



KONRAD
ADENAUER
STIFTUNG



MUDANÇAS DO Clima

Tudo que você queria
e não queria saber

SERGIO MARGULIS





MUDANÇAS DO Clima

Tudo que você queria
e não queria saber

SERGIO MARGULIS

Rio de Janeiro, 2020

EDITORA RESPONSÁVEL

Anja Czymmeck

AUTORIA

Sergio Margulis

PESQUISA E APOIO

Gabriela Schneider

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Marina Caetano, Ana Carolina Abreu e Reinaldo Themoteo

REVISÃO

Julio Wasserman, José Paulo Oliveira, Marina Caetano,
Ana Carolina Abreu, Gustavo Pinheiro e Natalie Unterstell

PROJETO GRÁFICO

Daniela Knorr

IMAGENS DA CAPA

Derretimento do gelo - Foto de Tina Rolf / Unsplash.com
Desmatamento na Amazônia - Foto de Brasil2 / Istockphoto.com
Sergio Margulis - Foto de Patricia Secco

ILUSTRAÇÕES

Christian Monnerat

IMPRESSÃO

Aerographic

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Lumos Assessoria Editorial

Bibliotecária: Priscila Pena Machado CRB-7/6971

M331 Margulis, Sergio.
Mudanças do clima : tudo que você queria e não queria
saber / Sergio Margulis. — Rio de Janeiro : Konrad
Adenauer Stiftung, 2020.
180 p. ; 23 cm.

Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-990084-9-8

1. Mudanças climáticas - Aspectos ambientais.
2. Aquecimento global. 3. Proteção ambiental. I. Título.

CDD 333.72

As opiniões externadas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade de seus autores.

Todos os direitos desta edição reservados à
© 2020, Konrad Adenauer Stiftung e.V.

Fundação Konrad Adenauer

Rua Guilhermina Guinle, 163 • Botafogo • CEP: 22270-060 • Rio de Janeiro • RJ • Brasil
Tel: (+55/21) 2220-5441 • Fax: (+55/21) 2220-5448

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
I. O QUE SÃO AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇAS DO CLIMA?	9
Curta existência do homem na Terra e importância do clima	9
Emissões causadas pelo homem: efeito estufa, aquecimento global e mudanças do clima	12
II. EVIDÊNCIAS DO CLIMA MUDANDO E IMPACTOS ESPERADOS	25
Mudanças observadas no clima e contribuição humana	25
Impactos causados pelo novo clima e por eventos extremos	34
III. CLIMA FUTURO, VULNERABILIDADES E RISCOS DE LONGO PRAZO	55
Projeções do clima futuro e suas incertezas	55
Dois graus, quatro graus ou mais? Vulnerabilidades e riscos de longo prazo	58
Brincando com fogo: problemas catastróficos que você não queria nem saber, mas que agora irá	62
Orçamento de carbono: quanto ainda podemos emitir?	68
IV. QUEM É REALMENTE RESPONSÁVEL?	71
De onde vêm as emissões: países, setores econômicos, classes de renda	71
Geração e consumo de energia	74
O consumo como causa subjacente: países e consumidores ricos x pobres	77
Contribuição do Brasil: uso de energia, agropecuária e desmatamento da Amazônia	80
V. É POSSÍVEL FREAR O AQUECIMENTO GLOBAL?	89
Energias limpas	91
Maior eficiência produtiva, novas tecnologias e práticas	97
Demanda e consumo como elementos chave	101
Precificando o carbono para diminuir emissões	105
Remoção de carbono da atmosfera e soluções de ficção científica: acelerando para o pior	108
VI. ADAPTANDO-SE ÀS MUDANÇAS DO CLIMA	115
Contexto e arcabouço para entender a adaptação	115
Adaptação como problema local	118
Vulnerabilidade, pobreza e o déficit de adaptação	119
Decisões sobre como se adaptar	122
Adaptação nos diferentes setores	125
VII. NEGOCIANDO SOLUÇÕES PARA O AQUECIMENTO GLOBAL	131
O processo de negociação global: a UNFCCC, Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris	132
Mercados de carbono, reflorestamento e REDD	135
A economia política da negociação global: países ricos x pobres	137
O retrocesso do governo brasileiro na negociação global a partir de 2019	144
VIII. CONCLUSÕES	151
REFERÊNCIAS	159

APRESENTAÇÃO

As mudanças climáticas representam uma ameaça existencial à humanidade e à vida no planeta Terra como nunca visto. A cada dia, mês ou ano que passa, tornam-se uma emergência a ser combatida com máxima prioridade. Diferentemente de outros riscos à humanidade — como, por exemplo, os causados pela atual pandemia da COVID-19 — onde a ciência busca soluções que eliminem ou reduzam substancialmente o risco em curto período de tempo, as mudanças climáticas apresentam um risco que pode durar desde séculos até milênios. Isso porque o tempo de permanência de muitos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), é de mais de um século. Cerca de 15% do CO₂ emitido hoje permanecerá na atmosfera por mais de 1.000 anos. Muitas e muitas gerações humanas e muito da vida na Terra estarão sobre tal ameaça existencial. Assim, combater as mudanças climáticas torna-se o desafio-mor da nossa civilização para manter nosso planeta habitável e com diversidade de vida.

Os riscos são exacerbados porque se não reduzirmos rapidamente as taxas de emissões de GEE — buscando não ultrapassar os limites impostos pelo Acordo de Paris da Convenção Climática da ONU de aquecimento inferior a 2° C — desequilíbrios naturais, muitos deles imprevisíveis, seriam desencadeados. Por exemplo, com alguns graus a mais de aquecimento da superfície da Terra, uma vasta quantidade de CO₂ aprisionado nas áreas do *permafrost* nas altas latitudes do Hemisfério Norte da Sibéria, Canadá e Alasca, seria liberada, acelerando o aquecimento global sem a possibilidade de controle humano. O mesmo tipo de risco ocorre com a estabilidade das florestas tropicais em resposta a ações antropogênicas de aquecimento global, desmatamento e incêndios florestais. Uma grande preocupação está muito próxima de nós brasileiros: a nossa Amazônia. A floresta está a um passo de sofrer um irreversível processo de savanização, por meio da qual mais de 60% de sua extensão tornar-se-iam uma savana tropical bastante degradada num intervalo de 30 a 50 anos, liberando mais de 300 bilhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera — equivalente a oito anos de emissões globais deste gás — dificultando sobremaneira a redução do aquecimento global a níveis toleráveis e de menor risco.

A gravidade do problema nos faz refletir se existem limites absolutos para nos adaptarmos às mudanças climáticas. Infelizmente, a resposta é sim. Ultrapassar alguns desses pontos de não retorno do complexo sistema climático nos levaria a um planeta praticamente inabitável no próximo século, onde a maior parte da superfície chegaria a condições climáticas de temperatura e umidade que ultrapassariam o limite fisiológico de sobrevivência do corpo humano. Igualmente, a produção de alimentos seria altamente afetada e a grande maioria das culturas agrícolas não sobreviveria na maior parte do planeta. Bem mais de 50% das espécies existentes também seriam extintas sob tais condições extremas, sendo esta sexta grande extinção a única provocada por ações de uma espécie, o *Homo sapiens*.

Portanto não podemos perder mais nem um minuto nas ações de redução dos riscos extremos que as mudanças climáticas antropogênicas colocam para a vida na Terra. Ainda que difícil, é factível, sim, buscarmos as trajetórias de sustentabilidade através de uma rápida redução de emissões de GEE, para que o aumento da temperatura da superfície do planeta não supere 1,5° C — valor que a ciência coloca claramente como possível e de um grau de risco bastante sério, mas ainda aceitável. Mesmo assim, isso irá requerer ações de adaptação em todos os setores, haja vista que o planeta aqueceu até agora cerca de 1,1° C e as mudanças observadas, por exemplo, nos extremos de chuvas ou secas, já provocam imensos danos a muitas atividades humanas, aumentando o risco de desastres naturais ou de produção de alimentos.

Atingir tal trajetória de maior sustentabilidade requer zerar as emissões líquidas até meados do século. Isso significa reduzir as emissões atuais de cerca de 40 bilhões de toneladas de CO₂ à metade até 2030, novamente à metade até 2040, e novamente à metade até 2050, resultando numa emissão residual de cerca de 5 bilhões de toneladas de CO₂. Essas poderão ser compensadas com o aumento das absorções desse gás, principalmente com restauração florestal. Neste ponto, o Brasil tem um enorme potencial ao zerar o desmatamento da Amazônia, do Cerrado e de outros biomas em poucos anos — algo realmente factível ao se praticar uma agricultura eficiente e moderna —, lembrando que cerca de 50% das emissões brasileiras resultam de desmatamentos e degradação dos biomas. Adicionalmente, seria possível e desejável restaurar a vegetação em grandes áreas de agropecuária de baixa produtividade, principalmente na Amazônia, trazendo um duplo e importantíssimo benefício: retirar CO₂ da atmosfera e reduzir o risco da savanização da floresta tropical.

Mirando o gigantesco desafio que se apresenta à humanidade, um elemento essencial é a necessidade de disseminação ampla do conhecimento

sobre mudanças climáticas, seus riscos e ações urgentes requeridas para redução desses riscos. Este é o objetivo principal do livro “Mudanças do clima: tudo o que você queria e não queria saber”, do economista Sergio Margulis.

O livro cobre com uma linguagem clara, acessível e baseada no melhor conhecimento científico, os aspectos mais importantes dos problemas climáticos. Inicia com explicações sobre o que são as mudanças climáticas, suas causas físicas e claramente demonstrando as evidências de que o clima está mudando. Trata dos impactos que já são observados e daqueles projetados a longo prazo, assim como as diversas vulnerabilidades dos sistemas humanos e naturais do planeta. Em sequência, passa ao terreno da busca de soluções, tanto no sentido de mostrar possíveis cenários de redução urgente das emissões, como dando importante peso às necessidades também urgentes de adaptação e aumento da resiliência dos sistemas humanos e naturais às mudanças esperadas do clima. Sinaliza uma preocupação crescente entre os brasileiros quanto ao aumento das emissões do país nos últimos anos e a necessidade de atacar de frente estas questões para fazer o Brasil retornar a uma posição de protagonismo nas negociações globais sobre as mudanças climáticas.

Uma leitura imperdível, que recomendo a todos!

Carlos A. Nobre

PESQUISADOR SÊNIOR DO INSTITUTO DE
ESTUDOS AVANÇADOS DA USP





O QUE SÃO AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇAS DO CLIMA?

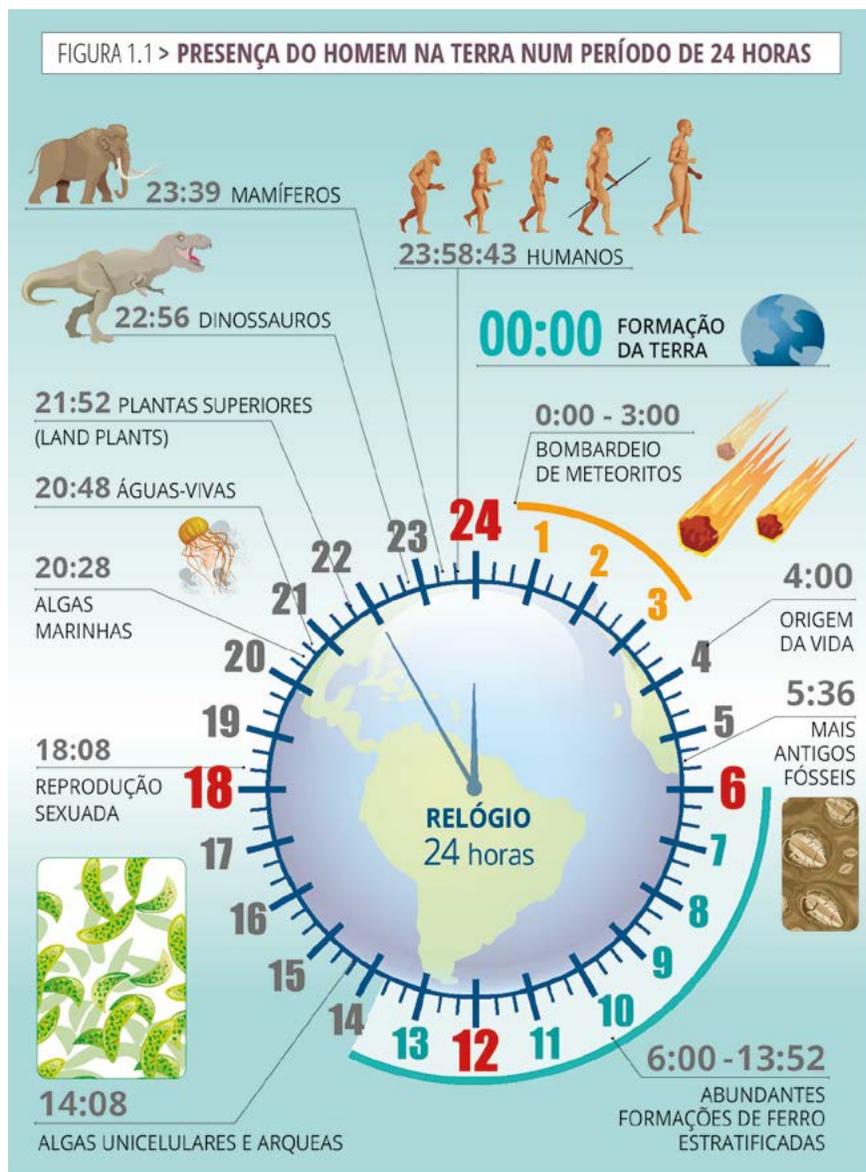
Curta existência do homem na Terra e importância do clima

Desde que existimos – e ao longo de todo o processo evolutivo – nós humanos sobrevivemos, como todos os demais animais e plantas, com base no que a natureza nos oferece. O ar, a água, a radiação solar, a fotossíntese, os minerais, tudo enfim está aqui muito antes dos homens. Esses elementos, juntamente com diversas condições ambientais existentes nos primórdios da Terra, permitiram a geração de aminoácidos, precursores dos primeiros micróbios, os quais evoluíram até o ponto de nós, humanos, existirmos.

Nosso planeta existe há cerca de 4,5 bilhões de anos. No início, a Terra era simplesmente uma bola de gases, queimando e passeando pelo universo. Mais tarde, ela começou a esfriar e isso levou o vapor d'água a se precipitar, formando os primeiros oceanos. Centenas de milhões de anos depois, surgiram as primeiras massas de terra, que originaram os continentes. As primeiras formas de vida – os micróbios, que são micro-organismos unicelulares – surgiram 1 bilhão de anos depois da Terra. Ou seja, a própria vida demorou esse enorme período de tempo para se formar, dadas as condições do planeta naquela época.

Passados mais de 1 bilhão de anos mais ou menos, inicia-se a fotossíntese, e a atmosfera começa a ficar rica em oxigênio (nem mesmo o oxigênio estava aqui quando da formação da Terra!). Entramos então no chamado *Proterozóico*, um período de outro bilhão de anos em que as formas de vida na Terra foram evoluindo e tornando-se mais complexas. Não existiam os continentes, apenas um “território” gigantesco chamado *Pangaea*. Ele começou a se dividir há cerca de 225 milhões de anos, atingindo a configuração atual há “apenas” 65 milhões de anos [1].

Por fim, os primeiros animais surgiram há cerca de 700 milhões de anos, as plantas há cerca de 400 milhões de anos, os primeiros mamíferos há 230 milhões de anos e, finalmente, os primeiros *Hominins*, nossos ancestrais mais próximos – há apenas 2 milhões de anos. Se confrontarmos a existência humana com a criação da Terra num período de 24 horas, nós só entramos em campo às 23 horas, 58 minutos e 43 segundos, ou seja, nossa presença no planeta é um minúsculo ponto no tempo (ver Figura 1.1).



Fonte: [2]

As formas de vida existentes na Terra e sua evolução sempre decorreram das condições reinantes no planeta a cada momento – como temperatura, umidade, radiação solar e concentração de oxigênio. As condições climáticas permitiram a formação dos diversos ecossistemas e habitats no mundo todo. Um determinado tipo de clima pode favorecer a expansão de algumas espécies e, ao mesmo tempo, dizimar outras. À medida que as condições climáticas variam, os ecossistemas e as espécies se adaptam, migram ou mudam de tamanho. A Terra passou por enormes variações climáticas, resultando em mudanças dramáticas nos ecossistemas. O mais recente período geológico – o Holoceno – que começou há cerca de 10 mil anos, tem sido particular e excepcionalmente estável [3].

Não é à toa que, nesse período, a humanidade tenha evoluído até chegar ao ponto em que hoje se encontra. Diferentemente dos períodos em que viveram nossos *hominins* ancestrais, a estabilidade climática permitiu aos homens dos últimos 10 mil anos desfrutar da natureza e desenvolver-se intelectualmente, a ponto de inventar a agricultura, e 5 mil anos depois inventar a roda. No entanto, o extraordinário desenvolvimento da humanidade não mudou o princípio que sempre regeu a vida do homem na Terra: sua dependência da natureza, e a dependência da natureza em relação ao clima.

Este livro analisa as mudanças do clima, que começam a se fazer sentir de forma inequívoca. É um livro com base científica, que busca atingir o maior rigor possível na descrição e entendimento dos eventos que vêm ocorrendo. A ciência subjacente, como toda ciência, está sujeita a incertezas e erros. A previsão do tempo, nossa amiga que aparece nos jornais e aplicativos, é baseada na ciência meteorológica, irmã da ciência climatológica, que vem se aprimorando de forma estupenda ao longo do tempo. Não obstante, segue incerta e sujeita a erros.

Mesmo assim, nós seguimos planejando o amanhã com base na previsão do tempo, conforme os modelos climatológicos e meteorológicos de que dispomos. Não existe “achismo”: apenas utilizamos o que a ciência e seus modelos têm de melhor a nos oferecer. E eles vêm nos avisando há tempos que o clima está mudando. À medida que os fatos corroboram as previsões, o aprendizado só aumenta.

Como a ciência ainda não está 100 por cento segura, poderia fazer sentido esperar mais um pouco antes de a humanidade agir de maneira mais firme com relação às mudanças do clima. Infelizmente, a ciência jamais dará uma previsão com 100 por cento de certeza – senão ela não seria ciência.

Não agir agora é ir contra a evidência científica. Até o presente momento, não conhecemos um outro planeta para o qual possamos fugir caso este aqui torne-se inabitável. Destruiremos o que demorou bilhões de anos para ser construído pela natureza e que nos propicia a vida como a vivemos hoje. Parece então razoável, no mínimo, além de buscar melhorias no tempo presente, deixarmos o planeta para nossos filhos e netos sob as mesmas condições que recebemos de nossos antepassados de milhões de anos.

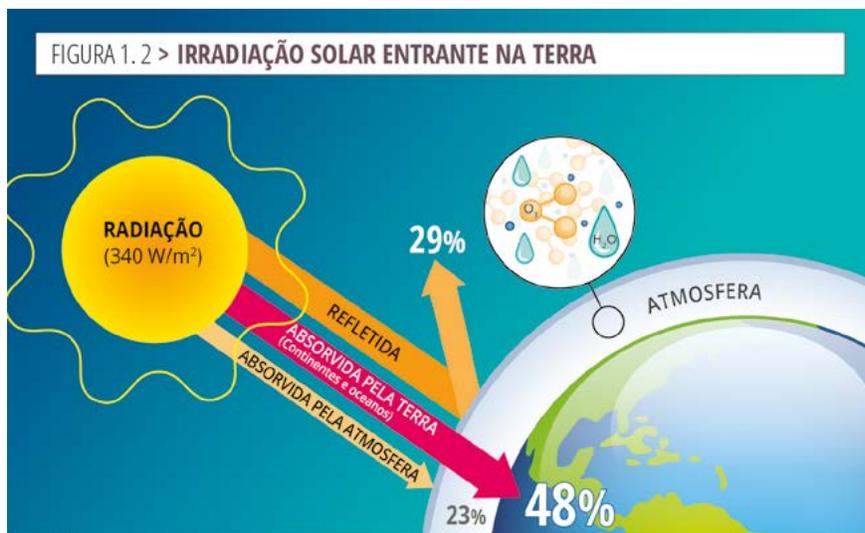
Este primeiro capítulo explica o que significam efeito estufa, aquecimento global e mudança do clima. Além disso, também evidencia que essa mudança é causada, fundamentalmente, pelas ações do homem na Terra. Os fenômenos seguem sendo da natureza – a radiação solar, o ciclo do carbono, o ciclo da água, etc. Mas através de suas atividades, como o uso elevado de energia fóssil e os desmatamentos predatórios, o homem começa a interferir nas condições climáticas conforme vinham prevalecendo há milhares e milhares de anos, sem saber exatamente as consequências dessa interferência, mas tendo o conhecimento de que, em boa parte, as mudanças são irreversíveis.

Emissões causadas pelo homem: efeito estufa, aquecimento global e mudanças do clima

Aqui serão apresentados os principais elementos do clima mais diretamente relacionados ao efeito estufa. A climatologia, ou ciência do clima, estuda as condições da atmosfera no longo prazo (enquanto a meteorologia estuda essas condições no dia a dia, com foco na previsão do tempo). O fator mais elementar e importante da ciência do clima é provavelmente a radiação solar. Outros elementos incluem as massas de ar, sistemas de pressão, correntes oceânicas e topografia [4].

A radiação solar é considerada o fator mais importante, pois é responsável pelo aquecimento da superfície da Terra e da atmosfera, determinando sua temperatura ambiente. Cerca de metade dos raios solares que chegam à Terra – radiação ultravioleta – é absorvida pela superfície (continentes e oceanos) e convertida em calor – radiação infravermelha. Quanto à outra metade, parte é refletida para o espaço (29%) e parte é absorvida pela atmosfera, principalmente pelas partículas de vapor d'água, poeira e ozônio – Figura 1.2.

O famoso CO₂ (gás carbônico ou dióxido de carbono) sempre existiu na atmosfera, em quantidades relativamente pequenas – cerca de 0,04% “apenas”, o que corresponde a cerca de um décimo de meio por cento do total.



Fonte: [5]

Esse gás tem a propriedade de absorver a radiação da Terra que seria refletida para o espaço (radiação infravermelha), não deixando que ela escape. Ainda que o vapor d'água tenha essa mesma propriedade, o CO_2 , por ser muito menos denso, fica na alta atmosfera, considerada a parte mais importante para controlar a radiação refletida para o espaço.

Assim, aumentar a quantidade de CO_2 na atmosfera faz com que a radiação não escape para o espaço, o que aumenta a energia total absorvida pelo sistema terrestre, aumentando sua temperatura. Esse é o chamado efeito estufa [6], que é igual ao de estufas de plantas cobertas de vidro. A radiação solar (ultravioleta) atravessa o vidro, mas o calor (radiação infravermelha) fica retido.

BOX 1.1 > Céu nublado, mais quente aqui embaixo

Você já reparou que os desertos são frequentemente mais frios à noite do que as florestas, mesmo que as suas temperaturas médias sejam as mesmas? Sem muito vapor de água na atmosfera sobre os desertos, a radiação que eles emitem foge rapidamente para o espaço. Em regiões mais úmidas, a radiação da superfície é aprisionada pelo vapor de água no ar. Da mesma forma, noites nubladas tendem a ser mais quentes do que noites claras, porque há mais vapor de água presente.

Fonte: [6]

A primeira pergunta então é: como o CO_2 é eventualmente emitido para a atmosfera? Para entender isso, voltemos para nossas aulas do Ensino Médio, quando aprendemos o ciclo do carbono, ou seja, a troca do próprio carbono entre seus diversos repositórios. A que mais nos interessa aqui é a troca entre a Terra e a atmosfera. A maior parte dos fluxos de carbono entre ambas decorre de fatores naturais. No entanto, as atividades humanas têm dado uma mãozinha e interferido neste processo, principalmente a partir da Revolução Industrial.

A Figura 1.3 mostra que o maior fluxo de carbono se dá entre os oceanos e a atmosfera. Apesar de também emitirem CO_2 , os oceanos absorvem mais do que emitem para a atmosfera – e por isso são considerados sumidouros de CO_2 , ajudando a diminuir sua concentração na atmosfera e, assim, reduzindo o aquecimento global. A cada ano, os oceanos absorvem cerca de $9,7 \text{ Gt}^1$ de CO_2 , descontadas suas emissões. O outro sumidouro são as plantas e os solos, que absorvem $11,5 \text{ Gt}$, em boa parte por conta da fotossíntese.

¹ **Gt** lê-se **Giga-toneladas**, que correspondem a 1 bilhão de toneladas.



Fonte: [7]

Do lado das emissões de CO₂ para a atmosfera, as duas principais fontes são a queima de combustíveis fósseis – principalmente petróleo e carvão mineral – que atingem 34,1 Gt por ano e os desmatamentos, responsáveis por cerca de 3,5 Gt. O balanço entre a quantidade de CO₂ absorvida pela Terra e as emissões causadas pelas atividades humanas – ou seja, as emissões líquidas – é atualmente de cerca de 19,3 Gt por ano. Se o CO₂ se dissolvesse rapidamente, ele não se acumularia na atmosfera. No entanto, ele demora um bom tempo para se dissolver, com cerca de 70% dele lá persistindo entre 20 e 200 anos, o que leva então ao acúmulo da concentração de CO₂ na atmosfera.

Aumento das emissões humanas e das concentrações de CO₂ na atmosfera

Pelo fato de as emissões de carbono só terem iniciado a partir da queima de carvão ocorrida na Revolução Industrial (1750), ela é tomada como o “marco zero” do problema. À época, a concentração de CO₂ na atmosfera era de 280 partes por milhão (ppm). Atualmente, essa concentração na atmosfera aumenta a uma média de 2,2 ppm a cada ano. Se desde o começo da Revolução Industrial nós emitíssemos a mesma quantidade de hoje, a concentração estaria em 874 ppm, o que implicaria um aumento da temperatura média da Terra de 5°C!!!

A Figura 1.4 apresenta a evolução da concentração de CO₂ na atmosfera nos últimos 800 mil anos. Os cientistas conhecem essas concentrações passadas com base na análise de bolhas de ar antigo que ficou preso nas enormes camadas de gelo da Antártica. As concentrações nesse enorme período de tempo, como mostra a Figura, nunca saíram da faixa entre 170 e 300 ppm. A primeira vez na história humana em que a concentração ultrapassou os 300 ppm foi em 1912. Em 2016, as concentrações atingiram 400 ppm [8]. A Figura 1.4 é provavelmente o retrato mais contundente do problema do aquecimento global.

Até o começo do século passado – e talvez até o final da II Guerra Mundial – as emissões não eram tão significativas. Elas começaram a entrar em um ritmo crescente e acelerado a partir de 1950 mais ou menos (ver Figura 1.5). Os dois fatores imediatos, responsáveis por essa elevação, foram o crescimento populacional (de 2,5 bilhões de pessoas em 1950 para 7,8 bilhões em 2020), e o crescimento da economia mundial, que passou de US\$ 5,3 trilhões em 1950 [10], para US\$ 88,6 trilhões em 2018 [11]. Observe que a população multiplicou por 3, enquanto a economia cresceu quase 17 vezes no mesmo período. Grande parte deste crescimento

FIGURA 1.4 > CONCENTRAÇÃO DE CO₂ NA ATMOSFERA NOS ÚLTIMOS 800 MIL ANOS



Fonte: [9]

FIGURA 1.5 > EMISSÕES E CONCENTRAÇÕES DE CO₂

EMISSÕES PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS



Fonte: [12]

CONCENTRAÇÕES DE CO₂ NA ATMOSFERA



Fonte: [13]



deveu-se à industrialização, expansão urbana, transportes, aquecimento de residências e prédios nas regiões frias, tudo movido pela energia barata do petróleo e do carvão. A Figura 1.5 mostra também o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera ao longo do mesmo período de tempo, que corresponde à parte mais recente da Figura 1.4 – evidenciando a relação direta entre emissões e concentrações.

Relação entre concentração de CO₂ e aumento da temperatura da Terra

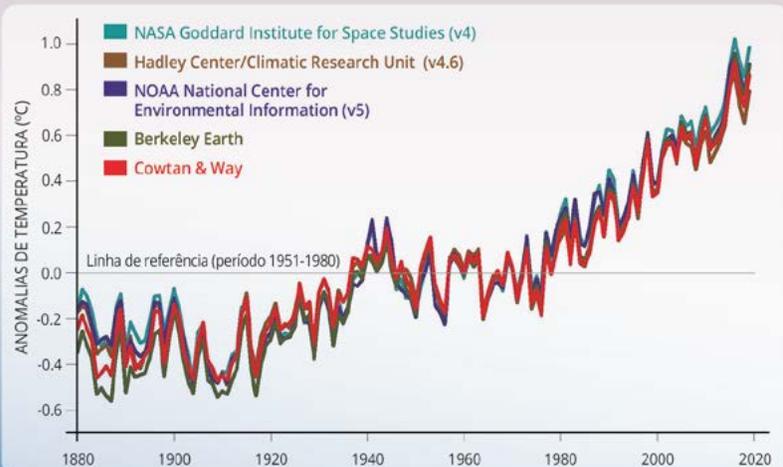
Enquanto as emissões de CO₂ causadas pelas atividades humanas e as concentrações de CO₂ na atmosfera cresceram, o que aconteceu exatamente com a temperatura na Terra e seus impactos nas mudanças de padrões climáticos?

Para se obter um quadro completo da temperatura da Terra, os cientistas combinam medições do ar sobre os continentes e na superfície oceânica, coletadas por diversas estações meteorológicas e satélites. A temperatura em cada estação é comparada diariamente ao que é considerado “normal” para aquele local e tempo – tipicamente a média dos últimos 30 anos. As diferenças, chamadas de ‘anomalias’, ajudam os cientistas a avaliar como a temperatura vem mudando ao longo do tempo. Uma anomalia ‘positiva’ significa que a temperatura é mais quente do que a média passada, enquanto uma anomalia ‘negativa’ significa que a temperatura é mais fria [14].

A Figura 1.6 ilustra as anomalias de temperatura observadas desde 1880, tomando como base a média do período 1951–1980. Ela mostra a mudança na temperatura global da superfície em relação a este período-base. Dezenove dos 20 anos mais quentes ocorreram depois de 2001, com exceção de 1998. O ano de 2016 é o mais quente jamais registrado na história [15].

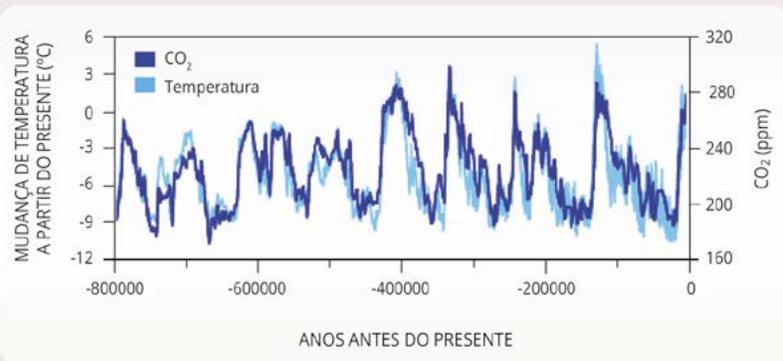
Até aqui vimos os aumentos das emissões antrópicas (causadas pelo homem) de CO₂, os aumentos de suas concentrações na atmosfera e depois o aumento da temperatura média da Terra. A pergunta natural que se coloca é se esta elevação de temperatura foi de fato causada pelo aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera. Quando olhamos para essas duas variáveis ao mesmo tempo – temperatura na Terra e concentração de dióxido de carbono na atmosfera – a correlação fica clara, como mostra a Figura 1.7. Quando a concentração de dióxido de carbono sobe, a temperatura sobe; quando a concentração de dióxido de carbono desce, a temperatura desce. E isso tem acontecido por mais de 800 mil anos!

FIGURA 1.6 > ANOMALIAS DE TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DA TERRA RELATIVAMENTE A 1951-1980



Fonte: [15]

FIGURA 1.7 > CONCENTRAÇÃO DE CO₂ NA ATMOSFERA E MUDANÇAS DE TEMPERATURA NA TERRA



Fonte: [17]

Embora as duas curvas sigam trajetórias muitíssimo parecidas, a determinação da relação causa-efeito entre elas é complexa. Outros fatores estão envolvidos, como a quantidade de vapor d'água, vegetação alterada, características da superfície terrestre e extensão da camada de gelo [16] e [17]. Quando se analisam períodos mais curtos de tempo, não parece haver relação de causa-efeito entre concentração de CO_2 e temperatura na Terra. De uma ou de outra forma, a correlação permanece válida para os períodos de análise que interessam à mudança do clima e, seguindo o consenso científico, a relação entre ambos é inequívoca.

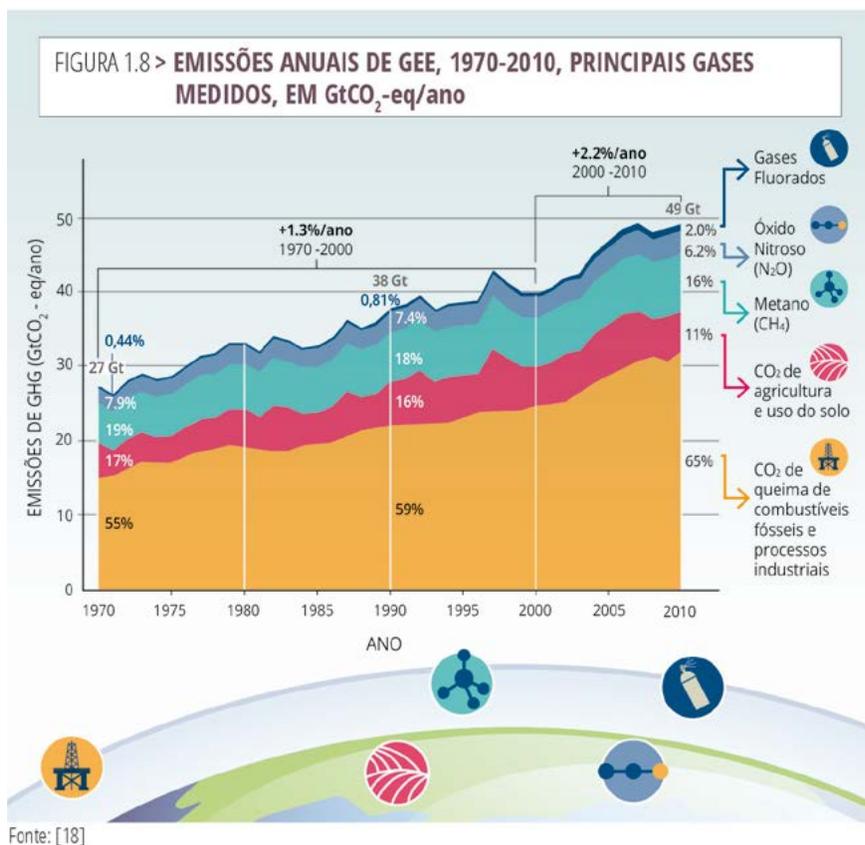
Outros gases de efeito estufa (GEE)

O CO_2 não é o único gás causador do efeito estufa. Outros gases têm um efeito ainda mais forte. Os principais são o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), e os gases fluorados (que contêm flúor), sendo os clorofluorcarbonos (CFCs) os mais conhecidos. A importância de cada um desses gases para o efeito estufa depende da sua concentração, do tempo de permanência na atmosfera, e de seu potencial de efeito estufa (GWP, da sigla em inglês para *Global Warming Potential*). Utiliza-se a sigla GEE para gases de efeito estufa.

A fim de facilitar as análises sobre o efeito estufa, o GWP desses outros gases é “convertido” em termos de CO_2 – o chamado CO_2 -equivalente (CO_2 -eq). Os três fatores acima são combinados em uma fórmula simples que permite expressar o efeito de cada gás em termos de CO_2 -equivalente. O GWP de todos os três gases é muito maior que o do CO_2 : o do metano é 21 vezes maior (ou seja, o efeito de 1 tonelada de metano na atmosfera é igual ao de 21 toneladas de CO_2). Igualmente, o GWP do N_2O é de 310, enquanto o dos gases fluorados entre 140 e 23.900 (supondo o mesmo tempo de permanência na atmosfera que o CO_2) [18].

No entanto, a concentração de CO_2 é muitíssimo superior à dos outros gases e, no balanço final, ele é certamente o principal responsável pelo efeito estufa. Não por outro motivo, a discussão sobre o aquecimento global é expressa em termos de CO_2 ou, resumidamente, em termos de carbono. Como em boa parte da literatura, os termos carbono e CO_2 serão utilizados indistintamente ao longo deste livro.

A Figura 1.8 apresenta as evoluções das concentrações dos três principais GEE, lembrando que as concentrações de CO_2 são medidas em partes por milhão (ppm), enquanto que a dos outros dois em partes por bilhão (ppb) – a concentração dos outros gases na atmosfera é mais do que mil vezes menor que a do CO_2 .



Aquecimento global levando às mudanças do clima

Existe certa confusão entre o que são as emissões de CO₂, as concentrações de CO₂ na atmosfera, o que é efeito estufa e o aquecimento global, e, finalmente, o que são as mudanças do clima. Muitas vezes esses conceitos se misturam, na medida em que todos estão ligados numa cadeia sequencial. A Figura 1.9 apresenta cada um deles e suas ligações e dependências, incluindo também as atividades do homem, causadoras do aquecimento global.

A maneira como as sociedades se desenvolveram na Terra está associada – em graus diferentes e conforme o tipo de sociedade em que vivemos – a um conjunto de atividades econômicas, que incluem desde a mais fundamental produção de alimentos (agricultura), até a construção de cidades, o transporte dentro e fora delas, as indústrias, todo tipo de comércio, etc. Todas essas atividades inerentemente ligadas ao consumo de energia e, assim, à emissão de gases de efeito estufa (GEE). Essas emissões acumulam CO₂ na atmosfera, causando o efeito estufa e as mudanças do clima na terra.

FIGURA 1.9 > ENCADEAMENTO ATIVIDADES ECONÔMICAS – AQUECIMENTO GLOBAL – MUDANÇAS DO CLIMA



Fonte: Elaboração própria

Os impactos das mudanças climáticas sobre o planeta e as atividades econômicas são analisados no capítulo 2. As projeções sobre o clima futuro e os riscos de longo prazo a que estamos sujeitos são tratados no capítulo 3. As causas e eventuais responsáveis pelo problema, incluindo o papel do Brasil, são tratados no capítulo 4. Maneiras como podemos diminuir as emissões – como frear a intensidade de nossas atividades econômicas, e buscar tecnologias limpas – são temas tratados no capítulo 5. A inevitável necessidade que todos os países e pessoas terão que enfrentar para se adaptar às mudanças climáticas, que nos atingirão em maior ou menor grau, é tratada no capítulo 6. Por fim, o processo mais político de os países se sentarem à mesa para pensar e negociar as formas mais racionais, justas e baratas de enfrentarmos o aquecimento global é tratado no capítulo 7.

Dentre os encadeamentos mostrados na Figura 1.9, é preciso falar ainda sobre como o aquecimento global leva às mudanças do clima – e o que quer dizer exatamente “mudança do clima”. O IPCC (veja Box 1.2 abaixo) define “clima” como sendo a descrição estatística, em termos de média e variabilidade, de variáveis relevantes, como temperatura, precipitação e vento, ao longo de um período que varia de meses a milhares ou milhões de anos, sendo o período clássico de 30 anos, segundo a Organização Meteorológica Mundial. O clima em um sentido mais amplo, é o estado do sistema climático [19].

BOX 1.2 > O IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – o famoso IPCC (da sigla em inglês – *International Panel on Climate Change*) foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, com o objetivo de fornecer informações científicas aos governos para usá-las no desenvolvimento de políticas climáticas. Os relatórios do IPCC constituem uma contribuição fundamental para as negociações internacionais sobre mudanças climáticas, servindo como balizador do conhecimento mundial sobre o tema.

O IPCC fornece avaliações regulares da base científica das mudanças do clima, seus impactos e riscos futuros, além de opções para adaptação e mitigação. Ele prepara Relatórios de Avaliação abrangentes com determinada frequência, sobre o conhecimento das mudanças climáticas. O IPCC está agora em seu sexto ciclo de avaliação, produzindo o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) com contribuições de seus três Grupos de Trabalho, com lançamento previsto para 2022. O último Relatório AR5 ([21]) foi publicado em 2014.

Para os relatórios de avaliação, os cientistas do IPCC reveem milhares de artigos científicos publicados a cada ano para fornecer um resumo abrangente do que é conhecido sobre os motores das mudanças climáticas, seus impactos e riscos futuros, além de como a adaptação e a mitigação podem reduzir esses riscos. Uma revisão aberta e transparente por especialistas e governos de todo o mundo é parte essencial do processo do IPCC, assegurando uma avaliação objetiva e completa, capaz de refletir uma gama diversificada de pontos de vista e conhecimentos.

Fonte: [20]

Por fim, é importante chamar a atenção para uma percepção muito equivocada sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas. Sua característica mais marcante não é o aumento gradual da temperatura conforme a percebemos no dia a dia, uma vez que a diferença a cada ano é imperceptível.

O traço marcante são as variações para cima e para baixo da temperatura e um aumento dos eventos climáticos extremos – chuvas intensas, ondas de calor, secas prolongadas, eventos ocorrendo fora de época, etc. Nesse sentido, o fato de alguns invernos atingirem recordes de baixas temperaturas é totalmente compatível com as mudanças climáticas. Mudanças do clima são quaisquer alterações nos padrões dessas variáveis relativamente ao observado ao longo do tempo – as anomalias. A Figura 1.6, na página 18, ilustrou anomalias de temperatura na Terra. Existem igualmente anomalias de precipitação, ventos e demais variáveis que definem o clima.



Urso polar depois de uma caça frustrada



EVIDÊNCIAS DO CLIMA MUDANDO E IMPACTOS ESPERADOS

Mudanças observadas no clima e contribuição humana

Como mencionado no Box 1.2, o IPCC é a grande referência mundial sobre as mudanças climáticas, e os dados por ele publicados, fora questões de atualização, são considerados os mais fidedignos e aceitos mundialmente. Esses dados serão utilizados como fonte principal para evidenciar as mudanças já observadas em determinados padrões climáticos.

Segundo o Relatório AR5 [1], mencionado no Box 1.2, “... é extremamente provável (probabilidade acima de 95%) que mais do que a metade do aumento observado na temperatura média da superfície da Terra, no período que vai de 1951 a 2010, tenha sido causado pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) e outros ‘fatores’ causados pelo homem”.

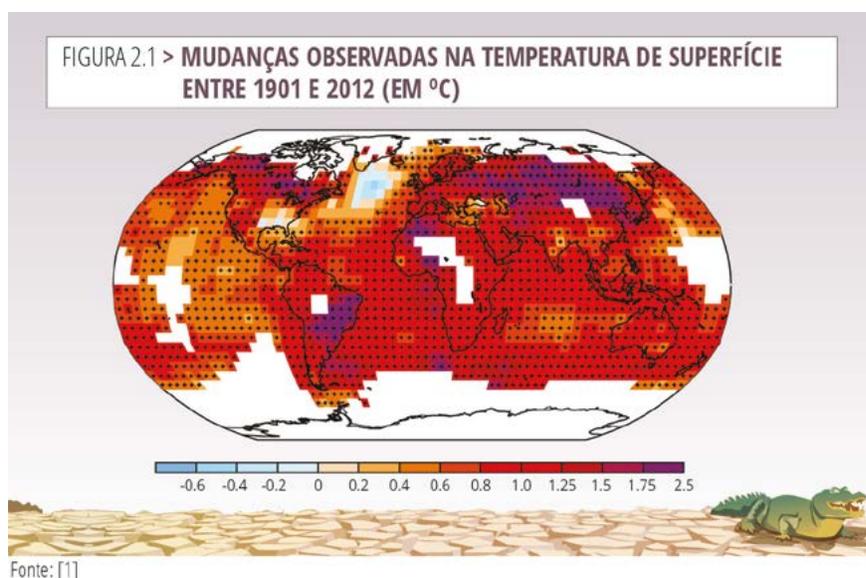
Segundo o mesmo relatório, 97% dos cientistas climáticos concordam que as tendências do aquecimento climático ao longo do século passado, tenham sido originárias das atividades humanas. Por sua vez, a maioria das principais organizações científicas do mundo já emitiu declarações públicas endossando essa posição. Abaixo estão descritas as anomalias e mudanças nas principais variáveis climáticas.

• TEMPERATURA

Na Figura 1.6 do Capítulo 1, foram apresentados dados mostrando as anomalias de temperatura observadas desde o final do Século 19. A média global de temperatura da superfície terrestre e dos oceanos já aumentou cerca de 0,9°C desde então. A Figura 2.1 a seguir apresenta essas anomalias conforme

distribuídas pelo planeta. Observa-se que o Brasil teve um aumento acentuado de temperatura, provavelmente causado por fatores não relacionados ao efeito estufa, tais como desmatamentos e urbanização.

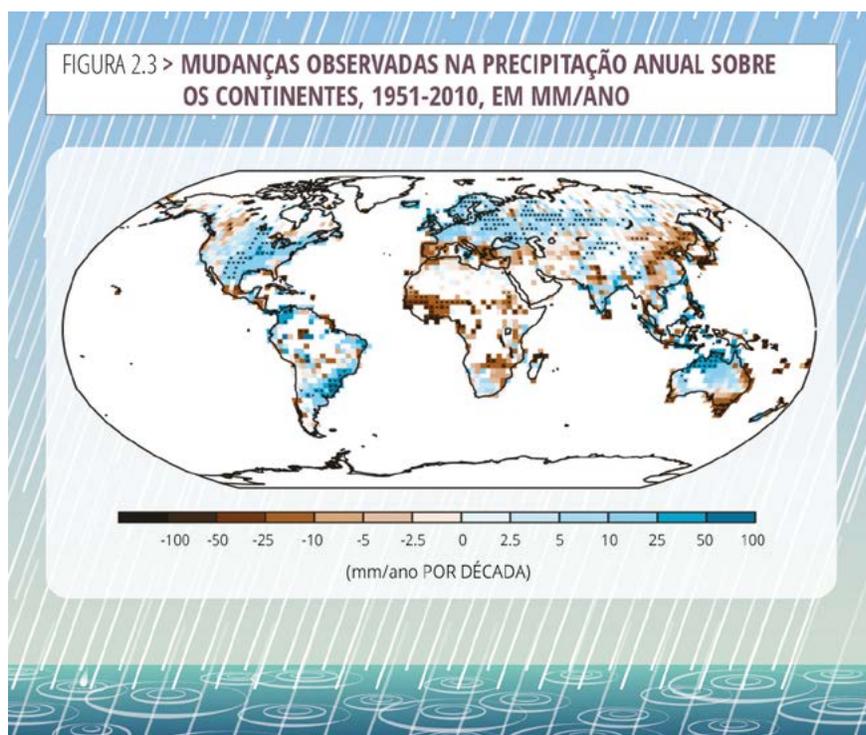
A maior parte do aquecimento global ocorreu nos últimos 35 anos. Segundo dados da NASA [2], os seis anos mais quentes registrados na história foram justamente os seis últimos anos – de 2014 até 2019 (Figura 2.2). O ano de 2016 foi não apenas o mais quente já registrado, como 8 dos seus 12 meses foram os mais quentes registrados historicamente em cada um deles. Em 2019, uma série de recordes climáticos históricos também foi alcançada [3].



• PRECIPITAÇÃO

Mudanças na precipitação são mais difíceis de serem previstas pelos modelos climáticos do que a temperatura, em especial pelo fato de a precipitação depender da temperatura. Há inúmeras regiões do planeta onde os modelos divergem sobre se haverá mais ou menos chuva e neve no futuro. No entanto, há outras regiões, como o Mediterrâneo e o sul da África, onde quase todos sugerem que a precipitação irá diminuir. Da mesma forma, são esperados aumentos de precipitação em áreas de grande latitude (próximas aos polos), bem como em grande parte do Sul da Ásia [4] e [5].

As observações mostram que de fato estão ocorrendo mudanças na quantidade, intensidade, frequência e tipo de chuvas. Mudanças pronunciadas na quantidade de precipitação ao longo do período 1900 a 2005 (Figura 2.3) têm sido observadas no leste da América do Norte e América do Sul, norte da Europa e norte e Ásia central. Precipitações menores no Saara, sul da África, no Mar Mediterrâneo e sul da Ásia. Mais precipitação agora cai como chuva, em vez de neve nas regiões do Norte. Observam-se ainda aumentos generalizados de eventos de precipitação intensa, mesmo em locais onde as quantidades totais de chuva diminuíram.

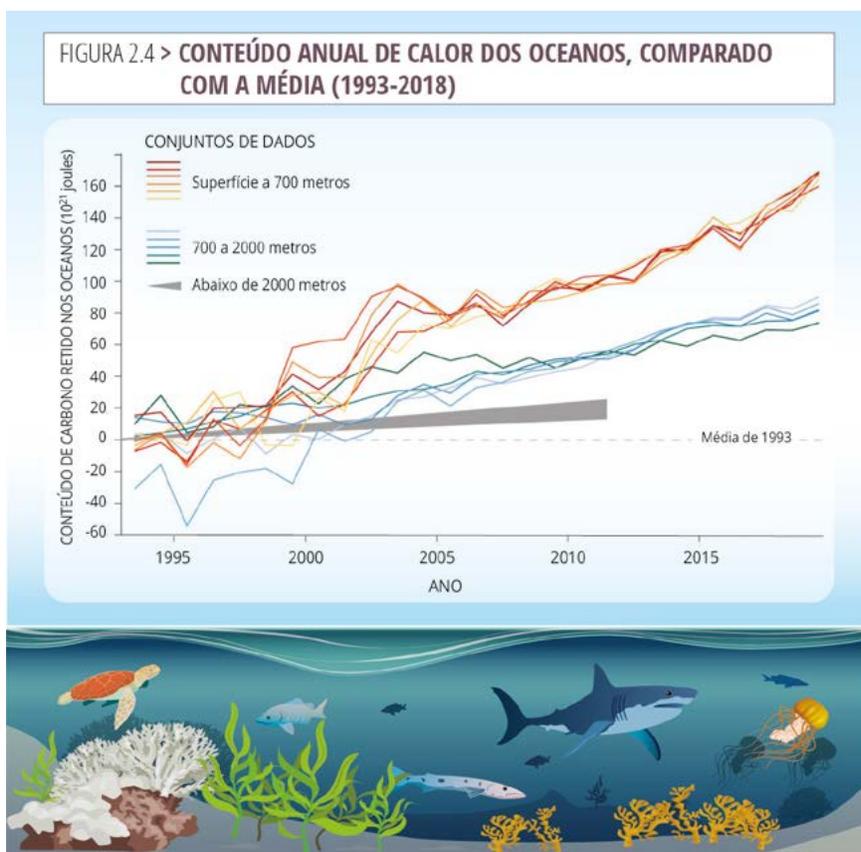


Fonte: [1]

• TEMPERATURA E ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS

A água, que cobre mais de 70% da superfície do nosso planeta, absorve grandes quantidades de calor, sem que sua temperatura aumente muito. O oceano é o maior coletor de energia solar da Terra, absorvendo mais de 90% da energia incidente. Essa tremenda habilidade de armazenar e liberar calor por longos períodos de tempo, dá aos oceanos um papel central na estabilização do sistema climático da Terra.

A intensificação do efeito estufa, que impede que o calor irradiado da Terra escape para o espaço tão livremente quanto antes, faz com que a maior parte do excesso de calor atmosférico volte para os oceanos. Em escala global, o aquecimento dos oceanos é maior perto da superfície, sendo que os 75 metros superiores aqueceram $0,11^{\circ}\text{C}$ por década, no período de 1971 a 2010. A Figura 2.4 mostra a evolução do conteúdo anual de calor dos oceanos comparada com a média do período 1993-2018, conforme a profundidade da água (curvas de diferentes cores) [6].

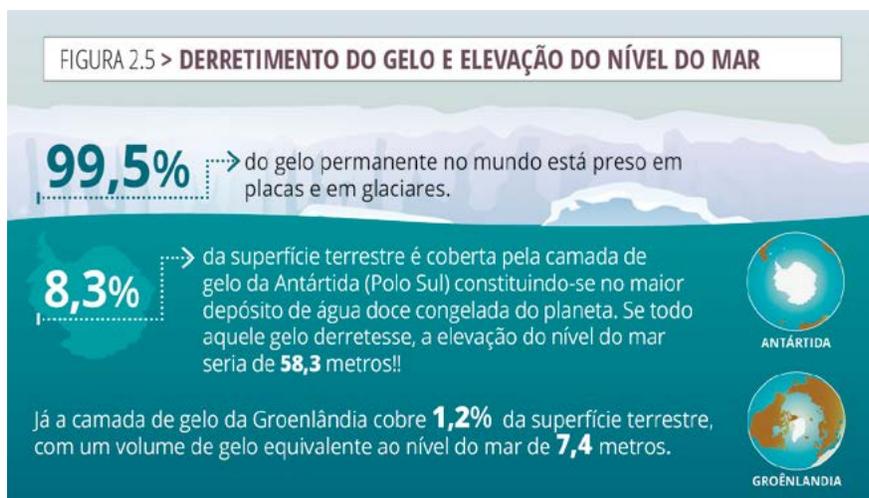


Além da temperatura, existe um intenso fluxo de carbono entre a atmosfera e o oceano, como mostrado na Figura 1.3 no capítulo anterior. Desde o início da era industrial, a absorção de CO₂ pelos oceanos vem tornando-os mais ácidos. O pH da água superficial já aumentou sua acidez em quase 30% [7]. Essa acidificação, juntamente com o aumento de temperatura, já está impactando muitas espécies oceânicas, especialmente organismos como moluscos e corais que criam conchas duras e esqueletos carbonáceos como forma de habitat. A acidificação limita o desenvolvimento de organismos dependentes desse material, tornando-os mais suscetíveis à dissolução. Além dos corais, o aquecimento dos oceanos danifica também as comunidades de vida marinha que dependem desses corais para se abrigar e se alimentar.

• EXTENSÃO DE GELO NOS MARES, POLOS, MONTANHAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

O aumento da temperatura da Terra, que inclui também a dos oceanos, faz com que todas as partes do planeta, cobertas por gelo ou neve, temporária ou permanentemente, esquentem e derretam. Sabendo que a água de derretimento de todo o gelo na Terra irá eventualmente terminar nos oceanos, a pergunta interessante é se existe tanto gelo assim no planeta, capaz de aumentar o nível do mar de forma preocupante.

A resposta a essa pergunta, infelizmente, é um retumbante sim! A quantidade de gelo derretido necessária para elevar o nível médio do mar em 1 milímetro é estimada em 362 bilhões de toneladas [8]. A quantidade de gelo que tem derretido anualmente, nos principais repositórios de gelo do planeta, é bem maior que isso!



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 2.6 > DERRETIMENTO DO GELO E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR (cont.)

FOTO 1 > GELEIRAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR



Foto: Agustín Lauraro [1]

NA GROENLÂNDIA E NA ANTÁRTIDA:

Há um continente sobre o qual o gelo se acumula.

Sua massa de gelo tem diminuído a cada ano:

- Groenlândia - perda média de **279 bilhões de toneladas**
- Antártida - perda média de **148 bilhões de toneladas.**

Apenas nesses dois locais, as perdas têm causado uma elevação do nível médio do mar de cerca de 1,2 milímetros por ano [10], [11] e [12].

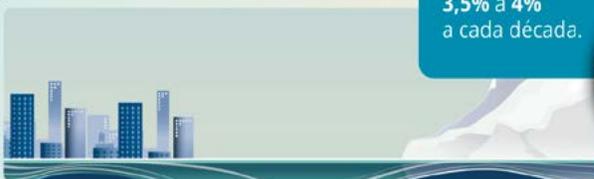


MAR ÁRTICO, - envolve o Polo Norte: não existe um continente sólido por debaixo, seu gelo é todo flutuante.



Como num copo d'água com gelo que não transborda quando derrete, o gelo do Mar Ártico não causa aumento do nível do mar quando derrete [9].

A extensão de gelo do Mar Ártico tem diminuído desde 1979 a uma taxa em torno de **3,5% a 4%** a cada década.



Fonte: Elaboração própria

Por fim, vale mencionar que, a despeito dos maiores volumes de gelo da Antártida, não é de lá que vem a maior contribuição para a elevação do nível do mar até aqui. Isso porque o aquecimento global tem sido mais intenso no Hemisfério Norte, de modo que o derretimento da Groenlândia é mais importante que o da Antártida.

Ainda assim, a principal causa do aumento do nível médio do mar tem sido a expansão térmica dos oceanos. Lembrando que a água expande quando aquecida (vide uma chaleira com água fervendo.), o que faz com que o aumento da temperatura da água eleve o nível do mar. À medida que a Terra esquenta, há uma expansão do volume da água, elevando, consequentemente, o nível do mar, conforme demonstrado na Figura 2.9.

FIGURA 2.7 > PERDA ANUAL DA MASSA DE GELO DA GROENLÂNDIA, 2002-2016

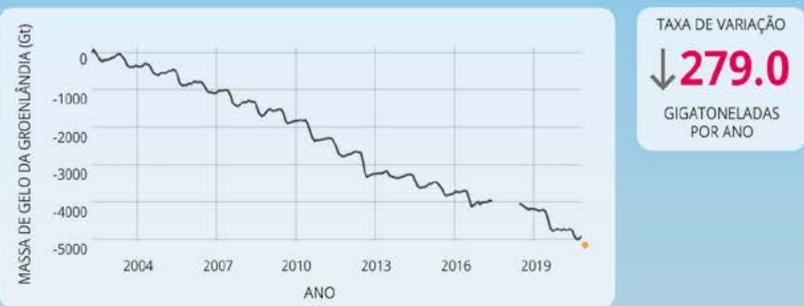


FIGURA 2.8 > PERDA ACUMULADA DE MASSA DE GELO DA ANTÁRTICA, 1992-2017

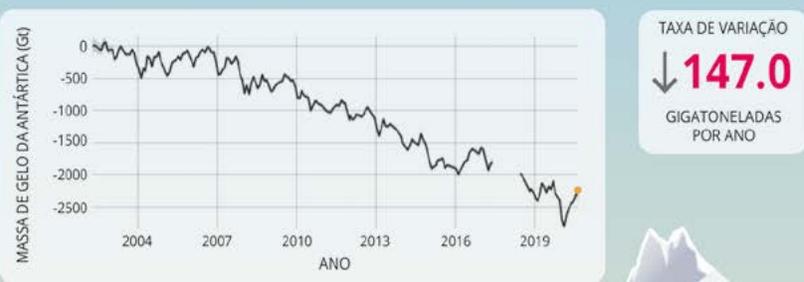
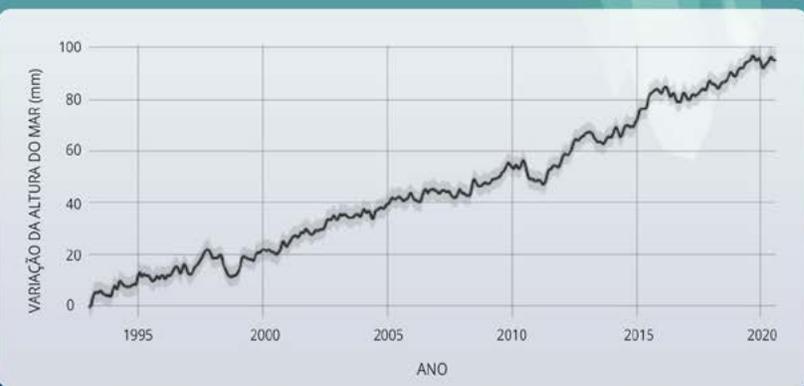


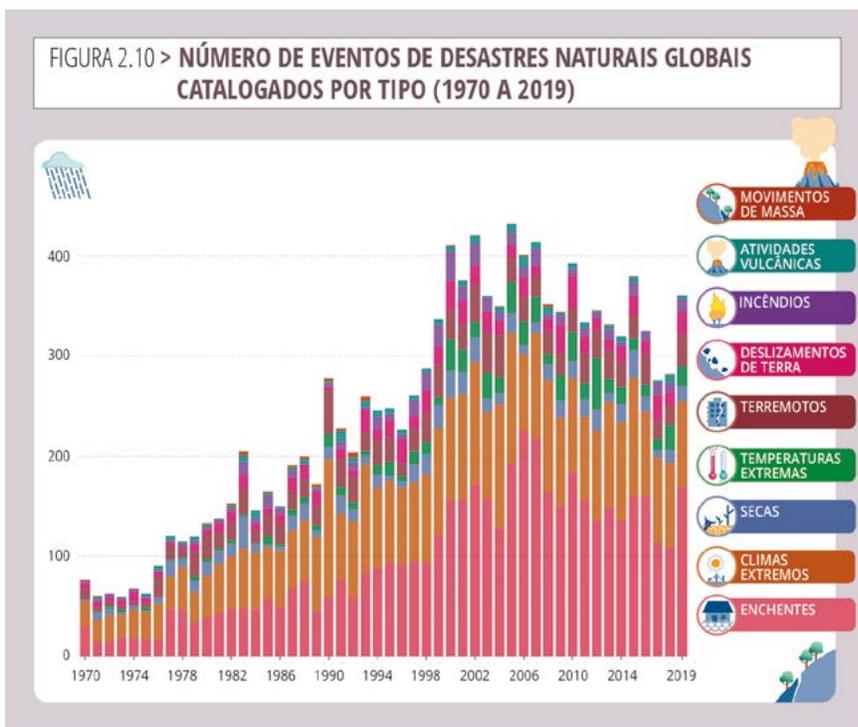
FIGURA 2.9 > VARIAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR 1993-2019 (EM MILÍMETROS)



• EVENTOS EXTREMOS

Todas as variáveis climáticas apresentam um comportamento estatístico, assumindo valores que ora se aproximam, ora se afastam da média. Quando um evento meteorológico ou de clima se afasta muito da média e atinge um valor próximo às extremidades, tem-se um evento extremo. Muitos extremos climáticos e meteorológicos, como secas e enchentes, resultam de variações climáticas naturais (incluindo fenômenos como El Niño), mas também têm recebido uma mãozinha do homem, que interfere via aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera [14].

Inúmeros estudos analisam o aumento da ocorrência de eventos extremos, como decorrência do aquecimento global e das mudanças climáticas. As pessoas mais velhas no mundo inteiro percebem que os eventos extremos têm acontecido mais frequentemente e em momentos atípicos. Esta percepção se confirma com os fatos. A Figura 2.10 mostra a evolução do número de desastres naturais nos últimos 50 anos. Apesar de incluir terremotos e vulcões, a participação desses eventos não climáticos é muito pequena, sendo que quase 90% do aumento observado no número de desastres decorrem de eventos climáticos e meteorológicos.



Fonte: [15]

O impacto destes eventos é sempre mais dramático nos países pobres, onde não há infraestrutura adequada e boa parte da população vive em áreas vulneráveis. Um mesmo furacão ou uma mesma elevação do nível do mar que atinge um país pobre, como Bangladesh, e um rico, como a Holanda (ambos os países têm altitudes em boa parte abaixo do nível médio do mar) trará impactos muito maiores para Bangladesh. Nesse caso, considera-se que a Holanda tem maior *resiliência* do que Bangladesh – o que será analisado no capítulo 6.

FOTOS 2 > RESILIÊNCIA E IMPACTOS EM DOIS PAÍSES BAIXOS: HOLANDA X BANGLADESH

Barreiras de Oosterscheldekering, a maior de treze barragens contra ressacas e inundações do Mar do Norte, Holanda



Foto: Rens Jacobs [F2.A]



Inundações em Bangladesh, 2019.

Foto: Mohammad Rakibul Hasan [F2.B]

Impactos causados pelo novo clima e por eventos extremos

As mudanças nas principais variáveis climáticas implicam impactos em todas as atividades do homem, resultando, conforme a intensidade, em perda de vidas, impactos na saúde, na produção agrícola e nos ecossistemas, danos a construções e infraestruturas, além de uma série de outros problemas.

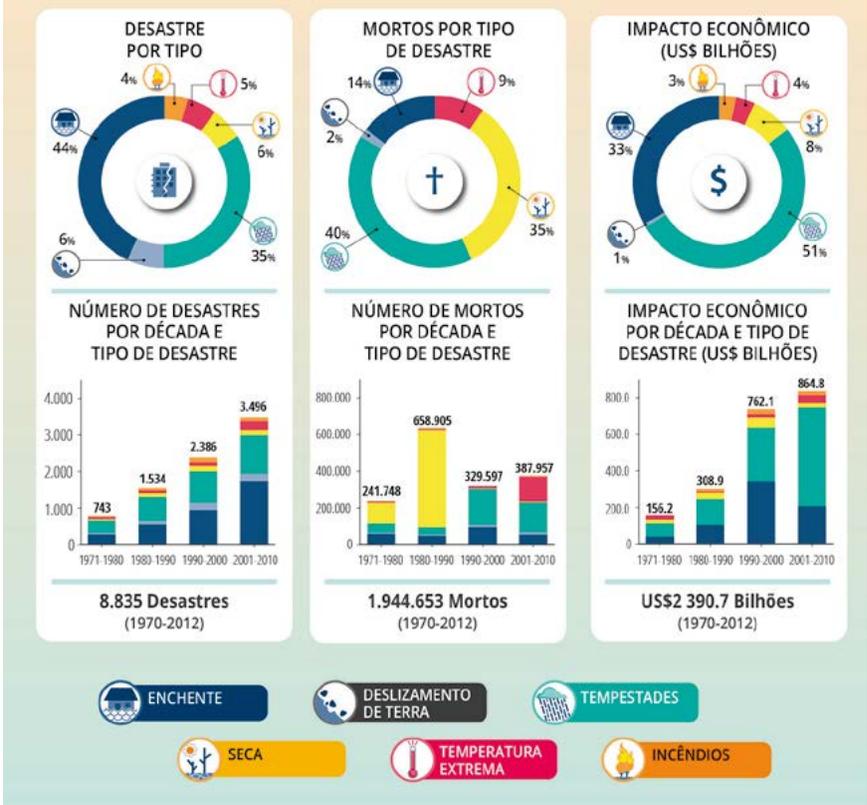
Esses diversos tipos de impactos em geral não são perceptíveis no nosso dia a dia. A própria elevação da temperatura média do planeta não é passível de ser sentida, quando analisada sob a perspectiva de uma temperatura média global. O derretimento das geleiras, a elevação do nível médio do mar, a mudança do pH dos oceanos, as mudanças nos regimes de chuva e diversos outros fenômenos dificilmente são percebidos diretamente. Essas mudanças, ainda que pequenas e lentas, além de serem irreversíveis num prazo relativamente curto, no acumulado fazem enorme diferença. São esses eventos extremos que nos dão os sinais mais claros de mudança.

• EVENTOS EXTREMOS

Dados da Organização Meteorológica Mundial indicam que, “entre 1970 e 2012, foram relatados globalmente 8.835 desastres climáticos, meteorológicos e hídricos. Juntos, eles causaram a perda de 1,9 milhão de vidas e prejuízos econômicos de US\$ 2,4 trilhões... Setenta e nove por cento deles foram devidos ao clima. As secas causaram 35 por cento das mortes, principalmente nos severos eventos ocorridos na África em 1975, 1983 e 1984. Os piores desastres em termos de vidas perdidas ocorreram nos países menos desenvolvidos” [16] (ver Figura 2.11).

A maior parte desses eventos e das perdas associadas ocorreu nas duas últimas décadas. “Entre 1998 e 2017, desastres climáticos e geofísicos resultaram em 1,3 milhão de mortes e mais de 4,4 bilhões de feridos, desabrigados, ou necessitados de assistência de emergência. Noventa e um por cento desses desastres foram causados por eventos climáticos extremos – enchentes, tempestades, secas, ondas de calor e outros” [17]. As perdas econômicas resultantes desses desastres tiveram um peso muito maior nos países mais pobres. Elas foram de US\$ 1,4 trilhão nos países ricos, representando “apenas” 0,4% do seu PIB, enquanto nos países pobres, embora o custo tenha sido menor (US\$ 21 bilhões), representaram 1,8% do PIB.

FIGURA 2.11 > **DISTRIBUIÇÃO DOS DESASTRES REPORTADOS POR TIPO, DÉCADA, PERDAS ECONÔMICAS E MORTES (1970-2012)**



Fonte: [16]

BOX 2.1 > Eventos extremos no Brasil

Pelo gigantismo de sua área, o Brasil está sujeito a uma enorme diversidade de impactos decorrentes das mudanças climáticas. Esses impactos serão bastante distintos nas diferentes regiões – tanto por conta das diferenças de mudanças climáticas observadas em cada região, como por conta das desigualdades entre as regiões, sejam elas socioeconômicas, ecológico-ambientais, culturais, etc. Apesar de as mudanças climáticas afetarem mais intensamente a Amazônia e o Centro-Oeste, grandes impactos são também esperados no Nordeste, por conta de seus indicadores sociais precários, combinados com o fato de a região já viver em limiares de secas e altas temperaturas.

Continua na próxima página.

Exemplos recentes de eventos extremos mais graves no Brasil incluem:

- a) a chuva na Região Serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, a maior tragédia climática da história do país, que deixou mais de 900 mortos, quase 200 desaparecidos e cerca de 35.000 desabrigados [18];
- b) a crise hídrica de 2014, que atingiu as bacias dos reservatórios de água da Grande São Paulo – uma situação nunca antes observada – e que provocou cortes no abastecimento de água da cidade, com prejuízos estimados em mais de US\$ 5,5 bilhões [19]; e
- c) a enchente que atingiu o Rio Madeira em Rondônia (também em 2014), deixando o estado do Acre completamente isolado de transporte terrestre. No momento mais crítico da cheia, o rio atingiu a cota de 19,6 metros [20].

Esses exemplos apenas ilustram como o aumento da intensidade e da frequência de eventos extremos deverá fazer com que diversas regiões e localidades sofram impactos de grande monta. O último estudo do IBGE sobre o tema, de 2017, alerta para o fato de que praticamente a metade dos 5.570 municípios brasileiros registrou algum período de seca (48%), alagamento (31%), enchentes e enxurradas (27%), ou desabamentos (15%) – lembrando que 60% dos municípios brasileiros não têm plano de gestão de riscos [21].

A primeira grande síntese científica sobre o aquecimento global no Brasil foi consubstanciada no Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas – RAN1 [22], produzido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), órgão científico criado em 2009 pelo governo brasileiro para analisar as especificidades nacionais das mudanças climáticas.

O RAN1 aponta que a temperatura média da atmosfera deve ter aumento em todas as regiões do Brasil, que pode ser de até 6°C na Amazônia, a região mais afetada pela mudança do clima. Com relação às chuvas, há a tendência de redução de 20 a 40% na maior parte do País, salvo na região Sul-Sudeste, no oeste da Amazônia e no Pantanal, onde a tendência é de aumento da intensidade e da frequência. Também são previstos episódios mais frequentes de chuva torrencial e períodos de seca mais intensos e prolongados.

Fontes: [21] e [22].

FOTO 3 > SECA DO RESERVATÓRIO DE CANTAREIRA, CRISE HÍDRICA DE SÃO PAULO, 2014



Além dos impactos e perdas causados pelos desastres extremos, existem também os impactos resultantes de eventos que, em geral, recebem menos notoriedade na mídia, mas que nem por isso são menos importantes ou envolvem custos menores. Seis tipos de impactos resultantes das mudanças do clima são discriminados a seguir.

• IMPACTOS NA SAÚDE

A saúde humana é sensível às mudanças climáticas – tais como variações de temperatura e precipitação, ocorrência de ondas de calor, enchentes, secas e incêndios. Indiretamente, a saúde também pode ser afetada não só por quebras de produção agrícola (principalmente entre as populações rurais dependentes da própria produção), vulnerável a secas ou geadas, como também por problemas epidemiológicos causados pelo agravamento ou pelas mudanças de comportamento dos vetores de doenças.

Como muitos dos problemas de saúde humana, aqueles ligados às mudanças climáticas também são fortemente dependentes das condições socioeconômicas e ambientais de cada população e de cada indivíduo. Regiões com baixo índice de saneamento são mais vulneráveis a doenças transmitidas por vetores, como dengue e malária, que deverão se agravar em diversas regiões do planeta, especialmente quando houver chuvas mais intensas, combinadas com aumentos de temperatura.

Quanto às doenças fisiológicas, novamente, as populações mais vulneráveis – notadamente os idosos que vivem em regiões quentes – deverão

FOTO 4 > ENCHENTES E DESLIZAMENTOS DE TERRA EM TERESÓPOLIS, 2011

Foto: Ismar Ingber [F4]



sofrer mais fortemente com os aumentos de picos de temperatura, que podem ocasionar crises cardiovasculares letais. Na onda de calor ocorrida no verão europeu de 2003, 80 por cento das 35.000 mortes ocorreram na faixa etária acima de 75 anos. Igualmente, no caso de inundações, deslizamentos de terra e outros eventos físicos, os idosos se tornam mais vulneráveis, por conta da menor mobilidade e capacidade de reação.

Embora aumentos das temperaturas mínimas possam levar a uma diminuição de mortes e de morbidez associadas ao frio nas regiões e cidades mais frias, esses efeitos positivos serão minimizados pela magnitude e gravidade dos efeitos negativos das mudanças climáticas: os impactos na saúde dos extremos de calor mais frequentes devem superar em muito os benefícios proporcionados por menos dias frios [23], [24], [25] e [26].

• RECURSOS HÍDRICOS E ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Da mesma forma que a vida na Terra dependeu – e depende – de uma grande estabilidade do sistema climático global, ela também dependeu – e depende – da disponibilidade de água. Essa disponibilidade é intimamente ligada ao ciclo da água – frequentemente referido como o ciclo da vida. “A mudança climática pode ter um impacto profundo sobre o ciclo hidrológico e disponibilidade de água em nível global, regional, bacia e em níveis locais” [27].

No semiárido nordestino brasileiro, por exemplo, as mudanças climáticas além de aumentarem a temperatura, deverão prolongar a duração dos períodos mais secos. Isso poderá impossibilitar a vida nessas regiões, causando doenças, mortes, sofrimento, e altos custos por conta de migrações e/ou necessidade de maior assistência a essas localidades e populações. Além do Nordeste brasileiro, países inteiros e grandes regiões sofrerão com esse problema – notadamente a África Meridional, a bacia do Mediterrâneo, o corredor seco na América Central, o oeste dos Estados Unidos e o oeste da Cordilheira dos Andes, entre outras [28].

Existem casos, no entanto, em que poderá ocorrer uma suavização desses extremos: estão previstos, por exemplo, aumentos das chuvas na região do deserto do Saara. É difícil avaliar o balanço global dos ganhos e perdas das variações dos regimes hídricos entre as diversas regiões do planeta, mas, como na maioria dos setores, a soma das perdas deve ser muitíssimo superior à dos eventuais ganhos.

No caso das chuvas intensas, além das conhecidas enchentes urbanas, as águas que escorrem pelos rios e canais transbordam antes de atingir o mar, especialmente quando seu nível está mais elevado por conta das marés,

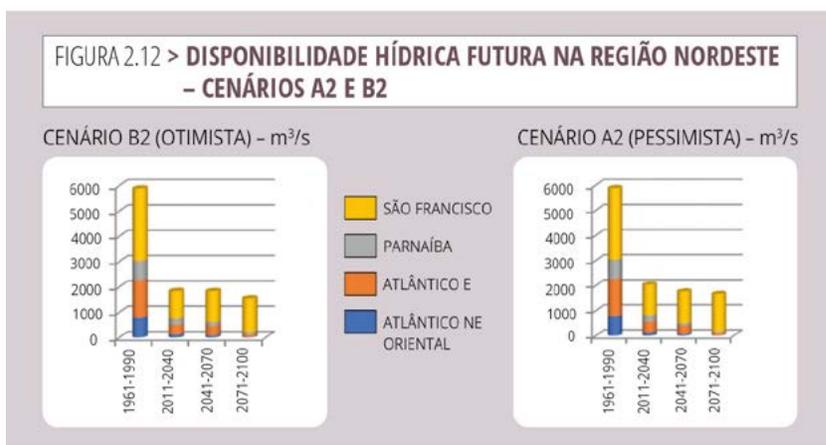
causando inundações próximas à foz. Isso é preocupante quando essas áreas são altamente povoadas e têm baixos índices de saneamento – cuja combinação resulta em inundações, desabrigo, doenças, necessidades de evacuação e perdas de moradia.

Um outro problema é que mais de um sexto da população mundial vive em bacias hidrográficas abastecidas pelo derretimento de gelo e de neve provenientes das geleiras e das montanhas. Essa população terá seus fluxos de água alterados tanto em volume como, principalmente, em sua sazonalidade [29]. O derretimento das geleiras e da neve das montanhas, as quais funcionam como reservatórios de água, aumentará o volume de água por um determinado período, mas depois o estoque de água diminuirá, podendo colocar populações e pessoas em risco de estresse hídrico. Tal fenômeno já vem ocorrendo na Cordilheira dos Andes, cujas geleiras vêm perdendo cerca de um metro de gelo por ano desde 2000, impactando principalmente populações indígenas.

BOX 2.2 > Impactos sobre os recursos hídricos no Brasil

• IMPACTOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

As projeções de precipitação em diversas bacias hidrográficas brasileiras “são alarmantes, principalmente na região Nordeste. ... Nas bacias do Nordeste oriental e Atlântico Leste, estima-se uma redução brusca das vazões até 2100 para todos os cenários climáticos, chegando a valores quase nulos” [30]. A Figura 2.12 mostra a drástica redução esperada na oferta de água nas grandes bacias da região – São Francisco, Parnaíba, Atlântico Leste e Atlântico Nordeste Oriental. Tais cenários climáticos indicam quedas de vazão muito preocupantes.



Continua na próxima página.

FIGURA 2.13 > AGRAVAMENTO DAS INÓSPITAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO NORDESTE

NORDESTE BRASILEIRO
Provavelmente é a região mais sensível ao aquecimento global

- > Vulnerabilidade social
- > Região com limiares de baixa precipitação
- > Baixa umidade
- > Altas temperaturas.

PREVISÕES DO RAN1:

→ ATÉ 2040	Aumento de 0,5° a 1°C na temperatura do ar Decréscimo entre 10% e 20% na chuva
→ 2040 - 2070	Aumento gradual de temperatura para 1,5° a 2,5°C Diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva
→ NO FINAL DO SÉCULO 2071 - 2100	Condições significativamente mais quentes: Aumento de temperatura entre 3,5° e 4,5°C) e Agravamento do déficit hídrico regional, com diminuição de praticamente metade (40 a 50%) da distribuição de chuva" [32].

IMPLICAÇÕES DO AUMENTO DA TEMPERATURA E DA REDUÇÃO DA OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS NO NORDESTE:

- > Forte impacto na agricultura, notadamente nas culturas de subsistência no semiárido, agreste e nos cerrados nordestinos – milho, arroz, feijão, mandioca – além de culturas como soja, algodão e girassol.
- > As sub-regiões mais atingidas serão o sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia. Na pecuária, os modelos demonstram que um aumento de temperatura da ordem de 3°C pode causar uma perda de até 25% da capacidade de pastoreio para bovino de corte, podendo inviabilizar a atividade na Região [31].
- > Tenderão a induzir à ocorrência de migrações, principalmente nos estados mais dependentes da agricultura, como o Piauí.
- > Poderão piorar o quadro já deficiente da saúde da população.
- > Estudo desenvolvido para avaliar a vulnerabilidade climática na região – abordando componentes de suscetibilidade à desertificação, econômico-demográficos e de custos de saúde para 2050 – indica que Bahia, Ceará e Pernambuco são os estados de maior vulnerabilidade do Nordeste, sendo a Paraíba o estado menos vulnerável [33].



Fonte: Elaboração própria

• IMPACTOS SOBRE SETORES

O Brasil passou recentemente por dois eventos ligados aos recursos hídricos da maior gravidade em termos sociais e econômicos: o “apagão” de energia de 2001-2002 e a falta de água na Região Metropolitana de São Paulo, em 2014-2016. Ambos decorreram em parte de problemas de gestão

Continua na próxima página.

Continuação

das instituições de governo responsáveis, mas primordialmente por conta de extremos de baixa precipitação nas épocas esperadas. Os cientistas do clima cada vez mais atribuem a ocorrência desses eventos às mudanças climáticas, alertando para a recorrência e intensificação dessa anomalia.

Praticamente em todas as bacias hidrográficas do Brasil a tendência é de diminuição das vazões, mesmo quando os modelos indicam aumento das precipitações” [30]. Vários rios de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Tocantins, Bahia e Pará terão reduções de vazão de 10% a 30%. A diminuição de vazão dos rios traz implicações evidentes às condições ecológicas locais, mas também no abastecimento de água para consumo humano, industrial, para a agricultura, pecuária e criação de animais, para o eventual transporte fluvial e – muito importante no Brasil – para a geração de energia hidrelétrica. Isso porque a menor quantidade de água diminui a força da água dos rios que rodam as turbinas das usinas. Quanto mais chuva e mais água, maior a energia potencial a ser gerada. Os engenheiros do setor medem esse potencial pela chamada ENA – Energia Natural Afluente.

Para avaliar o impacto das mudanças climáticas em termos de chuvas, escoamento dos rios e a ENA de cada uma das bacias hidrográficas, o governo desenvolveu um trabalho – “Brasil 2040”¹ – cujo componente de recursos hídricos e de energia mostrou o enorme impacto das mudanças climáticas no potencial de geração de energia hidrelétrica no Brasil. O resultado é muito importante, na medida em que a fonte hidrelétrica representa cerca de dois terços de toda a energia elétrica brasileira, de modo que diminuições na geração hidrelétrica têm impactos significativos na oferta total de energia.

Segundo o Brasil 2040, que considerou uma série de cenários e modelos climáticos, e em linha com a referência anterior [30], “há reduções na ENA na maioria dos aproveitamentos hidrelétricos do Centro-Oeste, Norte e Nordeste ... e uma pronunciada tendência positiva no extremo sul do país. No Nordeste, as vazões devem diminuir bastante (anomalias

Continua na próxima página.

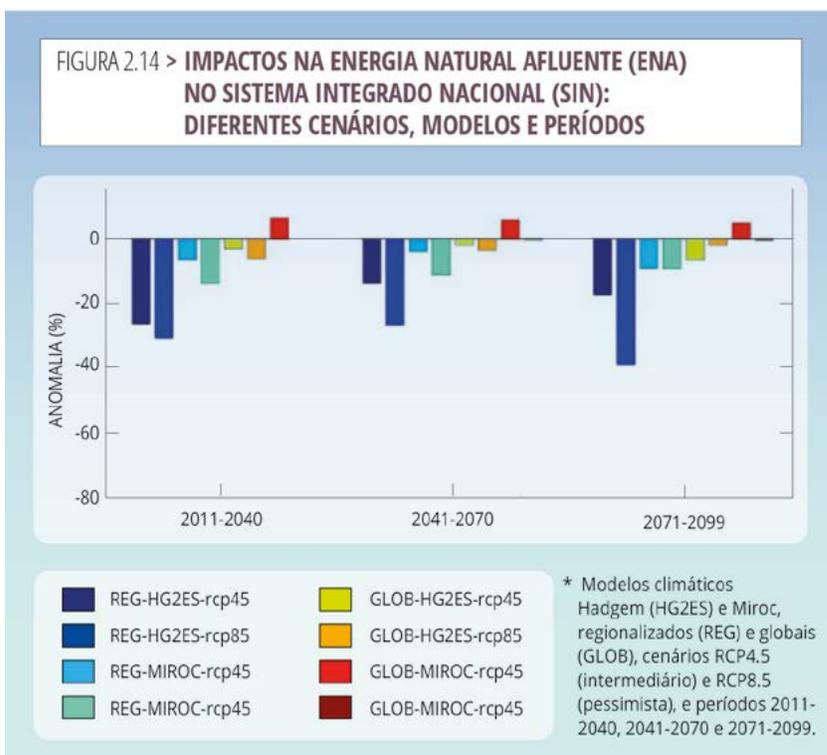
¹ Em 2013 a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) adotou como programa de trabalho a análise de estratégias de adaptação climática para o Brasil. Ela contratou o estudo intitulado “Brasil 2040”, ainda hoje considerado o mais abrangente esforço sobre vulnerabilidades e medidas de adaptação já realizado no País. Diversas universidades e centros de pesquisa nacionais renomados desenvolveram estudos nos setores-chave da economia, objetivando subsidiar a definição de política pública sobre adaptação climática. Os estudos foram concluídos e estão disponíveis. O relatório final que consolidaria o trabalho não foi concluído por uma série de questões institucionais no âmbito do governo federal. Uma compilação-sumário dos estudos foi feita, mas não pela equipe original do Brasil 2040 e sem a revisão dos membros da governança do Programa, conforme previsto originalmente.

Continuação

de 50% abaixo da média histórica, no período de 2071 a 2099), caso as projeções climáticas mais pessimistas se concretizem”.

É importante assinalar que o sistema elétrico no Brasil é interligado, conformando o Sistema Integrado Nacional (SIN), de modo que um consumidor em São Paulo pode, em determinado momento, estar usando energia elétrica produzida no Nordeste ou na Amazônia, seja porque, naquele momento, a energia produzida lá é mais barata, seja porque toda a energia produzida no Sul já está sendo utilizada.

Isso obviamente reduz os riscos de interrupções de fornecimento de energia. Assim, é interessante analisar o impacto das mudanças climáticas sobre a ENA total das hidrelétricas do SIN (ver Figura 2.14). A Figura mostra que os ganhos observados na região Sul não compensam as enormes perdas nas demais regiões. Os balanços em praticamente todos os cenários são negativos, implicando perdas significativas no potencial de geração hidrelétrica no País.



Fonte: [34]

• BIODIVERSIDADE E ECOSISTEMAS

A mudança climática afeta a biodiversidade, sendo provável que ela se torne um dos motores mais significativos de perda até o final do século. Quanto maior for o aumento da temperatura global, maiores serão os impactos sobre todos os seres vivos e sua diversidade [35]. Particularmente preocupantes são os “pontos de ruptura” (*tipping points*) que, quando ultrapassados, possivelmente levarão a mudanças irreversíveis na estrutura dos ecossistemas e de seus serviços [36] – conforme é apresentado no capítulo 3.

Estudos de modelagem, combinados com evidências de campo, já apontam mudanças significativas na distribuição de alguns ecossistemas. No caso dos trópicos, os efeitos do aumento da temperatura e da redução da precipitação são exacerbados pelos efeitos dos desmatamentos. Condições mais secas farão com que as savanas se desloquem para regiões equatoriais agora ocupadas por florestas – caso típico da Amazônia (ver Box 2.3).

Além de causar deslocamentos, as mudanças climáticas também irão mudar a composição, estrutura e, por conseguinte, as funções de muitos ecossistemas. A flora, a fauna, os recursos hídricos, que constituem os ecossistemas naturais, fornecem uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, essenciais para nossa existência e bem-estar, bem como para a economia. A biodiversidade pode também ajudar na redução dos impactos das mudanças climáticas: a conservação de ecossistemas intactos, como mangues e pântanos, reduz os impactos de inundações, enchentes e erosão, que serão mais frequentes e intensos em virtude do aquecimento global [37].

Os ecossistemas terrestres têm ainda um papel da maior relevância na regulação do clima e dos fluxos de carbono com a atmosfera. Habitats preservados ou restaurados removem CO₂, armazenando carbono e diminuindo sua concentração na atmosfera. Por sua vez, as plantas absorvem carbono quando realizam a fotossíntese durante o dia, e à noite, quando respiram, cerca de metade deste carbono é emitido de volta para a atmosfera. Esse “serviço” das plantas vem diminuindo à medida que as áreas de florestas e vegetações nativas diminuem – e isso deverá se acentuar durante o século 21 [37].

Nos oceanos, as zonas com pouquíssimo oxigênio têm aumentado progressivamente, diminuindo o habitat de diversos seres marinhos. Ondas de calor marítimas também estão se ampliando, e a elevação de temperatura tem tornado os oceanos mais ácidos, levando à morte populações inteiras de corais. A Grande Barreira de Corais da Austrália, a maior do mundo, já perdeu 50% de seus corais de águas rasas apenas nos últimos 4 anos [38].

BOX 2.3 > Risco de savanização da Amazônia

Todas as florestas e seres vivos do planeta vivem sob determinadas condições climáticas e ecológicas: saindo de uma faixa de normalidade dessas condições, corre-se o risco de colapso. No caso dos seres humanos, a quantidade e qualidade do ar que respiramos, ou da água que bebemos, são exemplos dessas condições que determinam nossa sobrevivência. A Amazônia tem dois pontos de inflexão fundamentais: o primeiro é sua capacidade de suportar seu desmatamento; o segundo diz respeito a sua capacidade de suportar aumentos de temperatura. Ambos são muito difíceis de estimar, uma vez que não existe experiência passada que indique quais são esses pontos críticos.

No caso do desmatamento, o ponto limite é estimado entre 20% e 40%. Caso o bioma seja desmatado acima disso, a rica floresta tropical deverá sofrer um processo de savanização, ou seja, transformar-se num cerrado ou savana, muito menos rica e menos biodiversa que a exuberante floresta densa. Algumas regiões da Amazônia já atingiram – e até ultrapassaram – esse patamar de desmatamento (ver Figura 2.15). Quanto à temperatura, ela já subiu na média entre 1°C e 1,5°C nos últimos 60 anos, e estima-se um ponto de inflexão entre 3 e 4° C [39].

FIGURA 2.15 > ÁREAS DESMATADAS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA (ACUMULADO ATÉ 2018)



Fonte: [40]

Continua na próxima página.

O desmatamento também causa grande impacto na biodiversidade, porque a floresta, sendo o habitat natural das espécies, desaparece. Além de inúmeros outros serviços ambientais que presta, a Amazônia absorve carbono da atmosfera – o que é excelente para minimizar o aquecimento global. De fato, a floresta tropical emite carbono pela sua respiração e o absorve por fotossíntese. Estima-se a absorção de 1 a 9 toneladas de carbono por hectare a cada ano, que fica retido na biomassa da Floresta. Com o desmatamento, a floresta não apenas deixa de absorver, como passa a ser fonte de emissão [41]. Estudos recentes mostram que a Amazônia “está perdendo sua capacidade de retirar da atmosfera dióxido de carbono ... e de atuar como um freio ao processo de aquecimento global. Entre 2010 e 2017, a floresta liberou anualmente, em média, algumas centenas de milhões de toneladas a mais de carbono do que retirou do ar ...” [42].

O outro grande papel da Floresta é o mecanismo de regular as chuvas na própria Amazônia, fundamental para sua sobrevivência e, adicionalmente, exportar um gigantesco volume de água continente adentro. “Existe capacidade inata das árvores de transferir grandes volumes de água do solo para a atmosfera através da transpiração. A floresta amazônica não somente mantém o ar úmido para si mesma, mas exporta rios aéreos de vapor que transportam a água para as chuvas fartas que irrigam regiões distantes no verão hemisférico” – principalmente o cerrado mato-grossense, o celeiro da produção de soja no país, mas até mesmo em regiões distantes como o Rio de Janeiro e São Paulo [42].

Por fim, cabe apresentar alguns motivos lógicos para rechaçar a ideia desinformada de que vale a pena “aproveitar a Amazônia para expandir a produção agropecuária brasileira”:

- O crescimento da economia brasileira não está relacionado ao desmatamento da Amazônia: muito pelo contrário, se existe qualquer relação entre ambos é no sentido contrário – o crescimento é maior quando há menos desmatamento (Figura 2.17).
- Os ganhos de produção observados no Brasil nas últimas décadas foram alcançados por ganhos de produtividade, e não pela expansão da área plantada (Figura 2.18).
- A produção agropecuária da Amazônia não tem peso relevante na produção agrícola brasileira, enquanto seus impactos ambientais são gigantescos. A produção agrícola da Amazônia representa 14,5% do produto agrícola nacional.

Continuação

FIGURA 2.16 > **PRODUZIR MAIS SEM DESMATAR**

A intensificação da pecuária brasileira, ora de baixa produtividade, poderia passar de **4,4** para **9,0** arrobas/ha/ano.

Isto liberaria

→ **12 milhões/ha**
para a recuperação de
vegetação nativa

→ **30 milhões/ha**
para aumento da agricultura

Considerando que o desmatamento médio anual da Amazônia nos últimos 5 anos foi de **765 mil hectares**,

entende-se que não existe qualquer necessidade de se desmatar a Amazônia para expandir a área de produção agropecuária [43].

O Cerrado possui **15,5 milhões de hectares** de áreas de pastagens com alta aptidão agrícola e sem restrições à expansão da agricultura, em especial para culturas como a da soja [44].



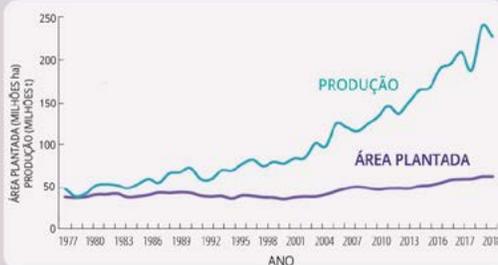
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 2.17
> **PIB AGROPECUÁRIO (R\$ MILHÕES) E DESMATAMENTOS NA AMAZÔNIA (km² X 10)**



Fonte: [45] e [46]

FIGURA 2.18
> **ÁREA PLANTADA (MILHÕES ha) E PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL (MILHÕES T)**



Fonte: [47]

FOTO 5 > DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA

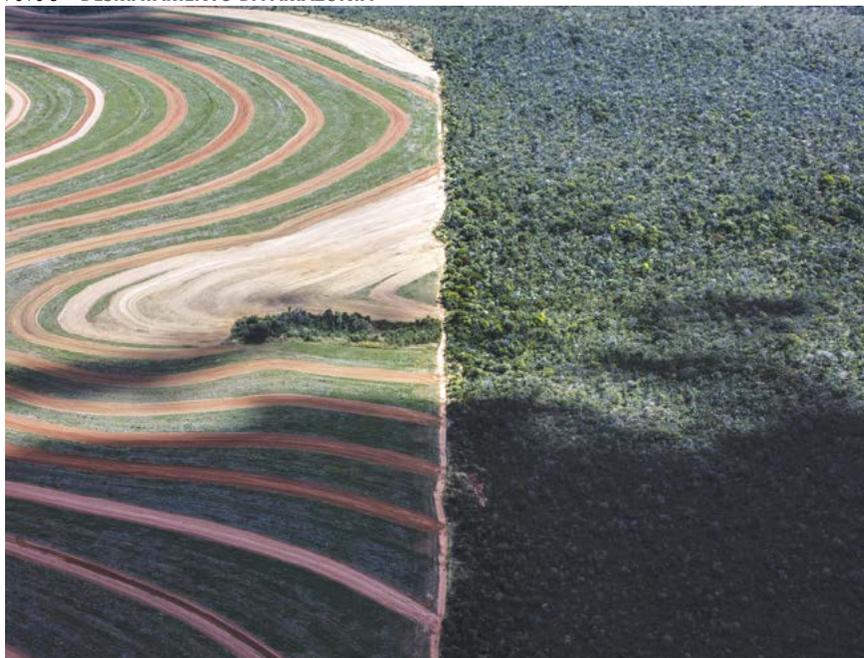


Foto: Marzilda Cruppe [F5]

• AGRICULTURA

“É sabido que a água, a luz, a temperatura e o CO_2 são os principais fatores reguladores da fotossíntese. O aumento de qualquer um deles pode provocar o desequilíbrio de outro. Exceto a luz solar, os demais são dependentes do aquecimento do planeta. Portanto, temperatura e CO_2 podem alterar o funcionamento de uma planta” [48]. Isso implica que toda a agricultura tem o potencial de ser afetada pelo aquecimento global e as mudanças climáticas. “O aumento dos gases de efeito estufa aumenta a temperatura, que aumenta a demanda por água, que estará menos disponível por conta do aumento da evapotranspiração, interferindo diretamente na produtividade das culturas. Tal situação provocará uma nova geografia da produção agrícola no mundo e no Brasil” [48].

“O aquecimento trará alguma vantagem somente para o cultivo nas regiões de alta latitude (as mais próximas dos polos): tornando-se menos geladas, essas áreas poderão, no futuro, abrigar plantas que hoje não resistem ao frio. No entanto, os danos previstos devem ser bem mais significativos. A FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos) sugere que a segurança alimentar pode ser prejudicada em três pontos: disponibilidade, acesso e estabilidade do suprimento. O IPCC prevê igualmente a

perda da produtividade de várias culturas, com consequências preocupantes para a segurança alimentar. Mesmo uma pequena elevação na temperatura (de 1° a 2°C) pode reduzir a produtividade das culturas, o que aumentaria o risco de fome.

No caso das geleiras, em particular as do Himalaia, por exemplo, seu derretimento irá prejudicar o suprimento de água para China e Índia, comprometendo sua agricultura e agravando a insegurança alimentar nos dois países mais populosos do mundo. O mesmo deve ocorrer em países africanos, que dependem da agricultura irrigada pelas chuvas” [49].

O aumento da frequência de ocorrência de dias com temperatura acima de 34°C, considerado um ponto de inflexão na produção agrícola, acarretará perda de produtividade, abortamento de flores de café, laranja e feijão, aumento da frequência de ondas de calor, provocando a morte de frangos, abortos em porcas, redução da produção de leite e, por fim, redução das áreas com baixo risco climático [50].

É importante ressaltar também que todos os impactos mencionados na agricultura atingirão muito mais severamente os mais pobres do mundo, não apenas em termos de insegurança alimentar e nutricional. As áreas rurais deverão sofrer os maiores impactos no que tange à disponibilidade e fornecimento de água, segurança alimentar, infraestrutura e renda agrícola, incluindo mudanças nas áreas de produção de culturas (alimentares ou não). Famílias chefiadas por mulheres e com acesso limitado à terra, infraestrutura e educação são um grupo particularmente vulnerável.

BOX 2.4 > Impactos na agricultura brasileira

Estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira têm sido liderados pela Embrapa juntamente com outras universidades e centros de pesquisa agropecuária. A avaliação desses impactos baseia-se na tecnologia de Zoneamento de Riscos Climáticos. Esse zoneamento basicamente identifica as áreas propícias para plantio das 30 principais culturas agrícolas no Brasil, informando o nível de risco de se plantarem essas culturas em cada um dos mais de 5000 municípios brasileiros. Dentre essas 30 culturas agrícolas, o foco tem sido nas 9 mais importantes em termos da área plantada (86%): algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja – além de pastagens e gado de corte [51] e [52]. Os resultados desses estudos não são animadores, conforme se poderá constatar a seguir:

Continua na próxima página.

FIGURA 2.19 > IMPACTOS NAS PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS NO BRASIL

O AQUECIMENTO GLOBAL
PODE COMPROMETER A
PRODUÇÃO BRASILEIRA
DE ALIMENTOS

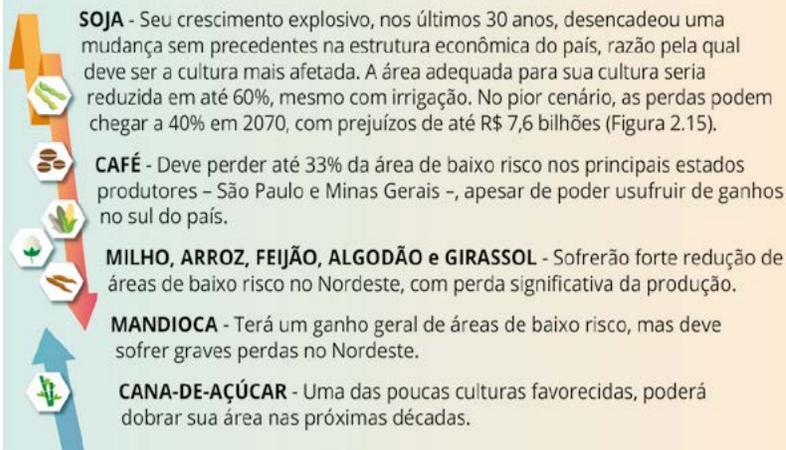


LEVANDO
A PERDAS
QUE PODEM
CHEGAR A



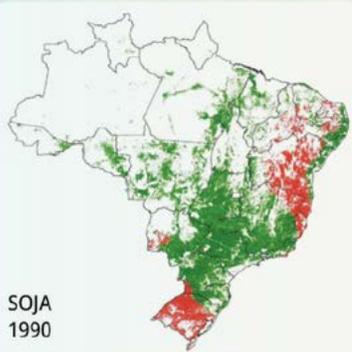
→ R\$ 7,4 bilhões
já em 2020

→ R\$ 14 bilhões
em 2070.



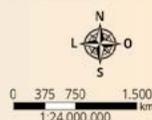
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 2.20 > ÁREAS DE RISCO PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL: 1990 E PROJEÇÕES PARA 2070-2100



Nota: Modelo
HadGEM2-ES,
cenário RCP8.5
(pessimista)

RISCO ■ ALTO ■ BAIXO



Fonte: [52]

Continua na próxima página.

Continuação

Por fim, deve-se mencionar que, para suportar ou fazer frente aos impactos das mudanças climáticas, é preciso certa resiliência e capacidade de resposta e adaptação. No caso das grandes fazendas e propriedades rurais, essa capacidade é muito maior do que a existente nas pequenas propriedades. Em geral, os pequenos produtores, além de menor conhecimento sobre o problema e poucas alternativas para resolvê-lo, dispõem de menos recursos e têm menos flexibilidade para agir. Com isso, serão muito mais impactados que os maiores proprietários. Cerca de 70 por cento dos agricultores não têm o ensino fundamental completo, apenas cerca de 15 por cento tem o primeiro grau completo, e 80 por cento têm renda mensal inferior a 2 salários mínimos. Essa massa de trabalhadores é evidentemente vulnerável a quaisquer mudanças dos regimes climáticos, lembrando que a Região Nordeste, em particular, por concentrar grande parte dessa população, irá sofrer impactos climáticos mais significativos, como já mencionado. Famílias lideradas por mulheres deverão também sofrer mais intensamente.

• ZONAS COSTEIRAS

No mundo, mais de 600 milhões de pessoas (cerca de 10% da população) vivem em áreas costeiras situadas a menos de 10 metros acima do nível do mar. Quase 2,4 bilhões de pessoas (cerca de 40% da população mundial) vivem a menos de 100 km da costa [53]. Na zona costeira encontra-se boa parte dos principais centros econômicos e maiores cidades do mundo – como Londres, Nova Iorque, Tóquio, Xangai, Mumbai e Rio de Janeiro.

A gama de riscos costeiros relativos às mudanças climáticas inclui a elevação do nível do mar. Como já mencionado, o nível médio global do mar subiu 17 cm até o século 20, e pode alcançar 1 metro até o final do século 21. A elevação relativa do nível do mar pode causar uma série de impactos, como níveis extremos mais altos do mar, erosão costeira, salinização das águas superficiais e subterrâneas e degradação dos habitats costeiros, como manguezais. Grandes áreas terrestres e milhões de pessoas podem ter que ser deslocadas devido à elevação do nível do mar, conforme as condições locais [54].

As regiões costeiras já são tradicionalmente vulneráveis a eventos como tempestades e ciclones. Todos os anos, cerca de 120 milhões de pessoas estão expostas aos riscos de ciclones tropicais. Em 1970, pelo menos 300 mil pessoas morreram em Bangladesh por conta de um único ciclone. De 1980 a 2000, um total de mais de 250 mil mortes foram associadas aos ciclones

tropicais no mundo, entre os quais 60% ocorreram em Bangladesh. Em 2008, o ciclone Nagris, em Mianmar, causou pelo menos 138 mil mortes. A mudança climática agravará esses perigos e deverá causar perdas ainda maiores no futuro [55].

Uma das maiores preocupações com relação à elevação do nível do mar são algumas das 52 nações localizadas em pequenas ilhas, as chamadas SIDS (*Small Island Developing States*), onde se concentra quase 1% da humanidade e uma ainda enorme biodiversidade. É bem provável que nos próximos 50 anos o oceano varra do mapa algumas dessas ilhas, e afete seriamente as demais. Sobretudo os atóis (ilhas coralinas) estão condenados. Prevê-se o desaparecimento de ilhas da Micronésia e da Polinésia, como Tuvalu, Quiribati e as Ilhas Marshall, com uma população total de 180 mil habitantes.

No Oceano Índico, boa parte das ilhas Maldivas, com seus 329 mil habitantes vivendo abaixo de 2 metros acima do nível do mar, deve desaparecer até meados deste século. Um grupo de pesquisadores na França projeta que entre 5 e 12% das 1.269 ilhas francesas desapareçam num futuro próximo, ameaçando de extinção cerca de 300 espécies endêmicas [56]. A maioria das ilhas do Caribe também faz parte das SIDS e está ameaçada pelo problema.

FOTO 6 > NAÇÕES PEQUENAS ILHAS – RISCO DE DESAPARECIMENTO (FOTO DAS ILHAS MALDIVAS)



Foto: Civi [FG]

Ilha Vakarufalhi - Atol de Ari do Sul - Maldivas

BOX 2.5 > Impactos na zona costeira brasileira

O estudo que embasou o referido RAN₁, indica que a zona costeira brasileira, com 8.698 km de extensão e área aproximada de 514 mil km², é composta por distintos ambientes naturais – como praias, dunas, restingas, planícies costeiras, estuários, deltas e mangues, além de cidades, portos e outras ocupações humanas. Das 42 regiões metropolitanas brasileiras, 18 se encontram na zona costeira ou são influenciadas por ela. A população das zonas costeiras brasileiras é responsável pela geração de cerca de 30% da renda nacional.

Pela falta de dados adequados, o Brasil ainda não possui um estudo integrado relativo à vulnerabilidade das cidades costeiras às mudanças climáticas em escala nacional, particularmente em relação à elevação do nível médio do mar (ver [57]). Estudos regionais têm sido desenvolvidos, mas as metodologias e objetivos são variados, impedindo comparações ou análises integradas regionais ou nacionais. Nem mesmo as bases de dados usadas para estimar a altimetria (altura do terreno acima do nível do mar) e a batimetria (perfil do fundo oceânico) – dois dados que precisam ser combinados para informar a elevação da lâmina d'água e o risco de inundação – são compatíveis entre si.

A subida do nível do mar, que também pode ser causada por fatores que vão além do derretimento de gelo continental, já vem sendo identificada por pesquisadores desde a década de 1980 em todo o litoral, com taxas de elevação variáveis, dependendo da conformação das costas e da plataforma continental diante de cada litoral. No Recife, por exemplo, a tendência tem sido a elevação do nível em 5,4 cm por década; em Belém, de 3,5 cm, em Cananéia de 4,0 cm, e em Santos de 1,1 cm por década [58]. No caso de Recife, com mais de 2 milhões de habitantes, o nível do mar entre 1946 e 1988 aumentou 24cm. A erosão costeira e a ocupação do pós-praia provocaram redução da linha de praia de mais de 20m em Boa Viagem, área da orla mais valorizada da cidade.

Os principais impactos decorrentes de mudanças climáticas são os efeitos da elevação do nível médio do mar, as alterações nos regimes de vento e de ondas, o aumento na frequência de tempestades, ciclones e outros extremos, e a diminuição do aporte sedimentar das bacias hidrográficas. Todos esses fatores estão intimamente relacionados com processos de erosão nos ambientes costeiros, vários dos quais apresentam grande sinergia.

Continua na próxima página.

Continuação

Pequenas elevações do nível do mar tornam o impacto das ressacas muito mais intenso. Elas também impedem o deságue dos rios, principalmente quando combinadas com chuvas intensas e marés meteorológicas² – provocando inundações nas áreas próximas à foz dos rios. Diversas regiões de baixada, ao longo da costa brasileira, são vulneráveis nesse sentido. Regiões altamente povoadas com essas características incluem Recife, Rio de Janeiro, entorno da Baía de Guanabara e Baixada Santista, entre outros.

Outro problema refere-se ao lançamento do esgoto coletado nas cidades costeiras sem prévio tratamento, calculado com base em níveis do mar mais baixos que os projetados pelas mudanças climáticas. Esses cálculos devem ser redimensionados a fim de evitar o refluxo do esgoto para a cidade com seus óbvios riscos. A elevação do nível do mar também ameaça infraestruturas na costa, acarretando perdas de áreas de turismo e lazer, depreciação imobiliária e aumento da sensação de insegurança – todos representando perdas econômicas e desvalorização do espaço costeiro.

Cidades portuárias são vulneráveis aos riscos do aumento de inundações, como Santos, Itajaí, Recife, Rio Grande, Rio de Janeiro, Paranaguá e Belém [59]. Segundo o estudo Brasil 2040, quase todos os portos do país necessitam de medidas de adaptação, seja para aumentar o espaço seco entre o cais e a água, seja para aumentar o calado, por causa de assoreamento. O porto de Santos, o mais importante do país, foi projetado para ter uma borda livre³ de apenas 1,18m (quando o recomendável é de 1,58m). Hoje, em momentos de maré alta, o porto fica com apenas 0,95m de borda livre, com tendência de queda para 0,72m até 2040, no pior cenário.

² Diferentemente das marés astronômicas, determinadas pela atração gravitacional da lua e do sol, as marés meteorológicas são levantamentos do nível do mar causados pela pressão exercida pelo vento marinho, que empurra as águas para a região costeira.

³ A borda livre é a diferença de altura entre a superfície da água e o pavimento ou piso principal de um navio.



CLIMA FUTURO, VULNERABILIDADES E RISCOS DE LONGO PRAZO

Projeções do clima futuro e suas incertezas

Como já mencionado, o conhecimento sobre as mudanças climáticas é sujeito a muitas incertezas – ainda que não existam dúvidas cientificamente aceitas contestando sua existência. Tais incertezas dizem respeito principalmente:

- à própria ciência do clima – nosso conhecimento limitado sobre os processos da natureza, do clima, da física e da química da atmosfera;
- às imprecisões dos modelos matemáticos que fazem as projeções sobre o clima futuro; elas geram dúvidas quanto à extensão das mudanças do clima (não quanto às mudanças propriamente);
- ao comportamento da economia mundial e das atividades humanas – o que estaremos fazendo daqui a 100 anos, e como?
- aos impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas, na economia e na nossa vida.

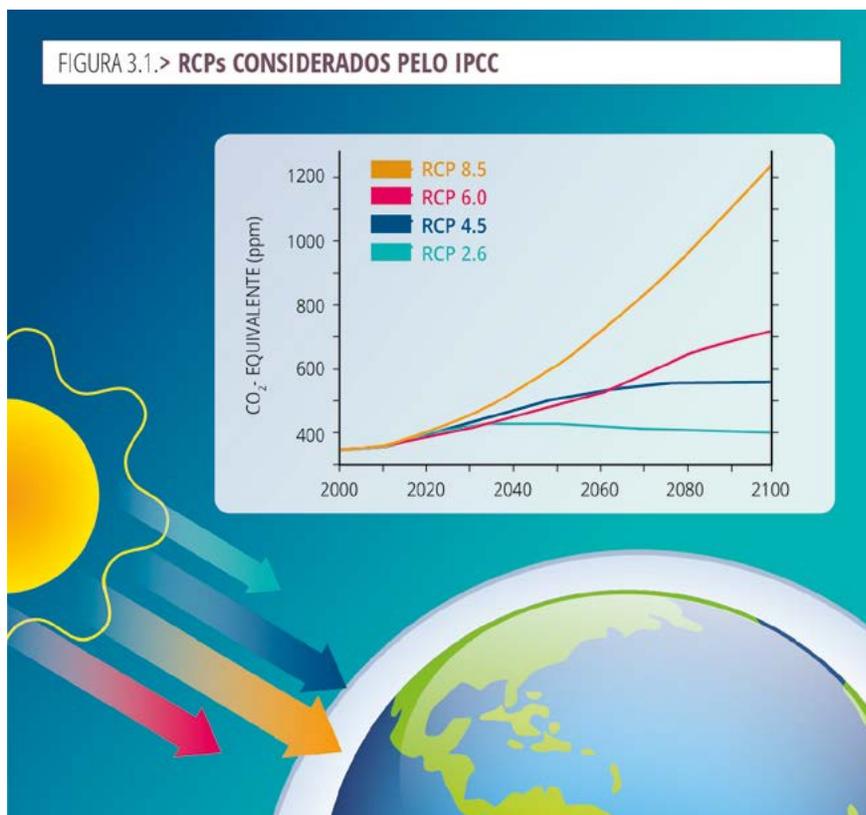
Por conta dessas incertezas, os estudos sobre o clima futuro fazem algumas hipóteses, mediante a criação de cenários que parecem mais razoáveis, e cujas conclusões ficam restritas a essas hipóteses. Existem três principais cenários ou escolhas a serem feitas nas análises sobre as mudanças climáticas:

- 1) cenários de emissão,
- 2) modelos climáticos, e
- 3) cenários de impactos.

CENÁRIOS DE EMISSÕES E CONCENTRAÇÕES DE GEE NA ATMOSFERA

A concentração dos GEE na atmosfera depende de quanto será emitido a cada ano. Em seu último Relatório de Avaliação (AR5), o IPCC optou por trabalhar simultaneamente com os possíveis níveis dessas emissões, as concentrações de CO₂ na atmosfera e os efeitos de cada concentração em termos de aquecimento global. Foram definidos quatro RCPs (da sigla em inglês para *Representative Concentration Pathways*, ou trajetórias representativas de concentrações). Esses RCPs (RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP2.6) refletem a diferença entre a energia solar que entra na Terra e que é emitida de volta para o espaço [1], [2] e [3].

No cenário RCP8.5, por exemplo – o mais pessimista – a diferença é de 8,5 Watts por metro quadrado em 2100. Ele supõe que as emissões mundiais continuarão crescendo sem qualquer controle, levando ao aumento da temperatura global de 3,7°C em 2100. O RCP 2.6 supõe uma elevação de apenas 1°C em 2100, o que já é praticamente impossível. Essas trajetórias são mostradas na Figura 3.1 para todos os GEE em termos de CO₂ equivalente.



Fonte: [4]

MODELOS CLIMÁTICOS

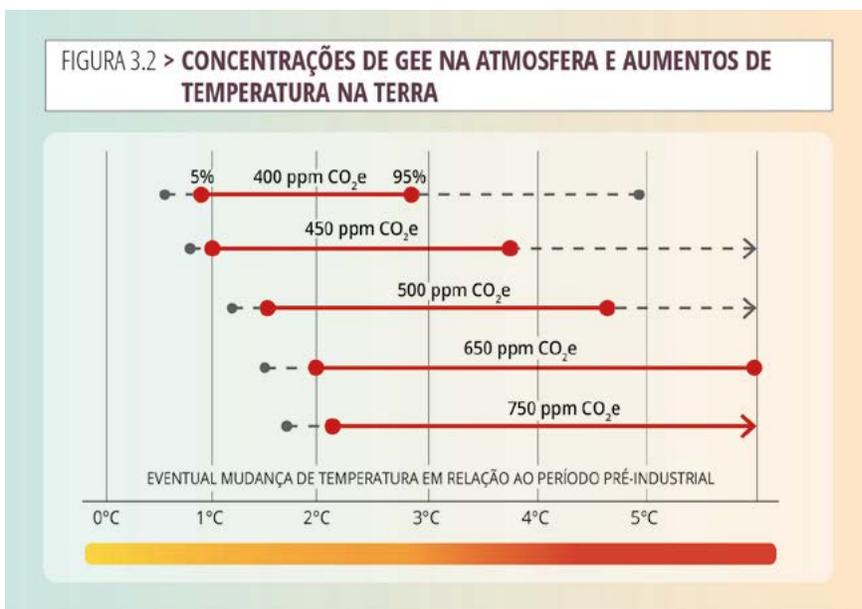
A previsão do tempo (que é o estado meteorológico momentâneo da atmosfera) nós já a conhecemos do noticiário. O clima representa a média de como se comporta a atmosfera ao longo de um certo período (relativamente longo). A previsão de ambos é feita por meio de modelos matemáticos, que reproduzem os principais fatores que os influenciam. As incertezas envolvidas nesses modelos levam a alguns erros de previsão, ainda que cada vez menos frequentes. Podemos considerar a ciência meteorológica e a ciência climática como primas entre si, que vêm se aprimorando e tornando-se cada vez mais precisas e confiáveis.

É fácil perceber que modelos capazes de prever o comportamento do clima futuro nos próximos 100 anos são extraordinariamente complexos. Por esse motivo, apenas alguns centros de pesquisa avançados do mundo têm seus próprios modelos climáticos – chamados GCMs (da sigla em inglês para *global circulation models* – modelos de circulação global). Os GCMs representam os processos físicos na atmosfera, nos oceanos, na superfície terrestre, entre outros, e são a ferramenta mais moderna disponível para simular como o sistema climático global reage ao aumento da concentração de GEE na atmosfera [5].

Todos os modelos preveem o aquecimento global, com pequenas diferenças entre as temperaturas, onde e quando serão atingidas. No entanto, há diferenças mais significativas entre os modelos no que tange às mudanças das chuvas. O problema, já abordado no primeiro capítulo, representa de fato uma grande limitação para a tomada de decisão no mundo real. Sem uma convergência e acordo entre os modelos, fica difícil decidir que medidas devem ser tomadas, em que momento e em que local específico.

CENÁRIOS DE IMPACTOS

A terceira incerteza relativa às mudanças climáticas refere-se à relação entre o crescimento econômico, as emissões de GEE, o aumento da sua concentração na atmosfera e, por fim, as resultantes elevações de temperatura na Terra. Posteriormente, ainda, há incertezas quanto aos efeitos das mudanças no sistema climático sobre os ecossistemas, a economia e a vida das pessoas. A Figura 3.2 relaciona possíveis concentrações de GEE na atmosfera (medidos em termos de CO₂-equivalente) com os aumentos de temperatura esperados. Por conta das incertezas dessas relações, o diagrama apresenta um intervalo de concentrações de GEE para cada aumento de temperatura (em relação ao período Pré-Industrial).



Fonte: [6]

Dois graus, quatro graus ou mais? Vulnerabilidades e riscos de longo prazo

MUNDO MAIS QUENTE: 1,5°C x 2°C

Um parâmetro fundamental na tentativa de limitar o aquecimento global é o “limite aceitável” de aumento da temperatura média da Terra (TMT). A temperatura da Terra varia “naturalmente” ao longo do tempo, existindo uma faixa na qual essas variações não produzem efeitos acentuados e ficam um pouco para cima ou para baixo da média histórica. Mas é fácil perceber que, se uma variação de 0,5°C pode não ser significativa, uma de 3°C pode ser profundamente perturbadora do sistema climático global, produzindo grandes – e possivelmente irreversíveis – impactos.

Análises dos diferentes efeitos e dos riscos impostos por diferentes aumentos da TMT têm sido feitos recentemente. Dois importantes estudos foram desenvolvidos um pelo Banco Mundial em 2012, avaliando os riscos de um mundo com um aumento da TMT de 4°C [7]; o outro, mais recente, pelo IPCC em 2018, e que comparou as diferenças entre um mundo 1,5°C e 2,0°C mais quente [8]. Além deles, a Carbon Brief, que é um website dedicado ao tema, sumariou e comparou os resultados de inúmeros trabalhos acadêmicos reconhecidos que avaliam as diferenças entre o mundo 1,5°C e 2°C mais quente [9].

O Relatório do IPCC foi elaborado para mostrar as grandes diferenças existentes entre dois mundos com apenas meio grau Celsius de diferença – e que todos os esforços possíveis deveriam ser despendidos para não chegarmos a um mundo 2°C mais quente. A razão disso é que os impactos basicamente não são “lineares” em relação aos aumentos de temperatura. Ou seja, se você dobrar a temperatura de 2 para 4 graus Celsius, a intensidade da maioria dos impactos será mais do que o dobro.

Diferenças substanciais de temperatura e eventos extremos são esperados se a TMT aumentar 2°C ao invés dos 1,5°C acima do período pré-industrial. As médias e extremos são mais altos a 2°C em comparação com 1,5°C na maioria das regiões terrestres. Alguns extremos aumentam 2-3 vezes quando comparados com a TMT. A Tabela 3.1 compara as diferenças de impactos num mundo 1,5°C ou 2°C mais quente.

TABELA 3.1. > **IMPACTOS DE AUMENTOS DE TEMPERATURA MÉDIA DE 1,5°C E 2°C EM 2100**

IMPACTO	+1,5°C	+2°C
Elevação do nível do mar	+ 48cm	+ 56cm
População exposta à falta d'água	271 milhões	388 milhões
Probabilidade de não haver gelo no polo norte em um ano	3%	16%
Número de dias quentes	> 16%	> 25%
Duração dos picos de calor	> 17 dias	> 35 dias
PIB global per capita em 2100	- 8%	- 13%
Branqueamento de corais	90% em risco	98% em risco
Queda da produção de trigo	9%	16%

Fonte: [9]

Outros efeitos não quantificados do aquecimento global a 1,5°C, segundo o Relatório do IPCC [8], incluem menores riscos de: a) morbidade e mortalidade relacionadas ao calor, particularmente em áreas urbanas, por causa das ilhas de calor; b) precipitação intensa em várias regiões; c) secas e riscos de estresse hídrico em algumas regiões; d) perdas e possível extinção de espécies locais; e) impactos no turismo, especialmente aquele que depende de condições climáticas e meteorológicas estáveis e previsíveis; e f) múltiplos riscos esperados nas pequenas ilhas do mundo. “A pequena diferença de meio grau de temperatura limitará os enormes impactos econômicos e sociais esperados em todo o planeta e que são diretamente dependentes do aumento observado de temperatura” [8].

O MUNDO 4°C MAIS QUENTE (baseado em [7])

Um mundo 4°C mais quente traria ondas de calor sem precedentes, secas severas e grandes inundações em muitas regiões, com sérios impactos sobre os ecossistemas e serviços associados. Tal nível de aquecimento – com a consequente elevação do mar de 0,5 a 1 metro ou mais, até 2100 – não seria o ponto final: ao longo dos séculos seguintes, seria provável um aquecimento adicional para níveis acima de 6°C, com vários metros de elevação do nível do mar.

Os efeitos do aquecimento a 4°C não seriam distribuídos uniformemente pelo mundo, tampouco as consequências seriam simplesmente uma extensão dos efeitos sentidos a 2°C de aquecimento. O maior aquecimento ocorreria nos continentes, com variações de 4°C a 10°C. Seria esperado um aumento de 6°C ou mais nas temperaturas médias mensais de verão em grandes regiões do mundo, incluindo o Mediterrâneo, o Norte da África, o Oriente Médio e os Estados Unidos.

As projeções para um mundo 4°C mais quente mostram um aumento dramático na intensidade e frequência de extremos de alta temperatura. É provável que a América do Sul tropical, a África central e todas as ilhas tropicais do Pacífico experimentem regularmente ondas de calor de magnitude e duração sem precedentes. Nesse novo regime climático, os meses mais frios provavelmente serão substancialmente mais quentes do que os meses mais quentes do final do século 20.

FOTO 7 > ONDA DE CALOR EM PARIS, 2008



Foto: Chris Walts [7]

Além do aquecimento do sistema climático, uma das consequências mais graves ocorre devido ao aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera quando se dissolve no oceano, tornando-o mais ácido. Um aumento substancial da acidez dos oceanos tem sido observado desde os tempos pré-industriais. Um aquecimento de 4°C ou mais, até 2100, corresponderia a um aumento de cerca de aproximadamente 150 por cento na acidez do oceano.

O fato é que as taxas observadas e projetadas de mudança na acidez dos oceanos no próximo século parecem ser inigualáveis na história da Terra. Já existem evidências das suas consequências adversas para os organismos marinhos e ecossistemas, combinadas com os efeitos do aquecimento e da pesca excessiva.

Os recifes de coral, em particular, são extremamente sensíveis às mudanças na temperatura da água, no pH oceânico e na intensidade e frequência dos ciclones tropicais. Os recifes prestam inúmeros serviços ecossistêmicos, na medida em que nos protegem contra inundações costeiras, tempestades e danos causados por ondas, bem como servem de viveiros e habitat para muitas espécies.

O crescimento dos recifes de coral pode parar, quando a concentração de CO₂ na atmosfera se aproximar de 450 ppm. Quando ela atingir 550 ppm (correspondendo a um aquecimento de cerca de 2,4°C), é provável que os recifes de coral desapareçam em muitas áreas. A extinção regional de recifes de coral inteiros traria consequências profundas para as espécies deles dependentes – incluindo pessoas que os utilizam para alimentação, renda, turismo e proteção da linha costeira. É provável que muitas espécies ainda não conhecidas desapareçam para sempre.

FOTOS 8 > CORAIS SAUDÁVEIS E BRANQUEAMENTO



Os impactos projetados sobre a disponibilidade de água, ecossistemas, agricultura e saúde humana poderiam levar ao deslocamento em larga escala de populações, trazendo sérias consequências para a segurança humana e para os sistemas econômicos e comerciais. Ainda que o escopo total dos danos em um mundo a 4°C ainda não tenha sido avaliado até o momento, sua intensidade levanta dúvidas sobre se a adaptação a um mundo 4°C mais quente seria possível.

Nesse mundo mais quente, é provável que comunidades, cidades e países sofram graves rupturas, danos e deslocamentos, com muitos desses riscos espalhados de forma desigual. É provável que os pobres sofram mais e que a comunidade global se torne mais fragmentada e desigual do que hoje. O aquecimento projetado de 4°C simplesmente não deve ser aceito como cenário para o planeta.

Brincando com fogo: problemas catastróficos que você não queria nem saber, mas que agora irá

Do enorme conjunto de consequências trazidas pelas mudanças climáticas sobre a Terra e nossa vida, existe um subconjunto que preocupa mais. O conceito de ponto de inflexão, apresentado no primeiro capítulo, refere-se a mudanças muito abruptas em um sistema, causadas por uma pequena “mexida” nele. É como num jogo de crianças, quando tentamos construir uma torre com cubinhos um em cima do outro, buscando atingir a maior altura possível. A torre vai se aguentando, se inclinando um pouquinho, até que colocamos um determinado cubo que faz desabar a torre inteira. O ponto de inflexão foi atingido. Os pontos de inflexão podem ser realmente os determinantes da gravidade das mudanças climáticas e de todos os impactos decorrentes.

Existem partes no sistema climático da Terra que têm o potencial de mudar abruptamente a partir de uma pequena elevação da temperatura. Um exemplo interessante ocorre nas florações em plantios na agricultura. As plantas necessitam de determinada quantidade de água para crescer, e essa necessidade na germinação (fase inicial) é diferente da fase de preenchimento de grãos (por exemplo, no caso da soja). Nesse cenário, a falta de chuvas no curto período da floração causará um pequeno déficit hídrico para as plantas, capaz de simplesmente matar toda a produção.

Alguns sistemas terrestres têm pontos de inflexão muito baixos em relação ao aquecimento global, sendo que em alguns casos não falta muito para serem atingidos. Além disso, não se sabe se as mudanças são reversíveis

ou não. De todo modo, a literatura identifica cerca de dez principais problemas, quatro dos quais apresentados a seguir, tomando como base a publicação do Carbon Brief [10]. Um dos pontos de inflexão globais mais importantes e sempre presente na lista dos mais preocupantes é a savanização da Amazônia já discutida no capítulo 2. Ela não é aqui repetida, mas é fundamental mencioná-la como integrante dessa lista de principais pontos de inflexão climáticos.

1. INTERRUPÇÃO DA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA DO ATLÂNTICO NORTE

A circulação oceânica desempenha um papel fundamental no clima do planeta, porque ela é responsável pela transferência e redistribuição do calor, agindo como reguladora do clima global. A circulação é movida pelas diferenças de densidade das águas dos oceanos. Elas, por sua vez, decorrem das diferenças de temperatura e de salinidade entre uma parte superficial e uma parte profunda do oceano. As correntes profundas modulam o transporte de calor das regiões tropicais mais quentes para as regiões temperadas mais frias e que são as de maiores latitudes (em direção aos polos). Sem essa circulação, os polos e as regiões temperadas seriam mais frios e a zona equatorial mais quente.

O Oceano Atlântico é fundamental para o funcionamento da circulação global, transportando águas quentes do Atlântico Equatorial e Sul para o Atlântico Norte (Figura 3.3). O calor oceânico é absorvido pela atmosfera e esquentando a costa oeste da Europa, o que explica o porquê de países como Irlanda e Inglaterra possuírem um clima mais quente do que o do Canadá, apesar de estarem na mesma faixa de latitude. O derretimento do Ártico, especialmente na Groenlândia, vem deixando a água naquela região menos salina, afetando toda a circulação do Atlântico Norte e a consequente distribuição de calor no planeta [11].

Pesquisas recentes sugerem que a circulação oceânica no Atlântico Norte já enfraqueceu cerca de 15% desde meados do século 20. A questão é até que ponto um enfraquecimento pode transformar-se em um estancamento completo da circulação. Esse estancamento pode acontecer porque a circulação é um sistema que se autorreforça, e que só pode ser empurrado “até um limite”. Demasiada água doce no Atlântico Norte retarda a circulação, impedindo-a de puxar água salgada do fundo em direção ao sul. Assim, o Atlântico Norte tem suas águas superficiais ainda mais doces e frias, enfraquecendo a circulação ainda mais – e assim por diante. Ainda há muitas incertezas sobre onde exatamente se encontra este ponto de inflexão. “Dependendo da natureza exata da estabilidade da circulação, ela poderia ser desligada indefinidamente, por milhares de anos” [10].



Fonte: [12]

2. DESINTEGRAÇÃO DA CAMADA DE GELO DA ANTÁRTIDA OCIDENTAL

A camada de gelo da Antártida Ocidental (CGAO) é uma das três regiões que compõem a Antártida. Embora muito menor do que sua vizinha a leste, a AO ainda contém gelo suficiente para elevar o nível global do mar em cerca de 3,3 metros. Portanto, mesmo uma perda parcial desse gelo seria suficiente para mudar drasticamente as linhas costeiras ao redor do mundo (ver Figura 3.4).

A estabilidade a longo prazo da CGAO é particularmente preocupante, porque ela funciona como uma espécie de manto de gelo “marinho”, o que significa que, por conta do contato com o calor do oceano, ela se torna vulnerável à rápida e irreversível perda de gelo. Nos locais onde o gelo se encontra com o oceano, formam-se prateleiras de gelo flutuantes, que retêm boa parte do gelo terrestre. No entanto, essas prateleiras correm o risco de derreter por cima, pela ação do ar quente, e por baixo, pela ação da água mais quente.

Como as prateleiras de gelo flutuam sobre a água, seu colapso não causa diretamente a elevação do nível do mar. Mas o seu desbaste e/ou colapso poderia desencadear uma perda rápida e irreversível de gelo terrestre para o oceano – o que aumentaria o nível do mar. Esta teoria é chamada de “instabilidade da camada de gelo marinho”.

A contribuição da Antártida para a elevação do nível global do mar é diretamente relacionada à perda de gelo das geleiras no Mar de Amundsen. Em geral, a avaliação do IPCC sobre o colapso parcial da camada de gelo



da Antártida Ocidental é que, por ser potencialmente abrupto, provocaria danos “irreversíveis por décadas a milênios”. No entanto, as observações ainda não são suficientes para determinar se essas mudanças marcam o início de um recuo irreversível [10].

3. PERMAFROST E HIDRATOS DE METANO

Permafrost é o nome dado ao solo que contém gelo ou material orgânico congelado, que permaneceu a 0°C ou menos por pelo menos dois anos. Ele cobre cerca de um quarto da terra não glacial no hemisfério norte – incluindo grandes extensões da Sibéria, Alasca, norte do Canadá e planalto tibetano – e pode ter até um quilômetro de espessura. No hemisfério sul, o *permafrost* é encontrado em partes da Patagônia, Antártica e nos Alpes do Sul da Nova Zelândia.

Esse solo congelado contém uma grande quantidade de carbono, acumulado de plantas e animais mortos ao longo de milhares de anos. Há cerca de duas vezes mais carbono no *permafrost* do que atualmente na atmosfera da Terra! À medida que o clima aquece, há o risco crescente de que ele descongele. Isso tiraria de sua hibernação os micróbios presentes no solo, permitindo que eles decomponham o carbono orgânico. Este processo liberaria CO_2 – e em menor grau metano que, como vimos, é um GEE muito potente. Assim, o descongelamento em larga escala do *permafrost* tem o potencial de causar um maior aquecimento do clima.

Já existem evidências de aquecimento do *permafrost*. Segundo o relatório do IPCC [13] sobre o oceano e a criosfera, “altas temperaturas – a cerca de 10-20m de profundidade – já foram documentadas em muitos locais de monitoramento de longo prazo em *permafrost* próximos ao polo Norte”. Essas temperaturas chegaram a 2°-3°C acima do medido há 30 anos”, o que leva a sugerir como muito provável o desaparecimento generalizado do *permafrost* próximo à superfície do Ártico, ainda neste século. Conforme o cenário climático, espera-se a liberação de até 240 bilhões de toneladas (240 Gt) de carbono do *permafrost* para a atmosfera, em forma de CO₂ e metano, com o potencial de acelerar a mudança climática – lembrando que hoje existem cerca de 850 Gt de CO₂ na atmosfera, e a emissão anual global tem sido de cerca de 35 Gt de CO₂.

O relatório e seus autores também advertem que o carbono contido nos solos se acumulou durante “incríveis e longos períodos de tempo”. Uma vez perdido para a atmosfera, não há como recuperá-lo. Mesmo se pararmos o aquecimento, as emissões do *permafrost* devem parar, mas a volta desse carbono ao *permafrost* é pragmaticamente impossível.

FOTO 9 > PERMAFROST, ILHA DE HERSHEL, CANADÁ



Foto: Boris Radosavljevic [19]

4. DESINTEGRAÇÃO DA CAMADA DE GELO DA GROENLÂNDIA

A camada de gelo da Groenlândia é a segunda maior massa de gelo da Terra. Como já visto no capítulo 2, ela contém água suficiente para elevar o nível global do mar em 7,2 metros e, como resultado, sua desintegração mudaria a forma das linhas costeiras do mundo. O derretimento do manto de gelo da Groenlândia está acelerando, adicionando atualmente cerca de

0,7 mm ao nível global do mar a cada ano. É pouco provável que o derretimento seja abrupto, mas é claro que haverá um limiar além do qual seu eventual colapso será irreversível.

Cerca da metade do derretimento da camada de gelo da Groenlândia ocorre na superfície. O restante ocorre através do derretimento na base da camada de gelo e através da quebra de icebergs de sua borda. O ponto de inflexão provavelmente mais importante é a retroalimentação de altura – à medida que a camada de gelo fica mais baixa por conta do derretimento, mais áreas ficam em menores altitudes – que são mais quentes – levando a um maior derretimento.

O relatório AR5 do IPCC concluiu ser “excepcionalmente improvável” que a camada de gelo da Groenlândia sofra uma desintegração quase completa no século 21 (probabilidade menor que 1%). Entretanto, pesquisas mais recentes sugerem que o manto de gelo está em risco, se considerarmos períodos de tempo mais longos. Um aquecimento de 1,8°C acima dos níveis pré-industriais seria suficiente para desencadear ciclos de retroalimentação de declínio em partes da camada de gelo no verão.

O destino do manto de gelo da Groenlândia ainda depende fortemente das taxas de emissão de GEE no futuro. Um estudo de 2019 [15] fez simulações sobre esse manto até o ano 3000, sob diferentes cenários de emissões. “Em mil anos, ele terá um aspecto significativamente diferente do de hoje. A camada de gelo da Groenlândia terá perdido até 25% (cenário otimista), 57% (cenário intermediário), ou 100% (cenário pessimista) de sua massa atual, contribuindo, respectivamente, com 1,9 metro, 4,2 metros, ou 7,3 metros para o aumento do nível médio global do mar”.

Outros pontos de inflexão. Além dos cinco pontos de inflexão mencionados, existem outros igualmente ameaçadores para a integridade do clima global ou regional. Entre eles destacam-se:

- Desaparecimento dos recifes de corais marinhos em todo planeta – fenômeno que já se observa em todas as regiões, devido à fragilidade dos corais;
- Mudanças no regime de monções da Índia e da África Ocidental, com grandes impactos nos regimes de chuvas em ambas as regiões e consequentes impactos na agricultura e economia locais;
- Deslocamento das florestas boreais (ecossistema que ocupa a maior área do planeta) ou mesmo seu desaparecimento;
- Perda de glaciares no Alpes;
- Criação de um buraco na camada de ozônio acima do polo Norte;

- Perda de oxigênio em diversos pontos dos oceanos;
- Declínio do gelo do Mar Ártico.

Orçamento de carbono: quanto ainda podemos emitir?

Uma conta fundamental para os países trabalharem a questão climática é saber quanto CO₂ ainda podemos emitir, caso queiramos chegar a um aquecimento máximo de 1,5°C ou 2°C, e assim por diante.

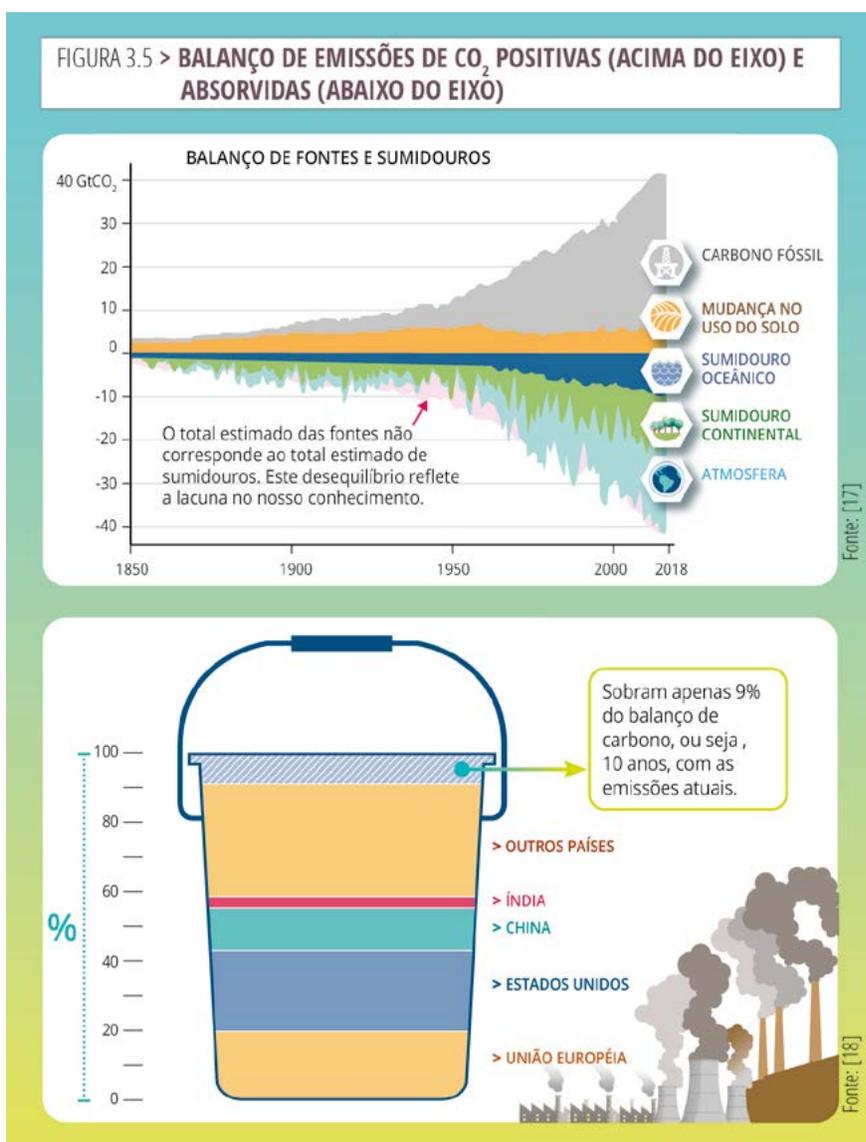
Como uma primeira aproximação, essa conta não é tão difícil: pelos números apresentados até agora, existe uma boa quantidade de informação que nos permite fazer essa conta. Sabemos quanto CO₂ emitimos a cada ano, sabemos quanto dessas emissões acumulam na atmosfera e sabemos ainda o efeito de diferentes concentrações em termos de aumento de temperatura média da Terra. Esses três parâmetros básicos permitem estimar o número de anos que nos restam de emissões aos níveis atuais.

De fato, à grosso modo esses números são fáceis de calcular. Mas quando começamos a analisá-los mais detidamente, aprofundando algumas hipóteses sobre os sistemas climático e terrestre, e definindo todos os termos de forma mais precisa, deparamos com inúmeras incertezas. Assim, o orçamento de carbono é apresentado tipicamente em faixas de certeza – como 33%, 50% e 66%. Por exemplo, com certeza de 33% podemos ainda emitir por 30 anos, ou então com certeza de 66% podemos emitir por 15 anos. O já mencionado Relatório de Avaliação do IPCC AR5, de 2014 [2], fez essa conta e chegou a números assustadores!!

Segundo esse relatório, restariam cerca de 120 bilhões de toneladas de CO₂ (120 GtCO₂) a partir do início de 2018 – cerca de três anos de emissões a partir daquele ano – para uma chance de 66% de evitar o aquecimento de 1,5°C. Para uma chance de 50% de exceder 1,5°C, o orçamento seria um pouco mais folgado, equivalente a cerca de 7 anos das emissões de 2018.

Pela importância do orçamento de carbono, essa conta tem sido objeto de muita atenção por parte de muitos cientistas do clima e governos. O Relatório do IPCC sobre o aquecimento de 1,5°C ([8]), de 2018, apresenta uma conta atualizada e discretamente menos dramática que o AR5. O orçamento de evitar 1,5°C se eleva, com certeza de 66%, para 10 anos, com base nas emissões atuais. Da mesma forma, o orçamento para uma chance de 50% de exceder 1,5°C é aumentado para 14 anos, também com base nas emissões atuais [16].

Como mencionado, existem decerto muitas imprecisões e incertezas nesses cálculos. Entretanto, a conta inevitavelmente aponta para alguns poucos anos de emissões, caso queiramos limitar o aquecimento global em 2°C. A Figura 3.5 ilustra a evolução das emissões de CO₂ por diferentes fontes e como elas são absorvidas pelos oceanos e pelos solos e plantas. A diferença entre ambos termina na atmosfera. O orçamento de carbono, indicando quantos anos de emissões ainda teremos pela frente, aparece no desenho abaixo.





Emissões
industriais

IV.

QUEM É REALMENTE RESPONSÁVEL?

Para tentar resolver ou minimizar o aquecimento global, é preciso identificar suas causas. Embora algumas delas já tenham sido apontadas anteriormente, é preciso entendê-las melhor, em especial no que concerne aos responsáveis pelas emissões; só assim teremos condições de escolher ações mais efetivas para controlá-las. Enquanto o capítulo 5 trata mais detalhadamente das estratégias de combate ao aquecimento global, este capítulo busca entender suas causas.

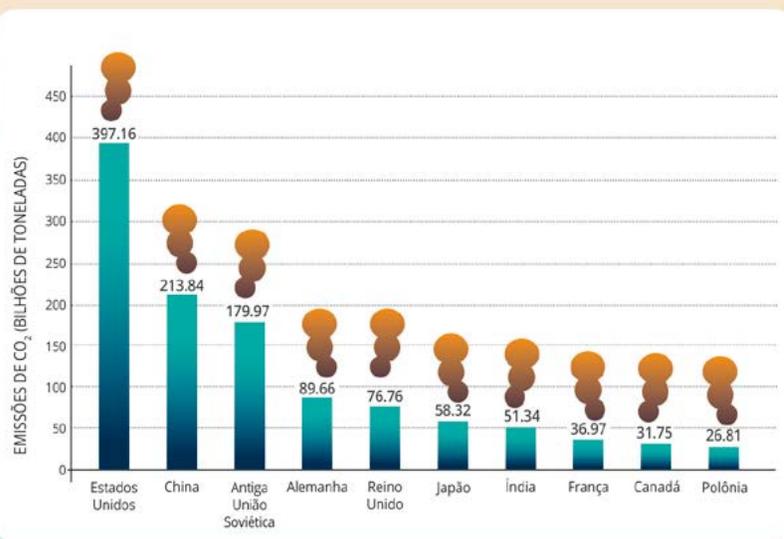
De onde vêm as emissões: países, setores econômicos, classes de renda

Existem inúmeras maneiras de se contabilizarem as emissões – sendo que duas óbvias podem ser discriminadas por países emissores e por setores econômicos. No caso de países emissores, deve-se considerar também se são emissões atuais ou emissões históricas. Levando em consideração que o CO₂ e os outros gases de efeito estufa ficam na atmosfera por mais de 100 anos, é preciso considerar todas as emissões de todos os países ao longo do tempo.

De fato, o aquecimento global e as mudanças climáticas que estamos vivendo hoje são consequência do acúmulo de mais de 200 anos de emissões de CO₂ na atmosfera. Ainda que um país não seja hoje responsável por qualquer emissão, continuaria responsável por suas emissões passadas. Por exemplo, o Reino Unido é responsável por 5% das emissões acumuladas, ainda que sua carga de emissões seja hoje de menos que 1%.

A Figura 4.1 a seguir mostra as emissões históricas dos principais países, onde se destacam as emissões dos Estados Unidos. As emissões da China são todas recentes e vão se igualando às americanas. A Rússia e a antiga União Soviética vêm em terceiro lugar, seguidas pelo bloco europeu.

FIGURA 4.1 > DEZ PAÍSES HISTORICAMENTE CONSIDERADOS COMO MAIORES RESPONSÁVEIS PELO AQUECIMENTO GLOBAL

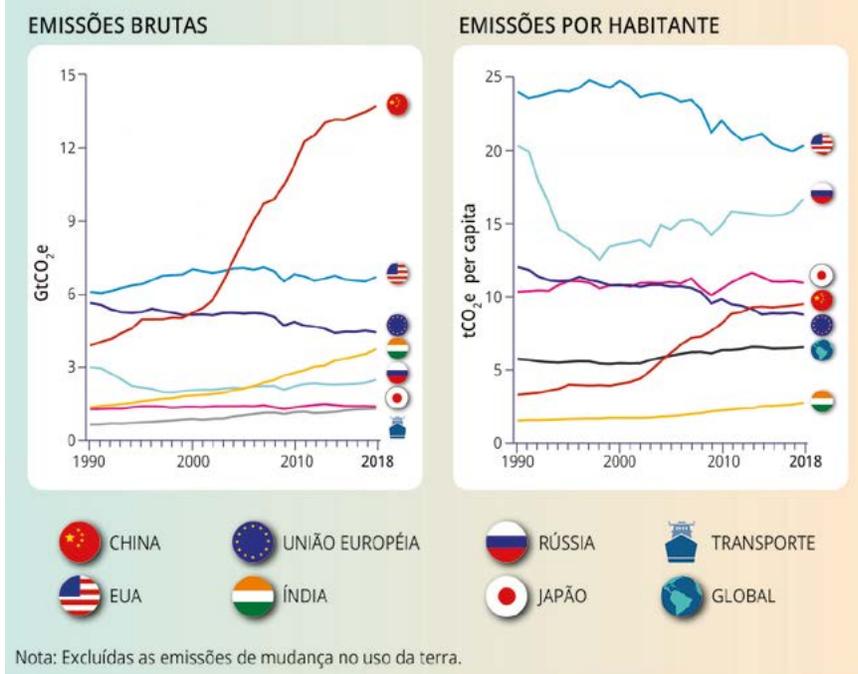


Fonte: [1]

Conhecendo as emissões históricas, é preciso atentar para dois fatores adicionais: primeiro, a evolução das emissões de cada país, (faz muita diferença se um país está aumentando ou diminuindo suas emissões, principalmente nos períodos mais recentes); segundo o tamanho da população de cada país. Se o Brasil tem emissões iguais às da Índia, por exemplo, mas sua população é um sexto daquele país, resulta que cada pessoa no Brasil emite em média 6 vezes mais do que uma pessoa na Índia. Assim, o cálculo das emissões por pessoa (emissões *per capita*) é também importante, conforme apresentado na Figura 4.2.

A Figura a seguir mostra que atualmente o grande emissor mundial é a China, que teve um aumento gigantesco de emissões a partir do início dos anos 2000, superando inclusive os Estados Unidos, antes o maior emissor. No entanto, em valores *per capita*, os Estados Unidos seguem como o maior vilão, seguidos pela Rússia, que tem elevadas emissões por conta do seu petróleo e gás. A China tem baixas emissões *per capita* por conta de sua enorme população. O Brasil, que está entre os 10 maiores emissores, não aparece na Figura 4.2 porque não são contabilizados os desmatamentos, sem os quais as emissões brasileiras caem muito.

FIGURA 4.2 > PRINCIPAIS PAÍSES EMISSORES DE CO₂, APENAS POR FONTES DE ENERGIA, 1990-2018



Em termos das atividades econômicas que geram emissões, existem três principais fontes: a) os setores de geração de energia elétrica e produção de calor (25% das emissões globais); b) as emissões da agricultura, florestas e desmatamentos (24%); e c) as emissões de processo das indústrias (21%). Esses três setores emitem, juntos, 70% do total de gases de efeito estufa (GEE). As outras três principais fontes são os transportes (14%), outras formas de energia (10%) e as edificações (6%). Observe que a grande maioria das emissões (76%) vem da produção de energia e das indústrias [3].

Existe, por fim, uma outra maneira de se compararem emissões entre países, importante sob o ponto de vista econômico. Indústrias muito modernas e eficientes geram produtos mais sofisticados e caros. Suas emissões, portanto, trazem alto retorno econômico, gerando muita renda. Outras emissões, entretanto, provêm de usos que agregam baixo valor econômico ou, até mesmo, geram desperdícios. Incêndios florestais acidentais, por exemplo, geram emissões com as quais não se ganha nada, resultando apenas em prejuízos.

Ao se tentar controlar as emissões humanas, é importante que se dê atenção à questão do quanto se está produzindo. Idealmente, devem ser privilegiadas as emissões que geram maior valor econômico, proibindo-se aquelas que proporcionam baixo retorno. Infelizmente, como é de se esperar, as emissões mais lucrativas advêm dos países mais industrializados e ricos, porque elas impulsionam atividades de alto valor econômico. Nos países mais pobres, com tecnologias mais antigas e pouco eficientes, a queima de uma mesma quantidade de energia gera mais emissão e menos renda. Esse é um aspecto determinante da desigualdade entre países, quando se trata da questão climática. A Tabela 4.1 compara as emissões de alguns países desenvolvidos com a de países em desenvolvimento em termos da renda gerada.

TABELA 4.1 > **EMISSIONES PER CAPITA E POR US\$ DE PIB (AJUSTADO PELO PODER DE COMPRA – PPP)**

	Kg CO₂/\$PPP de PIB	% EMISSIONES TOTAIS	% POPULAÇÃO GLOBAL
África Subsaariana	0,22	2,3	14,2
União Europeia	0,17	9,0	6,8
EUA e Canadá	0,30	16,0	4,8
Brasil	0,16	1,5	2,8
Mundo	0,32	100	100

\$PPP = Dólar americano ajustado pelo poder de compra, Dólar de 2014.

Fonte: Elaboração própria, a partir de [4]

A Tabela 4.1 evidencia a mencionada desigualdade da questão climática entre países ricos e pobres. Enquanto os países ricos são responsáveis por cerca de 36% das emissões globais, apenas 16% da população global vive neles. Por outro lado, a África, por exemplo, emite 2,3% das emissões, tendo mais que 14% da população. Juntos, os Estados Unidos, o Canadá e a União Europeia emitem 25% das emissões, mas têm menos de 12% da população global. O Brasil, nesse quesito, fica bem na fotografia: tem emissões (1,5%) proporcionalmente menores que sua população (2,8%).

Geração e consumo de energia

Considerando que o consumo de energia é o grande vilão das emissões de CO₂ e demais GEE, é importante identificar os combustíveis utilizados para gerar essa energia. No transporte, por exemplo, caminhões e ônibus

queimam óleo diesel, automóveis queimam gasolina ou álcool, enquanto trens usam energia elétrica e diesel.

Igualmente, a geração de energia elétrica, que no Brasil provém principalmente das hidrelétricas, nos demais países provém de usinas termelétricas, as quais queimam gás natural, óleo combustível ou carvão mineral.

O carvão mineral é a maior fonte de energia para a geração de eletricidade em nível mundial – cerca de 38% de toda energia elétrica no mundo provém da sua queima. Na China, esse percentual chega a 53%. O carvão é pouco utilizado no Brasil, porque nossas reservas são pequenas e de baixa qualidade, mas usinas termelétricas a carvão são utilizadas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, produzindo energia elétrica cara e poluente, que conta com grandes subsídios governamentais.

Os combustíveis geram diferentes quantidades de CO₂ quando queimados. Aqui, é fundamental distinguir as energias dos combustíveis fósseis – como o petróleo, gás natural e carvão mineral – das energias provenientes de fontes renováveis – como a solar, eólica (dos ventos), lenha, cana de açúcar e outros produtos agrícolas, além da energia hidráulica dos rios.

As renováveis não emitem CO₂ (ver discussão adiante no Box 4.1), enquanto as fósseis são as grandes vilãs do aquecimento global. Para a produção de 1 Watt de energia, por exemplo, são emitidas 183 kg de CO₂ quando o combustível é o gás natural, percentual que chega a quase o dobro quando usado o carvão mineral (antracito). A emissão do diesel e da gasolina fica na faixa de 250 kg de CO₂.

O fato de o carvão mineral ser o mais poluente – e ao mesmo tempo o mais importante combustível para a geração de energia elétrica – coloca-o como estratégico na busca de tentar controlar o aquecimento global. Ele segue sendo maciçamente utilizado principalmente nas economias que mais crescem no continente asiático (China e Índia), por ser o combustível mais barato e abundante. Esse é um aspecto crítico que impede ou atrasa o uso de combustíveis mais limpos para diminuir as emissões de CO₂: o mais poluente ainda é o mais barato, embora essa situação venha se modificando.

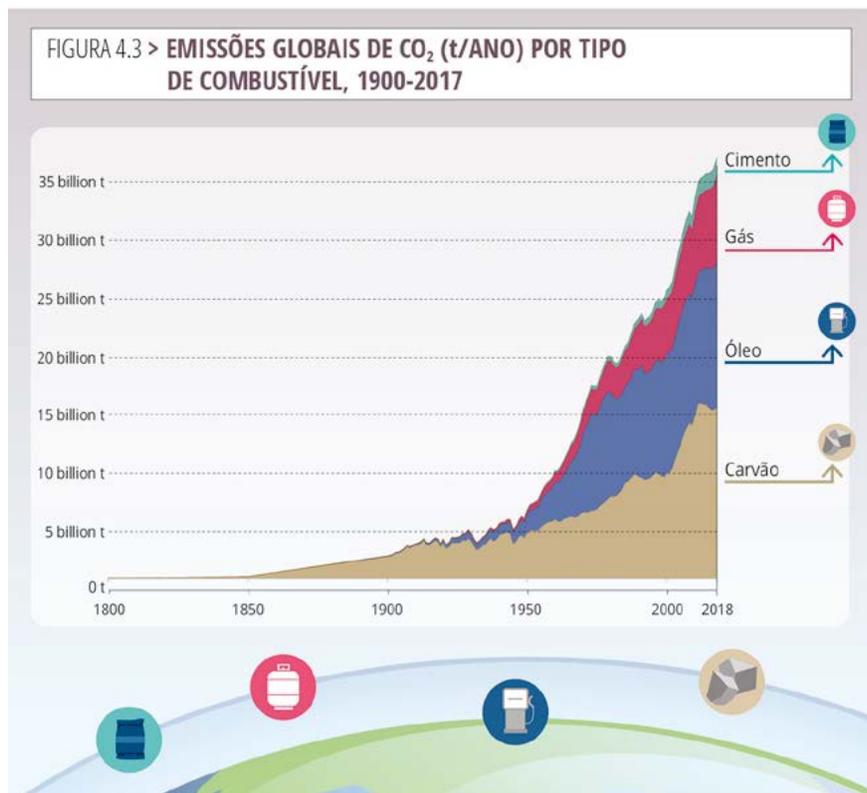
De fato, a abundância de carvão mineral na Inglaterra esteve na base da Revolução Industrial a partir dos anos 1750. Durante quase 200 anos, o carvão continuou como principal fonte de energia, até que, na segunda metade dos anos 1900, o petróleo despontou como a fonte principal. As emissões acumuladas de ambos os combustíveis são mostradas na Figura 4.3, juntamente com as do gás natural e as emissões específicas do setor cimenteiro.

FOTO 10 > POLUIÇÃO INDUSTRIAL



Siderúrgica em Benxi, China, 2013

Foto: Andreas Habich [F10]



Fonte: [3]

O consumo como causa subjacente: países e consumidores ricos x pobres

A Figura 4.1 evidenciou a importância da China como o maior responsável atual pelas emissões de CO₂ e de outros gases de efeito estufa (GEE). Suas emissões são mais do que o dobro das provenientes dos Estados Unidos, o segundo maior emissor, e representam cerca de um terço das emissões de todo o planeta. A pergunta é: por que a China emite tanto? A resposta é simples, já que quase tudo o que consumimos e usamos é “made in China”. De fato, sim, a China produz “tudo”, não só para seu próprio consumo gigantesco – por conta de sua população gigantesca – mas também porque produz para todos os outros países. Isso ocorre porque é mais barato produzir na China.

Essa explicação óbvia nos leva a pensar que, então, a China é o grande vilão do aquecimento global simplesmente porque é mais barato produzir tudo por lá. Mas aí vem a pergunta: se a China fabrica um produto – digamos uma camisa ou um computador – que será consumido ou usado no Brasil e sua fabricação envolve um alto uso de energia e emissões de CO₂. Quem é o responsável pelas emissões: o Brasil ou a China?

Partindo da premissa de que o beneficiário principal do produto é o Brasil, não seria o Brasil o responsável por essas emissões? Quando se faz a conta de quanto um país emite, é importante considerar o que é exportado e o que é importado. Como todos os países importam e exportam produtos, podemos subtrair as emissões das exportações e somar aquelas associadas aos produtos importados. Isso não muda dramaticamente o quadro dos maiores emissores do mundo: o que vale é que são os consumidores ricos os responsáveis pela maior parte das emissões. A foto 11 traduz visualmente este conceito (consoante a famosa máxima de que uma foto vale mais que mil palavras...).

O fato de os consumidores ricos serem os grandes emissores implica que um consumidor rico no Brasil tem emissões parecidas com as de um americano de classe média – e não igual à média dos cidadãos do próprio Brasil. Igualmente, um cidadão pobre nos Estados Unidos emite quantidades de CO₂ mais parecidas com as de um cidadão de um país de renda média do que com o americano “médio”. Assim, devemos pensar em termos de consumidores ricos e pobres, mais do que entre países ricos e pobres.

A grande maioria das emissões está relacionada com o nível de renda e de riqueza das pessoas (seu consumo). A Tabela 4.2 abaixo mostra as emissões médias de carbono dos cidadãos em algumas regiões do mundo, conforme a produção ou consumo. A Figura 4.4 mostra as emissões

conforme diferentes classes de renda do mundo, ou seja, dos 10% mais pobres do mundo, dos 20%, e assim sucessivamente, até as emissões dos 10% mais ricos do mundo.

FOTOS 11 > CONSUMO SEMANAL DE FAMÍLIAS DE PAÍSES DE DIFERENTES NÍVEIS DE RENDA



Família Sturm, Hamburgo, Alemanha, em sua sala com provisão de alimentos para uma semana.



Família Batsuuri em sua casa de um cômodo, sub-alugada de um apartamento maior, em Ulaanbaatar, Mongólia.



Família Ayme na cozinha de sua casa em Tingo, Equador, pequena cidade nos Andes Centrais.



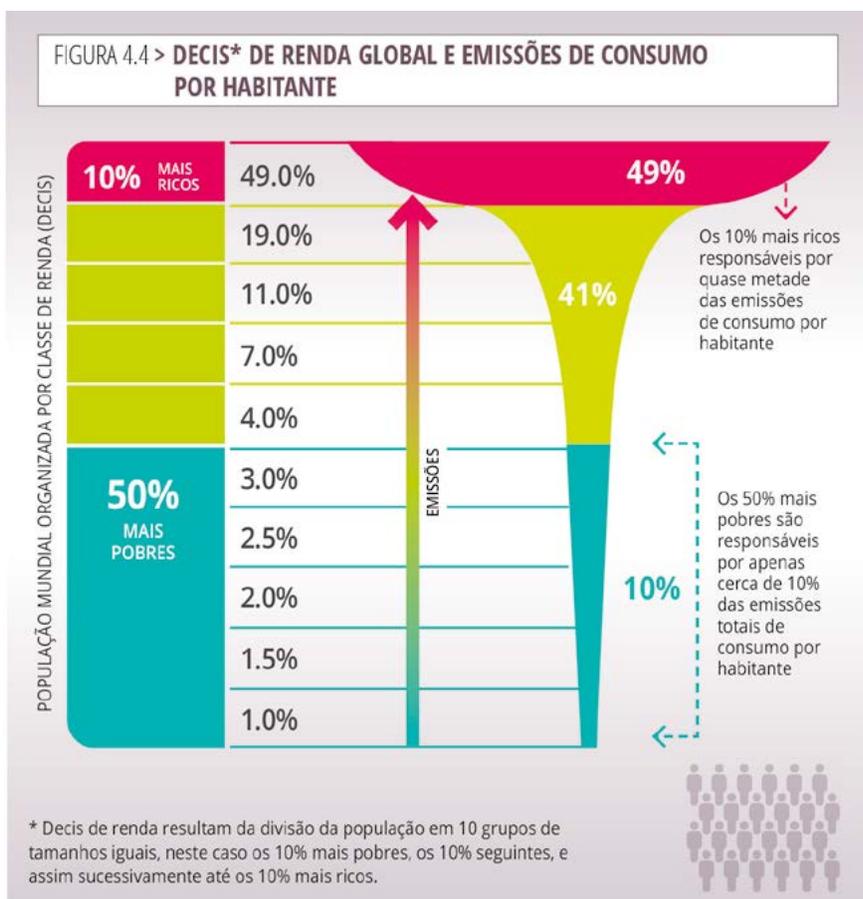
Família Aboubakar da Província de Darfur, Sudão, em frente à sua tenda no Campo de Refugiados de Bredjning, no leste do Chade.

Fotos: © Peter Menzel / menzelphoto.com [F11]

TABELA 4.2. EMISSÕES MÉDIAS DE CO₂ POR CONSUMO

REGIÃO OU GRUPO	% DA POPULAÇÃO GLOBAL	% DE EMISSÕES DE CO ₂	
		Produção	Consumo
América do Norte	5%	17%	19%
Europa	10%	16%	18%
América Latina e Caribe	9%	6%	6%
Ásia	60%	56%	52%
África	16%	4%	3%

Fonte: [5]



Fonte: [6]

Observa-se da Figura 4.4 que os 50% mais pobres do mundo respondem, em seu consumo, por apenas 10% das emissões globais, enquanto os 10% mais ricos respondem por quase 50% das emissões – uma relação completamente injusta. Para piorar ainda mais, quando olhamos para o futuro, à medida que os países pobres se desenvolvam e fiquem mais ricos, seus cidadãos irão querer consumir mais, emitindo mais carbono, exatamente como os países ricos já fazem hoje. Esse “direito” de consumo futuro, no entanto, simplesmente desapareceu, porque os países ricos esgotaram a quantidade de carbono que pode ser emitida. É como se uma mulher nascida numa favela concluísse um curso de engenharia e no dia da formatura lhe dissessem que não se contratarão mais engenheiros nos próximos 30 anos... E por fim, apesar de causado principalmente pelas pessoas ricas, o aquecimento global afeta todos de forma igual – ou de forma ainda maior os mais pobres – tornando o problema mais “perverso” e desigual.

Contribuição do Brasil: uso de energia, agropecuária e desmatamento da Amazônia

O Brasil é o sexto maior emissor de gases de efeito estufa (GEE), responsável por cerca de 3% das emissões mundiais. As emissões brasileiras têm uma característica muito peculiar em relação aos demais países. Enquanto no restante do planeta as emissões vêm fundamentalmente do setor de energia, no Brasil, a maior parte das emissões vem dos desmatamentos e da pecuária. Não se assuste: é isso mesmo! O gigantesco gado brasileiro (aqui no Brasil, o número de bois é praticamente igual ao de pessoas!!) é responsável por cerca de um quarto do total das emissões brasileiras! Enquanto a Figura 4.5 compara a evolução das emissões brasileiras por setor econômico com as emissões mundiais pelos mesmos setores, a Figura 4.6 detalha a evolução das emissões nacionais por setor.

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram as variações acentuadas das emissões dos desmatamentos (chamadas de mudanças de uso da terra e dos solos) no Brasil. Quando atingiram o pico em 2004, elas representavam 55% das emissões nacionais. Em 2016, chegaram a 45%, percentual superior ao da agropecuária (25%) e ao correspondente às emissões decorrentes do uso de energia e industriais (26%) [8]. Estes percentuais são muito distintos dos observados no resto do mundo, onde os desmatamentos representam apenas 6%, a agropecuária 11%, e a energia e indústria quase 80% [7].

Na Figura 4.6, é interessante notar que, excetuando o período de altíssimo desmatamento entre 2000 e 2008, as emissões brasileiras estiveram em torno de 2 Gt de CO₂-eq por ano. No mesmo período, a renda média brasileira mais do que dobrou. Essa sim é uma boa notícia: o Brasil ficou mais rico no período e não precisou aumentar suas emissões para isso.

Emissões brasileiras de GEE: energia, indústrias e transportes

O fato de as emissões decorrentes do uso de energia no Brasil representarem “apenas” cerca de 30% das emissões nacionais (enquanto no resto do mundo o percentual é de 80%), sugere que, no setor de energia, estamos muito bem na foto. Isso porque a matriz energética brasileira é muito diferente da mundial. Aqui usamos mais fontes renováveis do que no resto do mundo – 43%, pouco menos da metade da nossa matriz energética. Nos demais países, as renováveis totalizam apenas 14% [9] (ver Figura 4.7).

FIGURA 4.5 > EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES POR SETOR DO BRASIL E DO MUNDO (1990-2019)

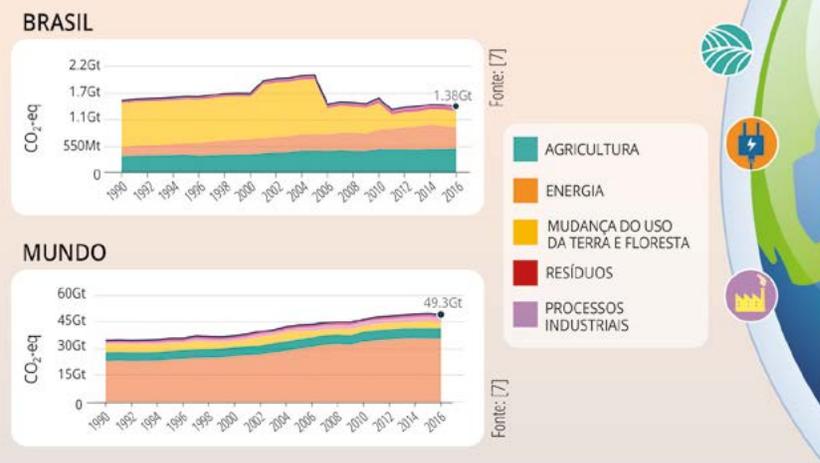


FIGURA 4.6 > EMISSÕES BRASILEIRAS DE GEE, POR SETORES (1990-2019, Mt de CO₂-eq)

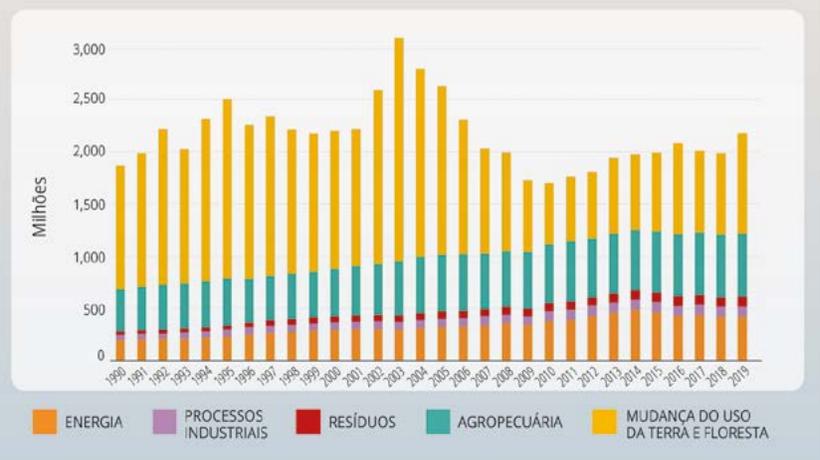


FIGURA 4.7 > CONSUMO DE ENERGIA DE FONTES RENOVÁVEIS (R) E FÓSSEIS (F): BRASIL X MUNDO (2016)



Fonte: [9]

Com relação aos setores que consomem energia, o maior poluidor no Brasil é o transporte, responsável por cerca de 45% das emissões. As indústrias emitem cerca de 25%, a própria geração de energia é responsável por cerca de 15% das emissões e as edificações geram cerca de 8%. O setor de transportes no Brasil também apresenta peculiaridades por conta do uso do álcool como combustível para os automóveis e, mais recentemente, por conta do uso de biodiesel no transporte de ônibus e caminhões. O Box 4.1 resume a experiência brasileira com o uso desses biocombustíveis e suas implicações em termos de reduções de emissões de GEE.

BOX 4.1 > Uso de biocombustíveis no Brasil e implicações para emissões de GEE

Desde meados dos anos 1970, quando sofreu a primeira crise do petróleo, o Brasil lançou a experiência mundialmente pioneira de fazer os carros rodarem à base de álcool etílico no lugar da gasolina. À época, os carros eram movidos a álcool ou a gasolina. O programa teve boa adesão, mas foi na segunda crise do petróleo em 1979–80 que ele teve um enorme impulso. Em 1986, 90% dos carros fabricados no Brasil eram movidos a álcool.

A partir daí, os carros movidos a álcool tiveram queda na sua participação no setor de transportes, até que, em 2003, foi inventado o carro flex, que permitiu o uso combinado de gasolina ou álcool em qualquer proporção. Desde então, a maioria dos carros produzidos e dois terços da frota atual no Brasil são flex.

O álcool também é adicionado a toda gasolina usada no Brasil na proporção de 22%. A combustão do etanol também gera CO₂, mas muito menos que a gasolina. Isso porque ele tem menor conteúdo de carbono, gerando menos CO₂ ao ser queimado. Mas o mais importante é que o álcool vem da cana-de-açúcar que, como todas as plantas, precisa retirar CO₂ do ar para crescer. Assim, o CO₂ emitido na queima do etanol na verdade é abatido da atmosfera para o crescimento da cana, e ambos mais ou menos se anulam.

O resultado é que, quando se considera o ciclo de vida completo do etanol, ele proporciona uma redução de 90% das emissões de GEE em relação à gasolina. Nos últimos 15 anos, o uso do etanol já acumula uma redução superior a 500 milhões de toneladas de CO₂. O etanol brasileiro, produzido a partir da cana-de-açúcar, é o biocombustível com menor pegada de carbono do mundo.

Continua na próxima página.

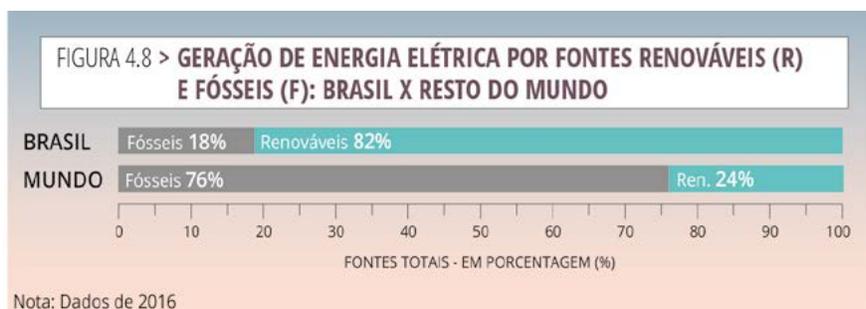
Continuação

É interessante notar que, além da grande redução de emissões de CO₂, a substituição da gasolina pelo álcool reduz significativamente as emissões de partículas, que são um sério poluente do ar local, além de causadoras de diversas doenças respiratórias e cardiovasculares. Ocorre também redução das emissões de outros poluentes como o monóxido de carbono e óxidos de enxofre. As emissões de aldeídos são maiores que na queima da gasolina, mas esse é um poluente menos perigoso que os demais.

A partir da experiência bem-sucedida com o etanol, o Brasil lançou, em 2004, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, cujo objetivo é substituir parte do diesel proveniente do petróleo por diesel produzido a partir de plantas oleaginosas, como o dendê, soja e girassol. No caso do biodiesel da soja, a redução de emissões de CO₂ é de 36% enquanto, no caso do dendê, a redução é de 66%. No entanto, mais de 80% do biodiesel atualmente produzido no Brasil vêm da soja. A redução, no entanto, não deixa de ser muito bem-vinda, especialmente à medida que for aumentado o percentual de mistura do biodiesel no diesel, que começou com 2% em 2004, e já está em 12% em 2020.

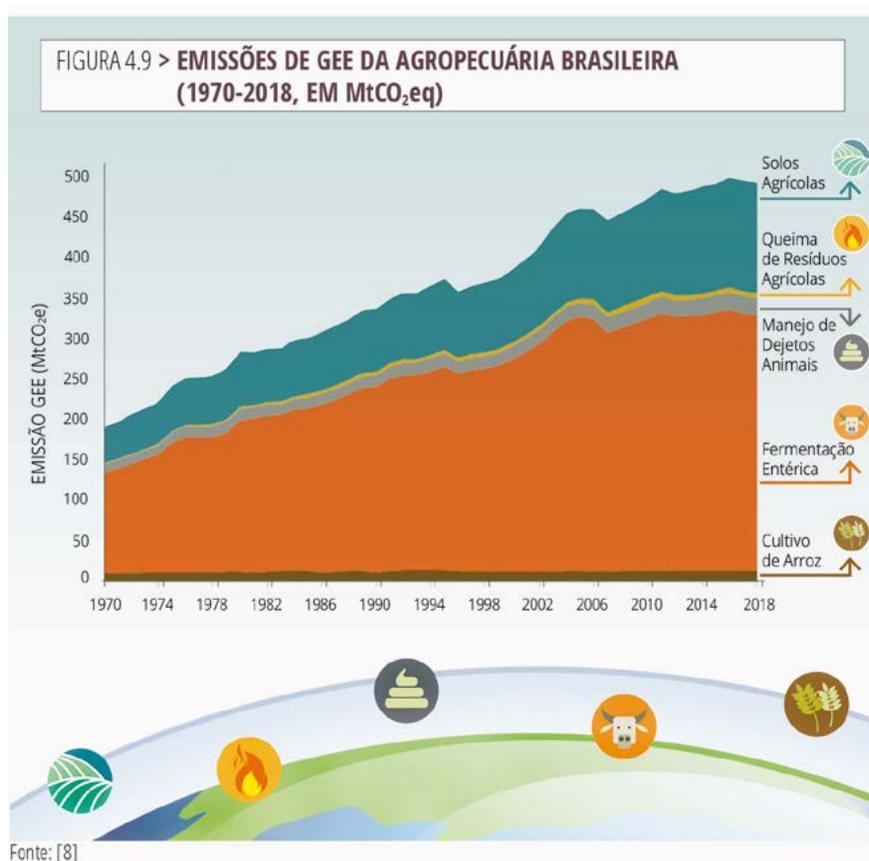
Fontes: [10], [11] e [12]

Por fim, é interessante analisar as emissões da geração de energia elétrica. Quando as fontes de energia são renováveis, as emissões são praticamente nulas. No Brasil, como se sabe, dois terços da geração vêm das usinas hidrelétricas. Além delas, a energia provém também de outras fontes renováveis, como a eólica e a biomassa. Menos de um quinto vem das usinas termelétricas, que queimam combustíveis fósseis – como o carvão, o óleo combustível e o gás natural. Como já mencionado, na maioria dos países, a geração de sua energia elétrica vem dessas usinas termelétricas, fazendo com que o Brasil, neste setor de geração de energia elétrica, seja muito menos poluidor do que a média dos demais países (Figura 4.8).



Emissões brasileiras de GEE: pecuária e agricultura

A agropecuária é o segundo setor com maiores emissões de GEE no Brasil (33% das emissões nacionais). Enquanto no mundo a atividade é a terceira emissora, aqui no Brasil destacam-se as emissões da pecuária bovina, responsável por cerca de 70% das emissões da agropecuária, sob a forma de metano, produzido na fermentação entérica do gado. Quando se adicionam as emissões derivadas da pecuária leiteira, a pecuária total representa 80% das emissões da agropecuária, ou 25% do total das emissões nacionais de GEE. Esse número é simplesmente gigantesco! (ver Figura 4.9)



A única boa notícia proveniente da pecuária é que as emissões por tonelada de carne produzida têm se reduzido bastante nos últimos anos no Brasil – queda de 900 toneladas de CO₂-eq para cada tonelada de carne produzida, para cerca de 300. Ou seja, o setor está conseguindo produzir carne à custa de menores emissões.

Observe que o Brasil tem 65 milhões de veículos e o 15º parque industrial do mundo, responsável pela produção de cerca de um quarto do PIB nacional. As emissões de veículos e indústrias são gigantescas como se pode imaginar. Pois essas emissões são praticamente iguais às emissões da pecuária! O processo de digestão dos bovinos – sua fermentação entérica – e os dejetos dos animais, produzem metano, que é um GEE com poder de efeito estufa cerca de 25 vezes maior que o CO₂. No entanto, enquanto a indústria produz um quarto do PIB nacional com essas emissões, a pecuária produz apenas 5%. É muita emissão para baixo retorno econômico!

Emissões brasileiras de GEE: uso do solo, desmatamentos e Amazônia

O desmatamento da Amazônia é sabidamente uma importante fonte de emissões de GEE. Na verdade, ele é a causa de uma série enorme de eventos biológicos, ecológicos, climáticos, sociais e econômicos, que vêm sendo condenados há décadas no Brasil e no mundo inteiro.

Analisar e discutir as causas e consequências do desmatamento da Amazônia brasileira daria origem a um livro tão grande quanto este (existem, de fato, inúmeros livros e milhares de artigos técnicos e científicos a respeito). Dado o foco deste livro e seu caráter introdutório, trataremos aqui apenas dos aspectos dos desmatamentos associados às mudanças climáticas.

Os desmatamentos são a maneira tradicional de converter terras originalmente florestadas em campos para a produção agrícola e pecuária. Tais ações envolvem o corte e/ou a queima das árvores. Quando essas árvores apodrecem no chão ou são queimadas, desprende-se o carbono nelas estocado, que vai então sob a forma de CO₂ para a atmosfera.

O uso e a conversão dos solos também implicam emissões de carbono para a atmosfera, porque também é grande a quantidade de carbono contida nos solos na forma de matéria orgânica. De todo modo, as emissões resultantes dos desmatamentos das florestas tropicais são as grandes vilãs das atividades que envolvem usos do solo, mudanças no uso dos solos e atividades florestais, cuja sigla em inglês é LULUCF (*land-use, land-use change, and forests*).

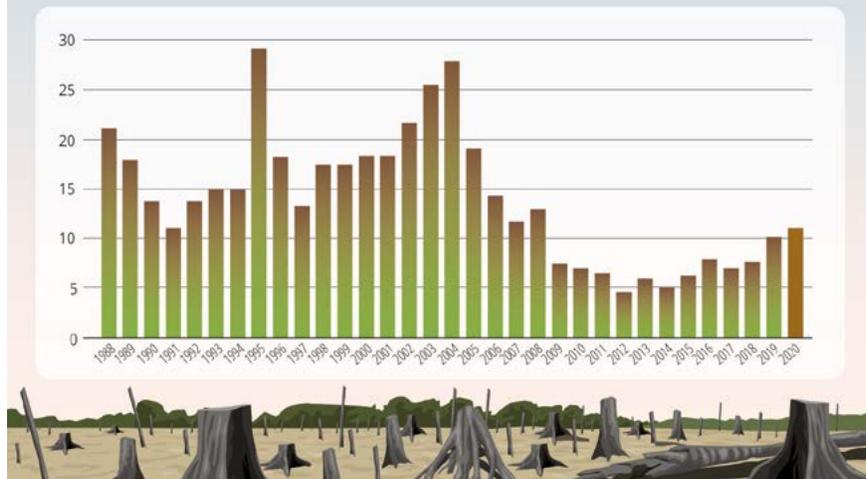
No Brasil, as emissões de LULUCF são majoritariamente provenientes dos desmatamentos, principalmente na região amazônica, mas com um aumento significativo nas áreas do Cerrado, particularmente na região conhecida como MATOPIBA, a nova fronteira agrícola compreendida entre os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A esmagadora maioria das áreas

desmatadas na Amazônia é convertida em pastagens para produção pecuária [13]. A Amazônia hoje tem um terço de todo o gado bovino brasileiro, sendo que a maior parte do crescimento do rebanho nacional se dá na Amazônia.

As emissões de LULUCF no Brasil responderam por 43% das emissões totais do país em 2018. Em 2004, quando o desmatamento foi o segundo maior de todos os anos, os desmatamentos responderam por 77% das emissões. A Figura 4.10 mostra a evolução da taxa de desmatamento da Amazônia entre 1988 e 2019.

FOTOS 12 > DESMATAMENTO DA AMAZONIA E PASTAGENS



FIGURA 4.10 > DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA ENTRE 1988-2020, EM MIL KM²

Fonte: [14]

Explicações para as oscilações das taxas de desmatamento são inúmeras e não conclusivas. O fato é que, com o pico dos desmatamentos de 2004, o governo decidiu combatê-los mais firmemente, criando o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM). O PPCDAM foi uma das principais ações que reverteram a tendência de crescimento que vinha ocorrendo até aquele ano, com significativa queda nos 8 anos que se seguiram, até 2012, quando atingiu o mínimo de 4.600km². As emissões de CO₂ acompanharam *pari passu* os índices de desmatamento.

Emissões brasileiras por estados

O capítulo termina com uma breve apresentação e comparação dos dados sobre emissões brasileiras por estados federativos, provenientes do Observatório do Clima [8]. A Figura 4.11 compara as emissões de GEE de todos os estados, incluindo a origem das emissões.

Pode-se constatar a predominância das emissões dos desmatamentos e mudanças no uso do solo. Excetuando São Paulo e Minas Gerais, todos os oito maiores emissores estão situados na Amazônia Legal. No entanto, a floresta ainda absorve mais CO₂ do que emite, de modo que suas emissões líquidas ainda são negativas. Importante salientar, contudo, que a contabilidade geral olha apenas para as emissões, e não para os estados com maior desmatamento (Pará e Mato Grosso) – os maiores emissores de CO₂ no Brasil (25% do total nacional).

Além das emissões brutas dos estados, é interessante olhá-las em termos *per capita* – isto é, as emissões médias por habitante. No Brasil, essa média é de 9,3 toneladas de CO₂ a cada ano, enquanto a média mundial é de 7,2 toneladas.

Para efeito de comparação, nos Estados Unidos, essa média é de 18 toneladas e, na China, de 9 toneladas. Excetuando Maranhão e Amapá, os habitantes dos estados amazônicos emitem mais gases de efeito estufa do que um cidadão americano médio. O maior emissor nacional é o Mato Grosso, com 66 toneladas de CO₂ por habitante/ano!!! São Paulo, que é o terceiro maior emissor nacional, tem emissões *per capita* baixas (4 t de CO₂ por habitante), comparáveis a Sergipe e Ceará (ver Figura 4.12).

FIGURA 4.11 > EMISSÕES BRASILEIRAS DE GEE POR ESTADOS DA FEDERAÇÃO E POR SETOR (2018)



FIGURA 4.12 > EMISSÕES *PER CAPITA* DOS ESTADOS BRASILEIROS (2019, EM t DE CO₂-eq/ano)



Fonte: [8]

V.

É POSSÍVEL FREAR O AQUECIMENTO GLOBAL?

O título do capítulo coloca uma pergunta cuja resposta é sim – é possível frear o aquecimento global, ainda que não seja possível estancá-lo por completo. De todo modo, a resposta suscita de imediato três questionamentos bem mais complicados: a) como fazê-lo? b) quais as implicações? e c) a que custo?

Já vimos que o aquecimento global decorre principalmente das emissões da queima de combustíveis fósseis com fins energéticos e, em menor medida, da agricultura e mudanças no uso do solo – provenientes dos desmatamentos. Assim, frear o aquecimento global, em princípio, envolve diminuir ou desacelerar essas atividades – ou então manter seu ritmo, mas com a melhorias dos processos produtivos e ganhos em eficiência, de modo a diminuir as emissões, sem que haja alteração do nível de produção.

Por outro lado, deve-se considerar também que a geração de energia – e obviamente os produtos da agricultura – existem essencialmente para atender às demandas da população humana. A produção de alimentos serve diretamente para nosso consumo. A geração de energia serve para nos transportarmos ou para mover indústrias – e em ambos os casos também serve para atender às nossas necessidades como consumidores, direta ou indiretamente.

Em essência, portanto, existem três grandes grupos na cadeia de atividades econômicas que levam às emissões de gases de efeito estufa (GEE), sobre os quais podemos e devemos nos debruçar para diminuir as emissões: a) a quantidade de energia e de produtos agropecuários produzidos; b) as tecnologias e processos de produção, de olho em sua eficiência; e c) o tipo de coisas e o volume do que consumimos.

Existe ainda um outro fator fundamental, especialmente na determinação do nível das atividades emissoras: o preço dos produtos. Do bê-á-bá da economia, sabemos que, mexendo nos preços, a produção e o consumo

se ajustam para cima ou para baixo. No entanto, você sabe qual o preço do carbono que está sendo consumido ou sendo emitido? Você já foi cobrado pelo carbono que emite quando entra num ônibus ou num carro, por exemplo? Nem você nem ninguém sabe esse preço, porque ele simplesmente não existe.

Por conta desse desconhecimento, consumimos muito mais produtos que envolvem emissões de CO₂ sem nada pagar por isso. Não parece errado? Agora que sabemos que existe um enorme problema associado ao consumo de carbono – o aquecimento global – podemos interferir nesse processo através dos preços – e essa é uma das boas maneiras de diminuir o nível de atividade e, portanto, das emissões.

A Figura 5.1 sumaria a relação entre os quatro fatores discutidos, que servem de base para a estruturação do capítulo. Os quatro “pontos de entrada” para minimizar as emissões, estão assinalados com um número vermelho em um círculo, e correspondem a cada uma das próximas seções.

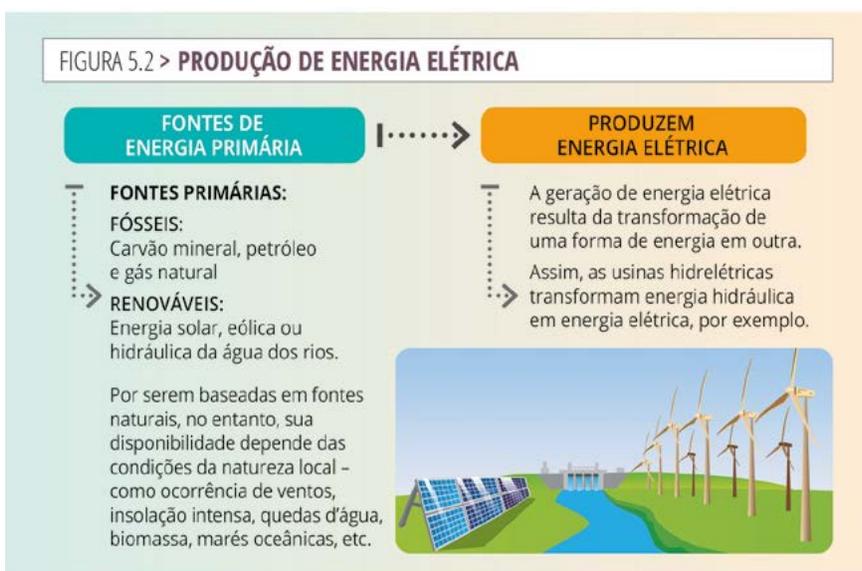


Fonte: Elaboração própria

Além de tentar reduzir as emissões de CO_2 , objetivo das quatro estratégias acima, é possível ainda tentar diminuir diretamente as concentrações de CO_2 na atmosfera. Há dois principais tipos de ações nessa direção: a primeira é acelerar os processos naturais existentes de remoção do carbono da atmosfera (por exemplo, aumento da absorção de CO_2 pelas plantas, via reflorestamento) ou usar processos químicos para capturar o CO_2 diretamente do ar e armazená-lo em reservatórios no subsolo, ou no fundo dos oceanos (por exemplo, reservatórios de petróleo). A segunda são tentativas de geoengenharia de mexer com a radiação solar que entra e sai da Terra, de modo que o balanço diminua a energia aqui absorvida. Essas são experiências muito complexas e controversas do ponto de vista da própria ciência, considerando que os efeitos talvez possam ser mais perigosos que a própria mudança do clima. Por isso, há grande relutância em considerá-las como possíveis soluções para diminuição do aquecimento global.

Energias limpas

Já vimos que a maior parte da energia consumida em todo o planeta provém de fontes fósseis – principalmente do carvão e do petróleo. Ambos têm uma grande quantidade de carbono, de modo que sua combustão gera muito CO_2 , entre outros gases. Eles continuam sendo os principais combustíveis porque são mais baratos de se extrair e processar. No entanto, nos últimos anos essa lógica vem se invertendo.



Existem dois outros principais usos da energia primária, além da produção de energia elétrica. O primeiro é para a produção de calor, fundamental para que a maior parte das indústrias transforme e misture química e fisicamente seus produtos. O outro grande uso é proveniente da produção de combustíveis para transportes – que é o que fazem as refinarias, por exemplo.

Em ambos os casos, os fósseis continuam sendo, em geral, mais baratos que as fontes renováveis. Um contraexemplo é o álcool, que pode substituir a gasolina a um preço competitivo. De todo modo, conseguir produzir tanto calor industrial como combustíveis para transportes e outros fins a partir de fontes renováveis e a preços competitivos tornou-se uma das principais corridas tecnológicas do setor energético.

O Box 5.1 apresenta as principais fontes renováveis de energia com potencial de aproveitamento nos próximos anos, além de incluir uma breve discussão sobre a energia nuclear, que tem uma posição curiosa em relação ao aquecimento global. A Tabela 5.1, em seguida, apresenta os custos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

BOX 5.1 – Fontes de energias renováveis

Biomassa. É o material orgânico contido nas plantas e nos animais, incluindo os produtos agrícolas, árvores, resíduos florestais, gás de aterros sanitários e de esgotos, etc. A biomassa pode ser queimada diretamente para gerar calor – como energia de cozinha ou calor industrial – podendo ainda ser queimada para produzir energia elétrica por turbinas.

Energia eólica. É a energia dos ventos, usada há milênios para impulsionar caravelas e barcos, e também para girar moinhos, que moem grãos para produzir farinha ou bombear água. Hoje, quase metade da energia elétrica da Dinamarca é de origem eólica. Mais recentemente, moinhos de vento de alto-mar vêm sendo implantados, apesar de mais caros de construir que os moinhos em terra, mas aproveitando os ventos mais fortes do mar.

Solar. O sol emite mais energia em uma hora do que todo o consumo humano de um ano! Não aproveitar essa energia é obviamente um grande desperdício. Existem duas maneiras básicas de aproveitamento: células fotovoltaicas, que transformam quimicamente a luz solar em eletricidade, e os painéis solares aquecedores de água, que podem ser

Continua na próxima página.

usados em casas, edifícios e indústrias para aquecer água e o ambiente. A energia solar também pode ser concentrada por meio de espelhos, aquecer água e gerar vapor para produzir eletricidade. Os custos da energia fotovoltaica caíram mais de 80% entre 2010 e 2019.

Geotérmica. Como o nome já diz, esse tipo de energia diz respeito ao calor que vem da Terra. Sabemos que o interior da Terra é muito quente, com camadas de lava que eventualmente explodem pelos vulcões. Existem regiões onde essa lava está mais próxima à superfície, sem grandes riscos de explosão, sendo capazes de gerar altas temperaturas que aquecem água, que, por sua vez, roda turbinas para a geração de energia elétrica.

Hídrica. É a energia das águas dos rios, capazes de rodar grandes turbinas, conforme o volume de água, que por sua vez geram energia elétrica. Para aproveitar melhor essa energia, as usinas são construídas num ponto de queda d'água do rio, onde, em geral, são formados grandes reservatórios de água, para garantir o abastecimento nos períodos de seca.

Marés e ondas. As marés cheia e de vazante decorrem da ação das gravidades lunar e solar, que puxam e retêm a água do mar, quando mais próximos da Terra. A diferença de altura do mar, bem como a força das ondas, causadas pelos ventos, podem ser aproveitadas para girar turbinas. Essas tecnologias já existem, mas os custos e as interferências nas praias e na zona costeira trazem graves impedimentos.

Hidrogênio. Considerado uma fonte promissora, o hidrogênio pode ser obtido a partir da ruptura da molécula da água – isto é, passar energia elétrica para separar o oxigênio do hidrogênio dela. O problema é a energia elétrica necessária para essa ruptura: como o consumo é elevado, seria fundamental que essa energia fosse renovável, também não envolvendo emissões de GEE. Esse é o desafio presente para a geração deste importante combustível potencial.

Energia nuclear. É uma fonte de energia não exatamente renovável, que, do ponto de vista ambiental, sempre foi objeto de muita controvérsia. A energia nuclear é, provavelmente, a fonte mais eficiente de energia, no sentido de que se necessita de uma quantidade muito pequena de um mineral – o urânio – para se gerar uma grande quantidade de energia. Além disso, sua fissão é muito limpa em termos de gases e poluentes atmosféricos tradicionais, e também de CO₂. Ou seja, em termos do aquecimento global, a energia nuclear poderia ser uma alternativa interessante.

Continuação

No entanto, como é sabido, ela gera uma grande quantidade de material radioativo, incluindo o urânio, usado como combustível na geração da energia elétrica. Todo o processo deve então ser totalmente controlado, pois qualquer acidente envolvendo a radioatividade resulta em impactos gigantescos – e o mundo já experimentou alguns acidentes nucleares muito graves.

Esse controle extremo sobre o processo torna a energia nuclear uma opção muito cara frente às demais fontes. Não existe unanimidade sobre seu uso quando todos os seus riscos e custos são comparados com os de outras fontes, ainda que diversos países continuem a usá-la. O crescimento das fontes renováveis não deverá acabar com o uso da energia nuclear, que deverá continuar a existir, mas com importância global ainda menor do que a de hoje (ver Figura 5.1).

FOTOS 13 > ENERGIA SOLAR, EÓLICA, BIOMASSA, DA CANA-DE AÇÚCAR E HIDRELÉTRICA

Foto: **SE4** [13.A]

Fazenda de energia solar, cidade de Aikawa, Japão

Foto: **Marco A. Esparza** [13.C]

Fazenda de Açúcar e Etanol São Martinho, Pradópolis, São Paulo, 2011

Foto: **Leaflet** [13.B]

Fazenda de energia eólica em Fluvan, Texas, EUA, 2004

Foto: **Alois Indrich** [13D]

Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Pará, Brasil

Fontes: [1], [2]

TABELA 5.1 > **CUSTOS GLOBAIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL EM 2019 (EUROS/MWH)**

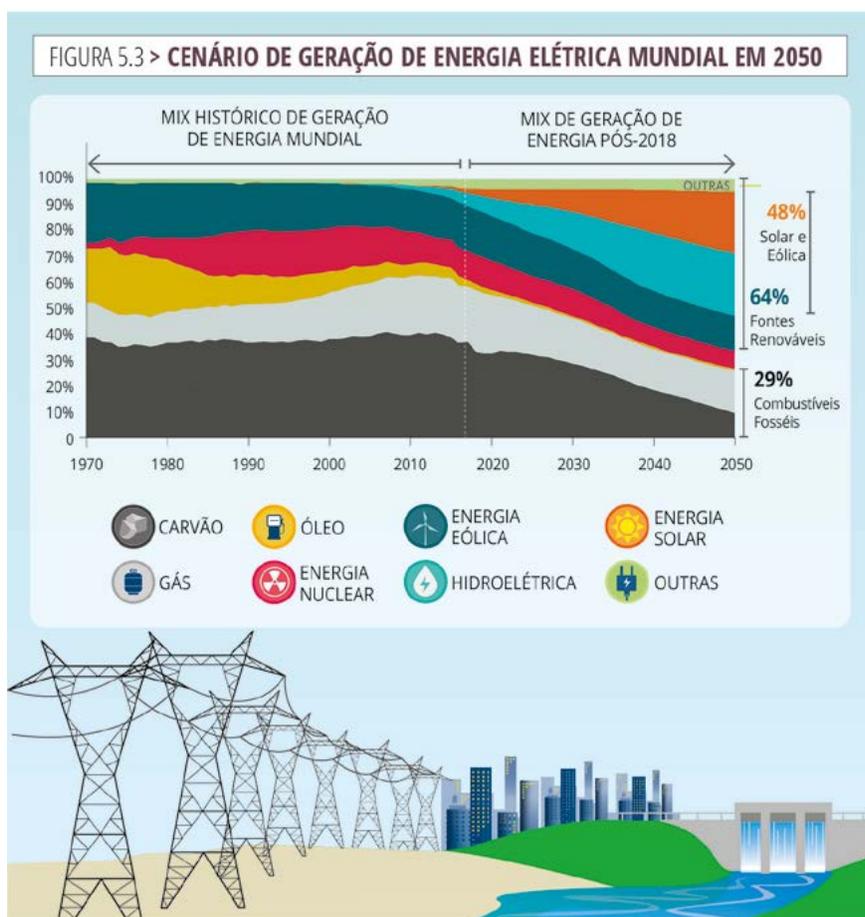
EXPERIÊNCIA	TIPO DE RENOVÁVEL	MÉDIA PONDERADA GLOBAL	VARIAÇÃO DO CUSTO 2010–2019
Fontes mais tradicionais	Bioenergia	55	Depende da fonte
	Geotérmica	65	Estável
	Hidroeletricidade	42	+27%
Fontes mais recentes	Fotovoltaica solar	61	-82%
	Solar concentrada	162	-26%
	Eólica do mar	103	-28%
	Eólica terrestre	47	-39%

Fonte: [1]

Os resultados da Tabela 5.1 mostram a média dos custos globais, que considera todos os países do mundo utilizando energias renováveis. Há que se considerar, contudo, que a situação específica de cada país é diferente, conforme a disponibilidade local do recurso e os custos relativos de outras fontes. Tipicamente, a energia eólica do mar é relativamente cara, mas no contexto europeu, por exemplo, ela se mostra competitiva. Na verdade, ela chega a ser mais barata que o carvão, tanto nos Estados Unidos como em alguns países europeus.

A Tabela 5.1 sugere também que há boas razões para sermos otimistas quanto à possibilidade de que o mundo dependa crescentemente de fontes renováveis de energia, reduzindo-se as emissões de GEE. No entanto, existem fatores que enfraquecem esse otimismo e possivelmente nos colocam em uma situação mais preocupante. Em primeiro lugar, ainda que as fontes renováveis se tornem economicamente competitivas em relação aos fósseis, quanto tempo será necessário para sucatear todo o parque energético mundial de energia fóssil e trocá-lo por energias renováveis? Nesse meio tempo, quantas toneladas de CO₂ serão emitidas e a que ponto chegaríamos em termos de concentração de CO₂ na atmosfera e de aquecimento global na Terra?

Para ilustrar esse ponto, a Figura 5.3 apresenta a projeção de uma conceituada empresa do setor para o cenário de geração de energia elétrica mundial em 2050. Segundo a referência, naquele ano, cerca de 70% da energia elétrica mundial virá de fontes renováveis, metade das quais provenientes das fontes solar e eólica. O carvão terá uma queda substantiva, saindo de seu patamar de 40% para 10% do total mundial. De todo modo, a pergunta permanece: essa tendência é suficiente para alcançarmos as reduções desejáveis de emissões e concentrações de GEE na atmosfera?



Fonte: [3]

O segundo ponto diz respeito à economia política. Todos sabemos que as empresas energéticas do mundo todo são gigantes econômicos, que detêm enorme poder econômico e político. Empresas como a Exxon e Shell, bem conhecidas no Brasil, juntamente com a Petrobrás e outras gigantes como a BP, Chevron, a chinesa Sinopec e a árabe Aramco, entre outras, fazem parte do segundo maior setor industrial do mundo.

Ainda que muitas delas venham investindo em energias renováveis – todas sabem da inexorável tendência de queda do setor petróleo no longo prazo – no curto prazo, elas só têm o interesse de prolongar a vida do petróleo como principal energético. Essa posição, totalmente contrária aos objetivos de mitigação das mudanças climáticas, é compreensível sob a ótica empresarial. As ações e políticas de tentar postergar a entrada das fontes renováveis têm sido mais ou menos agressivas, conforme o país ou empresa.

Por fim, há que se mencionar a existência de muitas pesquisas sobre tecnologias capazes de minimizar as emissões da combustão de fontes fósseis. Como mencionado no capítulo 4, as emissões de CO₂ da queima de gás natural correspondem a cerca de metade das advindas da queima de carvão, por exemplo. Além disso, o impacto ambiental da extração do carvão mineral é muito maior que o do gás natural.

Faz sentido, portanto, substituir o combustível de usinas, mediante a substituição do carvão mineral por gás natural e assim obter reduções de emissões, mesmo que isso represente a troca de um fóssil por outro. Igualmente, existem diversas tecnologias em pesquisa ou já comercializadas que buscam “limpar” e melhorar o desempenho do combustível, de modo a gerar menos CO₂ na queima. Todas essas tecnologias e alternativas vêm sendo buscadas de forma complementar – e todas ajudam na redução de emissões, que é o objetivo.

Maior eficiência produtiva, novas tecnologias e práticas

Usar energias limpas é uma maneira segura de reduzir emissões. Pensando nas emissões de um carro, se ele queimar hidrogênio, ou álcool, ou se ele for movido a eletricidade, suas emissões serão muito mais baixas do que se for movido a gasolina. Mas se o carro for mais eficiente também ajudará. Se ele fizer 20 km por litro de combustível, ao invés de 10 km, esse carro estará emitindo a metade de GEE para percorrer cada quilômetro. O mesmo se aplica às indústrias, máquinas, aparelhos eletrodomésticos e outros que nós utilizamos e que consomem energia: quanto mais eficientes, menores as emissões.

INDÚSTRIAS

Nas indústrias, por exemplo, tomando a produção de aço, pode haver reduções de emissões, seja aumentando a eficiência energética (utilizando fornos e caldeiras mais eficientes), seja fazendo mudanças no próprio processo de produção do aço – de modo que ele demande menos energia para produzir uma mesma tonelada de aço – seja ainda pela manutenção do mesmo processo de produção, mas tornando-se mais eficiente, ao utilizar menos energia e materiais.

BENS DE CONSUMO

Do lado dos consumidores, o mesmo princípio se aplica. Fogões mais modernos consomem menos energia para gerar a mesma quantidade de calor de fogões mais velhos. Os carros novos também são mais “econômicos”, no

sentido de consumir menos litros de combustível. Lâmpadas LED consomem menos energia e duram mais tempo que lâmpadas comuns. E diversos eletrodomésticos, como geladeiras e batedeiras, por exemplo, podem ser muito mais eficientes e econômicos no consumo de energia elétrica – já existem selos que indicam sua eficiência. Muitas vezes esses equipamentos mais eficientes são mais caros, o que penaliza as populações mais pobres, que não conseguem adquiri-los e terminam, no longo prazo, consumindo e pagando mais energia do que as pessoas mais ricas, que conseguem investir nesses equipamentos mais eficientes e modernos.

TRANSPORTES

O setor de transportes representa 23% das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia. Infelizmente, o setor automotivo não apresentou grandes melhorias de eficiência de consumo de gasolina – e a demanda de transporte só tende a aumentar. Os carros elétricos já são uma alternativa aos carros movidos a combustão, mas ainda são caros por conta das baterias necessárias para estocar energia. Para o uso dos carros elétricos atingir larga escala, precisaremos de baterias e tecnologias de carregamento muito mais eficientes [4]. Nessa área, existe grande corrida tecnológica, havendo uma tendência de forte entrada de veículos elétricos na próxima década.

FOTOS 14 > TRANSPORTE ELÉTRICO



Foto: the rabbit * lapin [14.A]

Carregamento de carro elétrico em Fremont, Califórnia, 2015



Foto: Rafael CDHT [14.B]

Trolley elétrico em São Paulo, 2008



Foto: Fernando Frazão [14.C]

VLT do Rio de Janeiro, 2016



Foto: Joachim Kohler Bremen [14.D]

Caminhão elétrico médio, Zurique, Suíça, 2015

PECUÁRIA E CARNE BOVINA

A pecuária bovina tem uma gigantesca pegada de carbono, de modo que a carne de boi que consumimos está associada a enormes emissões de GEE. Não é difícil entender, como disse Bill Gates em 2013, que ‘não há como produzir carne suficiente para 9 bilhões de pessoas’. Deixando a mudança de hábito das pessoas para mais tarde, “uma das alternativas é começar a produzir carne cultivada em laboratório e produzir substitutos que pareçam e tenham o sabor e a consistência da carne bovina real.

Isso já deixou de ser ficção científica, tanto que o hambúrguer vegetariano já existe comercialmente em diversos países. Grandes empresas e grandes investidores estão levando o problema muito a sério, haja vista que existe amplo espaço para redução de emissões via produção e consumo de alimentos com muito menor pegada de carbono” [4].

EDIFÍCIOS

Outra importante fonte de emissões de CO₂ são os edifícios. Eles precisam de iluminação, energia elétrica, aquecimento e refrigeração, sejam eles residenciais, comerciais, escolas ou hospitais. As emissões combinadas dessas fontes representam quase 20% das emissões globais. Parte da resposta é a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis [4], e a construção de edifícios que sigam normas ambientais mais estritas, principalmente no que toca ao consumo de energia e água.

Tais práticas sustentáveis incluem o uso de materiais leves e recicláveis, janelas que clareiam e escurecem conforme a necessidade de iluminação e de aquecimento ou refrigeração, sistemas de reciclagem de água, telhados verdes que absorvem água de chuva e resfriam temperaturas dos telhados, sistemas de ventilação e iluminação natural, etc.

AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

A agricultura, como já discutido, é uma das atividades responsável por grandes emissões de GEE. O Brasil tem se destacado mundialmente na busca por tecnologias e alternativas de produção que sejam mais eficientes do ponto de vista econômico e que gerem menos emissões de GEE. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem liderando diversas atividades, através do Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC). As três atividades do Programa com maior potencial de reduzir emissões são:

- a. Recuperação de pastagens degradadas. Existem no Brasil gigantescas áreas de pecuária cujos solos não conseguem produzir um bom pasto.

Recuperar esses solos aumenta a absorção de carbono e, consequentemente, torna-se uma importante forma de remoção de grandes quantidades de CO₂ atmosférico [5];

- b. Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais. É um modelo que integra a produção de diferentes sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, agroenergia, entre outros, na mesma área. Essa integração pode ser consorciada (simultânea), sequencial ou ainda rotacional (quando se troca a cultura a cada plantio). Além de aumentar e fortalecer a produção, o sistema contribui para mitigar emissões de GEE, reter carbono na biomassa e no solo, e aumentar a biodiversidade local [6];
- c. Sistemas de plantio direto. São sistemas que buscam não mexer e revolver o solo, conservando o carbono e outros nutrientes. Ele substitui a ‘consagrada’ aragem, diminui as emissões de CO₂ e aumenta os estoques de Carbono do solo [7].

Existem ainda outros sistemas de produção de alimentos que geram menos emissões de GEE. O mais conhecido deles talvez seja a agricultura orgânica, que utiliza insumos biológicos e dispensa produtos químicos sintéticos. Outras formas de produção buscam produzir e, em paralelo, recuperar solos e ecossistemas degradados.

CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CO₂

A captura e o armazenamento de carbono buscam reduzir as emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis durante processos industriais e de geração de energia elétrica nas usinas termelétricas. A CCS (da sigla em inglês, de *Carbon Cap and Storage*) envolve a captura, transporte e armazenamento de longo prazo de CO₂ em reservatórios geológicos subterrâneos profundos – especificamente campos de petróleo e gás já explorados, formações salinas subterrâneas, rochas porosas cheias de água salgada, e mesmo em campos de petróleo em exaustão para aumentar sua produção [8].

Afora os riscos durante o transporte do CO₂, a grande incerteza reside nesse armazenamento de longo prazo: por mais seguro que seja, como garantir que não haverá escapamentos ao longo dos próximos 1000 anos, por exemplo? Muita pesquisa vem sendo feita tanto para diminuir os riscos e incertezas do processo da estocagem, como para baratear o processo de armazenamento.

Demanda e consumo como elementos chave

No fundo, todas as emissões causadas pelo homem provêm, direta ou indiretamente, do nosso consumo de bens e serviços. Assim, todas as atitudes que tomemos na direção de consumir menor quantidade, ou consumir menos produtos com alta pegada de carbono, ajudarão no combate ao aquecimento global. Como bem sabemos, nem consumir menos, nem consumir produtos com menor pegada de carbono implica piorar nossa satisfação e qualidade de vida – talvez ocorra justamente o contrário.

No capítulo 4, vimos que são as pessoas ricas as que têm pegadas de carbono preocupantes. Pessoas pobres consomem o estritamente necessário (ou menos) e, portanto, não têm espaço para reduzir suas emissões, seja de transporte, alimentos, energia elétrica residencial, ou ainda do consumo geral – item representado pelas “compras” que fazemos, que incluem vestuário, móveis, eletrodomésticos, livros, etc. Portanto, quando falamos em pessoas reduzindo seu consumo, estamos nos referindo às pessoas de classe média alta e ricas, que têm espaço para consumir menos e “melhor”, reduzindo suas emissões.

Dentre as muitas possíveis classificações, vamos nos ater aos quatro itens mencionados, a saber:

- a) alimentos;
- b) transporte;
- c) energia elétrica residencial; e
- d) demais serviços, itens de consumo e comportamento.

ALIMENTOS

A ação mais efetiva que podemos tomar para combater o aquecimento global é deixar de comer carne, principalmente bovina. As emissões da carne bovina são 5 vezes maiores que as equivalentes da carne de frango, por exemplo, além de consumirem 11 vezes mais água. As emissões da pecuária bovina e leiteira são responsáveis por quase 15% das emissões globais de GEE.

A recomendação é comer frutas, legumes, grãos e todos os tipos de feijão. Além disso, é melhor escolher alimentos da estação, produzidos o mais perto possível de onde você mora, dar preferência a alimentos orgânicos (que não utilizam agrotóxicos), e evitar alimentos importados, transportados de longas distâncias (reduzindo, assim, as emissões do transporte). Essas recomendações poderiam ser feitas por qualquer médico ou nutricionista, porque, além do benefício ambiental e climático, são melhores para nossa saúde. Evitar desperdícios também é importante – e bom para o bolso! [9].

FOTO 15 > DIETA SUSTENTÁVEL



Foto: Keith Weller [F15]

TRANSPORTE

A óbvia decisão é evitar o transporte movido a combustíveis fósseis (gasolina ou diesel), especialmente o individual – ou seja, o automóvel. O transporte coletivo é evidentemente muito menos poluidor, pois dividimos nossas emissões com todos os demais passageiros. Andar a pé ou ir de bicicleta são as melhores opções (inclusive sob o ponto de vista da saúde!). Se tiver que usar o carro, abasteça-o com etanol e/ou compre um carro híbrido ou elétrico.

É curioso comparar as emissões médias de transporte de um cidadão americano (20 toneladas por habitante/ano) com um cidadão inglês, por exemplo – apenas 7! Os níveis de renda dos dois países são bastante próximos, e o fato de um cidadão americano emitir muito mais CO₂ que um europeu típico não implica melhoria de satisfação ou de qualidade de vida.

Outra ação importante refere-se ao transporte aéreo. As emissões dos aviões são gigantescas, pois consomem enormes quantidades de querosene de aviação (imagine levantar no ar todo aquele aço, acrescido de tudo que entra no avião!). A pandemia do Covid nos trouxe uma boa lição – a de que podemos perfeitamente substituir viagens de negócios por reuniões virtuais, reduzindo enormemente as emissões de carbono. Lembrando que essas viagens envolvem também deslocamentos locais e serviços de transportes e acomodação, todos associados a consumo energético e emissões de CO₂. Se tiver que viajar, utilize a classe econômica e opte por voos sem escalas [10] e [11].

ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Existem dois tipos de medidas para cortarmos o consumo de energia elétrica em casa, sendo o primeiro deles a utilização de aparelhos mais eficientes. A maior parte dos produtos eletrônicos hoje traz algum selo de eficiência energética, sendo o do Procel o mais difundido no Brasil. Produtos mais eficientes tendem a ser mais baratos no longo prazo. Além dos eletrodomésticos, as lâmpadas incandescentes, ainda que sejam mais baratas, consomem muito mais energia e terminam por ser mais caras no longo prazo.

O segundo tipo de medidas diz respeito a simplesmente consumir menos e mudar hábitos de consumo: quando possível, bater o ovo no garfo e não na batedeira elétrica!, tirar aparelhos da tomada quando não estão em uso (sim, eles consomem energia!), não esquecer de apagar as luzes!, usar o ar-condicionado com moderação (seu bolso agradece), pendurar a roupa lavada e não usar o secador da máquina, moderar a temperatura do banho quente, usar a escada e evitar o elevador (sua saúde também agradece), etc. [11].

DEMAIS SERVIÇOS, ITENS DE CONSUMO E COMPORTAMENTO

Diversas opções de vida – o que fazemos, como fazemos, e nosso comportamento geral – fazem grande diferença em termos de emissões de GEE e, mais geralmente, de nossa pegada ecológica. A primeira opção é por constituir famílias pequenas. Afora questões de índole pessoal, do ponto de vista ecológico e da nossa presença no planeta como apenas mais uma espécie, é completamente dispensável um aumento ainda maior da população humana.

É fácil perceber que qualquer pessoa a mais no planeta, por mais simples, baixo-consumo e consciente que seja, só terá contribuído, ao longo de sua vida, para aumentar um pouco o consumo e a degradação de recursos naturais, e as emissões de GEE – especialmente nos países de renda mais alta. Em termos de emissões de GEE, ter uma criança a menos é 25 vezes mais eficiente do que viver sem um automóvel! [12].

Evite o consumismo! Todos somos bombardeados por propaganda e incentivos ao consumo e temos consciência de que parte substancial desse consumo é totalmente desnecessária e danosa a nossa própria economia e a

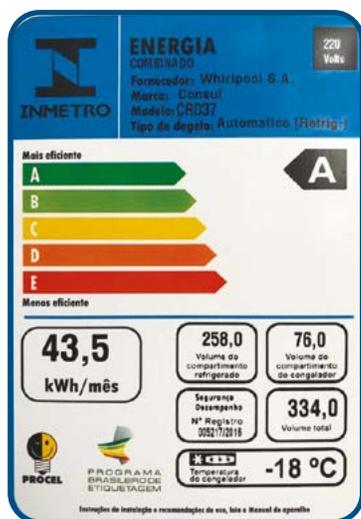


Foto: Arquivo do Autor [F16]

FOTO 16 > SELO PROCEL E ELETRODOMÉSTICO EFICIENTE

nossa saúde – roupas, produtos descartáveis, plásticos, embalagens excessivas, etc. Empresas e lojas são também certificadas e/ou apoiam abertamente o combate ao aquecimento global, adotando práticas sustentáveis e outras posturas e ações “verdes”. Lembrando que o fato de ser verde ou ecológico não deve fazer você consumir um produto em grandes quantidades.

Tente reciclar o lixo, separando materiais reaproveitáveis (como alumínio, pet, papel e plásticos), da matéria orgânica; leve sua sacola para o supermercado; recuse a propaganda e extratos impressos em papel, adira aos serviços eletrônicos de bancos, governo, e empresas, evitando ter que se deslocar fisicamente para ser atendido; use aplicativos “espertos”, que dão boas dicas, como os de mapas rodoviários que evitam engarrafamentos (e emissões desnecessárias). Mas tente evitar os aplicativos de transporte que levam a deslocamentos individuais. Quando possível, trabalhe de casa, evitando o deslocamento. Essas são algumas das ideias e práticas conhecidas, que simplificam a vida e cortam o consumo de energia, nossa grande fonte de emissões de GEE.

Muitas dessas recomendações conhecidas dizem respeito não apenas ao aquecimento global e à ecologia, mas têm a ver também com nossa própria economia pessoal, nossa saúde e bem-estar, boas práticas sociais, etc. Ainda assim, sentimos alguma inércia diante da necessidade de romper com práticas sabidamente danosas. Parar de comer carne é um exemplo clássico. Viver numa cultura onde “o churrasco dos amigos” é um momento de comemoração e alegria nos compele a comer carne. Mas se parar de comê-la completamente é difícil, diminuir seu consumo é possível. Podemos definir metas de redução e levar isso a sério – que já será uma importante contribuição.

Existe também a célebre alegação de que “meu consumo não irá mudar em nada” e que “eu estarei apenas fazendo um sacrifício inútil, enquanto todo mundo continuará com seu consumo tradicional”. É difícil imaginar uma postura mais errônea!!! Todos temos que mudar, e é a soma de todas as contribuições – a sua, inclusive – que poderá salvar o planeta do aquecimento global e dos seus demais problemas ambientais.

Seu vizinho pode estar apenas desinformado, ou então já está também participando do processo de mudança – você é que não notou. Dê o primeiro passo na direção correta. E aproveite e converse com seu amigo e sua família: sem essa ação individual, de cada um fazer a sua parte, com certeza nós iremos fracassar no combate ao aquecimento global!

Para ficar mais informado e saber melhor sobre o quê e como exatamente fazer a sua parte, existem milhares de sites na internet, que contêm

toda a informação de que precisamos. Mas nada dispensará seu bom-senso e sua força de vontade; todos temos que rever nossos hábitos não apenas em termos de nossas emissões de CO₂, mas também em termos de consumo de recursos naturais, visando à sustentabilidade do planeta.

Por fim, os governos podem também dar uma mão. Vencer essa inércia de assumir posturas mais firmes quanto à sustentabilidade e ao aquecimento global pode ser impulsionada pelos governos, através de campanhas educativas, disseminação de informação, fornecimento de material, criação de eventos e espaços dedicados, etc. Inúmeras ONGs e organizações de diversos tipos têm interesse em ajudar na disseminação de informação e campanhas “pró-clima”, e o governo definitivamente tem muita capacidade de ajudá-las e apoiá-las.

Precificando o carbono para diminuir emissões

Como mencionado, a despeito de todos os efeitos que causam, ninguém é penalizado por suas emissões de carbono. Se a cada tonelada de carbono emitida fosse cobrado um determinado valor – digamos, um preço – nós iríamos racionalizar nossas emissões e diminuí-las, conforme o preço cobrado.

Essa ideia de precificar as emissões não é tão nova, mas é evidente que encontra muita resistência, especialmente porque mexe no bolso de todo mundo. Apesar disso, pode também ser considerada uma das ações fundamentais para o enfrentamento das mudanças climáticas.

O importante é controlar as emissões de CO₂. Mas como não é possível medir as emissões de cada atividade humana, é preciso usar algumas aproximações. Por exemplo, o litro de gasolina tem um conteúdo mais ou menos fixo de carbono, que nos permite saber a quantidade de CO₂ que estaremos emitindo ao queimar aquele litro. Assim, é possível adicionar um valor ao preço da gasolina para capturar o efeito da emissão de carbono. A grande dificuldade é encontrar qual seria o valor mundialmente adequado, capaz de fazer com que as emissões caiam aos níveis desejáveis. Para cada meta de redução, existe um preço associado de carbono, por mais difícil que seja descobri-lo.

Do ponto de vista da teoria econômica, a grande vantagem da precificação das emissões é o fato de ela fazer com que o nível desejado de redução de emissões seja alcançado ao menor custo total. A explicação sobre o porquê disto é simples (ver Box 5.2).

BOX 5.2 > Precificar emissões é a maneira mais barata de reduzi-las

Um preço de carbono é um custo aplicado à poluição causada por emissões deste carbono com o objetivo de incentivar os poluidores a reduzirem a quantidade de gases de efeito estufa que emitem para a atmosfera. Os economistas concordam amplamente que a introdução de um preço de carbono é a maneira mais eficaz para que os países reduzam suas emissões.

Um preço de carbono não só tem o efeito de encorajar um comportamento com menos carbono (por exemplo, usar uma bicicleta em vez de dirigir um carro), mas também levanta dinheiro, que pode ser usado em parte para financiar a limpeza de atividades “sujas” (por exemplo, investimento em pesquisas com energia limpa).

Existem duas formas principais de estabelecer um preço de carbono. Primeiro, um governo pode cobrar um imposto de carbono sobre a distribuição, venda ou uso de combustíveis fósseis, com base em seu conteúdo de carbono. Isto aumenta o custo desses combustíveis e dos bens ou serviços criados com eles, incentivando empresas e indivíduos a mudar para uma produção e consumo menos intensivos em carbono.

A segunda abordagem está vinculada à criação de um sistema de cotas chamado *cap-and-trade* (“limite-e-troca”). Nesse modelo, um teto, ou valor máximo admissível de emissões (CAP) é fixado, e licenças para emissões de CO₂ são criadas de acordo com ele. As licenças são então alocadas ou leiloadas entre as empresas. Elas podem trocar licenças entre si (TRADE), introduzindo um mercado de poluição em que os poluidores cortam emissões quando isso for mais barato, ou compram licenças de emissão, quando seu custo de redução de emissões for muito alto. O custo total para se alcançar a redução de emissões será, assim, o mais baixo possível.

Para se chegar a uma redução gradual das emissões, o preço estabelecido pelo governo pode aumentar gradativamente ao longo do tempo. Da mesma maneira, o número de licenças de emissão pode ser reduzido ao longo do tempo – razão pela qual os dois mecanismos são equivalentes, mas não idênticos.

A receita levantada, via preços ou licenças leiloadas, pode ir para o governo, caso precise aumentar sua receita, mas pode “voltar” para os contribuintes, seja compensando-os diretamente, seja reduzindo outros impostos (por exemplo, renda e saúde).

Continua na próxima página.

Continuação

Essa receita pode também ser direcionada ou para diminuir o impacto sobre as famílias pobres, ou para ajudar a financiar as indústrias – visando controlar suas emissões – ou ainda para financiar pesquisas com tecnologias limpas. O importante é lembrar que o objetivo da precificação de carbono é mudar comportamentos e reduzir emissões, e não aumentar a carga tributária sobre cidadãos e empresas – sendo essa a maneira de medir sua efetividade.

Fonte: Baseado em [13]

Diversos países já estão precificando o carbono. Os níveis de preço ainda são baixos para realmente induzir as pessoas e as indústrias a diminuir suas emissões de forma mais significativa. Mas o importante é que já começam a sinalizar a importância da precificação e que, em algum momento, esse nível de preço poderá, ou deverá ser ajustado para realmente forçar uma redução no nível de emissões de GEE. Lembrando que essa iniciativa sempre será preferível do ponto de vista econômico, como mostrado no Box 5.2, em vez de simplesmente impor uma redução igual de emissões para todos nós.

Enquanto colocar um preço no carbono é uma possível forma de “penalizar” seu consumo, a atitude inversa é subsidiá-lo. Os subsídios são transferências que os governos fazem para baratear a produção ou o consumo de determinados produtos ou atividades. Por exemplo, se o governo subsidiar a produção de arroz, o cereal vai chegar ao supermercado mais barato, e nós vamos consumir mais do que se não houvesse o subsídio. Isso é o contrário de se colocar uma taxa ou imposto sobre o arroz – que o tornaria mais caro e diminuiria nosso consumo.

Apesar da ideia de precificar o carbono para diminuir as emissões, no mundo real, o que se observa é justamente o contrário!! Ao invés de precificar e taxar o carbono, os governos têm subsidiado as fontes de energia fóssil e os combustíveis fósseis, o que aumenta o consumo dos fósseis e torna mais difícil a competitividade e a entrada das fontes renováveis.

Ainda que haja também subsídios para as fontes renováveis, o nosso louco mundo “mete um pé no freio e outro no acelerador”. Em 2017, os subsídios concedidos para a geração de energia a partir de fontes renováveis, incluindo biocombustíveis, somaram cerca de US\$ 166 bilhões. No mesmo ano, os subsídios concedidos aos fósseis foram quase 3 vezes maiores!! – US\$ 447 bilhões [3]. No Brasil, os subsídios aos fósseis foram de R\$ 85 bilhões em 2018 [14].

A razão pela qual governos subsidiam o petróleo e seus derivados é que esses insumos afetam toda a economia. Portanto, a diminuição de preço faz crescer a economia, além de tornar a energia mais acessível para os mais pobres. Com o aquecimento global, esses subsídios começam a trazer um efeito muito negativo, pois aumentam as emissões de CO₂.

Assim, antes mesmo de precificar o carbono, não parece mais razoável eliminar os subsídios concedidos aos fósseis? Se você está pensando que sim, lembre que isso elevaria o preço do gás de cozinha, da gasolina, das passagens de ônibus, além de uma série de outros bens que envolvem energia e emissões de CO₂ – e isso pode doer no bolso.

Remoção de carbono da atmosfera e soluções de ficção científica: acelerando para o pior

Uma alternativa para minimizar diretamente o aquecimento global seria remover CO₂ e demais GEE da atmosfera, ou tentar interferir no fluxo de energia que entra e sai da Terra por meio de processos e técnicas de geoengenharia.

Quanto ao primeiro grupo, a ideia de remover o CO₂ é simples em princípio. Mas “como limpar toda a atmosfera”? Existem dois tipos principais de processos de remoção: aprimorar processos naturais existentes que removem o carbono da atmosfera (por exemplo, aumentando sua absorção por algas, plantas, árvores, solos ou outros “sumidouros de carbono”), ou usar processos químicos para capturar o CO₂ diretamente do ar ambiente e armazená-lo em outro lugar (por exemplo, no subsolo). Todos esses métodos estão em diferentes estágios de desenvolvimento, com diferentes potenciais de remoção e custos.

O reflorestamento e a restauração florestal vêm recebendo enorme atenção recentemente como uma das opções mais interessantes para retirar carbono da atmosfera em grande escala, armazenando-o na biomassa das florestas e nos solos. As Nações Unidas declararam a década de 2020 como “a década da restauração de ecossistemas”, convocando os países a iniciar processos de recuperação de terras degradadas como mecanismo de mitigação da mudança do clima. Estudos bem recentes sugerem que esse potencial de mitigação vinha sendo subestimado em grande medida. Novas estimativas sugerem que “... as remoções do reflorestamento tropical entre 2020 e 2050 poderiam ser aumentadas em 5,7 GtCO₂ (5,6%) a um preço de carbono de US\$ 20 por tonelada de CO₂, ou em 15,1 GtCO₂ (14,8%) a um preço de US\$ 50 por tonelada. Dez países compreendem 55% do potencial de redução de baixo custo do reflorestamento tropical” [15].

FOTOS 17 > REFLORESTAMENTO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL



Foto de Agostinho Vieira [F17.A]

Projeto mutirão de reflorestamento, do ITPA. Miguel Pereira, Rio de Janeiro, 2019, Publicação original do Projeto #Colabora

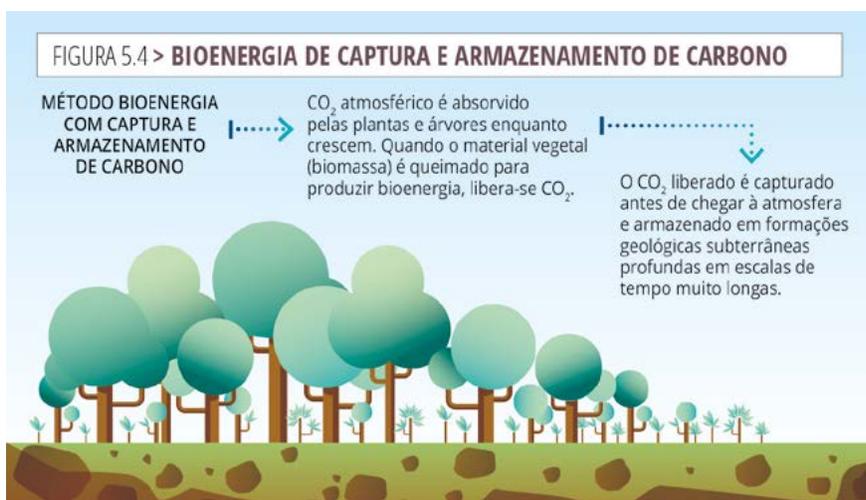


Foto: Arquivo do autor [F17.B]



Foto: Arquivo do autor [F17.C]

Resultado do reflorestamento do Morro Dois Irmãos, Rio de Janeiro, 1994-2021



Fonte: Elaboração própria

Outra categoria de técnicas utiliza processos químicos para capturar o CO₂ do ar e armazená-lo em escalas de tempo muito longas, dentro de formações geológicas profundas, localizadas no subsolo. A conversão de material vegetal residual em uma substância semelhante ao carvão vegetal (chamada *biochar*) e seu enterramento no solo também pode ser usado para armazenar carbono longe da atmosfera, de décadas a séculos [16].

Outro processo consiste no estímulo à produção de microalgas em oceano aberto. Em alto-mar, a produção de microalgas fotossintetizantes é extremamente baixa, devido à reduzida disponibilidade de nutrientes. Um nutriente particularmente importante para a produção das microalgas é o ferro solúvel, cuja introdução artificial poderia fertilizar os oceanos, promovendo uma intensa retirada de CO₂ da atmosfera. O ferro solúvel precisaria ser distribuído nos oceanos a partir de grandes navios a vela (que não emitem CO₂), pois as emissões de motores marítimos seriam muito grandes – e não compensariam a ação.

O segundo grupo de medidas é chamado “gestão da radiação solar” (GRS) – ver Figuras 5.5 e Box 5.3.



Fonte: Elaboração própria

BOX 5.3 > **Geoengenharia: ficção científica para minimizar o aquecimento global?**

Espalhar aerossóis de sulfatos na atmosfera. Situado nas Filipinas, o Monte Pinatubo entrou em erupção em 1991 com uma força tremenda, ejetando enormes quantidades de dióxido de enxofre (SO_2) que chegaram até a estratosfera. Esse SO_2 reagiu com água, para formar uma camada nebulosa de partículas de aerossol sulfuroso. Ao longo dos dois anos seguintes, fortes ventos estratosféricos espalharam essas partículas ao redor do mundo, resultando num resfriamento mensurável da superfície da Terra.

Baseado nessa experiência, cogitou-se jogar grandes quantidades de partículas de enxofre na estratosfera, criando “vulcões artificiais”. Esse seria, provavelmente, o mais “aceitável” Plano B para lidar com o aquecimento global. No entanto, existem inúmeros riscos associados ao processo, incluindo influências sobre todo o processo de fotossíntese na Terra, céus esbranquiçados, impactos no ciclo hidrológico, intensificação de eventos extremos, criação de chuva ácida, prováveis danos à camada de ozônio, entre outros efeitos desconhecidos. Como com as demais tecnologias, restam dúvidas sobre como frear o processo bruscamente, caso necessário, e quais seriam os impactos dessa descontinuidade.

FOTO 18 > ERUPÇÃO DO MONTE PINATUBO, 1991



Foto: Dave Harlow [F18]

US Geological Survey, Filipinas, 1991

Continua na próxima página.

Continuação

Espelhos no espaço. A ideia desse esquema é enviar em órbita espelhos gigantes (55 mil espelhos, cada um com 100 km²) feitos de malha de arame; ou enviar trilhões de espelhos de luz e pequenos espelhos (do tamanho de um DVD), a fim de desviar a luz solar de volta ao espaço. Eles equivaleriam a inúmeros minieclipses artificiais para obscurecer o sol. Essa opção, considerada bastante irrealista, apresenta um custo proibitivo, além de um potencial de consequências não intencionais enorme, com difícil reversibilidade.

Aumento da cobertura de nuvens. Sabemos que a cor branca reflete radiação luminosa, enquanto a preta a absorve (daí usarmos roupas claras no verão, e o piso preto, como o asfalto, esquentar mais que um piso branco). Por conta disso, as nuvens, apesar de reterem calor, refletem a radiação solar. A intenção é introduzir vapor d'água e partículas de aerossóis – que servem como núcleos de condensação e formação de nuvens.

Clareamento de nuvens marinhas. Essa proposta pretende deixar as nuvens oceânicas ainda mais brancas, o que as tornaria mais refletoras da luz solar. Isso seria feito através de navios, que borrifariam água marinha no ar, elevando a concentração de sal marinho (importante núcleo de condensação de nuvens), aumentando ainda mais a condensação de vapor de água dentro das nuvens e tornando-as maiores e mais brancas.

Fontes: [17], [18], [19] e [20]

Todas as técnicas descritas no Box 5.3 apresentam inúmeras limitações como possíveis alternativas de enfrentamento ao aquecimento global. Essas técnicas podem impactar o balanço de radiação que entra e sai do planeta, alterando os processos de fotossíntese, a formação de nuvens e os ciclos hidrológicos, os incêndios florestais, além de intensificar os eventos extremos. Não se conhecem os impactos regionais dessas intervenções; não se sabe quanto tempo demoraria para seus efeitos começarem nem o brusco aquecimento que seria causado caso elas tivessem que ser descontinuadas; e elas poderiam contribuir para destruir a camada de Ozônio que depende da incidência da radiação cósmica, dentre inúmeros outros possíveis e desconhecidos efeitos.

Na verdade, o que se sabe é que o uso dessas técnicas levaria a uma ainda maior acidificação dos oceanos (visto que não haveria remoção do CO₂ da atmosfera) e contribuiria para destruir a camada de ozônio, que depende da incidência da radiação cósmica. Haveria ainda uma diminuição de radiação

solar disponível, além de efeitos pouco conhecidos sobre a fotossíntese, formação de nuvens, e produção de diversos efeitos ambientais modificadores de processos relacionados à presença de aerossóis na atmosfera.

Não há dúvida de que todas essas técnicas, extremamente controversas e arriscadas, mais parecem interferências de ficção científica. Na verdade, o próprio aquecimento global deve ser visto como uma resposta do meio ambiente às lentas e graduais intervenções humanas de emissões de CO₂ na atmosfera que, no longo prazo, começam a se mostrar desastrosas. Qualquer solução que passe por uma interferência ainda maior na natureza e seus processos deve ser desconsiderada logo de saída. A única maneira de controlar o problema é diminuir as emissões. Há que se lembrar também que “soluções mágicas” desincentivam os esforços direcionados para diminuição de emissões (na medida em que nós relaxamos, ao pensar que existe uma solução para reverter o problema). Além disso, uma questão fundamental de geopolítica: mesmo que essas técnicas sejam utilizadas em algum momento, quem seria responsável por fazê-las? Os países ricos? Quem controlaria o processo e quem o fiscalizaria? Essas questões são abordadas em parte no capítulo 7.



Plantio de manguezais nas Filipinas

VI.

ADAPTANDO-SE ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

A partir do que já foi apresentado, fica claro que alguns dos impactos “iniciais” do aquecimento global já começam a ser sentidos – e que nós teremos que nos ajustar a eles. Além disso, mesmo que consigamos frear rapidamente nossas emissões no curtíssimo prazo, existe uma certa inércia do sistema climático e terrestre, de modo que outros efeitos ainda virão, sendo que alguns deles vão durar muito tempo antes de serem revertidos. Assim, tudo nos leva à necessidade de nos adaptarmos às mudanças do clima.

A definição do IPCC sobre o que é exatamente adaptação climática é muito intuitiva: podemos entendê-la como o processo de ajuste ao clima – ou ao clima esperado e a seus efeitos. Esse processo de ajuste pode envolver algumas ações muito simples e baratas e outras bastante complexas e muito caras.

A boa notícia é que a grande maioria das medidas de adaptação é bem conhecida e, ao mesmo tempo, traz inúmeros benefícios, que vão muito além da adaptação estrita – em termos sociais, ambientais e até econômicos – frequentemente maiores do que a própria adaptação.

Contexto e arcabouço para entender a adaptação

Para entender o contexto e o arcabouço geral da adaptação às mudanças do clima, tomamos o exemplo das cidades, similar ao de países, empresas, indivíduos ou famílias. Para isso, usamos uma abordagem conhecida como PER – Pressão-Estado-Resposta – cuja vantagem é separar claramente os fatores envolvidos na sequência de causalidade.

Segundo o PER, os fatores de pressão são os primeiros causadores de problemas – caso dos eventos climáticos. Eles alteram o estado do sistema, representado pelas condições da cidade. A resposta aos fatores de pressão são, no nosso caso, eventuais ações de adaptação. Além disso, existem determinados



Fonte: Elaboração própria, apresentado originalmente em [1]

fatores e condições que facilitam ou propiciam a ocorrência de impactos, que são condições locais existentes e que determinam a intensidade dos impactos e as possibilidades de resposta. A Figura 6.1 ilustra esse esquema no caso das cidades, incluindo exemplos de cada elemento.

Como sugerido na Figura 6.1, os fatores de Pressão são as prováveis mudanças climáticas que afetarão a cidade, particularmente os eventos climáticos extremos, entre os quais se incluem temperaturas extremas, ondas de calor e de frio, secas prolongadas, tempestades e vendavais, tornados e ciclones, entre outros. Os fatores que propiciam ou permitem a ocorrência de impactos (caixa laranja) incluem as condições socioeconômicas, físicas, geográficas e ambientais da cidade, e são elas que ditam a intensidade dos impactos. Exemplos incluem proximidade da costa, estado de conservação das infraestruturas e dos recursos naturais, nível de renda das pessoas, existência de alternativas de abastecimento de água e energia, existência de fatores como redes de solidariedade e de emergências, etc.

A etapa do PER correspondente ao Estado consiste nos impactos das mudanças do clima. Como indicado na Figura 6.1, são efeitos sobre velhos e crianças (populações mais vulneráveis), enchentes, deslizamentos, impactos

nos serviços de transporte, energia e abastecimento de água, com efeitos na produção, impactos nas zonas costeiras, etc.

A última etapa do PER corresponde às Respostas e consiste nas medidas de adaptação propriamente. Essas medidas variam enormemente entre setores. No próprio diagrama, são ilustradas medidas de adaptação para cada tipo de impacto. Outras medidas gerais de adaptação são apresentadas na Tabela 6.1.

TABELA 6.1. **EXEMPLOS DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO**

CATEGORIA	EXEMPLOS DE OPÇÕES
ESTRUTURA FÍSICA	Engenharia e áreas construídas Quebra-mares, espigões e estruturas de proteção costeiras; diques contra inundação; sistemas de drenagem; armazenamento de água; engordamento de praias; abrigos contra inundações e ciclones; códigos de construção; adaptação das infraestruturas viárias e rodoviárias.
	Tecnológicas Armazenamento da água da chuva; instalações de armazenamento e preservação de alimentos; sistemas de alerta precoce; insulamento de edifícios; novas variedades de culturas agrícolas; modificação genética de grãos; irrigação eficiente.
	Adaptação baseada em ecossistemas Restauração ecológica; aumento da biodiversidade; reflorestamento; conservação e replantio de manguezais; gestão da pesca; migração assistida ou controlada; corredores ecológicos; gestão de recursos naturais baseada na comunidade; gestão adaptativa do uso do solo.
	Serviços Redes de segurança social e proteção social; bancos de alimentos e distribuição de excedentes alimentares; programas de vacinação, serviços essenciais de saúde pública.
SOCIAL	Educacional Sensibilização e integração na educação; compartilhamento de conhecimento local e tradicional; integração no planejamento da adaptação; comunicação através da mídia.
	Informação Mapeamento de perigos e vulnerabilidades; sistemas de alerta rápido e de resposta; monitoramento sistemático e sensoriamento remoto; planos de adaptação baseados na comunidade, incluindo melhorias em comunidades e construção de cenários participativos.
	Comportamental Alojamento; preparação de domicílios e planejamento de evacuação; diversificação dos meios de subsistência.
INSTITUCIONAL	Econômica Incentivos financeiros, incluindo impostos e subsídios; seguro climático baseado em índices; títulos de catástrofes; fundos rotativos; pagamento por serviços ambientais; microfinanciamento; fundos de contingência para desastres; transferências de dinheiro.
	Leis e regulações Legislação de zoneamento; padrões de construção; servidões; regulamentos e acordos sobre água; leis de redução do risco de desastres; leis para incentivar a compra de seguros; segurança da posse da terra; áreas protegidas, incluindo áreas marinhas, lagos e rios.
	Políticas e programas de governo Planos de adaptação nacionais e regionais; programas de melhoramento urbano; planejamento e preparação contra desastres naturais; planos diretores de cidades, planos setoriais, manejo integrado de recursos hídricos, gestão de zonas costeiras.

Fonte: [2]

FOTOS 19 > EXEMPLO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Foto: Defesa Civil, autor não identificado [F19.A]



Sirenes de alerta contra desastres em favelas do Rio



Foto: Arquivo do autor [F19.B]

Paredão contra ressacas da praia do Arpoador, Rio de Janeiro, 2018

Foto: Arquivo do autor [F19.C]



Canal de drenagem no Jardim Botânico, Rio de Janeiro, 2021.



Foto: dronepicr [F19.D]

Parques verdes minimizam ondas de calor urbano, Parque St. Stephen's Green, Dublin, Irlanda, 2015

Adaptação como problema local

São os governos nacionais que lideram o diálogo e participam dos acordos climáticos globais – assunto do próximo capítulo. Ainda que eles se deem entre países e governos nacionais, todas as ações acordadas têm reflexos na esfera local, de modo que estados, municípios e cidades – e todos nós, cidadãos – teremos de ser partícipes do esforço.

Enquanto mitigar emissões é tarefa conjunta de todos os países, a adaptação às mudanças do clima é do interesse individual de cada região específica. O problema segue sendo global, na medida em que todos os países, cidades e regiões do planeta serão impactados: mas se as cidades, por exemplo, não se anteciparem e se adaptarem às mudanças do clima, ninguém mais o fará – e apenas seus cidadãos sofrerão as consequências. Se você estiver numa área de grande exposição ou risco e nada fizer para se adaptar, somente você sofrerá eventuais consequências.

Essa é uma diferença fundamental entre mitigação e adaptação. Na mitigação, o esforço de qualquer pessoa, cidade, empresa ou país beneficia a todos os demais no mundo todo. A adaptação, no entanto, é um problema de decisão local e seu efeito e alcance são também unicamente locais. Sua decisão de se adaptar ou não só afetará a você mesmo, mas não a mim. Além disso, suas necessidades de adaptação serão diferentes das minhas. Na mitigação, as ações que você tomar beneficiam a todas as pessoas.

RESPONSABILIDADES DAS DIFERENTES ESFERAS DE GOVERNO

As diferentes naturezas das ações de mitigação e adaptação apontadas vêm fazendo com que os governos nacionais sejam protagonistas nas questões ligadas à mitigação, enquanto os governos locais (estados e municípios) assumam a liderança da agenda de adaptação. Essa distribuição de funções não permite que nenhuma das esferas de governo lave as mãos com relação a ambas: mitigação e adaptação. Os governos locais têm que dar sua contribuição na mitigação, enquanto os governos nacionais também têm papel fundamental na agenda de adaptação. Governos nacionais podem e devem fornecer financiamento e apoio técnico aos governos locais, enquanto estes, por sua vez, têm que planejar e implementar estratégias de adaptação, ajustando-as a condições locais específicas.

Vulnerabilidade, pobreza e o déficit de adaptação

VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA

Todas as pessoas, cidades, países e empresas precisam saber como se adaptar às eventuais mudanças climáticas e também que esforços deverão despende nessa direção.

A decisão sobre o quanto se adaptar depende, inicialmente, de dois fatores. O primeiro diz respeito ao grau de risco a que a cidade está exposta. Quanto mais exposta aos eventos climáticos, maior a necessidade de adaptação. No caso da cidade, por exemplo, a exposição depende basicamente da sua localização e das ameaças climáticas a que está sujeita. Uma cidade à beira-mar pode estar exposta aos efeitos das ressacas mais violentas, causadas pela elevação do nível do mar, enquanto, em uma cidade no interior, esse fenômeno obviamente não ocorre.

O segundo fator é o inverso da vulnerabilidade – denominado resiliência. A resiliência indica o quão preparada a cidade (ou pessoa, ou país) está para lidar com eventos climáticos, principalmente os extremos. Quanto mais infraestrutura, quanto mais informada a população, quanto mais rica, quanto

mais solidariedade, entre outros fatores, maior a resiliência e, portanto, menores serão os impactos dos eventos climáticos. A ideia da adaptação é, portanto, justamente a de aumentar a resiliência aos eventos climáticos. O problema são os custos envolvidos. Ainda que seja do interesse próprio das cidades de serem resilientes, elas precisam também cuidar da saúde, educação, segurança e tantos outros problemas que as afligem. Assim, é preciso saber o que é mais importante e urgente a cada momento.

ADAPTAÇÃO E POBREZA

As pessoas de mais baixa renda serão afetadas pelas mudanças climáticas de formas particularmente preocupantes. Pessoas pobres tendem a viver e trabalhar em locais mais expostos a riscos climáticos, sem infraestrutura que os reduzam, em casas e bairros que enfrentam os maiores problemas quando impactados e, além disso, não dispõem dos meios para tomar medidas de proteção imediata.

Isso evidencia como a mudança do clima global é um problema socialmente injusto – principalmente quando lembramos que os maiores responsáveis pelo problema são as pessoas, cidades e países mais ricos. Esses sim estão mais preparados para lidar com as mudanças climáticas, uma vez que são dotados de infraestrutura e serviços mais adequados e, conseqüentemente, reúnem a agilidade e os recursos demandados por situações inesperadas. Basta lembrar o que ocorre nas enchentes, quando elas afetam toda uma cidade: os bairros mais pobres, as favelas e as famílias que vivem em áreas de risco sofrem muito mais do que os bairros mais ricos e as famílias que lá vivem.

FOTOS 20 > RESILIÊNCIA E CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO DE RICOS X POBRES



Foto: Fernando Frazão [20.A]

Complexo da Maré, Rio de Janeiro, 2020.



Foto: Atwater Village Newbie [20.B]

Casa em Holmby Hills, Los Angeles, 2008. Na época, a casa mais cara dos Estados Unidos.

É importante destacar também que essa maior vulnerabilidade das populações pobres se aplica, de forma mais geral, a populações marginalizadas e minorias, incluindo crianças, mulheres, pessoas com deficiência, pessoas sem teto e sem habitação, pessoas sem acesso a redes de proteção social, comunidades indígenas, etc. Elas têm menor acesso à informação, menor capacidade de adaptação, menor acesso aos serviços de proteção e atendimento social e serviços de saúde. Nas áreas rurais, a situação de vulnerabilidade é exacerbada pelos esforços físicos envolvidos na recuperação dos impactos de eventos climáticos extremos, bem como pela própria pobreza, cuja incidência é muito maior, por exemplo, em famílias chefiadas por mulheres e pessoas negras.

DÉFICIT DE ADAPTAÇÃO

As cidades nos países em desenvolvimento estão tipicamente despreparadas para lidar com as condições climáticas atuais, e ainda mais com eventos mais intensos. Existe já no presente um déficit de adaptação que é função do seu estágio de desenvolvimento mais baixo. Na verdade, não é claro se o déficit é de adaptação, especificamente, ou se é um déficit de desenvolvimento de forma mais geral. De todo modo, espera-se que a resiliência climática aumente com o desenvolvimento.

As ações que reduzem a vulnerabilidade, principalmente entre os mais pobres, são ações de desenvolvimento – seja em termos de criação de capital físico, social ou econômico. Reduzir os déficits de serviços básicos e construir sistemas de infraestrutura resilientes – fornecimento de água, drenagem de águas pluviais e de águas residuais, eletricidade, telecomunicações, transportes, e resposta a emergências – reduz a vulnerabilidade às mudanças climáticas. Não existem *trade-offs*⁴ entre a adaptação ao clima e objetivos de desenvolvimento: as estratégias de adaptação são estratégias de desenvolvimento e vice-versa.

Por fim, cabe observar que, por serem mais desenvolvidos, os países ricos são muito mais resilientes aos eventos climáticos do que os países em desenvolvimento. Isso não quer dizer que não sofram eventuais impactos e muito menos que já estejam preparados para os eventos mais intensos esperados no futuro. Mas na comparação com os países mais pobres, eles já têm uma grande vantagem competitiva e talvez, por isso, tenham condições de focar mais na mitigação do que na adaptação.

⁴ Expressão inglesa que quer dizer que para você ter um, precisa abdicar de um tanto do outro.

Decisões sobre como se adaptar

A adaptação não é um conjunto rígido de ações, e os governos podem escolher a quantidade ou o nível apropriado de adaptação. Uma possibilidade é adaptar-se completamente, para que a sociedade esteja tão bem como estava antes da mudança climática. Isso pode ser impossível de se alcançar e, de todo modo, vai custar muito caro.

No outro extremo, as cidades podem optar por não fazer nada, experimentando o impacto total da mudança climática. No longo prazo, essa opção também deverá se mostrar muito cara, porque os impactos serão muito grandes. Nos casos intermediários, os países investem em adaptação, eliminando os problemas mais ameaçadores e convivendo com algum impacto (tolerável) das mudanças do clima.

ADAPTAR-SE NÃO RESOLVE O PROBLEMA, MAS...

É claro que a adaptação não resolve o problema das mudanças climáticas. Nós podemos fugir de nos adaptarmos a elas, mas não de mitigar emissões – porque somente assim teremos condições de eventualmente resolver o problema. Assim, em princípio, deveríamos apenas investir em mitigação. Mas existem situações em que é mais fácil e barato simplesmente se adaptar do que mitigar.

Repare ainda que, quanto mais investirmos em um desses fatores, menor será o incentivo para investir no outro. Lembrando que os impactos são específicos a cada localidade, pode haver situações em que a adaptação já se faça absolutamente urgente, enquanto essa urgência ainda inexistente em outros locais.

Um exemplo clássico, já mencionado no capítulo 2, são os pequenos Países-Ilhas, principalmente no Oceano Pacífico e as Ilhas Maldivas (no oceano Índico). Por serem muito baixas, essas regiões correm o sério risco de serem inundadas e/ou de viverem sob ameaças constantes de inundações por quaisquer alterações no nível do mar, praticamente inviabilizando a vida local. Para essas ilhas, que já estão à beira dos pontos de inflexão de elevação do nível do mar, a adaptação é urgente, não havendo tempo para esperar eventuais resultados de mitigação.

É de se esperar que quanto mais o tempo passe e quanto mais demorar para o mundo zerar suas emissões de carbono, mais pontos de inflexão de diferentes tipos serão alcançados. Assim, países, cidades e indivíduos vão ter que se dedicar cada vez mais à adaptação, protegendo-se das crescentes ameaças climáticas.

INCERTEZA E RISCOS

A incerteza é uma característica central na adaptação às mudanças do clima – que decorre das incertezas de conhecimento sobre o problema. Ainda que saibamos que as anomalias climáticas já estão se manifestando e se farão sentir cada vez mais intensamente ao longo do tempo, é muito difícil precisar onde e quando os diferentes eventos irão ocorrer. Existem dois tipos de risco inerentes ao problema: a) o de nada se fazer e ser surpreendido lá na frente por fenômenos climáticos de alto impacto, com elevadas perdas e danos; b) empreender medidas de adaptação agora e, ao longo do tempo, perceber que essas medidas foram desnecessárias ou exageradas.

Essa incerteza é crítica para a tomada de decisão em nível local. Para as prefeituras, que já enfrentam enormes desafios para atender às necessidades básicas de serviços das populações, a necessidade de adaptação climática é vista como uma ação de longo prazo, apresentando-se de forma imprecisa por conta das incertezas e da falta de informações específicas. Uma maneira de iniciar a agenda de adaptação sem ficar refém das incertezas é implantar as ações “sem arrependimento” (*no-regret*). São ações viáveis (benefícios maiores que custos) mesmo na ausência das mudanças climáticas.

Como as ações de adaptação são específicas a cada situação, não é possível generalizar medidas apropriadas que se apliquem a todos os contextos. De todo modo, exemplos típicos de ações de adaptação que “se pagam por si próprias”, ou que geram benefícios maiores que os custos mesmo sem considerar a questão climática, incluem a boa manutenção da infraestrutura de uma cidade (bueiros, redes de drenagem, redes de abastecimento de água, ruas), bem como a não permissão de assentamentos em regiões muito vulneráveis, como áreas de baixada, encostas muito íngremes ou sujeitas a deslizamentos.

Outras ações de muito baixo custo – e com resultados de adaptação muito positivos – resultam da implantação de sistemas de alerta em áreas vulneráveis. Esses sistemas, comuns em diversas cidades do Brasil, são ligados às Defesas Civas, que são acionadas nos casos de ameaça iminente, alertando a população local sobre a necessidade de redobrar a atenção ou, se for o caso, de evacuar áreas de risco muito ameaçadas por algum evento.

COBENEFÍCIOS

Da Tabela 6.1 e dos exemplos apresentados, percebe-se que as medidas de adaptação consistem essencialmente de ações conhecidas e “tradicionais”, tomadas pelos respectivos setores responsáveis. Por esse motivo, elas já trazem inúmeros benefícios que não têm necessariamente a ver com

o clima – e esses benefícios muitas vezes são maiores que os próprios benefícios resultantes da adaptação climática.

Um exemplo bastante ilustrativo é o do reflorestamento. Além de aumentar a resiliência das próprias florestas e expandir o habitat de diversas espécies, eles servem também para sequestrar carbono da atmosfera, aumentar a biodiversidade, ajudar na regulação do clima, conservar recursos hídricos, etc. Cada situação é única, mas esses outros benefícios são igualmente muito importantes. No caso dos manguezais, eles também proveem alimentos e outros recursos para as comunidades locais; a urbanização de favelas melhora a drenagem, cria espaços livres e melhora a qualidade de vida da população (Foto 21).

FOTOS 21 > COBENEFÍCIOS

Foto: Helio & Van Ingen [21.A]



Plantio de manguezais no Senegal, projeto da Livelihood Funds, reprodução autorizada pelos autores.

Foto: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro [21.B]



Programa Morar Carioca, Praça do Conhecimento, Favela Nova Brasília, Complexo do Alemão, 2016

HORIZONTE DE PLANEJAMENTO

Algumas ações de adaptação podem ter um alcance de muito longo prazo. Por exemplo, na iminência da elevação do nível do mar, pode ser necessário evitar que novas construções sejam feitas na mesma linha de prédios mais antigos, ou que sua infraestrutura tenha o mesmo tipo de desenho. Essas ações nos códigos de construção, por exemplo, podem ter impacto de centenas de anos! – que é o tempo de vida de um prédio comum. Igualmente, ruas, pontes, tubulações, todos podem e devem ter seus desenhos ajustados, por conta de possíveis impactos climáticos. Ações inviáveis num horizonte de planejamento menor podem perfeitamente se viabilizar, se o horizonte de tempo for maior. Como sabemos, no entanto, é difícil para os governos pensarem em políticas e projetos de muito longo prazo, porque são incompatíveis com seus interesses políticos de curto prazo...

FIGURA 6.2 > TIPOS DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Existem diversas classificações para as medidas de adaptação às mudanças climáticas. Algumas das principais incluem:

• MEDIDAS PROATIVAS E REATIVAS

A experiência com desastres naturais sugere claramente que não é recomendável esperar a ocorrência de desastres para que países, cidades e indivíduos adotem medidas de proteção e defesa contra eventos climáticos extremos. A antecipação e proatividade mostram-se muito mais econômicas e socialmente indicadas do que a remediação. Medidas de manutenção e boa operação de equipamentos e sistemas são medidas preventivas, com diversos cobenefícios.



• MEDIDAS 'FÍSICAS' E DE POLÍTICA

Algumas medidas são capital-intensivas e envolvem obras e construções, como diques e barragens, melhorias das redes de drenagem, evacuação de áreas vulneráveis, etc. No entanto, muitas medidas são “apenas” regulatórias ou institucionais, objetivando induzir mudança de comportamento dos cidadãos. Exemplos incluem zoneamento urbano e do uso do solo, capacitação, treinamento e campanhas de informação, sistemas de alerta e evacuação, etc.



• MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PÚBLICA E PRIVADA

Medidas de adaptação podem ser iniciadas tanto por indivíduos e empresas, como pelas diferentes esferas de governo. Afora as situações de populações muito pobres e sem condições, caberá a cada um de nós eventualmente adaptarmos nossas próprias casas – e não ao governo. Os edifícios, as fábricas, e mesmo escolas e hospitais particulares também terão que adotar suas próprias medidas de adaptação. Ao governo, caberá focar nas áreas públicas, nas infraestruturas das cidades, etc.



Fonte: Elaboração própria

Adaptação nos diferentes setores

Para muitos dos impactos previstos das mudanças climáticas, não existem medidas de adaptação viáveis no curto prazo. A acidificação dos oceanos, por exemplo, vai continuar e provavelmente acelerar, enquanto as concentrações de CO₂ na atmosfera continuarem a subir. Não há nada em princípio que possa ser feito em escala global para reverter isso, a não ser a mitigação. Igualmente, não se pode fazer muito sobre o derretimento do gelo da Groenlândia, dos polos e das geleiras, apesar de ser possível combater as secas esperadas com o derretimento de geleiras, armazenando água em reservatórios, especialmente quando houver populações dependentes dessa água.

Os impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas são igualmente difíceis de se lidar, como por exemplo, no caso das florestas. Em geral, recomenda-se eliminar todo tipo de pressão humana que possa debilitá-las ainda mais e usar técnicas de manejo florestal que aumentem sua resiliência. Mas essas soluções têm seus limites: os animais e grande parte da vegetação deverão encontrar seus próprios mecanismos de defesa e de sobrevivência para se adaptar às mudanças climáticas. Aqueles que não os encontrarem perecerão.

Uma técnica que busca fortalecer a capacidade de adaptação dos ecossistemas é a Adaptação Baseada em Ecossistemas (ABE). “Essa abordagem baseia-se na premissa de que ecossistemas saudáveis fornecem mais possibilidades de respostas a estressores climáticos sendo, portanto, mais resilientes. Assim, além da adaptação, a ABE atua na prevenção, mitigação e amortecimento dos impactos causados pelas mudanças climáticas, podendo complementar ou até mesmo substituir métodos pautados na engenharia. ... Destaca-se que a ABE não é relacionada apenas à Agenda Verde, mas também oferece opções para a adaptação de outros setores, como saúde, transporte e zonas costeiras” [3].

AGRICULTURA

No caso da agricultura, provavelmente o setor mais diretamente afetado pelas mudanças do clima, existe uma certa vantagem que é o fato dos agricultores tradicionalmente “respeitarem” o clima, que é o grande fator determinante para o sucesso da produção.

FOTO 22 > ADAPTAÇÃO AGRÍCOLA: EXPERIMENTOS DE MELHORAMENTO GENÉTICO



Foto: Nivaldo Schultz [F22]

Sistema Orgânico de Produção com Plantas de Cobertura do Solo, Seropédica, 2021

Existem sistemas de informação avançados com dados climáticos e meteorológicos e, mesmo na ausência deles, os produtores se adaptam continuamente às variações e eventos climáticos. As variações que se tornarem permanentes irão ditar as mudanças necessárias na agricultura – incluindo mudanças de culturas (por exemplo, plantar milho no lugar de arroz), integração lavoura-pecuária-floresta, plantios e colheitas em épocas diferentes, irrigação, maior adubação e controle de pragas e doenças. Uma das técnicas mais importantes desenvolvidas no Brasil é o melhoramento genético das sementes, que permite às culturas suportar, por exemplo, maiores temperaturas ou estresses hídricos, garantindo a produção.

CIDADES

Além do papel primordial nos esforços de mitigação, as cidades são objeto de grande preocupação no que tange à adaptação climática, por conta da característica urbana da maioria da população. Não é demais lembrar que são particularmente preocupantes as situações das populações pobres, que têm menor capacidade de adaptação e, concomitantemente, das áreas de baixa renda, favelas, e áreas de risco em geral.

As cidades devem se preocupar inicialmente com os problemas que já enfrentam no presente em relação aos eventos climáticos (seus déficits de adaptação) – chuvas e inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor, doenças de vetores, etc. Algumas medidas são simples e já deveriam ter sido realizadas independentemente do clima como, por exemplo, a boa manutenção e operação dos sistemas de drenagem, abastecimento de água, coleta de esgoto, redes de transmissão de energia, etc. Em muitos casos, é necessária a expansão ou fortalecimento de alguns desses sistemas.

Mas as cidades não necessitam apenas de infraestrutura. As “cidades verdes” são absolutamente a resposta de adaptação desejada ao aquecimento global. O concreto e asfalto, além de esquentarem muito, gerando as ilhas de calor urbano, impermeabilizam os solos, fazendo com que as águas das chuvas escurram de forma acelerada, levando às inundações e enchentes. Se houvesse cobertura vegetal, haveria infiltração de boa parte da água e o escoamento seria também mais lento. Uma parte da água das chuvas pode ser coletada para uso de limpeza nos prédios, por exemplo. Telhados verdes dos prédios, também, ajudam a resfriá-los e podem captar um pouco da água de chuva, minimizando as enchentes. O plantio de árvores e criação de espaços verdes e parques urbanos, além de baixarem a temperatura e sombrear as ruas, são também muito mais agradáveis visualmente. No limite, essas infraestruturas verdes podem terminar por dispensar as tradicionais infraestruturas “cinza”, que, além de feias, são muito caras e intensivas em emissões de CO₂.

FOTOS 23 > CIDADES VERDES

Foto: **Pudelek** [F23.B]

Seattle (Estados Unidos)

Foto: **Thom Milkovic** [F23.A]

Copenhague (Dinamarca)

Foto: **Thomas Quine** [F23.C]

Vancouver (Canadá)

Foto: **Mariordo** (Mario Roberto Duran Ortiz) [23.D]

Curitiba (Brasil)

RECURSOS HÍDRICOS

Tanto a diminuição como o aumento de água nos rios e corpos d'água, que levam ou à falta de água ou às inundações, já vêm demandando atenção dos técnicos da gestão de recursos hídricos. As vazões de muitos rios já começam a apresentar comportamento diferente do histórico – no caso brasileiro, o Rio São Francisco é o mais notável. A gestão dos recursos hídricos é fundamental principalmente nos casos de escassez, para garantir o equilíbrio entre todas as demandas. Algumas delas são: suprimento das necessidades da vegetação, dos ecossistemas e dos animais, volumes suficientes para permitir a navegação – quando for o caso – abastecimento de água urbana, indústrias, geração de energia elétrica e, sobretudo, irrigação agrícola.

É evidente que cada caso é diferente: alguns usuários têm direitos legais sobre o uso da água, alguns são usuários “tradicionais”, alguns têm poder político e se julgam no direito de uso, outros entendem que o abastecimento urbano deve ser priorizado, enfim, há muitos interesses conflitantes, cuja administração nem sempre é fácil.

No caso da falta de água em uma grande região metropolitana, por exemplo, como a vivida pela cidade de São Paulo em 2014-2016, não é fácil simplesmente decretar a interrupção do fornecimento de água, pois as consequências são imprevisíveis e muito graves. De todo modo, a adaptação às variações futuras de disponibilidade de recursos hídricos envolverá tanto a boa gestão da água entre consumidores, como possíveis medidas de proteção de mananciais, limpeza dos rios, construção de reservatórios para armazenar água ou controlar vazões, educação e conscientização dos usuários, emprego de tecnologias eficientes de uso (na irrigação por exemplo, no nosso consumo doméstico, etc.), entre outros.

ZONA COSTEIRA

A elevação do nível do mar é, sem dúvida, uma das consequências mais ameaçadoras do aquecimento global. É quase impossível admitir que as praias e zonas costeiras do mundo todo fiquem um dia submersas. Edifícios ao longo de extensas faixas costeiras, bem como moradias à beira-mar, que sempre foram “o sonho de consumo” de todos nós, ruas, parques, diversas infraestruturas construídas no litoral ou mesmo abaixo do nível do mar, tudo poderá ser inundado. É claro que “brigar” contra o mar não parece muito viável, exceto nos casos em que existe muito a perder.

As medidas pesadas de engenharia incluem a construção de quebra-mares, muros de contenção, elevação de áreas construídas, incluindo ruas e infraestruturas, de maneira a tornar construções à prova de inundações de curta duração. O engordamento de praias e a recomposição da berma (reservatório de areia, localizado na parte superior da praia) resolvem o problema de regiões mais expostas a ressacas e à elevação do nível do mar, apesar de exigirem a disponibilidade de material para fazê-lo.

Novas normas e regulamentos de construções à beira-mar, associadas ao zoneamento de sua localização são importantes e devem ser implementadas de imediato, com vistas a minimizar problemas futuros. Cabe lembrar ainda que medidas de reflorestamento e plantio de manguezais e vegetação costeira são ações que trazem grandes benefícios ecológicos.

FOTO 24 > PROTEÇÃO COSTEIRA, ILHA DE MALÉ, MALDIVES



Foto: Shaheer Ilyas [F24]

Ilha Malé, capital das Maldivas

SAÚDE

No caso da saúde humana, as medidas de adaptação passam basicamente não só pelo fortalecimento dos sistemas de saúde geral das cidades e seus sistemas de atendimento a emergências, como também pela adoção de medidas de melhoria de hábitos e práticas da população. Os centros de saúde deverão atentar para aumentos de casos de vítimas de calor extremo, desidratação, e doenças cardiovasculares e respiratórias, principalmente em idosos. Também deve-se retomar o cuidado com aumentos de doenças transmitidas por vetores. Campanhas de informação, redes de atendimento comunitário, sistemas de alerta, plantio de árvores, melhoria dos sistemas de abastecimento de água, coleta de esgoto e drenagem pluvial são medidas preventivas também fundamentais para o setor de saúde.

VII.

NEGOCIANDO SOLUÇÕES PARA O AQUECIMENTO GLOBAL

Até este ponto, deve estar mais do que claro que o aquecimento da Terra e as decorrentes mudanças climáticas são problemas absolutamente globais, em que as ações (emissões) de qualquer indivíduo, empresa, cidade ou país contribuem para o problema. Uma tonelada de CO₂ emitida por uma grande fábrica na Alemanha tem o mesmo efeito de uma tonelada emitida pelos carros de uma cidade da China. Por esse motivo, a solução do aquecimento global terá que necessariamente envolver todos os países do mundo – e isso é muito complexo.

Em primeiro lugar, todos os países devem ter o mesmo entendimento sobre o problema, tendo como premissa básica o respeito às evidências técnicas e científicas sobre suas causas, seus efeitos e sobre possíveis soluções.

Em segundo lugar, todos têm que estar conscientes de que o esforço é global e comum a todos os cidadãos do mundo, ainda que as responsabilidades sejam diferentes. Por mais que os países ricos, indivíduos ricos, a China, os desmatamentos ou a queima de carvão e petróleo sejam os maiores responsáveis, todos nós estamos no mesmo barco e, se esse barco afundar, todos naufragamos.

Nós podemos até ficar apontando dedos para esses maiores responsáveis, mas, mesmo assim, é do interesse de todos resolver o problema. A postura de que nada fiz – ou pouco fiz, pois os ricos é que têm que resolver o problema – representa, simplesmente um tiro no próprio pé. Até porque são justamente os países e os cidadãos ricos do mundo os mais preparados para lidar com as mudanças climáticas.

Por responsabilidades diferentes, entende-se basicamente a obrigação de quem deve pagar a conta. Mesmo sabendo de onde vieram as emissões desde que elas começaram, existem muitos meandros e pequenas questões sobre

as quais poderíamos nos debruçar longamente para atribuir responsabilidades. E isso nunca chegaria a um fim, porque sempre existirá uma leitura diferente sobre o problema, suas causas e sobre o que é justo para solucioná-lo. Se os países entrarem nessa “judicialização” e tentarem contestar todas as decisões tomadas pelo grupo, as negociações não andam – e a solução para o problema só atrasa, o que é ruim para todos.

Por fim, o interesse comum e a urgência de resolver o problema são as grandes linhas mestras, ainda que as negociações climáticas envolvam interesses muito distintos entre países, setores econômicos, cidadãos de todo mundo. Qual a posição dos países cujas economias dependem fundamentalmente das exportações de petróleo e gás? Como ficam as empresas desses setores?

Os países ricos entendem sua responsabilidade maior sobre o problema: mas será que vão mesmo pagar a conta? O que acontece quando um país muda de governo, e o novo resolve não assumir os compromissos de seu antecessor? E ainda, o que fazer quando um país, como foi o caso dos Estados Unidos, decide sair das negociações globais? Como resolver o problema sem eles?

A maior parte dessas indagações permanece sem resposta clara e, por esse motivo, as negociações avançam aqui, recuam ali, mas progridem. Ao mesmo tempo, sem sombra de dúvida, a velocidade e os resultados em termos de reversão do aquecimento global, são ainda muito insatisfatórios. O mundo já passou do ponto em que qualquer emissão de carbono para a atmosfera seria aceitável. E pelo andar das negociações, nós ainda estamos muito longe de isso acontecer.

O processo de negociação global: a UNFCCC, Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris

Foi à época da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro, que as evidências científicas sobre o aquecimento global se tornaram mais consistentes e o assunto entrou na pauta de prioridades no cenário político mundial. A Conferência levou à criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que é um tratado internacional cujo objetivo é a estabilização da concentração dos GEE na atmosfera. Na ECO-92, ficou estabelecido que os países se reuniriam anualmente para debater os problemas do clima nas Conferências das Partes (COPs), que são reuniões com todos os países membros. As COPs são até hoje o mecanismo formal das negociações do clima.

FOTO 25 > CONFERÊNCIA SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA, BONN, 2015



Foto: IISD/ENB [FZ5]

O processo de discussão dos diversos temas tratados nas COPs obedece a um padrão rígido, seguindo protocolos definidos pela ONU – e é bastante lento. Além disso, como existem muitos temas que poderiam ser discutidos, há uma seleção cuidadosa. O processo é acompanhado pelo Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico da Convenção (SBSTA, da sigla em inglês), que ‘mastiga’ o conhecimento e a informação científica e traduz em necessidades políticas da Conferência das Partes. Os países levam o que é acordado nas COPs e fazem seu dever de casa [1].

O primeiro acordo substantivo da UNFCCC foi o Protocolo de Quioto. Assinado em 1997, ele demorou até fevereiro de 2005 para finalmente entrar em vigor. Para o cumprimento de sua primeira fase, entre 2008 e 2012, 37 países industrializados e a Comunidade Europeia comprometeram-se a reduzir em 5% suas emissões de GEE em relação aos níveis de 1990. Na segunda fase, de 2013 a 2020, as reduções deveriam ser de pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990. Cada país negociou sua própria meta de redução em função da sua capacidade de atingi-la. Cento e noventa e dois países assinaram o Protocolo – o Brasil o fez em agosto de 2002. Dos países ricos, somente os Estados Unidos não o ratificaram. No entanto, continuaram com responsabilidades e obrigações definidas pela Convenção.

O Protocolo de Quioto dividiu os países em dois grupos: os membros da OECD (ricos) somados aos países do antigo bloco da União Soviética – todos chamados países do Anexo I –, e os demais. Enquanto os países do Anexo I teriam compromissos obrigatórios de emissões máximas para o ano de 2010,

os demais não seriam obrigados a promover reduções. Nesse momento, iniciou-se um embate entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, que resultou na saída dos Estados Unidos do acordo, alegando desvantagens competitivas de crescimento econômico, em detrimento dos países em desenvolvimento – de olho notadamente na China [2] e [3].

A saída dos Estados Unidos enfraqueceu a ação e a credibilidade do Protocolo de Quioto. Somente anos depois foi firmada, em 2015, na COP de Paris, uma nova estratégia de mitigação, conhecida como o Acordo de Paris. Seu objetivo central é reforçar a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, limitando o aumento da temperatura global neste século “bem abaixo de 2 graus Celsius em relação aos níveis pré-industriais, e prosseguir os esforços para limitar ainda mais o aumento da temperatura a 1,5 grau Celsius”. O Acordo passa a dar maior atenção à questão da adaptação, reforçando a capacidade dos países para lidar com os impactos das mudanças climáticas, incluindo alguns fluxos financeiros.

Um dos marcos principais do Acordo de Paris foram as NDCs (Contribuições Nacionalmente Determinadas, da sigla em inglês). As NDCs representam o quanto cada país estaria espontaneamente disposto a reduzir suas emissões de carbono. Somando todos os esforços, seria possível, em princípio, alcançar as metas desejadas de redução. Os países se comprometem a reportar anualmente suas emissões e os esforços despendidos para esse fim. A esmagadora maioria dos países ratificou o Acordo de Paris – 186 submeteram suas NDCs – e ele entrou em vigor apenas 30 dias depois de assinado.

O avanço do Acordo de Paris em relação ao Protocolo de Quioto é que todas as Partes (países desenvolvidos e em desenvolvimento) estabeleceram metas de mitigação nacionais. As metas são para 2030, com vistas a que os países se tornem carbono zero em 2100. No entanto, também o Acordo de Paris teve seus entraves. Dois principais resultam do fato de que a soma das reduções propostas pelos países, através de suas NDCs, seria insuficiente para se alcançar um aquecimento de 2°C – e muito menos de 1,5°C. As ambições somadas das NDCs levam a um nível de aquecimento global entre 3° e 4°C!

Somado a esse fator, o Acordo de Paris não é vinculante, o que vale dizer que nada acontece se algum país descumprir suas próprias metas de NDC – não existem sanções legais que possam ser impostas pelos demais países, e as metas simplesmente deixam de ser alcançadas. Em parte, como resultado de todos esses fatores, as emissões da queima de combustíveis fósseis continuaram crescendo, mesmo após o Acordo.

Mercados de carbono, reflorestamento e REDD

O Acordo de Paris reconhecidamente incentivou a criação de diversos mecanismos para facilitar as reduções de emissões por todos os países, para criar capacidade nos países menos desenvolvidos, para ajudá-los com seus esforços de adaptação e também para viabilizar o alcance das metas. Na verdade, o Acordo apenas deu um impulso maior a diversas iniciativas que já haviam sido lançadas no contexto da UNFCCC desde sua criação.

No capítulo 5, por exemplo, vimos que instrumentos econômicos podem ajudar a induzir pessoas e empresas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. Os mercados, operando “corretamente”, são de fato uma maneira eficaz e barata de se alcançar a redução de emissões de GEE. A ideia, lançada durante a ECO 92, segue evoluindo, sendo formalizada através de diversos dispositivos definidos nas COPs. Três principais mecanismos de mercado vieram a apoiar ações e acordos entre os países, notadamente o Protocolo de Quioto. O Protocolo definiu metas de redução, e os mecanismos de mercado vieram agilizar e baratear seu alcance [4].

Os três mecanismos principais são o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os três se baseiam no princípio de que controlar emissões pode ser muito mais barato para um país A do que para um país B. Ao invés de exigir que ambos reduzam a mesma percentagem, digamos 30%, pode ser mais barato A controlar 50% e B controlar 10%. Eles negociam o pagamento de um para o outro, ou uma compensação, o que faz com que o controle fique mais barato no todo. Isso gera um Comércio de Emissões.

Outra maneira é definir uma meta conjunta para os dois países, de modo que eles negociem a maneira mais barata de atingir a meta conjuntamente (Implementação Conjunta). O terceiro mecanismo vem do Protocolo de Quioto, por meio do qual países em desenvolvimento não têm metas próprias de redução de emissões. Mas eles frequentemente podem reduzi-las de forma mais barata que os países mais ricos – particularmente controlando desmatamentos e conservando florestas. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo permite aos países ricos pagarem aos países em desenvolvimento para implementar projetos de redução de emissões, que são então reconhecidos para as metas de Quioto.

Além desses mercados regulados e oficiais, existe um mercado voluntário, em que empresas, ONGs, instituições, governos ou mesmo cidadãos tomam a iniciativa de reduzir as emissões voluntariamente. Essas reduções geram créditos de carbono e são auditadas por uma entidade

independente do sistema das Nações Unidas, ainda que os créditos não contem como redução “oficial” de emissões de carbono dos países [4]. Sua operação é mais simples e inclui o mecanismo de REDD+, de muito interesse para o Brasil – Box 7.1.

BOX 7.1 > **Mecanismos REDD e REDD+, e o reflorestamento**

A palavra REDD vem da sigla em inglês para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal. Sua ideia básica é compensar os países dispostos a reduzir as emissões por desmatamento – considerando não apenas a importância das emissões globais deles advindas, mas também o fato de as florestas abrigarem grande parte da biodiversidade do planeta, cumprirem um papel fundamental numa série de serviços ambientais e climáticos, além de os países onde ocorrem os desmatamentos – o Brasil sendo o mais importante – necessitarem de financiamento para controlá-los.

A ideia central do REDD de quantificar emissões que ocorreriam se houvesse um desmatamento é um tanto controversa, na medida em que ela “ainda não ocorreu”. Por exemplo, um país como o Brasil poderia, em princípio, declarar que toda a Amazônia poderia ser desmatada e que, portanto, deveria ser compensado para fazer face a sua conservação. Devido a esse entendimento, houve certa relutância de se utilizar formalmente o REDD na contabilidade das metas globais.

Ao mesmo tempo, no entanto, todos concordam que é fundamental incluir o desmatamento e a conservação de florestas nas tentativas de diminuir as emissões globais. A primeira versão do que viria ser o REDD foi apresentada em 2003 na COP-9, em Milão, sendo formalizado pela UNFCCC em 2013. Os países em desenvolvimento detentores de florestas tropicais, que conseguirem reduzir suas emissões nacionais de desmatamento, recebem compensação financeira internacional correspondente. O conceito de REDD foi ampliado e é conhecido como REDD+: o sinal “+” inclui o papel da conservação, do manejo sustentável e do aumento de estoques de carbono nas florestas, indo além do desmatamento evitado e da recuperação de florestas. O REDD+ segue ativo, e o Brasil tem sido um dos maiores beneficiários, com pagamentos recebidos pelo alcance de resultados comprovados de conservação.

Ainda no caso brasileiro, a restauração de vegetações nativas é uma das estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e de

Continua na próxima página.

Continuação

cumprimento do Código Florestal. Em 2017, o Governo estabeleceu o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), que visa justamente a incentivar e a promover a restauração florestal e de vegetação nativa no país. Embora o objetivo do Plano não seja especificamente o de mitigar o aquecimento global, de todo modo ele ainda não ganhou a prioridade nas agendas econômica e ambiental do país, devido à não existência de uma via clara de financiamento.

Fontes: [5] e [6]

A economia política da negociação global: países ricos x pobres

As negociações do clima se inserem em um contexto internacional repleto de questões delicadas e cheias de interesses e de sensibilidades. Seguramente a mais fundamental resulta das disparidades entre os países ricos e pobres. Mesmo em se tratando de um problema diferente e único, no qual todas as partes têm o mesmo interesse – diminuir rapidamente as emissões de GEE e minimizar o aquecimento global – a maneira como isso deve ser alcançado e qual o esforço justo de cada país é uma das questões mais difíceis da agenda política e econômica global.

Até que ponto os países ricos irão pagar a conta e ajudar os mais pobres a se adaptar e também a mitigar suas emissões? Tendo mais recursos, os países ricos conseguirão reduzir mais rapidamente suas emissões, virando a balança de responsabilidades pelo problema. A China já é hoje, de longe, o maior emissor. Em meados dos anos 1990, as emissões anuais dos países ricos ficaram menores do que a soma dos demais países, sendo que, brevemente a soma das emissões acumuladas dos países em desenvolvimento será maior que a dos países ricos. O poder econômico também permite aos países ricos impor sanções comerciais e de outros tipos aos países mais pobres, tornando o problema do aquecimento global mais um tema de disparidade entre países e entraves ao desenvolvimento.

Os países ricos também são os que, de maneira geral, detêm maior conhecimento sobre o problema, o que lhes dá vantagem sobre os países pobres em termos de buscar estratégias de mitigação e de adaptação, de se antecipar aos problemas, de projetar cenários futuros, e de buscar tecnologias adequadas a suas necessidades específicas. São eles que, a grosso modo, informam o processo global das negociações, já que, nos órgãos técnicos assessores, há maior presença e influência dos países ricos [7].

A redução de emissões de GEE não será evidentemente alcançada “colocando-se filtros nas chaminés”. A solução do aquecimento global demanda mudanças nos hábitos de consumo, bem como nos sistemas de produção, de comércio e de finanças de todo o mundo. Serão necessários elevados investimentos em tecnologias e mudanças de comportamento de populações inteiras, o que pressupõe a conscientização sobre um problema de extraordinária importância e complexidade em países que sequer conseguem garantir o sustento mínimo de bilhões de seus habitantes.

Esse esforço é muito superior à capacidade atual dos países em desenvolvimento, especialmente dos mais pobres. E não se trata unicamente de transferir recursos, mas de direcioná-los corretamente, de alavancar o desenvolvimento mais geral, e de proteger e criar mecanismos próprios de adaptação para pessoas e países.

As diferenças de responsabilidades e de capacidades entre países ricos e pobres é reconhecida pela UNFCCC, que adotou o princípio das “responsabilidades comuns, mas diferenciadas”. Como o nome diz, todos os países se comprometem com esforços de mitigação, mas a responsabilidade dos países ricos é maior, razão pela qual seus esforços devem ser maiores. O Princípio é reconhecido por todos os países, mas como traduzi-lo em termos concretos de redução de emissões é que é o problema.

É importante notar também que em cada um dos grupos existem sub-grupos com interesses e posturas completamente distintos. Entre os países ricos, por exemplo, a Comunidade Europeia tem se colocado bastante à frente dos demais, enquanto os Estados Unidos, em particular, ocupam uma posição conservadora dissonante do processo global de negociação. O país que é a segunda maior economia do planeta, com as maiores emissões históricas e a maior emissão per capita de GEE no mundo, simplesmente se recusa a participar ativamente das negociações globais. Sua importância dentro do conjunto de países, juntamente com sua ausência dos grandes acordos globais, corta drasticamente o incentivo dos demais países de colaborarem e de fazerem a sua parte – tanto ricos como pobres⁵.

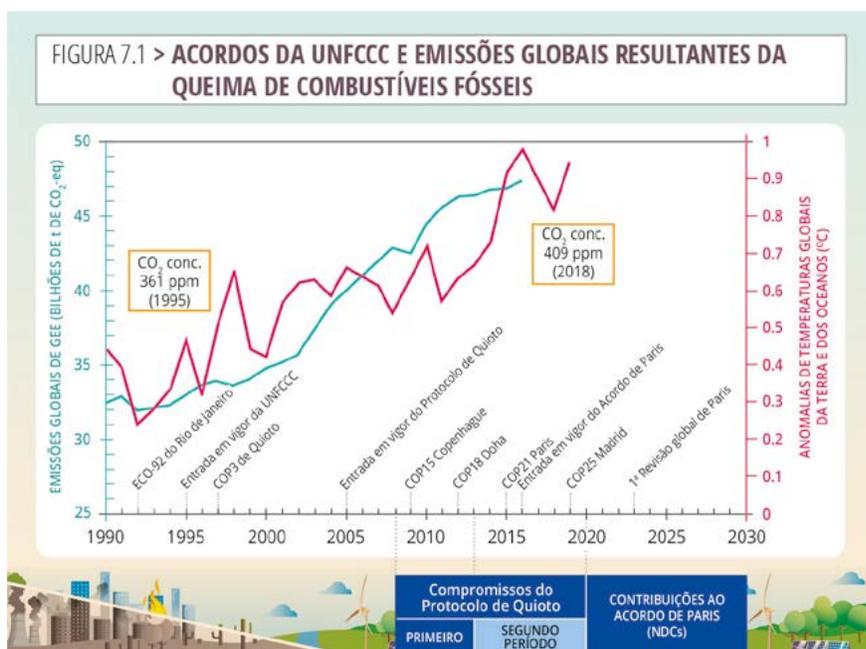
Quanto à UNFCCC enquanto instituição principal na negociação climática, sua lógica e mecanismos para tentar resolver o aquecimento global seguem um padrão parecido com o de outras convenções internacionais,

⁵ Entre o livro ter sido escrito e sua impressão, ocorreu a eleição presidencial nos Estados Unidos. A troca do Presidente Trump pelo novo Presidente Biden é muito promissora e espera-se uma forte guinada na política climática do país. As primeiras ações e decretos assinados por Biden sugerem que vão melhorar significativamente a posição e ações climáticas dos Estados Unidos, o que, provavelmente, dará um impulso a todo processo global de combate às mudanças do clima

ignorando a particularidade da agenda climática e sua urgência. O processo de tomada de decisão, por consenso entre todos os países, parece justo e democrático, mas na verdade, pelo seu tamanho, não tem a agilidade necessária para tomadas de decisão, além de ser “embrulhado” em uma burocracia extraordinária. “As dificuldades que a comunidade internacional enfrenta atualmente são consequência da sua incapacidade de responder eficazmente ao problema posto em debate [há cerca de 40 anos]. O não enfrentamento da crise deposita um desafio ainda mais complexo a uma comunidade que se tem revelado inábil em cooperar de maneira efetiva até o presente” [8].

A própria ideia de tentar abordar o aquecimento global através do sistema de agências multilaterais hoje evidencia-se possivelmente inadequada. “Elas imobilizam a tomada de decisão em temáticas conflituosas e que demandam mais que o mínimo denominador comum. Para lidar com um problema tão complexo como a mudança do clima, as organizações internacionais tradicionais não parecem oferecer o melhor arranjo”[8].

O fato é que hoje temos um sistema de negociação global amplamente incapaz de responder de forma rápida aos desafios urgentes impostos pela questão climática. O crescimento das emissões de GEE desde a criação da UNFCCC, sugere que os acordos firmados não têm realmente surtido efeito visível, ao menos de curto prazo – Figura 7.1.



Os países já entendem que o processo da UNFCCC é por demais lento. Empresas, pessoas e a sociedade civil de maneira geral, cobram iniciativas alternativas de seus governos. Fora do Sistema ONU, o G-20, que é o grupo dos países mais ricos do mundo, tem colocado a questão climática no topo da agenda de discussões. Por sua vez, o Fundo Monetário Internacional (FMI) vem, há algum tempo, internalizando os desafios climáticos nas análises de políticas macroeconômicas. Ministros da Economia do mundo inteiro falam hoje da questão climática, derrubando o velho dogma de que a proteção ambiental vai contra o desenvolvimento econômico. Enquanto isso, os grandes bancos de desenvolvimento internacional – o Banco Mundial e os bancos de desenvolvimento regional como o BID – têm elevado todo ano o financiamento de projetos relacionados ao clima, têm reduzido ou eliminado o financiamento de usinas e indústrias movidas a carvão mineral, além de uma série de outras medidas em apoio ao Acordo de Paris.

A debilidade da governança internacional sobre a crise climática tem levado ao surgimento de diversos tipos de iniciativas que não são multilaterais e que não são necessariamente tomadas entre governos de países. Ao contrário, boa parte delas ocorre entre cidades, empresas, setores econômicos, ou em torno de temas como florestas, eficiência energética, transportes, etc. Alguns exemplos são apresentados no Box 7.2.

BOX 7.2 > **Iniciativas climáticas além da UNFCCC**

Iniciativas privadas. A BlackRock, a maior gestora mundial de investimentos, com mais de US\$ 7,4 trilhões aplicados, anunciou autonomamente que deixará de investir em empresas que obtêm um quarto ou mais de suas receitas associadas a ações envolvendo o uso de carvão mineral. Jeff Bezos, fundador e CEO da Amazon, anunciou a doação de US\$ 10 bilhões para ajudar no combate ao aquecimento global. A Microsoft também prometeu o investimento de US\$ 1 bilhão nos próximos 4 anos, por meio de seu Fundo de Inovação Climática.

A DivestInvest é uma rede global, criada para desinvestir em atividades intensivas em CO₂ e para investir em setores com energia limpa e soluções climáticas. A rede é composta por fundos de pensão, indivíduos, organizações religiosas, ONGs, dentre outros. Até maio de 2018, a DivestInvest contava com mais de 800 organizações, com mais de US\$ 6 trilhões de ativos, comprometidas a desviar o capital das empresas de combustíveis fósseis. A ambição é ampliar para US\$ 14 trilhões em 2040, com 1.200 organizações e 58 mil indivíduos.

Continua na próxima página.

Iniciativas no âmbito das Nações Unidas. Agências do sistema da ONU também têm buscado minimizar as emissões de GEE de suas atividades-fim. As duas primeiras são da Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) e da Organização Marítima Internacional (IMO). Enquanto a ICAO busca identificar mecanismos para diminuir as emissões do transporte aéreo, responsável por 2,2% das emissões globais, a IMO cuida do transporte marítimo, responsável por 2,9% delas.

Adendo de Kigali. O Protocolo de Montreal foi um acordo entre todos os países do mundo quando se descobriu que o gás então usado nos refrigeradores (os clorofluorcarbonos – CFCs) estavam destruindo a camada de Ozônio. O Protocolo foi um sucesso e rapidamente os CFCs foram banidos e substituídos pelos hidrofluorcarbonos (HFCs). O problema é que os HFCs – descobriu-se depois – acarretam um enorme efeito estufa – mais do que 2 mil vezes o do CO₂. Então, é preciso também substituir esses HFCs!!! O Adendo de Kigali complementa o previsto no Protocolo de Montreal, evitando agora uma substância causadora de efeito estufa.

Setor florestas. A *Forest Carbon Partnership Facility* (FCPF), tem como objetivo amparar os países na implementação dos projetos de REDD+ através de assistência técnica e financeira. Lançado em 2008, o FCPF está atualmente presente em 47 países em desenvolvimento na África, Ásia e América Latina. Os fundos já passam de US\$ 1,3 bilhão, provenientes principalmente de países europeus, Japão e Estados Unidos.

Rainforest Alliance. É uma organização não governamental que tem o objetivo de instigar a conservação da biodiversidade e das florestas em pé, melhorar a subsistência dos agricultores e comunidades florestais, promover seus direitos humanos e ajudá-los a mitigar e se adaptar à crise climática. A iniciativa possui mais de 30 anos de existência e tem um alcance global. Sua certificação sustentável tem ajudado a melhorar o comportamento dos 170 países onde está difundida.

Cidades. *C40 Cities Climate Leadership Group.* O C40 é uma rede de cidades influentes que tomam medidas para enfrentar a mudança climática apoiando o compartilhamento de conhecimento, pesquisa e comunicação e provendo assistência, entre outras ações. Suas 97 cidades integrantes – dentre elas, Londres, Nova York, Paris, Pequim, São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Curitiba – concentram 25% do PIB global. O C40 tem ajudado a colocar as cidades numa posição de liderança no universo de iniciativas climáticas.

Continuação

Climate Action 100+. É uma iniciativa de cinco anos, liderada por investidores para engajar emissores sistêmicos de GEE e outras empresas em toda a economia global, identificando oportunidades significativas para conduzir a transição de energia limpa e alcançar as metas do Acordo de Paris. Lançada em dezembro de 2017 – com 225 investidores e \$26 trilhões em ativos sob gestão – a Climate Action 100+ é agora apoiada por mais de 360 investidores com mais de \$34 trilhões em ativos sob gestão. O grupo espera que seus membros possam pressionar os conselhos corporativos a mudar e trabalhar para reduzir suas emissões líquidas a zero até 2050, um pedido com grande potencial de alterar a vida de muitas das maiores empresas do mundo.

TCFD do G-20. A Força Tarefa de Divulgação Financeira Relacionada ao Clima (TCFD, da sigla em inglês) foi estabelecida pelo Conselho de Estabilidade Financeira (FSB), que é um grupo internacional constituído por ministros da economia e presidentes de Bancos Centrais para monitorar o sistema financeiro, a pedido do G-20, tendo como presidente o político e bilionário americano Michael Bloomberg. Apoiado em sua maioria por instituições financeiras, através de uma série de diálogos entre os setores, financeiro ou não, o Consórcio objetiva aprofundar a discussão sobre a divulgação eficaz e eficiente das informações relacionadas ao clima e seu uso pelas instituições financeiras.

Iniciativas no Brasil

Declaração de ex-ministros da Economia e ex-presidentes do Banco Central do Brasil. Numa iniciativa única e inédita, essas autoridades assinaram, em julho de 2020, uma carta intitulada “Uma Convergência Necessária: por uma Economia de Baixo Carbono”. A Carta defende que “critérios de redução das emissões e do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera, e de resiliência aos impactos da mudança do clima sejam integrados à gestão da política econômica”. As quatro linhas de ação recomendadas são: a) apoiar investimentos públicos e privados direcionados à transição da economia brasileira para um padrão de emissões líquidas de carbono zero; b) zerar o desmatamento na Amazônia e no Cerrado; c) aumentar nossa resiliência climática, que também traz um grande dividendo social, já que os extremos climáticos tendem a atingir desproporcionalmente as populações mais pobres; e d) impulsionar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Continua na próxima página.

Continuação

Governadores pelo Clima. Governadores de 18 estados brasileiros assinaram uma declaração de compromissos em relação à sua atuação na questão climática, reforçando que uma economia de baixo carbono é compatível com o crescimento econômico. A iniciativa suprapartidária objetiva agregar ideias, forças e conhecimentos relativos às mudanças climáticas, definindo o papel que os estados podem desempenhar na NDC brasileira, tanto na mitigação quanto na adaptação. A iniciativa tem promovido a criação ou reativação de fóruns estaduais de mudanças climáticas, e sua estratégia é atrair investimentos e contribuir para uma conexão direta entre estados e agências internacionais de financiamento.

Investidores pelo Clima. Criado em 2019 pela consultoria Sitawi, em parceria com o Instituto Clima e Sociedade, o movimento Investidores pelo Clima (IPC) está empenhado em reduzir as pegadas de carbono das carteiras de investimento, conscientizando os investidores sobre a importância da variável climática nas suas aplicações. Nesse sentido, o IPC já conta com a gestão de ativos de mais de R\$ 2 trilhões e com o compromisso de quatro grandes gestoras nacionais: JGP, BTG Pactual, Itaú e Santander.

Fonte: [10] e sites de cada uma das iniciativas

Dois críticas fundamentais adicionais ao sistema existente de negociações

Além das críticas ao Acordo de Paris e ao processo burocrático da UNFCCC, existem duas outras críticas que julgamos importantes para o processo de negociação. A primeira é que qualquer acordo para reduzir emissões teria que tomar como base o orçamento de carbono.

Como apresentado no capítulo 3, o orçamento de carbono indica quanto ainda poderemos emitir até que a concentração de GEE na atmosfera atinja o nível correspondente a 1,5°C ou 2°C de aumento de temperatura na Terra. Esses números são razoavelmente bem conhecidos. Portanto, todo e qualquer acordo entre países que queira realmente alcançar essas metas, ou quaisquer outras, teria que tomar o orçamento de carbono como ponto de partida. Sabendo quantas toneladas ainda se poderiam emitir até 2050, por exemplo, os governos negociariam a emissão anual de cada país.

Esta conta, tão difundida na literatura sobre o clima, nunca foi considerada seriamente nas Convenções Climáticas. Por que isso? Qualquer que seja a resposta, fica clara a ausência de vontade e de determinação para de

fato se limitarem as emissões. É evidente que o problema passaria a ser a determinação de quem poderia emitir, quanto e em que período. Essa seria outra disputa enorme entre países ricos e pobres, mas, ao contrário do sistema atual, ela não envolveria metas incertas, contribuições “possíveis” ou “aceitáveis” ou consensuadas – e sim o que, efetiva ou legalmente, cada um poderia ainda emitir.

A outra crítica refere-se à causa fundamental das emissões terem origem no consumo de bens e serviços, principalmente pelas pessoas ricas. O consumidor rico, independente do país em que viva, emite muito mais GEE que um cidadão pobre. Nesse sentido, as metas de redução de emissões têm que ser, direta ou indiretamente, voltadas ao alto nível de consumo das pessoas ricas e de classe média-alta no mundo todo. Como são feitas entre países, as negociações ofuscam as grandes diferenças de consumo dos cidadãos dentro de cada país. Quando o governo do Brasil, por exemplo, alega que o País deve ter metas menores de redução de emissões por não ser um país tão rico, na verdade está protegendo o consumo dos cidadãos ricos do Brasil, que também têm que pagar a conta.

É claro que seria muito difícil criar um esquema de negociação entre pessoas ricas e pobres de todo o planeta. O único sistema que permitiria isto seria a precificação do carbono – discutida no capítulo 5. Se todos os bens e serviços embutissem um preço correspondente ao seu conteúdo de carbono, os consumidores ricos pagariam bem mais que os pobres, já que consomem mais. Os governos, por sua vez, poderiam compensar os mais pobres pelo aumento causado nos preços dos produtos, de modo que apenas os realmente ricos fossem penalizados – pagando a conta do aquecimento global.

O retrocesso do governo brasileiro na negociação global a partir de 2019

O Brasil tem tido uma atuação destacada nas negociações do clima. Desde que sediou a ECO-92, o país assumiu certa liderança entre os países em desenvolvimento quanto à questão da sustentabilidade de maneira geral e, em particular, nas negociações do clima que se seguiram. Mesmo para os países ricos, as posições brasileiras tradicionalmente tiveram certo peso e importância, talvez pelo fato de o país ser, de alguma forma, uma síntese do mundo, com suas diferenças de populações, de regiões e de culturas.

Esse destaque não quer dizer que o Brasil tenha assumido posição de vanguarda na agenda do clima. Nos temas em que o país tem vantagem comparativa, especialmente no setor de energia, o Brasil assumiu posições

mais avançadas. Entretanto, no caso da proteção de florestas, onde passa a ser um grande vilão, nossa posição tem sido bastante conservadora [11].

O Brasil sempre foi objeto de muita atenção, ou preocupação mundial no que concerne a suas florestas – em particular a Amazônia. Como é sabido, essa preocupação envolve paradoxos gigantescos: o “valor” do potencial econômico dos recursos naturais e serviços ambientais da floresta, a soberania brasileira sobre a região e sobre esses recursos naturais, o bioma como patrimônio da humanidade, os interesses das diversas populações locais, sua importância como uma região de fronteira– frágil em muitos aspectos – bem como o legítimo interesse de todas as pessoas do planeta em proteger esse patrimônio simbólico, que representa a proteção do meio ambiente e do planeta em sua forma mais geral e abrangente possível.

As posições brasileiras, como as dos demais países, nas negociações do clima, sempre foram pautadas por interesses comerciais e estratégicos no quadro da política internacional. Por exemplo, ambições do país de ser membro permanente do Conselho de Segurança da ONU, ou necessidade estratégica de alinhamento aos Estados Unidos, União Europeia e China, nossos principais parceiros comerciais, ou ainda alinhamento com os países mais pobres. Interesses que, enfim, extrapolam a questão do clima e que pautam, em boa medida, as posições do Brasil. A posição brasileira é determinada também pela percepção do governo sobre interesses econômicos e geopolíticos sobre a Amazônia. O que isso significa para diferentes atores brasileiros não é claro – e certamente não é consensual.

De todo modo, o Brasil sempre entendeu os enormes desafios e perigos do aquecimento global, e sua obrigação de dialogar com os demais países na busca por soluções. Como a grande maioria dos países, o Brasil definiu as metas de sua NDC para a negociação de Paris, e essas metas viraram lei. Apesar de não serem vinculantes entre os países, elas são vinculantes para a Nação – consubstanciada em uma lei que o governo tem que se empenhar para fazer cumprir. Com sua NDC, o Brasil se comprometeu a reduzir até 2025 suas emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, e 43% em 2030 [12].

Para garantir o cumprimento das metas, o governo fez as contas do que teria que ser feito, considerando a viabilidade das ações e seus custos. As principais ações e metas indicadas são [13]:

- Fortalecer o cumprimento do Código Florestal;
- Restaurar 12 milhões de hectares de florestas e 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030;

- Alcançar desmatamento ilegal zero na Amazônia brasileira;
- Incrementar 5 milhões de hectares de sistemas de iLPF (integração Lavoura-Pecuária-Floresta) até 2030;
- Garantir 45% de energias renováveis na matriz energética brasileira em 2030 (no mínimo 28% sem a hidroeletricidade) e 18% de bioenergia sustentável;
- Garantir 23% de fontes renováveis na geração de energia elétrica em 2030, excluindo a hidroeletricidade;
- Obter ganhos de eficiência no setor elétrico, promover tecnologias limpas nas indústrias e estimular medidas de eficiência no transporte público e cidades.

A coordenação e acompanhamento da implementação das medidas previstas na NDC brasileira ficou a cargo do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que criou uma Secretaria dedicada à questão. O principal mecanismo de financiamento das ações climáticas é o Fundo Clima. Criado em 2009, esse é um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima, constituindo-se em um fundo de natureza contábil, vinculado ao MMA, com a finalidade de garantir recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que tenham como objetivo a mitigação e adaptação às mudanças climáticas [14].

A despeito de uma série de limitações e de problemas, desde que começou a operar em 2011, o Fundo Clima recebeu cerca de R\$ 2,8 bilhões, equivalentes a US\$ 520 milhões ao câmbio atual. Essa cifra o coloca como um dos 15 maiores fundos climáticos do mundo. Sua governança sempre foi considerada legítima, representativa, efetiva e transparente. Até o início de 2020, o comitê do Fundo Clima tinha 18 integrantes, que incluíam ONGs, representantes do campo científico, de movimentos sociais e de diferentes órgãos estaduais e municipais. Em 2019, o presidente da República alterou a composição do Fundo Clima, restringindo sua participação a apenas seis agentes, todos oriundos do próprio governo. Além de acabar com a representatividade, que era um mecanismo para garantir uma melhor alocação dos recursos, o novo comitê não se mostrou mais ágil: a deliberação sobre o Plano Anual de Aplicação de Recursos para 2020 só ocorreu 19 meses após a última reunião, realizada ainda no governo anterior [15].

Em 2019, o governo federal empenhou em ações do Fundo Clima menos de 10% dos desembolsos autorizados pelo Congresso para o ano, que somavam R\$ 8 milhões. Um ano antes, o fundo havia executado 94% do seu orçamento [16]. Essa interrupção colocou em xeque a confiabilidade do

Fundo perante os agentes econômicos – reduzindo a segurança jurídica para investidores, deprimindo o desenvolvimento de projetos produtivos e inibindo a geração de empregos. Como garantir o interesse privado em empréstimos de baixo carbono, quando as fontes de recursos não estão asseguradas e processos são descontinuados por inação de um ente de governo [15]?

Desde que assumiu em 2019, o governo vem declarando seu ceticismo com relação à questão climática e ambiental de maneira mais geral. A ideia original do presidente era extinguir o Ministério do Meio Ambiente, depois de colocá-lo sob a tutela do Ministério da Agricultura. Logo que assumiu, o governo cancelou a oferta de sediar a COP25, que acabou acontecendo em Madrid para, em seguida, extinguir a Secretaria de Mudanças do Clima e Florestas do MMA.

Além de coordenar a implementação das políticas de redução de emissões e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, a Secretaria era responsável por gerenciar o Fundo Clima e os Planos de Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia (PPCDam) e do Cerrado (PPCerrado). Era também responsável por elaborar a estratégia de implementação da NDC brasileira. Com a Secretaria extinta, “todas essas políticas e planos ficaram no limbo” [17].

Essa desconstrução institucional foi implementada em paralelo à do Fundo Clima, colocando o Brasil num absoluto retrocesso frente à questão climática. De um ator internacional reconhecido e respeitado, o Brasil passou a ser encarado como o ‘bobo da corte’ no quadro das negociações sobre o clima. Essa posição reflete uma política do governo.

O principal responsável do governo brasileiro nas negociações internacionais – o ministro das Relações Exteriores – declarou, logo antes de assumir o Ministério, que “o ‘climatismo’ juntou alguns dados que sugeriam uma correlação do aumento de temperaturas com o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, ignorou dados que sugeriam o contrário, e criou um dogma científico ... mudança climática é um dogma científico influenciado pela cultura marxista, que pretende sufocar o crescimento econômico nos países capitalistas democráticos e favorecer o crescimento da China” [18].

Essa declaração foi reforçada pelo fechamento da Divisão de Clima do Ministério das Relações Exteriores e por uma série mais infame de declarações do ministro, revelando a negação do consenso científico mundial que, como mencionado, é a condição básica e *sine qua non* para a participação nas negociações do clima, retirando toda a credibilidade arduamente conseguida pelo Brasil perante os demais países.

A política ambiental implementada pelo atual governo tem sido coroada pelos maus resultados de qualidade ambiental e de avanços da agenda climática. O principal indicador ambiental do Brasil – as taxas de desmatamento da Amazônia – voltaram a piorar acentuadamente, revertendo um nível abaixo de 8.000 km² que vinha se mantendo desde 2009. O desmatamento da Amazônia deu um enorme salto em 2019, ultrapassando os 10 mil km², sendo que, em 2020, atingiu o recorde dos últimos 12 anos, aumentando em quase 10% a marca de 2019. [19] (ver Figura 7.2).



Com relutância, e depois de enorme pressão interna e externa, o atual governo brasileiro se curvou às evidências científicas e oficialmente deixou de negar a existência do aquecimento global. Isso não tem sido o suficiente para evitar que o País seja bombardeado pela postura em relação ao meio ambiente, à Amazônia e à questão climática. Sem dúvida, o governo atual não entende a gravidade do problema. Não entende que não existe um Plano B. Não entende que os problemas em risco não são reversíveis. Não entende que a questão se agiganta diante de interesses individuais e de países.

O Brasil é dos países com maior vantagem comparativa, quando se pensa em um mundo ecologicamente mais equilibrado e carbono neutro. Quase 50% da nossa matriz energética provêm de fontes renováveis, enquanto no mundo esse percentual é menor que 15%. Temos uma gigantesca base de recursos naturais que pode, e deve, ser explorada de forma sustentável – incluindo os solos, a água, a biodiversidade, a insolação, os ventos, a costa e a maior floresta tropical do mundo. Eliminando os desmatamentos, seríamos facilmente um dos países com menores emissões.

Portanto, seria de todo interesse do Brasil puxar a agenda climática com a maior tenacidade possível. Somente essa agenda permitiria ajudar o Brasil a despontar como uma potência com poucos competidores. Tornar-se carbono neutro seria, e será, um esforço menor para o Brasil do que para a maioria dos demais países. É esse o real valor da floresta e dos ecossistemas intactos e saudáveis – e não seu corte para transformação em pastos, com bois, que geram emissões e baixo retorno econômico.

Seria desejável encerrar o livro comemorando avanços recentes do Brasil nas questões ambiental e climática, mas infelizmente isso não é possível. No próximo e último capítulo voltaremos a este ponto que diz respeito mais à economia política do que a parâmetros técnico-científicos.



Crianças na escola, no sul do Sudão

VIII.

CONCLUSÕES

O livro tentou evidenciar a gravidade do problema do aquecimento global e suas diversas implicações para o planeta e para toda a humanidade. O nível de impacto dependerá exclusivamente do esforço e da velocidade com que as emissões de GEE serão reduzidas. Segundo a própria ciência, ainda está em nossas mãos a decisão de eliminá-las rapidamente e não incorrer nos cenários mais dramáticos, ou trágicos, de impactos. Todos os pontos de inflexão começam a nos acenar ameaçadoramente. Somente a negação da ciência pode nos desviar de enxergar isso.

É impossível precisar quais desses pontos de inflexão são mais iminentes e quais poderão causar maior impacto. Mas trata-se de um planeta só, e mesmo que, por exemplo, a savanização da Amazônia atinja mais diretamente a América do Sul, ao final todo o planeta sentirá seus efeitos, de uma forma ou de outra. É como um câncer no corpo humano: pode começar onde for, mas em algum momento o corpo inteiro sofrerá com ele. Ambos são sistemas únicos, com todos os seus processos ligados e interdependentes.

O livro também deixou claro que não existe Plano B. Não existe um planeta alternativo para onde possamos ir, não existem recursos imagináveis para fazer frente aos piores cenários climáticos, não existe qualquer evidência científica que sugira que os impactos sejam reversíveis ou que o planeta possa aguentar um pouco mais do que pensamos.

O aquecimento é um problema global único, no sentido que nenhum outro jamais colocou o planeta sob tamanho risco. Nossa história de lidar e enfrentar esses problemas tem altos e baixos. Acabar com a pobreza e a desigualdade segue sendo, seguramente, o maior desafio da humanidade. Todos os cidadãos do mundo almejam isso.

O mundo enriqueceu de maneira assustadora nos últimos 50 anos. A economia mundial passou de US\$ 19 trilhões em 1970 para US\$ 85 trilhões em

2019. No mesmo período, o número de pessoas vivendo em extrema pobreza caiu de 1,8 bilhões (35% da população mundial) para 770 milhões (11% da população mundial) [1]. Esses resultados, ainda que animadores pela sua tendência, permanecem inaceitáveis. A pobreza é inaceitável. As melhorias vêm ocorrendo em paralelo a um aumento da desigualdade entre pessoas e países.

“A desigualdade de renda tem aumentado na maioria dos países desenvolvidos e em alguns países de renda média desde 1990. Nos países onde a desigualdade cresceu vivem mais de dois terços (71%) da população mundial. Apesar de não ser uma tendência universal, a renda e a riqueza estão cada vez mais concentradas no topo. Nas áreas com dados disponíveis, a parcela da renda que vai para o 1% mais rico da população global aumentou em 46 dos 57 países, no período compreendido entre 1990 a 2015. Enquanto isso, os 40% da base ganhavam menos de 25% da renda em todos os 92 países com dados” [2]. No Brasil, os 40% mais pobres ganham 13 vezes menos que os 10% mais ricos.

Enquanto a desigualdade de renda aumenta e uma minoria vai ficando cada vez mais rica, o aquecimento global é diferente, porque ninguém ganha com ele. Todos perdem, apesar de existirem os que ainda ganham com as emissões. São justamente os grandes emissores de hoje – sejam países, setores econômicos, determinadas classes de renda, empresas, etc. Alguns desses querem empurrar o mais para frente possível a decisão de eliminar emissões, criando uma espécie de sobrevivência das condições atuais. Mas isso nos levará, como vimos, à beira do precipício, incluindo esses próprios agentes, afetando todos os demais cidadãos, países e empresas. E mais ainda as gerações futuras.

Que lições podemos então tirar deste livro?

- Faz-se necessário um respeito maior pelo planeta, pela sua limitada capacidade de suportar as pressões humanas em todas as suas formas de consumo predatório de recursos naturais, poluição, desrespeito às outras espécies animais, ocupação de áreas frágeis e vulneráveis, destruição de ecossistemas, florestas e habitats naturais. O aquecimento global é a mais nova inserção dessa lista – e a mais ameaçadora de todas. A elevação das concentrações de CO₂ na atmosfera, decorrentes das emissões humanas, chegaram a patamares nunca alcançados nos últimos 800 mil anos ou mais.
- A Terra vem passando por um período de grande estabilidade climática nos últimos 10 mil anos e coincidentemente, nesse curto período houve um extraordinário desenvolvimento da espécie humana. Não é possível desprezar as condições favoráveis da natureza. Alterar o atual equilíbrio desse sistema certamente não vai nos levar a condições melhores. E a sobrevivência e o desenvolvimento do homem na Terra também serão dificultados.

- O aquecimento global é um problema muito complexo e existem muitas falhas de conhecimento. Mas as incertezas sobre todos os processos climáticos não eliminam a grande certeza sobre sua existência e sobre sua origem nas emissões humanas de CO₂. Como a evidência científica aponta enormes riscos para toda a vida na Terra, é completamente inaceitável apostarmos contra ela. Não existe outro planeta, e estamos de fato colocando em risco uma enorme parte de tudo que a humanidade construiu até agora. Correr o risco de que as previsões da ciência estejam erradas e depois realizar que estavam corretas será um erro dramático, com consequências incalculáveis. É seguramente melhor despendar esforços agora, mesmo que depois eles se provem exagerados. Esse é tipicamente o caso em que prevenir é infinitamente melhor do que remediar.
- Os extremos climáticos projetados são os que mais nos assustam, porque levam a eventos de grande impacto, muita visibilidade e graves consequências. De fato, eles são talvez as maiores preocupações. Mas não somente eles. As mudanças climáticas não aparecem de forma perceptível, elas são lentas e graduais e vêm ocorrendo no mundo inteiro, determinando um novo padrão climático. A adaptação a essas novas condições vai ser difícil, principalmente para as populações mais vulneráveis e pobres, nas áreas rurais, nos países e cidades mais pobres.
- O nosso consumo é causa fundamental do aquecimento global, sendo intimamente dependente e ligado à nossa renda e riqueza. Todo tipo de coisas que consumimos e serviços que utilizamos – energia, alimentos, roupa, transportes – estão ligados a emissões de GEE para a atmosfera. Pessoas, cidades e países pobres consomem menos dessas coisas, e assim emitem menos CO₂ e outros GEE. Somente os mais ricos podem modificar e cortar seu consumo e suas emissões. Pessoas e países pobres têm também que ajudar, mas não devem ser eles a pagar a conta. As pessoas ricas no Brasil também estão no grupo de pagadores – e não estão protegidas por viverem num país de renda média.
- O Brasil é um país único em termos de suas emissões e responsabilidade pelo problema. As emissões globais são majoritariamente provenientes do uso de energia e, nesse quesito, o Brasil está bem na foto. Nossa matriz energética é relativamente limpa, quando comparada à dos demais países, apesar de as emissões energéticas apresentarem tendência de crescimento, por conta da diminuição do potencial hidrelétrico, decorrente das próprias mudanças do clima. Por outro lado, o Brasil possui um enorme potencial de geração a partir de fontes eólica e solar, e a energia dessas fontes já alcançou patamares de preço altamente competitivos. Nos setores em que

os demais países têm baixas emissões, o Brasil desponta como um vilão, especialmente por suas emissões decorrentes dos desmatamentos e queimadas na Amazônia – e no Cerrado mais recentemente. Os benefícios desses desmatamentos são pífios. Se considerarmos todos os impactos ambientais além das emissões de carbono, eles passam a ser negativos e completamente injustificados. O Brasil pode se beneficiar muito mais se fizer um aproveitamento racional e com base científica da floresta, sem derrubá-la.

- As soluções para o aquecimento global passam por um conjunto de ações de diferentes tipos. De um lado, as pessoas mais ricas têm que diminuir seu consumo. Isso inclui praticamente todas as atividades – da alimentação ao transporte, da diversão à moradia. Depois, a matriz energética mundial tem que se tornar carbono neutra, o que implica massivos investimentos em energias renováveis e maior eficiência das tecnologias de produção (indústrias, agricultura) e de consumo (carros, energia residencial, etc.). Também é necessário que o carbono seja precificado, para que assim possamos pagar por nossas emissões. Isso vai reduzi-las, porque vão começar a pesar no nosso bolso. Além de precificar o carbono, urge cortar os subsídios às fontes fósseis – carvão e petróleo. Isso pode ter um impacto para os países e populações pobres, dependentes destas fontes de energia e demandará a transferência de recursos dos países ricos para eles.
- A adaptação às mudanças climáticas deverá ser resolvida caso a caso, porque os impactos são diferentes em cada localidade. As populações pobres são a grande preocupação, porque já vivem tipicamente nas áreas mais vulneráveis, com serviços de infraestrutura precários ou inexistentes, sem condições de se proteger e adaptar, como refrigeração de lares, ou de se locomoverem para locais menos expostos. Como hoje em dia, os eventos climáticos futuros trarão maiores impactos para populações pobres, favelas, regiões periféricas, e também para minorias e grupos mais excluídos como mulheres, idosos, populações isoladas, indígenas, ribeirinhas, entre tantos outros.
- Quanto às negociações globais entre países na tentativa de resolver conjuntamente o problema, o processo existente, liderado pelas Nações Unidas através da UNFCCC, tem sido fundamental, mas ao mesmo tempo limitado e insuficiente. É fácil entender a complexidade de se chegar a um acordo que satisfaça a todos os países. Talvez aí comece o problema: os países mais ricos do mundo, que formam o G-20, respondem por cerca de 75% das emissões globais e outros tantos da renda (PIB) mundial. Um consenso entre eles, por exemplo, seria muito mais fácil de ser alcançado e eventualmente resolveria 75% do problema.

- Tampouco parece possível chegar às reduções necessárias sem tomar como base o orçamento de carbono: é preciso saber o quanto ainda podemos emitir para não ultrapassar os 2°C, para então definir quem vai emitir, como e quando. Sem o orçamento de carbono por trás, os países apenas reconhecem as responsabilidades comuns – mas diferenciadas – entre eles. Ainda assim, os países ricos ainda não tomaram as rédeas para resolver definitivamente o problema – majoritariamente causado por eles. Independentemente disso, somente eles podem pagar pelas mudanças e adaptações necessárias. O tempo vai passando, as negociações não acompanham a velocidade do problema, e vai se empurrando para as gerações futuras o pagamento da conta.
- Por fim, o Brasil passou de um importante e respeitado ator nas negociações globais para um verdadeiro bobo da corte no período recente. A posição externa do País reflete as políticas e práticas internas de um governo que tem desprezo pela questão ambiental e não tem o entendimento mínimo sobre a importância do aquecimento global, tanto em termos dos riscos para a população brasileira, como pelas enormes oportunidades e vantagens comparativas que o País tem por conta da sua riqueza de recursos naturais.

As más notícias na agenda climática são contrabalançadas por um conjunto não coordenado de ações e iniciativas de países, empresas, cidades, indivíduos e ONGs: compromissos de empresas e bancos com o clima e com a sustentabilidade de maneira mais geral, o não financiamento à energia fóssil, prefeitos promovendo as cidades verdes, reciclagem, boicote a produtos não sustentáveis, um não definitivo ao consumo de animais, principalmente de carne vermelha, o trabalho feito de casa por internet, sem necessidade de deslocamentos para escritórios, enfim uma lista felizmente muito longa de iniciativas.

Diversos avanços da ciência e da tecnologia são também animadores. As energias solar e eólica são realidades hoje, economicamente viáveis e entrando com força nos mercados de energia. Os carros elétricos, carros de uso compartilhado, baterias capazes de estocar energia por longos períodos, lâmpadas eficientes, resfriamento eficiente de ambientes, materiais recicláveis, biodegradáveis, e originários de plantas, aplicativos que ajudam a reduzir emissões, enfim uma lista também extensa de invenções que já começam a fazer parte do nosso dia a dia.

Não existem “almoços grátis”. Para eliminarmos as emissões de CO₂ para a atmosfera, teremos que mudar nossos hábitos – e isso pode não ser tão fácil. Continuaremos a pegar um ônibus para ir e voltar da escola, ou do trabalho, ou do supermercado. Esses deslocamentos, ainda que fundamentais – causam

emissões. Algum dia esses ônibus não vão mais emitir CO₂, com o uso apenas de energias renováveis. Mas até lá temos um bom tempo, e os riscos só ficarão maiores. Como dito, o fato de seu vizinho não fazer nada deve servir de incentivo para você informá-lo e continuar fazendo a sua parte. Você não será o “otário”, e sim o esperto. A soma de todos os esforços atuais ainda não tem sido suficiente para frear o aquecimento global.

Dedicar esforços agora para frear o aquecimento global é uma decisão difícil. O mundo segue cheio de problemas imediatos de fome, pobreza, injustiças de diversas formas, violência e guerras. Esses problemas definitivamente não podem ser adiados e são prioritários. Para as pessoas mais pobres do mundo, a questão é a sobrevivência do dia a dia. Seu futuro distante é contado em dias ou semanas. As demais pessoas têm que garantir a sobrevivência digna desse mundo de pessoas, uma dívida social que parece não acabar. De todo modo, resolver todos esses problemas imediatos não elimina nossa capacidade de tratar e resolver o aquecimento global. Salvar as populações pobres de hoje e não deixar o planeta habitável para nossos descendentes não é uma escolha inteligente – e não faltam recursos para isso. O prazo para agirmos com relação ao clima está quase esgotado. Exatamente como na primeira figura do livro – em que, numa escala de 24 horas, o homem só aparece na Terra nos últimos 2 minutos – também nessa escala parece que temos apenas uns 2 minutos finais para resolver o problema. A decisão sobre o que fazer é clara, o que nos falta é justamente a tomada de decisão.

A despeito de todos os esforços globais visando impedir o aumento de emissões, o grande fator de mudança é a conscientização da população mundial sobre o problema. Sem que ela entenda os riscos que tem pela frente, não haverá demanda por mudanças. As pessoas conscientes do problema entendem que algo deve ser feito, rapidamente, e estão dispostas a fazer a sua parte.

As ameaças são tão evidentes, e o que temos a perder é tão precioso, que talvez baste alertar e informar as pessoas e o grande público sobre o problema. Essa informação é baseada na ciência, sem “achismos” e sem ideologias por detrás. Esse foi o objetivo deste livro. Nossa única motivação foi apresentar, de maneira simples e acessível para o grande público, o problema real que todos temos pela frente, cuja solução passa não apenas pela conscientização, mas também por mudanças de atitude e de comportamento. O assunto é muito sério. Vamos fazer a nossa parte!

FOTO 26 > PROTESTO DO GREENPEACE, NO RIO DE JANEIRO



Foto: Daniel Beltrá [F26]

FOTO 27 > PROTESTO PELO CLIMA, SIDNEY, AUSTRÁLIA



Foto: Marcus Coblyn [F27]

REFERÊNCIAS

CAPÍTULO 1

- [1] Branco, P. M (2016). Breve História da Terra. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Breve-Historia-da-Terra-1094.html>
- [2] Flowingdata.com (2012). <https://flowingdata.com/2012/10/09/history-of-earth-in-24-hour-clock/>
- [3] NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate.gov (S/D). Life on Earth depends on, is shaped by, and affects climate. <https://www.climate.gov/teaching/essential-principles-climate-literacy/teaching-essential-principle-3-life-earth-depends>
- [4] Site Earth on Line. https://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/climate_systems/elements_of_climate.html
- [5] NASA Earth Observatory (2009). Climate and Earth's Energy Budget. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>
- [6] West, J. (2019). Climate explained: why carbon dioxide has such outsized influence on Earth's climate. The Conversation. <http://theconversation.com/climate-explained-why-carbon-dioxide-has-such-outsized-influence-on-earths-climate-123064>
- [7] Le Quéré, C. et al. (2016). Global Carbon Budget 2016. Earth Syst. Sci. Data, 8, 605–649, 2016. <https://www.earth-syst-sci-data.net/8/605/2016/essd-8-605-2016.pdf>
- [8] CO₂Earth.org (2020). CO₂ Past. <https://www.co2.earth/co2-past-present-future-article>
- [9] Lindsey, R. (2020). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA, Climate Gov, public report, 5p. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [10] Madisson, Angus (2006). The World Economy 1950-2001. In "The World Economy: Volume 1: A Millennial Perspective, and Volume 2: Historical Statistics" OECD Publishing. https://read.oecd-ilibrary.org/development/the-world-economy/the-world-economy-1950-2001_9789264022621-20-en#page1

[11] CO₂Levels.org (2020). Atmospheric CO₂ Levels Graph. <https://www.co2levels.org/>

[12] Site do Fundo Monetário Internacional. <https://www.imf.org/external/datamapper/ngdpc@weo/oemdc/advec/weoworld>

[13] Statista (2020). Historical carbon dioxide emissions from global fossil fuel combustion and industrial processes from 1758 to 2018 (in million metric tons). <https://www.statista.com/statistics/264699/worldwide-co2-emissions/>

[14] Carbon Brief (2015). How do Scientists Measure Global Temperature. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-do-scientists-measure-global-temperature>

[15] NASA, NOAA (2020). Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record. NASA News, January 15, 2020. <https://climate.nasa.gov/news/2945/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record/>

[16] NASA (2010). Carbon Dioxide Controls Earth's Temperature. Goddard Institute for Space Studies (GISS), New York. <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/co2-temperature.html>

[17] NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (2020). Temperature Change and Carbon Dioxide Change. <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/temperature-change>

[18] IPCC (1996). Second Assessment Report. Global Warming Potentials. <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

[19] IPCC (2001). Climate Change 2001, Third Assessment Report. Glossário (pp 787-798).

[20] Site do IPCC. <https://www.ipcc.ch/about/>

[21] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

CAPÍTULO 2

[1] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

[2] Site do Climate Central. <https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/top-10-warmest-years-on-record>

[3] Masters, J. (2020). Earth Had Its Second Warmest Year in Recorded History in 2019. Scientific American, January 2020.

<https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/earth-had-its-second-warmest-year-in-recorded-history-in-2019/>

[4] Hausfather, Z. (2018). Explainer: What climate models tell us about future rainfall. Climate Modelling, January 2018, Carbon Brief.

<https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall>

[5] IPCC (2007). "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

<https://aamboceanservice.blob.core.windows.net/oceanservice-prod/education/pd/climate/factsheets/howprecipitation.pdf>

[6] Dahlman, A. e Lindsey, R. (2020). Climate Change: Ocean Heat Content. NOAA, Climate.gov, News and Features, February 13, 2020.

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>

[7] Site da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). "Ocean Acidification". <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

[8] Davies, B. (2019). "What is the global volume of land ice and how is it changing?". Blog of Antarcticglaciers.org.

<http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/what-is-the-global-volume-of-land-ice-and-how-is-it-changing/>

[9] Site da NASA, Global Climate Change. Facts. Vital Signs – "Sea Level". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>

[10] Site da NASA GRACE-FO. Greenland Ice Loss 2002-2016.

<https://gracefo.jpl.nasa.gov/resources/33/greenland-ice-loss-2002-2016/>

[11] Shepherd, A., Ivins, E., Rignot, E. et al. (2018). "Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017". Nature 558, 219–222.

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>

[12] Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., van den Broeke, M., van Wessem, M., e Morlighem, M. (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. PNAS January 22, 2019 116 (4) 1095-1103.

<https://www.pnas.org/content/116/4/1095>

[13] Site da NASA, Global Climate Change. Facts. Vital Signs – "Ice Sheets".

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>

[14] IPCC (2012), escrito por Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S.Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang. "Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment". In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Relatório Especial dos Grupos de Trabalho I e II. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

[15] Our World in Data (2020). "Global reported natural disasters by type, 1970 to 2019". Apud EMDAT (2020): OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain – Bruxelles, Bélgica, <https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-type>

[16] World Meteorological Organization (2014). "Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2012)". CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, and UCL – Université Catholique de Louvain. WMO N.º 1123. Geneva, Switzerland, 48p. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7839

[17] UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) e CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) 2018. *Economic losses, poverty and disasters 1998-2017*. 33p. https://www.unisdr.org/2016/iddr/IDDR2018_Economic%20Losses.pdf

[18] Wikipédia, "Enchentes e deslizamento de terra no Rio de Janeiro em 2011". https://pt.wikipedia.org/wiki/Enchentes_e_deslizamentos_de_terra_no_Rio_de_Janeiro_em_2011

[19] Researchgate (2015). "A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo". https://www.researchgate.net/publication/304447015_A_seca_e_a_crise_hidrica_de_2014-2015_em_Sao_Paulo

[20] O Globo, "Enchente em RO bloqueia totalmente BR-364 e Acre fica isolado". <http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/03/enchente-em-ro-bloqueia-totalmente-br-364-e-acre-fica-isolado.html>

[21] IBGE, 2017. Perfil dos Municípios Brasileiros <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>

[22] Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014). "Base científica das mudanças Climáticas". Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.). COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 464 pp. http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf

[23] Smith, K.R., A. Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, and R. Sauerborn (2014). "Human health: impacts, adaptation, and co-benefits". In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 709-754.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf

[24] United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). "Human health and adaptation: understanding climate impacts on health and opportunities for action". Synthesis Paper by the Secretariat. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice Forty-sixth session, Bonn, 31p. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2017/sbsta/eng/02.pdf>

[25] Lattari, G. e Margulis, S. (2018). "Saúde Humana". Relatório parcial preparado para a "Elaboração da base técnica do Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro". Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, Ref.: Processo SEA/INEA - nº E-07/001.492/2014. Rio de Janeiro, 35p.

[26] World Health Organization (2018). "Climate Change and Health".
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

[27] Strzepek, K.M. and Mccluskey, A.L. (2008). "Modeling the Impact of Climate Change on Global Hydrology and Water Availability". The Economics of Adaptation to Climate Change Study (EACC), The World Bank, Discussion Paper No. 8, Washington DC, 40p.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/462211468336644643/modeling-the-impact-of-climate-change-on-global-hydrology-and-water-availability>

[28] Carbon Brief (2018). "What climate models tell us about future rainfall". Climate Modelling Explainer. <https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall>

[29] Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov (2007). "Fresh water resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter3-1.pdf>

[30] Margulis, S., Dubeux, C.B.S., Marcovitch, J. (2011). "Economia da Mudança do Clima no Brasil". Synergia, Rio de Janeiro, 331p. ISBN 978-85-61325-55-8.

[31] Barbieri, A. e Confalonieri, U. (2011). "Impactos ambientais, econômicos e sociais: Região Nordeste". In: Economia da mudança do clima no Brasil. Margulis, S., Dubeux, C.B.S., Marcovitch, J. (eds), Synergia, pp 154-158. Rio de Janeiro.

[32] Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014). “Base científica das mudanças Climáticas”. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.). COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 464 pp. http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf

[33] CEDEPLAR e FIOCRUZ (2008). “Mudanças Climáticas Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050”. Relatório de Pesquisa (Research Report): Belo Horizonte, CEDEPLAR/FICRUZ, 22p.

[34] Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura (2015). “Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Recursos Hídricos”. Relatório setorial para o estudo Brasil 2040. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Aditivo Relatório IV, Carta Acordo N° 25647/2014, PNUD/SAE/FCPC, 62p.

[35] Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2016). “Biodiversity and climate change: making use of the findings of the IPCC’s Fifth Assessment Report”. United Nations Environment Programme, Montreal, Canada, 12p. <https://www.cbd.int/climate/doc/biodiversity-ar5-brochure-en.pdf>

[36] Dejene W. Sintayehu (2018) Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review, *Ecosystem Health and Sustainability*, 4:9, 225-239, DOI: 10.1080/20964129.2018.1530054

[37] Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J.T. Overpeck, and M.A. Taboada (2014). “Terrestrial and inland water systems”. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

[38] Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M. Coordinating authors (2018). “Chapter 3: Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems”. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways [...]*. https://www.researchgate.net/publication/329988490_Chapter_3_Impacts_of_15C_global_warming_on_natural_and_human_systems_In_Global_Warming_of_15_C_An_IPCC_special_report_on_the_impacts_of_global_warming_of_15_C_above_preindustrial_levels_and_related_gl/citation/download

[39] Nobre, C.A., Sampaio, G., Borma, L.S., Castilla-Rubio, J.C, Silva, J. e Cardoso, M. (2016). “Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113. 10.1073/pnas.1605516113. https://www.researchgate.net/publication/308214927_Land-use_and_climate_change_risks_in_the_Amazon_and_the_need_of_a_novel_sustainable_development_paradigm/link/58188ad108aee7cdc685a613/download

- [40] Site do INPE/PRODES/TERRABRASILIS, Sistema de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>
- [41] Nobre, A.D. (2014). "O Futuro climático da Amazônia: Relatório de Avaliação Científica". Articulación Regional Amazônica, 42p. <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/futuro-climatico-da-amazonia.pdf>
- [42] Pivetta, M. (2020). "Amazônia agora é fonte de CO₂". Baseado em Pesquisa Fapesp "Variação interanual do balanço de gases de efeito estufa na Bacia Amazônica e seus controles em um mundo sob aquecimento e mudanças climáticas" – Carbam: Estudo de longo termo do balanço do carbono da Amazônia (nº 16/02018-2); Modalidade Projeto Temático; Programa Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais; Pesquisadora responsável Luciana Gatti (Inpe). <https://revistapesquisa.fapesp.br/amazonia-agora-e-fonte-de-co2/>
- [43] Crouzeilles, R., Rodrigues, R.R. e Strassburg, B.B.N (2019). "Sumário para tomadores de decisão do relatório temático sobre restauração da paisagem e ecossistemas". Editora Cubo, São Carlos, 20 ps.
- [44] Input Brasil (2017). "Cerrado possui ainda 15,5 milhões de hectares de pastagens altamente aptas para a agricultura". Notícias, 01 de fevereiro. <https://www.inputbrasil.org/noticias/cerrado-possui-ainda-155-mi-de-hectares-de-pastagens-altamente-aptas-para-agricultura/>
- [45] CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP) 2020. "PIB do Agronegócio brasileiro". <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>
- [46] INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) PRODES (2020). "Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite". <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- [47] Costa, F.N. (2018). "Trajetória da Agricultura Brasileira: Evolução Recente". Apud Conab 2018, Blog Cidadania e Cultura. <https://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2018/07/29/trajetoria-da-agricultura-brasileira-evolucao-recente/>
- [48] Assad, E.D. (S/D). "Agricultura e mudanças climáticas: o que esperar no futuro?". Embrapa, Megatendências 2030. <https://www.embrapa.br/-/artigo-eduardo-delgado-assad>
- [49] Site Agritempo. "Aquecimento Global e a Produção Agrícola do Brasil". <https://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/causa-e-efeito.html>
- [50] Assad, E.D. (2017). "Aquecimento global e a agricultura". Rabobank Brasil, Sala de Imprensa, 14p. https://www.rabobank.com.br/pt/content/sobre_o_rabobank/sala_de_imprensa/2017/aquecimentoglobal.html

[51] Pinto, H.S., Assad, E., Pellegrino, G. (2011). "Impactos ambientais, econômicos e sociais: Produção agrícola". In: Economia da mudança do clima no Brasil. Margulis, S., Dubeux, C.B.S., Marcovitch, J. (eds), Synergia, pp 91-101. Rio de Janeiro.

[52] Fundação Eliseu Alves (2014). "Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Agricultura". Relatório setorial da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras no período 2011- 2040 para o estudo Brasil 2040. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Carta de Acordo N° 25760/2014, PNUD/SAE/FEA, 14p.

[53] Nações Unidas (2017). "Factsheet: People and Oceans". The Ocean Conference, United Nations, New York, 5-9 de junho.

[54] Nicholls, R.J. (2011). "Planning for the impacts of sea level rise". *Oceanography* 24 (2):144-157, doi:10.5670/oceanog.2011.34.
<https://tos.org/oceanography/article/planning-for-the-impacts-of-sea-level-rise>

[55] Nicholls, R., Brown, S., Hanson, S. (2010). "Economics of Coastal Zone Adaptation to Climate Change". Economics of Adaptation to Climate Change Study (EACC), The World Bank, Discussion Paper N°. 10, Washington DC, 62p. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/229791468159607825/economics-of-coastal-zone-adaptation-to-climate-change>

[56] Marques, L. (2017). "Consequências da elevação do nível do mar no século XXI". *Jornal da Unicamp*. <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/consequencias-da-elevacao-do-nivel-do-mar-no-seculo-xxi>

[57] "Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira". PARCERIAS ESTRATÉGICAS BRASÍLIA, DF, N.27, dezembro, pp 218-296. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325

[58] PBMC (2016). "Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas". Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

[59] Sousa Junior, W.C. (2014). "Carteira atual e futura das infraestruturas costeiras: indicadores de performance e vulnerabilidade". Relatório 2/Produto 6, Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas - Infraestrutura Costeira. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Projeto BRA/06/032, Enquadramento PNUD: R.1 P1.17. 88p.

CAPÍTULO 3

[1] Department of Environment, Australian Government (S/D). Representative Concentration Pathways (RCPs) – Fact Sheet.

[www.environment.gov.au > files > wa-rcp-fact-sheet](http://www.environment.gov.au/files/wa-rcp-fact-sheet)

[2] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

[3] Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014). “Forçantes Radiativas Naturais e Antrópicas”. Base científica das mudanças climáticas – Contribuição ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Correia, A.L. e Yamasoe, M.A (autores principais). Pp 237-277. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

[4] Site Wikipedia, Representative Concentration Pathway.

https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway

[5] Site do IPCC. “What is a GCM?”

https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html

[6] Stern, N. (2006). “Stern Review: The Economics of Climate Change”.

[7] The World Bank (2012). “Turn down the heat: why a 4°C warmer world must be avoided”. Washington DC, 106p. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11860>

[8] IPCC (2018). “Global Warming of 1.5°C”. An IPCC special report. Summary for policy makers, 24p. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

[9] Carbon Brief Interactive (n/d). “The impacts of climate change at 1,5C, 2C and beyond”. https://interactive.carbonbrief.org/impacts-climate-change-one-point-five-degrees-two-degrees/?utm_source=web&utm_campaign=Redirect#

[10] Carbonbrief (2020). “Tipping Points – Explainer: Nine ‘tipping points’ that could be triggered by climate change”. <https://www.carbonbrief.org/explainer-nine-tipping-points-that-could-be-triggered-by-climate-change>

[11] Ambiente Brasil (2018). “As correntes do Oceano Atlântico estão ficando mais lentas”. Clipping <https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/07/07/144664-as-correntes-do-oceano-atlantico-estao-ficando-mais-lentas.html>

[12] Praetorius, S.K., (2018). “North Atlantic circulation slows down”. Nature, Vol 556, April 12 p. 180-181.

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-04086-4>

[13] IPCC (2019). "IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate – Summary for Policy Makers". [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. and Weyer, N.M. (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/>

[14] Smith, B. (2015). "What happens if the permafrost disappears?". COSMOS, Newsletter, 14 December. <https://cosmosmagazine.com/climate/what-happens-if-permafrost-disappears/>

[15] Aschwanden, A., Fahnestock, M.A., Truffer, M., Brinkerhoff, D.J., Hock, R., Khroulev, C., Mottram, R. and Abbas Khan, S. (2019). "Contribution of the Greenland Ice Sheet to sea level over the next millennium". Science Advances: Vol. 5, nº. 6, eaav9396, DOI: 10.1126/sciadv.aav9396. <https://advances.sciencemag.org/content/5/6/eaav9396>

[16] Hausfather, Z. (2018). "Why the IPCC 1.5C report expanded the carbon budget". CarbonBrief, October 8. <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-the-ipcc-1-5c-report-expanded-the-carbon-budget>

[17] Icos (Integrated Carbon Observation System) (2019). "Global Carbon Budget 2019". <https://www.icos-cp.eu/global-carbon-budget-2019>

[18] Global Carbon Project (2019). "Global Carbon Budget". <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/19/visualisations.htm>

CAPÍTULO 4

[1] Our World in Data. "Share of Global Cumulative CO₂ Emissions, 2018". <https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2>

[2] United Nations Environment Programme (2019). UNEP 2019 Emissions Gap Report. UNEP, Nairobi, 108p. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[3] Roser, M. e Ritchie, H (2019). CO₂ and greenhouse gas emissions. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

[4] The World Bank Data. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>

[5] Ritchie, H (2018). "Global inequalities in CO₂ emissions, based on consumption". Our World in Data. <https://ourworldindata.org/global-inequalities-co2-consumption>

[6] OXFAM (2015). "2015 Extreme Carbon Inequality: Why the Paris climate deal must put the poorest, lowest emitting and most vulnerable people first". Media Briefing, December, 14p.

https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/mb-extreme-carbon-inequality-021215-en.pdf

[7] Ge, M. e Friedrich, J. (2020). “4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor”. WRI Brasil.

<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>

[8] SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa) e Observatório do Clima (2019). “Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil – 1970-2019”. https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf

[9] Site da EPE, Empresa de Pesquisa Energética.

<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

[10] Carvalho, P.T. (2012). “Balanço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil”. Tese de Mestrado, Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, 153p.

[11] EPE (S/D). “Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis”. Estudos EPE.

<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL%5b1%5d.pdf>

[12] UNICA (2019). “Uso do etanol evitou a emissão de 535 milhões de toneladas de CO₂eq em 16 anos”. Notícias Sustentabilidade.

<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evitou-a-emissao-de-535-milhoes-de-toneladas-de-co2eq-em-16-anos/>

[13] Margulis, S. (2002). “Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira. Banco Mundial, Brasília, julho 2003 e World Bank Working Paper Number 22, Washington DC, December 2003, 77p.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/867711468743950302/Causas-do-Desmatamento-da-Amazonia-Brasileira>

[14] Prizibisczki, C. (2020). “Desmatamento na Amazônia chega a 11.088 km² e é o maior em 12 anos”. Site de O Eco.

<https://www.oeco.org.br/reportagens/desmatamento-na-amazonia-chega-a-11-088-km%C2%B2-e-e-o-maior-em-12-anos/>

CAPÍTULO 5

[1] IRENA (International Renewable Energy Agency) 2020. "Renewable Power Generation Costs in 2019". Abu Dhabi, 144p. ISBN 978-92-9260-244-4. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

[2] Shinn, L. (2018). "Renewable Energy: The Clean Facts". Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>

[3] Miho Kurosaki, M. (2019). "Decarbonization on Supply & Demand Sides". Bloomberg NEF, G20 CSWG Session 6: The Role of Renewable Energy in Addressing Climate Change.

[4] Gray, A. (2017). "5 tech innovations that could save us from climate change". Site do World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/tech-innovations-save-us-from-climate-change/>

[5] Susian, C.M, Salgado, P.R., Vasconcellos, E.B.C., Evangelista, B.A., Silveira Pinto, H. e Assad, E.D. (2010). "Capacidade de sequestro de CO₂ em pastagens produtivas no bioma cerrado". XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG, 4p.

[6] Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Martinez, G. B. (2011). "Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono". Embrapa, Publicações. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/917001/contribuicoes-dos-sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf-para-uma-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>

[7] Hansel, F.D, Amado, T.J.C., Keller, C., Bortolotto, R.P., Nicoloso, R.S. e Nora, D.D. (2011). "Emissões de dióxido de carbono em sistema plantio direto de longa duração". XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG, 4p.

[8] Todd, F. (2019). "What is carbon capture and storage technology and how does it limit CO₂ emissions?" NS Energy. <https://www.nsenergybusiness.com/features/carbon-capture-storage-technology-co2-emissions/>

[9] Holth, J. (2017). "7 Instant Ways to Reduce your Carbon Footprint". Site do Huffpost. https://www.huffpost.com/entry/7-instant-ways-to-reduce-your-carbon-footprint_b_59321992e4b00573ab57a383

[10] Cho, R. (2018). "The 35 Easiest Ways to Reduce Your Carbon Footprint". Sustainable Living Series, State of the Planet, Earth Institute, University of Columbia. <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/12/27/35-ways-reduce-carbon-footprint/>

- [11] Green, J.K. (2018). “10 Simple Ways to Reduce Your Carbon Footprint in Five Minutes or Less”. Site do Lifesize. <https://www.lifesize.com/en/video-conferencing-blog/reduce-your-carbon-footprint-in-five-minutes-or-less>
- [12] CO₂Living (2019). “Most Effective Ways To Decrease Your Carbon Footprint”. <https://co2living.com/most-effective-ways-to-decrease-your-carbon-footprint/>
- [13] LSE (London School of Economics and Political Science) 2018. “What is a carbon price and why do we need one?”. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-a-carbon-price-and-why-do-we-need-one/>
- [14] Instituto de Estudos Socioeconômicos (Inesc) 2019. Subsidios aos combustíveis fósseis no Brasil em 2018”. Brasília, 35p. <https://www.inesc.org.br/en/combustiveis-fosseis-ganharam-r-85-bilhoes-em-subsidios-em-2018/>
- [15] Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, S.C. et al. (2019). “Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation”. Nat. Clim. Chang. 9, 463–466. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>
<https://www.nature.com/articles/s41558-019-0485-x>
- [16] Taylor, M. (2020). “Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation to 2050”. Irena – International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 64p. <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Energy-Subsidies-2020>
- [17] Kennedy, K. (2019). “Scrubbing carbon from the sky”. Scientific American vídeo. <https://www.scientificamerican.com/video/scrubbing-carbon-from-the-sky1/>
- [18] Ming, T. Richter, R. Liu, W. and Caillol, S. (2014). “Fighting global warming by climate engineering: Is the Earth radiation management and the solar radiation management any option for fighting climate change?”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 31, março, pp. 792-834. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008460#>
- [19] Site da NASA Earth Observatory. “Global effects of Mount Pinatubo”. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/1510/global-effects-of-mount-pinatubo>
- [20] Bueno, P. (2018). “Geoengenharia climática: tecnologia capaz de manipular o clima”. Cetesb, Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA. <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/05/08/geoengenharia-climatica-tecnologia-capaz-de-manipular-o-clima/>

CAPÍTULO 6

[1] Margulis, S. 2017A. “Por que Estados, Municípios e Cidades tem que se adaptar às Mudanças Climáticas?” WWF (World Wildlife Fund, Brasil). Brasília, 73p. https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/guia_adaptacao_wwf_iclei_revfinal_01dez_2.pdf

[2] Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar, 2014. “Adaptation needs and options”. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf

[3] Strassburg, B., Scarano, F.R., Lucas, I.L, et al. (2018). Resumo Executivo e Propostas de Medidas de Adaptação – Agenda Verde. Elaboração da Base Técnica do Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro. Produto 11, Ref.: Processo SEA/INEA - nº E-07/001.492/2014. Termo de Compromisso-TC nº 03/2014 SEA/INEA e Porto do Açú Operações S.A OC- 4700000927 – Porto do Açú Operações S.A. Rio de Janeiro, 32p.

CAPÍTULO 7

[1] Site da UNFCCC. Bodies. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA). <https://unfccc.int/process/bodies/subsidiary-bodies/sbsta>

[2] Carvalho, F. (2014). “Adaptação à mudança do clima: o quadro das negociações internacionais”. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, paper ocasional. Brasília, 17p.

[3] Moreira, H.M. (2012). “A Formação da Nova Geopolítica das Mudanças Climáticas”. VI Encontro Nacional da ANPPAS, Belém do Pará, setembro, 19p.

[4] Rettmann, R. (2020). “O que é e como funciona o mercado de carbono”. IPAM Amazônia, Cartilhas. <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>

[5] O Eco (2014). “Entenda o que é REDD”. <https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27940-entenda-o-que-e-redd/>

[6] Aliança REDD+ Brasil (2017). “REDD+ Integrado: modelo financeiro para viabilizar as metas do Acordo de Paris”. <https://www.bvrio.org/pt/news/details/publicacao-redd-integrado-modelo-financeiro-para-viabilizar-as-metas-do-acordo-de-paris>

[7] Blicharska, M.; Smithers, R.J., et.al. (2017). “Steps to overcome the North-South divide in research relevant to climate-change policy and practice”. Nature Climate Change 7. DOI: 10.1038/NCLIMATE3163 <https://www.slu.se/en/ew-news/2017/1/nordsydklimat/>

- [8] Mauad, A.C.E. e Viola, E. (2017). “Governança Global do Clima: do Regime Internacional Multilateral à Nova Complexidade – Potências Climáticas, Coalizões Plurilaterais, Alianças de Atores Não Estatais e Complexos Sociotécnicos Descarbonizantes”. In: Brasil e o Sistema das Nações Unidas: desafios e oportunidades na governança global. Organizadores: Guilherme de Oliveira Schmitz, Rafael Assumpção Rocha. – IPEA, Brasília. Pp 399-421. ISBN: 978-85-7811-315-5
- [9] Moosmann, L., Urrutia, C., Siemons, A., Cames, M., Schneider, L. (2019). “International Climate Negotiations”. European Parliament’s Committee on the Environment, Public Health and Food Safety (ENVI). Luxemburgo, 78p.
- [10] Graichen, J., Healy, S., et al (2017). “International Climate Initiatives – A way forward to close the emissions gap? Initiatives’ potential and role under the Paris Agreement”. Climate Change 22. Pesquisa Ambiental do Ministério do Meio Ambiente da Alemanha. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4JnN_3q0hgsJ:https://newclimate.org/wp-content/uploads/2017/09/2017-09-05_climate-change_22-2017_climate-initiatives.pdf+&cd=18&hl=en&ct=clnk&gl=br&client=firefox-b-d
- [11] Viola, E. (2002). “O regime internacional de mudança climática e o Brasil”. Revista Brasileira de Ciências Sociais, v.17 n. 50, São Paulo. 23p. ISSN 0102-6909. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-69092002000300003&script=sci_abstract&tlng=pt
- [12] Site do Ministério do Meio Ambiente. iNDC (Contribuição Nacionalmente Determinada). <https://www.mma.gov.br/informmma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>
- [13] Site do Ministério do Meio Ambiente. “REDD+ e a NDC brasileira”. <http://redd.mma.gov.br/pt/redd-e-a-indc-brasileira>
- [14] Site do BNDES. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima>
- [15] Unterstell, N. (2020). “Governo no banco dos réus pela mudança do clima”. ECOA, Coluna Opinião, 22 de setembro. <https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/opiniao/2020/09/22/governo-no-banco-dos-reus-pela-mudanca-do-clima.htm>
- [16] Observatório do Clima (2020). “Três ações judiciais colocam em xeque política ambiental do governo Bolsonaro”. Site do Observatório do Clima. <http://www.observatoriodoclima.eco.br/tres-aco-es-judiciais-colocam-em-xeque-politica-ambiental-governo-bolsonaro/>
- [17] Angelo, C., Rittl, C. (2019). “Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2018”. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf

[18] Site Boletim da Liberdade <https://www.boletimdaliberdade.com.br/2018/11/16/em-texto-de-outubro-futuro-chanceler-chama-mudancas-climaticas-de-ideologia/>

[19] INPE (2020). “Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite”. Coordenação Geral de Observação da Terra, INPE. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

CAPÍTULO 8

[1] Site do Banco Mundial, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>

[2] United Nations (2020). “World Social Report 2020: Inequality in a Rapidly Changing World”. Department of Economic and Social Affairs, 216 p., ISBN 978-92-1-130392-6.

FOTOGRAFIAS

CAPÍTULO 1

[FA1] - Foto de Georgia Somenzari, no Unsplash.com
<https://unsplash.com/photos/uS8SFfp6Tes>

CAPÍTULO 2

[FA2] - Foto de Andreas Weith, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:Featured_pictures/Animals/Mammals/Carnivora#/media/File:Polar_bear_after_unlucky_hunt_for_a_seal.jpg

[F1] - Foto de Agustín Lautaro no Unsplash
<https://unsplash.com/photos/Nmp6B3FKcqw>

[F2.A] - Foto de Rens Jacobs / Beeldbank V&W., Attribution, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18014235>

[F2.B] - Foto de Mohammad Rakibul Hasan/UN Women
<https://www.flickr.com/photos/unwomenasiapacific/48857607781/sizes//>
Licença: 2.0 Generic (CC BY-NC-ND 2.0)

[F3] - Foto de midianinja, licenciado por Creative Commons, CC BY-NC-SA 2.0
<https://search.creativecommons.org/photos/37852341-a1a5-4477-92d5-bdd33bd7f861>

[F4] - Foto de Ismar Ingber / Pulsar Images
<http://www.pulsarimagens.com.br>

[F5] - Foto de Marizilda Cruppe / Greenpeace
<https://projetcocolora.com.br/author/marizilda-cruppe/>

[F6] - Foto de Civvi, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special:Search&limit=250&offset=250&profile=default&search=Maldives&advancedSearch-current={}&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Maldives-Vakarufalhi.JPG>

CAPÍTULO 3

[F7] - Foto de Chris Walts is licensed under CC BY-NC-SA 2.0
<https://search.creativecommons.org/photos/cbae540e-c1ab-443a-bc30-cd8b1c1adc28>

[F8.A] - Foto de Francesco Ungaro / Unsplash
<https://unsplash.com/photos/swQ3JS8e-Fs>

[F8.B] - Foto de Courtney Couch / NOAA
<https://www.noaa.gov/explainers/coral-reefs-essential-and-threatened>

[F9] - Foto de Boris Radosavljevic, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80427895>
<https://www.flickr.com/photos/139918543@N06/24797207056/>, CC BY 2.0

CAPÍTULO 4

[FA3] - Foto de Chris LeBoutillier/Pixabay
<https://pixabay.com/photos/global-warming-pollution-environment-2958988/>

[F10] Foto de Andreas Habich, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28345841> CC BY-SA 3.0,
<https://climatevisuals.org/node/869>

[F11] Fotos: © Peter Menzel / menzelphoto.com
<https://menzelphoto.photoshelter.com/>

[F12.A] - Foto de Daniel Beltrá / Greenpeace
<https://www.greenpeace.org/brasil/participe/vamos-zerar-o-desmatamento-no-brasil/>

[F12.B] - Foto de Matt Zimmerman, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33978259> CC BY 2.0,
<https://www.flickr.com/photos/16725630@N00/1524189000>

CAPÍTULO 5

[F13.A] - Foto de Σ64, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29185913>

[F13.B] - Foto de Leaflet, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GreenMountainWindFarm_Fluvanna_2004.jpg

[F13.C] - Foto de Marco Aurélio Esparza, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_5%C3%A3o_Martinho,_F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg

[F13.D] - Foto de Alois Indrich / Greenpeace
https://media.greenpeace.org/CS.aspx?VP3=DamView&VBID=27MDQYCCM186&FR_=1&W=1440&H=775#/DamView&VBID=27MDQYCCM186&PN=2&WS=SearchResults

[F14.A] - Foto de the rabbit * lapin, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Volt_charging_station.jpg CC BY 2.0
<https://www.flickr.com/photos/lapin1/6864741457/>

[F14.B] - Foto de Rafael-CDHT, Public domain, via Wikimedia Commons
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Trolleybus_Low_Floor_4_1500_-_Sao_Paulo,_Brazil.JPG

[F14.C] - Foto de Fernando Frazão/Agência Brasil
https://en.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro_Light_Rail#/media/File:Viagem_inaugural_do_VLT_carioca_01.jpg
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/foto/2016-06/inauguracao-do-veiculo-leve-sobre-trilhos-vlt-carioca> CC BY 3.0 br

[F14D] - Foto de JoachimKohlerBremen, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_truck#/media/File:E-Truck_Renault_Midlum_Electric.jpg CC BY-SA 4.0

[F15] - Foto de Keith Weller, USDA ARS, Public domain, via Wikimedia Commons
[https://en.wikipedia.org/wiki/Plant-based_diet#/media/File:Foods_\(cropped\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Plant-based_diet#/media/File:Foods_(cropped).jpg)

[F16] - Foto do autor

[F17.A] - Foto de Agostinho Vieira
<https://projeto colabora.com.br/ods15/miguel-pereira-planta-dois-milhoes-de-arvores/>

[F17.B] - Foto de arquivo do autor, 1994

[F17.C] - Foto do autor, 2021

[F18] - Foto de Dave Harlow, USGS, Public domain, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinatubo91eruption_plume.jpg

CAPÍTULO 6

[FA4] Foto de Jessie F. Delos Reyes
https://www.flickr.com/photos/usaaid_images/5842818280

[F19.A] - Foto da Defesa Civil, autor não identificado.
<https://www.anf.org.br/defesa-civil-realiza-simulados-de-desocupacao-em-favelas-com-alto-risco-de-deslizamento/>

[F19.B] - Foto do autor

[19.C] - Foto do autor

[F19.D] - Foto de: dronepicr, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park_in_Dublin_St_Stephen%27s_Green_aerial_\(22112994396\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park_in_Dublin_St_Stephen%27s_Green_aerial_(22112994396).jpg)

[F20.A] - Foto de : Fernando Frazão / Agência Brasil
<https://www.brasildefato.com.br/2020/04/04/artigo-as-desigualdades-sociais-que-a-pandemia-da-covid-19-nos-mostra>

[F20.B] - Foto de: Atwater Village Newbie, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Manor,_Holmby_Hills,_Los_Angeles,_in_2008.jpg
<https://www.flickr.com/photos/68076636@N00/2524856333/>

[F21.A] - Foto de Hellio & Van Ingen/Livelihoods Funds
<https://livelihoods.eu/portfolio/oceanium-senegal/>

[F21.B] - Foto da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons
https://pt.wikipedia.org/wiki/Favela-Bairro#/media/Ficheiro:Pra%C3%A7a_do_Conhecimento.jpg CC BY 3.0
<http://www.rio.rj.gov.br/web/smhc/conheca-o-programa>

[F22] - Foto de Nivaldo Schultz, Professor da UFRRJ, Seropédica, fevereiro de 2021.

[F23.A] - Foto de Thom Milkovic on Unsplash
<https://unsplash.com/photos/skUTVJi8-jc>

[F23.B] - Foto de Pudelek, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Copenhagen_-_view_from_Christiansborg_castle.jpg

[F23.C] - Foto de Thomas Quine, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vancouver_Panorama_\(147403166\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vancouver_Panorama_(147403166).jpg)

[F23.D] - Foto de Mariordo (Mario Roberto Duran Ortiz), CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://pt.wikipedia.org/wiki/Curitiba#/media/Ficheiro:Barigui_Panorama.JPG

[F24] - Foto de Shahee Ilyas, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Male-total.jpg>
CC BY-SA 3.0

CAPÍTULO 7

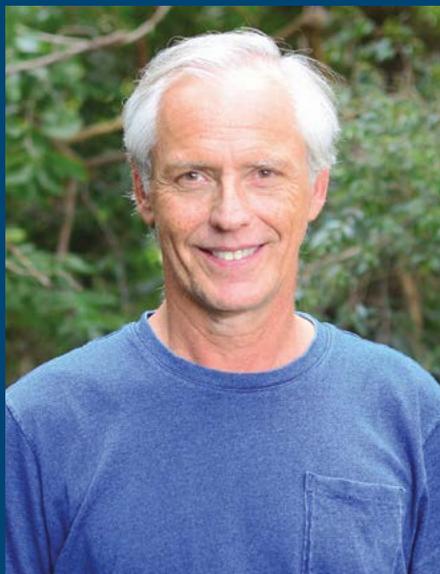
[F25] Foto de IISD/ENB (enb.iisd.org/climate/unfccc/adp2-11/19oct.html)
Foto tirada na segunda-feira, 19 de outubro de 2015 (Dia #1 - Foto 8 (3K1A0081)
<https://enb.iisd.org/climate/unfccc/adp2-11/>

CAPÍTULO 8

[FA5] - Foto de Karl Grobl, Education Development Center Inc., tirada para a USAID em 2011. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:South_Sudanese_children_\(5912625678\).jpg#file](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:South_Sudanese_children_(5912625678).jpg#file)

[F26] - Foto de Daniel Beltrá / Greenpeace
<https://media.greenpeace.org/>

[F27] - Foto de Marcus Coblyn, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_strike_\(48763501892\)_-_perspective-cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_strike_(48763501892)_-_perspective-cropped.jpg)
<https://www.flickr.com/photos/160136040@N02/48763501892>



Sergio Margulis é matemático, com doutorado em economia ambiental pelo Imperial College, Londres. Foi economista de meio ambiente do Banco Mundial em Washington DC durante 22 anos, onde aprendeu e trabalhou com questões ambientais de mais de 40 países de todos os

continentes, em temas diversos como gestão ambiental, valoração econômica, recursos hídricos, desmatamentos e poluição atmosférica. Desde 2005 tem trabalhado e estudado quase que exclusivamente sobre temas ligados ao aquecimento global. Ainda no Banco Mundial, coordenou um grande estudo sobre a Economia da Adaptação às Mudanças do Clima, e liderou um estudo pioneiro que integrou análises técnicas e econômicas dos efeitos do aquecimento global no Brasil.

Ao longo de sua carreira, foi Secretário de Desenvolvimento Sustentável na Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência, assessor especial de dois ministros do Meio Ambiente no Brasil, Presidente da Feema (atual INEA, órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro), pesquisador do IPEA e professor de diversos cursos de graduação e mestrado. Atualmente é Pesquisador Sênior Associado do Instituto Internacional para a Sustentabilidade (IIS), do Instituto Clima e Sociedade, ambos no Rio de Janeiro, e da WayCarbon, em Belo Horizonte.