar. 2023.

É urgente o início de um processo de redução da concentração de dióxido de carbono na atmosfera do planeta. Várias ferramentas têm sido estabelecidas para que se reduzam as emissões de GEE, contudo, estas reduções não são suficientes.

Uma opção plausível é o processo de neutralização da geração destes gases, que incide na compensação, de forma parcial ou total, das emissões de dióxido de carbono oriundas de processos industriais e de outras atividades humanas. Trata-se de uma redução das quantidades de combustíveis fósseis, procurando alternativas ambientais corretas, bem como a recuperação de áreas degradadas, dos mananciais hídricos, subterrâneos e superficiais e de seu entorno, assim como a recuperação de matas ciliares e reservas legais.

Assim, incentiva-se, ainda, o plantio de árvores nativas, as quais vão fixar o CO₂ via fotossíntese e produzir e liberar para o ambiente o oxigênio, tão fundamental à nossa vida. Esses processos poderão estabelecer métodos para absorção e redução do carbono gerado nas atividades humanas. Somente assim disponibilizaremos às futuras gerações possibilidades de recuperação do planeta.

Parte II – Gás metano

Outro gás que interfere no aquecimento global, como forte efeito estufa, é o metano (CH₄). Comparando-se as duas moléculas (uma de gás carbônico e outra de metano), descobriu-se que o metano tem potencial de aquecimento 80 vezes maior que o dióxido de carbono.

Compreender e quantificar o orçamento global de metano (CH₄) é importante para avaliar caminhos realistas de mitigação de mudanças climáticas. As emissões atmosféricas e as concentrações de CH₄ continuam a aumentar, o que torna o CH₄ o segundo gás de efeito estufa em influência, depois do dióxido de carbono (CO₂) (SAUNOIS et al., 2020).

O metano é emitido por diferentes processos (biogênico, termogênico ou pirogênico) e pode ser de origem antropogênica ou natural. O metano biogênico vem da decomposição de matéria orgânica por *Archaea metanogênica* em ambientes

anaeróbicos (solos saturados de água, pântanos, arrozais, sedimentos marinhos, aterros sanitários, esgotos e instalações de tratamento de águas residuais), ou ocorre dentro de sistemas digestivos de animais (SAUNOIS et al., 2020).

A maioria das emissões antropogênicas de metano relacionadas aos combustíveis fósseis vem da exploração, transporte e uso de carvão, petróleo e gás natural. Outras emissões vêm de pequenas contribuições industriais, como a produção de químicos e metais, da queima de combustíveis fósseis que ocorrem em incêndios em minas de carvão subterrâneas, de incêndios de petróleo e gás e, ainda, de certos veículos utilizados para transportes em geral.

Conforme dados da *Avaliação Global de Metano*³, uma publicação da ONU, aproximadamente 60% das emissões globais de metano vêm de fontes antropogênicas. Destas, mais de 95% originam-se basicamente de combustíveis fósseis (35%), agricultura (40%) e resíduos (20%).

Ocorrem emissões antropogênicas durante a extração de petróleo e gás, durante o bombeamento e o transporte de combustíveis e durante a mineração de carvão em minas ou a céu aberto (HÖGLUND-ISAKSSON, 2020). No setor de combustíveis fósseis, a extração, o processamento e a distribuição dos três principais combustíveis causam impactos à atmosfera comparáveis aos das emissões oriundas da queima de petróleo e gás, cada uma contribuindo com 34%, seguidas pelo carvão com 32% das emissões setoriais em 2020 (HÖGLUND-ISAKSSON, 2020).

Os processos de tratamento de resíduos sólidos em aterros sanitários e lixões, não autorizados, são a segunda maior fonte de metano, representando cerca de 20% das emissões antropogênicas globais.

Na agricultura, as emissões de metano originam-se majormente da fermentação entérica e do manejo de esterco e representam aproximadamente 32% das emissões antropogênicas globais. No quesito fermentação entérica, os bovinos são os maiores emissores. Em relação ao esterco, são os porcos os maiores emissores, embora o gado também contribua bastante com essas emissões. Por sua

³ "Avaliação Global de Metano" vem do inglês "Global Methane Assessment" (GMA), e os dados das emissões de metano exibidos neste parágrafo são de 2021 (em valores aproximados).

vez, o cultivo de arroz adiciona outros 8% às emissões antrópicas de metano, e a queima de resíduos agrícolas contribui com cerca de 1% ou menos.

Embora parte da queima de biomassa seja natural, a queima atual resulta em grande parte de atividades antropogênicas. Grandes quantidades de biomassa são queimadas nos trópicos em incêndios induzidos pelo homem relacionados ao cultivo itinerante, desmatamento, queima de resíduos agrícolas e uso de biocombustíveis. Embora o arroz alimente até um terço da população mundial, os arrozais são uma fonte significativa de metano (DLUGOKENCKY & HOUWELING, 2015).

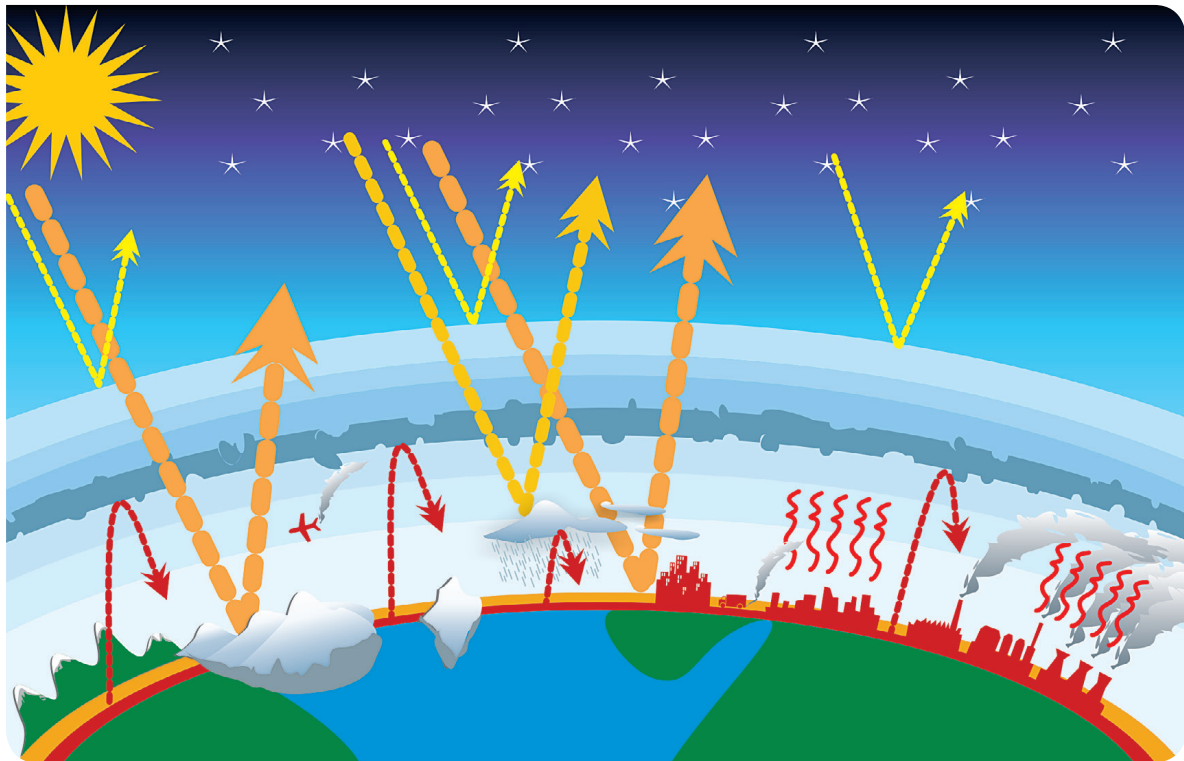
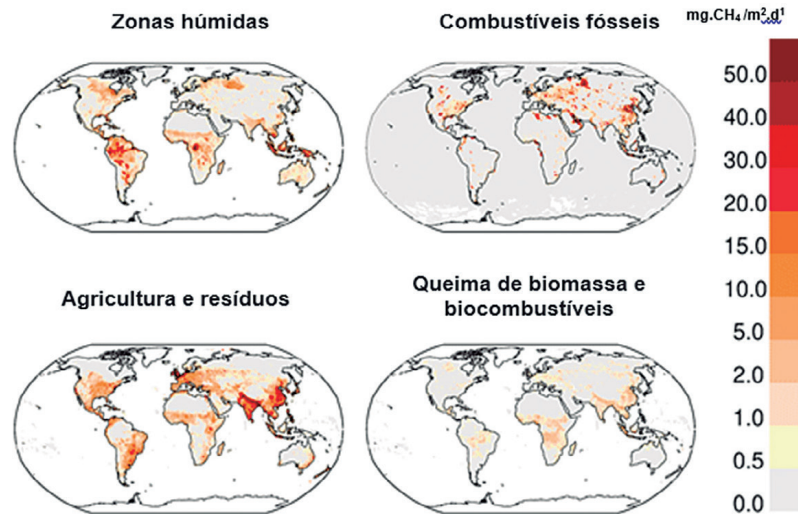


Foto: adaptação de Agnieszka Biskup, 2010.

A atmosfera da Terra, aqui em azul claro, funciona como as janelas de uma estufa de vidro. Alguns gases, como o dióxido de carbono, impedirão que certos comprimentos de onda de energia (aqui em vermelho) retornem ao espaço. Essa energia aprisionada, ou seja, o calor, serve para manter o nosso planeta aquecido.

Fonte: AGNIESZKA BISKUP. Explainer: Global warming and the greenhouse effect. Greenhouse gases trap heat on Earth. *Science News Explorers*, May 7, 2010. Available at: <<https://www.snexplorers.org/article/explainer-global-warming-and-greenhouse-effect>>. Access: jan. 2023.

O metano é produzido na decomposição anaeróbica de material orgânico em campos de arroz inundados, estes responsáveis por aproximadamente 8-11 % das emissões antropogênicas globais de metano (SAUNOIS et al. 2020).

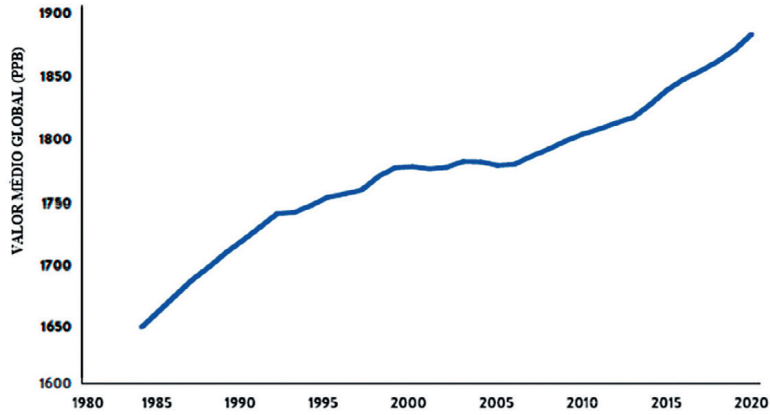


Mapas de emissões de metano de quatro categorias de fontes: (a) zonas úmidas ou *wetlands*, isto é, pântanos naturais, excluindo lagos, lagoas e rios; (b) combustíveis fósseis; (c) agricultura e resíduos; (d) queima de biomassa e biocombustíveis, no período de 2008 a 2017 (mg.CH₄/m².d¹).

De acordo com a *Avaliação Global de Metano* (2021), sabendo-se que o metano é ingrediente-chave na formação do ozônio ao nível do solo (*smog*), além de um poderoso fator climático e perigoso poluente do ar, foram realizados estudos que associam os custos e benefícios climáticos e de poluição do ar com as mitigações do metano. Constatou-se que uma redução de 45% das emissões de metano evitaria, por exemplo, 260.000 mortes prematuras, 775.000 visitas hospitalares relacionadas à asma, 73 bilhões de horas de mão de obra perdida devido ao calor extremo e 25 milhões de toneladas de perdas de colheitas anualmente.

As quantidades de metano na atmosfera mudaram drasticamente nas últimas quatro décadas, conforme se vê no gráfico "*Quantidade média global de metano, 1984-2019*". Estas quantidades aumentaram acentuadamente na década de 1980,

mas diminuíram para um nível quase constante entre 2000 e 2005, quando as emissões e as remoções de metano estavam aproximadamente equilibradas, como mostra, adiante, o gráfico "*Emissões globais estimadas de metano e sumidouros (remoções), 1984-2019*". No entanto, as quantidades de metano atmosférico voltaram a aumentar rapidamente na última década:



Quantidade média global de metano, 1984-2019, partes por bilhão.

Fonte: Ed. Dlugokencky, NOAA/ESRL. Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/>. Adaptado de GMA (2021).

Essas observações demonstram que é crucial mudar a trajetória de aumento da presença desse gás de efeito estufa, que em 2020 exibiu a maior taxa de crescimento nos 37 anos de registros da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), ligada ao governo norte-americano, como mostra, a seguir, o gráfico "*Taxa média global de crescimento anual do metano, 1984-2019*".

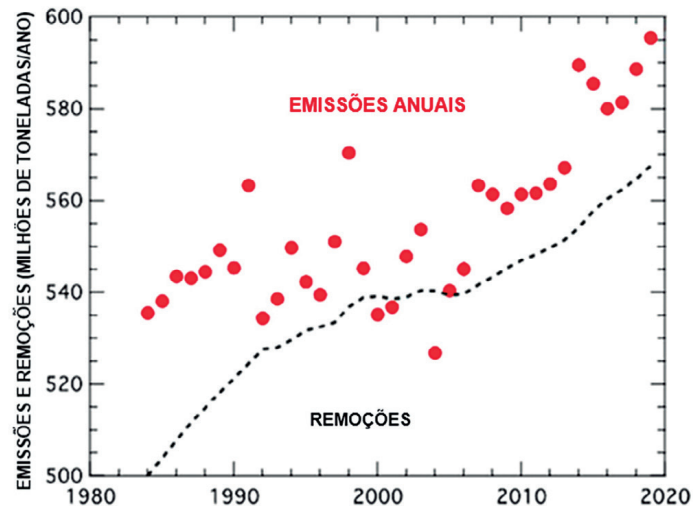
De acordo com Jackson et al. (2020), existem evidências de que os aumentos nas quantidades do metano atmosférico são especificamente devido ao aumento das emissões e não a uma taxa de remoção atmosférica mais lenta, como apresentado, adiante, no gráfico "*Emissões globais estimadas de metano e sumidouros (remoções), 1984-2019*". Os aumentos devem-se a atividades relacionadas a combustíveis fósseis e à contribuição combinada de fontes agrícolas e de resí-

duos em partes aproximadamente iguais. Estes dados também mostram que o metano atmosférico responde rapidamente às reduções nas emissões, conforme demonstrado pelas taxas de crescimento negativas no início dos anos 2000.



Taxa média global de crescimento anual do metano, 1984-2019, em partes por bilhão por ano.

Fonte: Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL. Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/>. Adaptado de GMA (2021).



Emissões globais estimadas de metano e sumidouros (remoções), 1984-2019, milhões de toneladas por ano.

Fonte: Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL. Adaptado de GMA (2021).

Nota: Valores estimados utilizando uma inversão de valores observados com base numa vida útil global constante (invariável no tempo) de 9,1 anos e balanço de massa.



Estão entre os principais fatores de emissão de gases que se acumulam na atmosfera: os transportes; as queimadas e incêndios em florestas ou campos para a preparação agrícola ou produção de energia; a pecuária; a produção e refino de petróleo; quaisquer atividades industriais; a evapotranspiração proveniente de material orgânico em pântanos ou de churume em lixões.

Porém, tem havido trabalhos em potencial para a remoção ativa de metano da atmosfera no futuro, embora tais estudos estejam em estágios muito iniciais e sua eficácia e economia ainda precisem ser demonstradas (JACKSON et al., 2020).

A Avaliação Global de Metano realizada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Coalizão Clima e Ar Limpo constatou que as emissões de metano causadas pelo homem podem ser reduzidas em até 45% nesta década. Tais reduções evitariam quase 0,3°C de aquecimento global até 2045 e seriam consistentes com o alcance da meta do Acordo Climático de Paris, que seria limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis ditos pré-industriais (GMA, 2021), tal como se explicou em detalhes noutro capítulo deste livro, intitulado "*Chegou a vez florestas...*".

As ações de mitigação abrangem as medidas que visam à redução da emissão dos gases do efeito estufa, o sequestro de carbono nos ecossistemas terrestres e medidas para evitar a emissão de gases do efeito estufa (SMITH et al., 2008 apud ANGELOTTI, 2011). Imediatamente, medidas de mitigação deverão ser adotadas, objetivando novas adaptações das atividades humanas, ligadas principalmente ao setor agrícola, reduzindo alterações no clima, para que consigamos minimizar os efeitos das mudanças climáticas em curto prazo e, assim, garantir um futuro para as gerações vindouras e a hígidez do planeta. ■

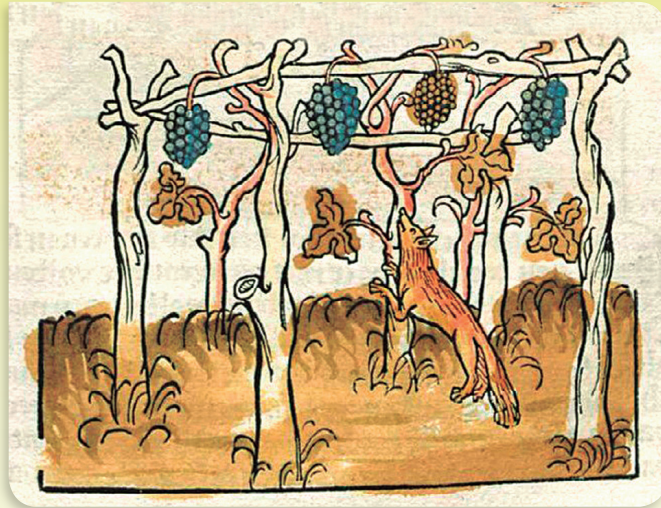
Ver referências na p. 242. 



FÁBULAS de ESOPHO
História & moral da história

A RAPOSA E AS UVAS

Uma Raposa ao se aproximar de uma parreira viu que estava carregada de uvas maduras e apetitosas. Com água na boca, desejou comê-las e, para tanto, começou a se esforçar para subir e pegá-las. A Raposa tentou, mas como estavam as uvas muito altas e era muito difícil a subida, não conseguiu alcançá-las. Disse então:



— Estas uvas estão muito azedas e podem desbotar os meus dentes. Não quero colhê-las agora porque não gosto de uvas que não estão maduras.
Dito isso, foi-se.

Moral da história: Desvalorizar algo previamente desejado nem sempre corresponde a uma autêntica mudança de pensamento, mas sim a uma dissimulação da incapacidade em obter aquilo que se quer.

Fonte: adaptado de Esopo.





REFERÊNCIAS DA PARTE VIII

Capítulo: “Carbono, atmosfera e aquecimento global”

AGNIESZKA BISKUP. Explainer: Global warming and the greenhouse effect. Greenhouse gases trap heat on Earth. *Science News Explores*, May 7, 2010. Available at: <<https://www.snews.org/article/explainer-global-warming-and-greenhouse-effect>>. Access: jan. 2023.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; SÁ, I.B. Mudanças climáticas no semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n. 6, p. 1097-1111, 2011.

ARTAXO, P. Mudanças climáticas e o Brasil. *Dossiê Clima – Revista USP*, São Paulo, n. 103, p. 8-12, 2014.

BAIRD, C.; CANN, M. *Química ambiental*. Porto Alegre: Bookman, 4. ed., 2011, 844.

BORSARI, V.; BALES, M.P. Emissões veiculares e mudanças climáticas: o controle da emissão de gases de efeito estufa para veículos leves. *Revista Ambiente*, São Paulo, v. 1, 2022. Disponível em: <<https://revista.cetesb.sp.gov.br/revista/article/view/183>>. Acesso em: 3 dez. 2022.

DLUGOKENCKY E.; HOUWELING S. Chemistry of the atmosphere: methane, in encyclopedia of atmospheric sciences. 2nd. edition. Cambridge: Academic Press., MA, US, 2015.

GILBERT, L. *They just kept on rising: data reveals alarming greenhouse gas increase*. University of New South Wales, June 2021. Available at: <<https://phys.org/news/2021-06-reveals-alarming-greenhouse-gas.html>>. Access: jan. 2023.

GMA - GLOBAL METHANE ASSESSMENT. *Benefits and costs of mitigating methane emissions*. United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition (2021).

HOEFS, J., HARMON, R. The Earth’s atmosphere - A stable isotope perspective and review. *Applied Geochemistry*, 143 (2022). Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105355>>. Access: dec. 2022.

HÖGLUND-ISAKSSON, L.; GÓMEZ-SANABRIA, A.; KLIMONT, Z.; RAFAJ, P.; SCHÖPP, W. *Technical potentials and costs for reducing global anthropogenic methane emissions in the 2050 timeframe*.

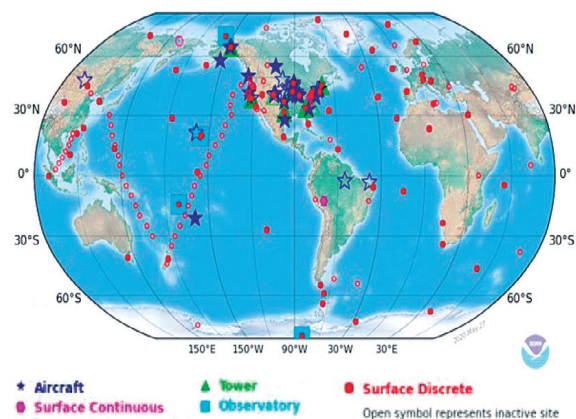
JACKSON, R.B. et al. Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environ. Res. Lett.*, 15, 2020.

LIMA, L.J.B.; HAMZAGIC, M. Poluição atmosférica e gases de efeito estufa no Brasil. *Anais do XI CICTED - Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento, Universidade de Taubaté (UNITAU)*, Taubaté, 2022.

SAUNOIS, M. et al. The global methane budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, vol. 12, issue 3, p. 1.561–1.623, 2020. Available at: <<https://essd.copernicus.org/articles/12/1561/2020/>>. Acesso: jan. 2023>.

UNEP/CCAC - United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition (2021). *Global methane assessment (full report)*. Available at: <<https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>>. Access: 25 jan. 2023.

Curiosidade sobre o monitoramento do ar:



Programas de mensuração cooperativa no mundo, que ocorrem com o uso de aviões, de equipamentos na superfície e de torres e observatórios em vários pontos do planeta Terra.

Fonte: UNEP/CCAC, 2021. Dados de 27 de maio de 2022.