

ENTENDA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



Cursos
climainfo

ENTENDA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

SUMÁRIO

1 O que é clima?

- 1.1 Sistemas complexos
- 1.2 Fatores Climáticos Relevantes
- 1.3 Radiação Solar e Efeito Estufa
- 1.4 Ventos predominantes no planeta
- 1.5 Principais Correntes Oceânicas
- 1.6 Continentes e Topografia

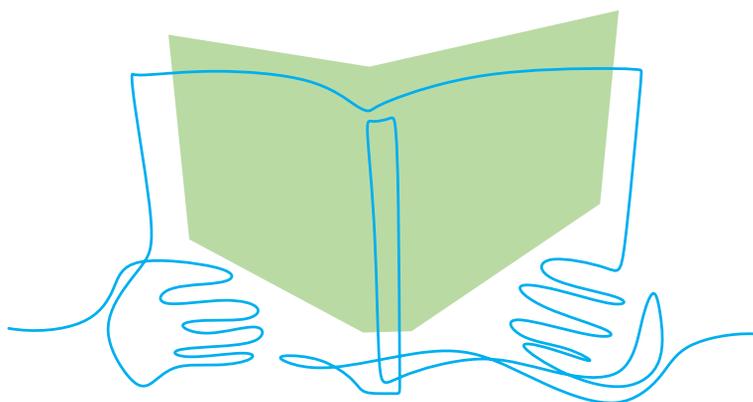
2 O aquecimento global

- 2.1 O que é IPCC?
- 2.2 O que é o aquecimento global?
- 2.3 Antropoceno: exagero ou realidade?
- 2.4 Forçamento Radiativo
- 2.5 Emissões de CO₂ por queima de combustíveis
- 2.6 Emissões no Brasil
- 2.7 Pontos de inflexão
- 2.8 Pontos de inflexão e limites planetários

3 Geopolítica do clima

- 3.1 O que são as COPs?
- 3.2 O Acordo de Paris e a chamada ao "carbono zero"

4 Referências



1. O que é clima?

1.1 Sistemas complexos

Os eventos climáticos extremos, em todas as latitudes¹ terrestres, são cada vez mais frequentes, com consequências dramáticas na maioria dos casos. As evidências a respeito das mudanças climáticas são cada vez mais claras e convincentes mesmo para quem, há poucos anos, ignorava as advertências dos pesquisadores. Mas o que é o clima? Em relação a que condições essas transformações estão acontecendo?

Falar sobre o clima é falar sobre um fenômeno que envolve sistemas e processos altamente complexos. A grosso modo, essa categoria de sistemas apresenta quatro características principais:

1. São constituídos por uma grande quantidade de fatores variáveis que influem no seu comportamento. Eis alguns exemplos de sistemas complexos: a atmosfera, o sistema econômico de um país, um ser vivo, biomas como o Amazônico e a Mata Atlântica ou um sistema de computadores com elementos de inteligência artificial.

No caso da atmosfera, alguns dos fatores que determinam seu comportamento são o ângulo de incidência da radiação solar – que depende da latitude e da época do ano –, os elementos e substâncias químicas que a compõem, sua densidade, pressão, temperatura, umidade relativa, intensidade, direção dos ventos predominantes e concentração de carbono.

2. Todos os fatores variáveis de um sistema ou processo complexo são interdependentes, interagem entre si o tempo todo.

3. A evolução de um sistema complexo no tempo é altamente suscetível a alterações nas condições iniciais desses fatores. Isso quer dizer que, em um sistema complexo, mesmo uma pequena alteração em apenas um de seus fatores variáveis pode levar a um estado final completamente diferente do que seria atingido sem a alteração.

4. A partir de determinados valores de um ou mais de seus fatores constituintes, os sistemas e processos complexos tendem a se adaptar às novas condições, podendo apresentar novas dinâmicas e um estado estável muito diferente da constância anterior. Por isso, é mais preciso chamá-los de sistemas adaptativos complexos.

O clima no planeta é um sistema que se encaixa nessa categoria. Para compreendê-lo, é preciso levar em conta os fatores que o constituem, como interação e a que novo estado estável ele pode ser conduzido a partir das mudanças que vêm ocorrendo. Note que um estado estável não significa, necessariamente, favorável à continuidade da vida como a conhecemos.

Para aprofundar um pouco a caracterização dos sistemas complexos, vamos a dois contraexemplos.

Estrelas – são objetos enormes, constituídos por matéria no estado de plasma. Cada estrela é uma imensa quantidade de partículas carregadas eletricamente e apresenta temperaturas que alcançam milhões de graus Celsius em seu núcleo. Os atributos físicos associados a elas são variáveis e interdependentes: a velocidade média dos íons que a compõem, a pressão nas diferentes camadas, os valores locais do seu campo magnético e as explosões de energia em sua superfície.

Mesmo assim, uma estrela não é um sistema adaptativo complexo porque, após se formar, ela apenas evolui para um final previsível. Dependendo do valor de sua massa, uma estrela tem apenas três finais possíveis: uma estrela de nêutrons, uma anã branca² ou um buraco negro³. As estrelas não se adaptam, apenas evoluem para um desses finais.

Assim, por mais estranho que possa parecer, uma estrela é considerada um sistema evolutivo simples.

¹ A latitude "mede" o quão distante um ponto está da linha do Equador.

² Anã branca é a denominação de uma estrela menor que as estrelas comuns e com brilho pequeno comparado às demais.

³ Buraco negro é uma região do espaço com um campo gravitacional tão intenso que nem mesmo a luz consegue escapar de dentro dele.

Motor convencional a explosão versus motor flex – motores são máquinas em que vários processos e fenômenos físicos são muito bem coordenados para funcionar bem. Mesmo assim, um motor convencional não é considerado um sistema adaptativo complexo nem um sistema evolutivo simples.

Já o motor que funciona com gasolina, álcool ou qualquer mistura desses combustíveis tem um certo grau de complexidade no sentido que estamos enfatizando.

Os gases que são expelidos depois da explosão passam por sensores que detectam as proporções de gasolina e álcool da mistura queimada e mandam essa informação para um sistema de controle. Este reprograma o funcionamento do motor de forma a extrair da máquina o máximo rendimento para aquela mistura de combustíveis.

Apesar disso, não é nada convincente considerar o motor flex como um sistema adaptativo complexo.

1.2 Fatores Climáticos Relevantes

Nosso planeta vive o **Holoceno**, época do período geológico **Quaternário**. O Holoceno teve início há cerca de 10 mil anos e é marcado por uma grande estabilidade dos fatores ambientais responsáveis pelo florescimento de inúmeras civilizações humanas ao redor do planeta e da riquíssima biodiversidade que povoa todas as latitudes.

No entanto, de algumas décadas para cá, a afirmação de que vivemos o Holoceno vem acompanhada de ressalvas: há um reconhecimento generalizado de que os fatores ambientais que caracterizam o Holoceno já apresentam mudanças significativas, causadas pelas interferências humanas no ambiente natural. Os aumentos da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos são evidências de que essas mudanças são reais.

A disseminação desse reconhecimento fez surgir o conceito de **Antropoceno**, para se referir à era inaugurada pela primeira Revolução Industrial, na Inglaterra, ao final do século 18 e início do século 19.

A partir da intensificação da queima do carvão mineral, graças aos aperfeiçoamentos da máquina a vapor introduzidos pelo matemático e engenheiro britânico James Watt (1736-1819), a Revolução Industrial marcou o início da escalada das interferências humanas no clima de todo o planeta.

Mas quais são os fatores ambientais cujas mudanças têm potencial para criar um novo e indesejável estado estável no planeta?

Sérgio Margulis, em *Mudanças do Clima*, observa que “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 rotação da Terra em torno do seu eixo determina o sentido preferencial dos ventos – de oeste para leste.

No documentário [Rompendo Barreiras – Nosso planeta \(Breaking Boundaries\)](#), [Johan Rockström](#), físico sueco e pesquisador dos grandes sistemas que regulam o planeta⁵, vai além e enumera os nove grandes subsistemas e processos que controlam a estabilidade das condições de vida na Terra, para os quais ele trabalha para definir limites que demarcam um espaço operacional seguro para a humanidade:

- mudanças climáticas;
- taxa de perda de biodiversidade terrestre e marinha;
- interferência com os ciclos do nitrogênio e do fósforo;
- destruição do ozônio atmosférico;
- acidificação dos oceanos;
- uso global da água doce;
- mudança no uso da terra;
- poluição química; e
- carregamento de aerossol atmosférico.

Todos esses subsistemas e processos estão interligados e, como se vê, as mudanças climáticas constituem apenas um deles.

⁴ Sérgio Margulis, *Mudanças do Clima*, tudo o que você queria e não queria saber, p. 12.

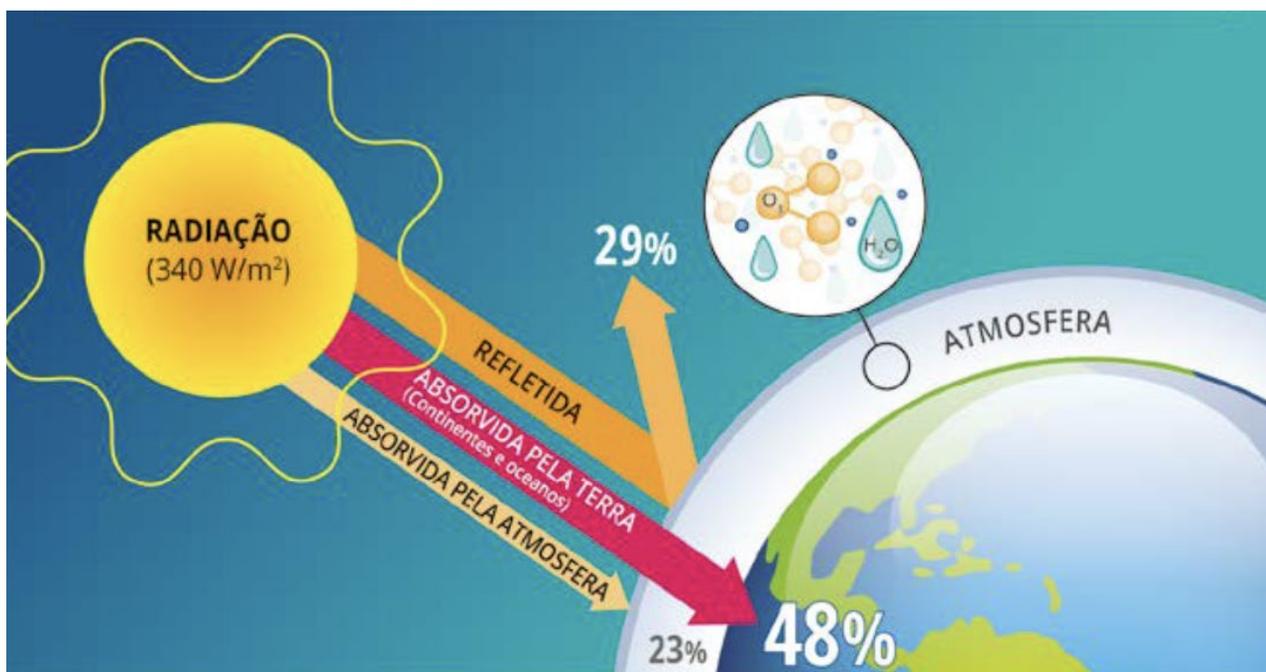
⁵ *Rompendo Barreiras: nosso planeta (Breaking Boundaries)*, documentário de David Attenborough para a Netflix.

É interessante analisar alguns deles, destacando os fatores que os constituem e como se relacionam. Em vários casos, Johan Rockström e sua equipe chegaram a valores críticos a partir dos quais os subsistemas planetários podem atingir estados estáveis nada parecidos com os atuais, com riscos reais para a riqueza da biodiversidade como a conhecemos e mesmo para a continuidade da vida humana na Terra.

1.3 Radiação Solar e Efeito Estufa

A radiação solar que chega à Terra não sofre variações por causa das interferências humanas na natureza. Depende exclusivamente da atividade solar, que apresenta períodos de maior ou menor intensidade para os quais a vida na Terra, em suas diferentes manifestações, está perfeitamente blindada ou adaptada.

Irradiação solar entrante na Terra



Esta ilustração demonstra o que ocorre com a radiação solar que chega ao planeta. Cerca de 29% de toda a radiação incidente na atmosfera é refletida de volta para o espaço. O restante é responsável por todos os processos que ocorrem na Terra: aquecimento do ar e das águas, absorção pelo solo, fotossíntese, ventos, correntes oceânicas etc.⁶

Apenas algo próximo de 1% de toda a energia disponível no planeta é proveniente de fontes que já estão aqui: a energia térmica proveniente das grandes massas de magma, sobre o qual flutua a crosta terrestre, e a energia liberada pelas fontes radioativas presentes no planeta ao se desintegrarem, como o urânio, o tório e o céσιο.

A principal causa das mudanças no clima, como sabemos, é o aquecimento global, com a variação para cima do perfil das temperaturas médias responsáveis pela estabilidade das condições climáticas que caracterizaram o Holoceno.

Mas, se nossas atividades não alteram a quantidade de radiação que chega até nós, como explicar o aquecimento global como resultado da ação humana?

⁶ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 13.

Do ponto de vista físico, o planeta Terra é um sistema termodinâmico em equilíbrio, em que a mesma quantidade de energia que entra em um determinado período deve ser reemitida de volta para o espaço. Esse balanço de soma zero é o que manteve durante milênios o perfil anual de temperaturas médias em cada região do planeta. São valores diferentes de região para região devido a fatores locais como maior proximidade do Equador ou dos polos, topografia, vegetação abundante ou não, quantidade de água etc. Numa mesma região, dependem também das diferentes estações do ano, ou seja, da posição da Terra em sua órbita ao redor do Sol.

O aquecimento global é uma evidência de que o sistema termodinâmico que habitamos não tem mais um balanço energético de soma zero. A atmosfera tem retido parte da energia que deveria ser reemitida para o espaço por causa do aumento do teor de gases-estufa como CO₂, metano e outros.

Essa radiação excedente retida na atmosfera é a responsável pelo aquecimento global. Assim, o efeito estufa, um dos fatores que propiciaram as condições para o surgimento de vida na Terra, vem se intensificando e causando alterações em inúmeros fatores ambientais. Nesse processo, são provocadas muitas das mudanças climáticas que presenciamos, com consequências imprevisíveis para o complexo sistema termodinâmico que habitamos.

1.4 Ventos predominantes no planeta

Os ventos são massas de ar em movimento, desde suaves como as brisas à beira mar, até os eventos extremos como os ciclones, furacões e tornados em suas várias gradações de intensidade. Muitos desses movimentos são localizados e eventuais, outros são permanentes, de grande porte e suas causas têm relação direta com as condições estruturais do planeta.

Quais são esses ventos e por que eles têm relação com a estrutura da Terra?

Primeiro, vamos a duas características óbvias do planeta: ele tem uma forma aproximadamente esférica e gira em torno do próprio eixo, de oeste para leste.

A forma esférica é responsável pela radiação solar atingir a atmosfera e a superfície do planeta em inclinações diferentes, dependendo da latitude: mais perpendiculares à superfície nas latitudes tropicais e em ângulos cada vez mais agudos nas latitudes maiores. Assim, a radiação solar é muito mais concentrada sobre territórios próximos à linha do Equador e gradativamente mais dispersa indo em direção aos polos.

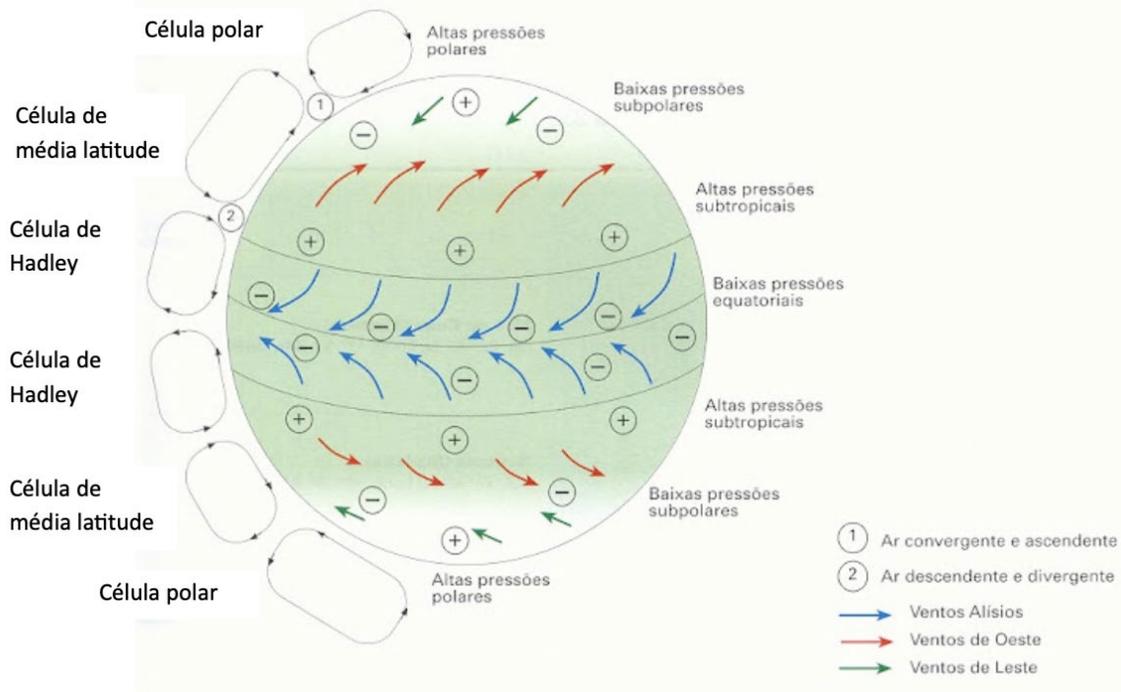
Essa característica geométrica causa o aquecimento diferenciado da atmosfera, dos oceanos e das áreas continentais. O aquecimento maior da atmosfera nos trópicos faz com que a densidade do ar seja menor nessa zona. Por isso, esse ar tende a subir, criando, ao redor do planeta, uma grande faixa de atmosfera com pressões relativamente baixas. Zonas de baixa pressão atmosférica são zonas de convergência e, a todo momento, enormes massas de ar deslocam-se para ela, vindas de latitudes mais altas.

As grandes massas de ar quente sobem e são substituídas, por baixo, por ar relativamente mais frio. O ar que sobe se resfria e, pelo alto, tende a se afastar da região equatorial, dirigindo-se a latitudes mais altas, ao Norte e ao Sul do planeta. Próximo aos Trópicos de Câncer⁷ e de Capricórnio⁸, formam-se outras zonas de baixa pressão e o ar frio que vem pelo alto tende a descer, fechando o que os pesquisadores chamam de Células de Hadley.

Outras células como essas se formam entre cerca de 30° e 60° de latitude – células de média latitude – e entre 60° e 90° – células polares. As células se formam por convecção, movimento similar ao que ocorre com a água que colocamos para aquecer em uma panela, à medida que as camadas inferiores da água começam a esquentar.

⁷ O Trópico de Câncer é uma linha imaginária localizada no Hemisfério Norte, sobre a latitude de 23,27°.

⁸ A linha imaginária chamada Trópico de Capricórnio fica no Hemisfério Sul, sobre a latitude de -23,27°.



À esquerda dessa figura⁹, as células são vistas "de perfil" e suas porções inferiores representam o sentido dos ventos em cada faixa de latitude.

mas, a Terra gira. Em seu movimento de rotação, arrasta toda a atmosfera que, por ser fluida, tem um "atraso" em relação ao movimento dos continentes e das águas oceânicas. Esse fenômeno faz com que os ventos não se formem em direções perpendiculares à linha do Equador. A combinação do movimento do ar nessa direção com o "atraso" na rotação da atmosfera resulta em ventos com trajetórias curvas e inclinadas, como mostradas na figura.

As setas coloridas ilustram o movimento resultante do ar devido à combinação dos movimentos de convecção com o efeito causado pela rotação terrestre. As setas azuis representam os Ventos Alísios (formados nas Células de Hadley), as vermelhas, os Ventos de Oeste (nas Células de médias latitudes) e as verdes, os Ventos Polares (nas Células polares).

Estes são os principais ventos permanentes no planeta. Há outros que estão bastante associados à topografia, como as monções asiáticas, de verão e de inverno, e os ventos de noroeste no Brasil, que trazem os rios voadores¹⁰ da Amazônia para todo o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Os ventos alísios são os causadores dos grandes furacões do Atlântico Norte, entre 10° e 30° de latitude. Em determinadas condições de temperatura nos oceanos, umidade do ar e existência de ventos horizontais, os ciclones formados na costa leste da África são levados pelos ventos alísios para a região do Caribe e do Golfo do México, provocando grandes devastações nos países da região, incluindo a costa leste dos Estados Unidos.

As mudanças do clima estariam intensificando esses fenômenos?

Sobre os rios voadores no Brasil, não há dúvida de que o desmatamento da Floresta Amazônica pode interferir de forma devastadora. Quanto aos furacões no Atlântico Norte, há hipóteses científicas de que os de alta intensidade estão mais frequentes, devido ao aquecimento global, mas ainda não há nada conclusivo.

Infelizmente, o que já é possível ter certeza é que ventos muito mais fortes, acompanhados de tempestades, vêm causando tragédias ambientais em várias regiões do planeta com uma frequência que não se via há poucas décadas.

¹⁰ Ar, Ventos Alísios e Contra Alísios, Site Geo-conceição, 30/03/2013. <http://geoconceicao.blogspot.com/2013/04/ar-ventos-alisios-e-contra-alisios.html>

1.5 Principais Correntes Oceânicas

O aquecimento diferenciado da atmosfera é um dos fatores que causam ventos permanentes no planeta e, junto com o aquecimento diferenciado das águas oceânicas, ajudam também na formação das principais correntes marítimas. Os ventos e as diferentes temperaturas e salinidades das águas oceânicas são fatores que determinam a formação e a manutenção da circulação das correntes como as conhecemos.

A importância da circulação oceânica no equilíbrio do clima no planeta é ressaltada por Sérgio Margulis, em *Mudanças do clima*, ao lembrar que "(...) 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 (...). Sem essa circulação, os polos e as regiões temperadas seriam mais frios e a zona equatorial, mais quente"¹¹.

A partir dessa conceituação, é instrutivo entender, por exemplo, o que acontece com as correntes oceânicas no Atlântico Norte, como um alerta para a gravidade das consequências do aquecimento global. Diferentemente do que se sabe de conclusivo sobre a influência do aquecimento no regime de ventos do planeta, no caso das correntes oceânicas já há muito mais do que hipóteses.

Circulação Oceânica do Atlântico Norte



Margulis explica: "O Oceano Atlântico é fundamental para o funcionamento da circulação global, transportando águas quentes do Atlântico Equatorial e Sul para o Atlântico Norte"¹², como mostrado nesta figura acima¹³. As partes em vermelho das linhas que representam as correntes na região indicam o fluxo de águas relativamente mais quentes e as partes em azul, águas mais frias.

¹¹ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 63.

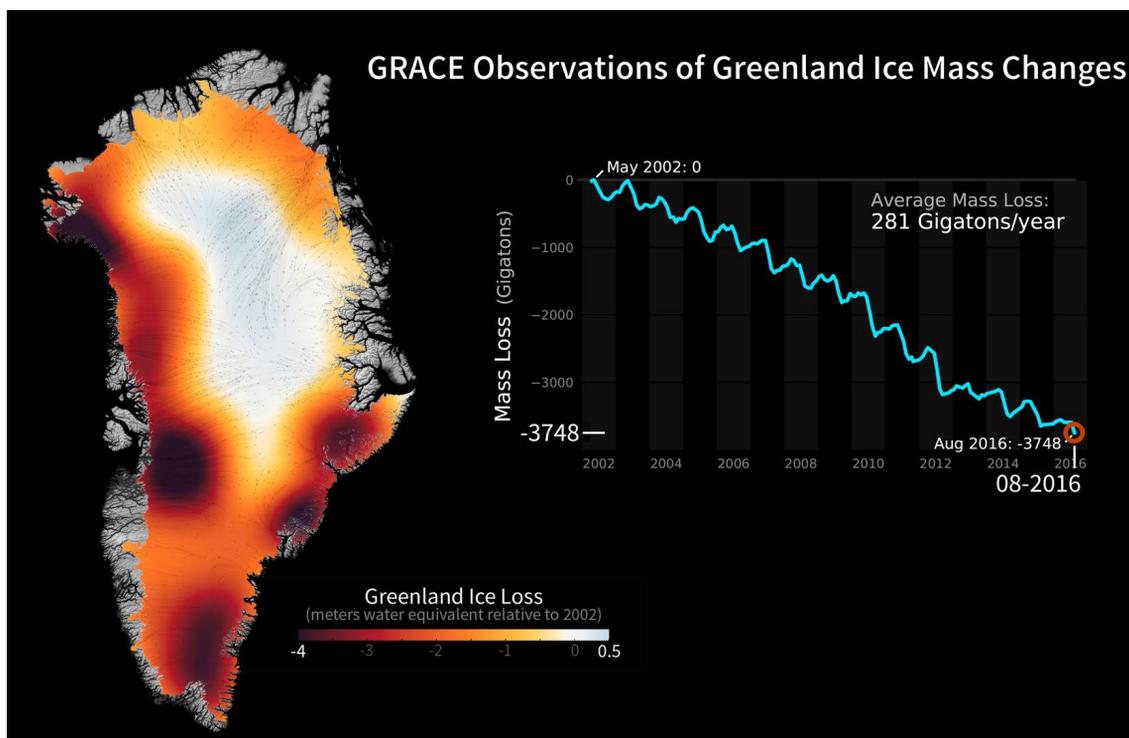
¹² MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 63.

¹³ Idem, p.64.

Observe que, vindas da zona tropical, as águas quentes que chegam à costa oeste da Europa são responsáveis por temperaturas mais agradáveis naquelas latitudes mais frias¹⁴. No litoral da Groenlândia, essas águas são substituídas por águas frias e vêm para amenizar o clima quente do sudeste da América do Norte, do Caribe e do nordeste da América do Sul.

Margulis observa que "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"¹⁵.

Saiba mais: A animação produzida pela NASA mostra de maneira inequívoca como vem evoluindo o degelo das geleiras da Groenlândia¹⁶.



Apenas no período registrado, de 2002 a 2016, estima-se que a massa de gelo que derreteu é da ordem de 3748 bilhões de toneladas. Ao analisar a animação, *Greenland Ice Loss 2002-2016* da Nasa, observe que o eixo vertical está em valores negativos, representando a variação da massa de gelo da ilha que derrete a cada ano. Então, embora o gráfico seja descendente, ele mostra o valor crescente da água doce que foi para o oceano no período analisado.

Os picos da curva se referem ao inverno no Hemisfério Norte e os vales, ao verão. Destacam-se os verões de 2010 e 2012, em que o aumento do degelo foi mais pronunciado que nos outros anos.

Pesquisadores asseguram que, desde meados do século 20, esse fenômeno já enfraqueceu a circulação das correntes na região em 15%. A explicação é a seguinte: os grandes volumes de água doce e fria que se incorporam ao oceano a cada ano vêm reduzindo a salinidade das águas do mar na região e tornando-as mais frias.

Com a redução da salinidade, a água fica menos densa, demorando mais para ir às camadas mais profundas e adiando, dessa maneira, sua substituição por águas que são mais salgadas. Esse mecanismo torna a circulação mais lenta, alterando o fluxo de águas mais frias em direção ao sul.

¹⁴ Vejam que Londres, no sul da Inglaterra tem um clima mais ameno do que o gelado Norte do Canadá, embora ambos estejam na mesma latitude.

¹⁵ Ibidem, p.63.

¹⁶ NASA, *Greenland Ice Loss 2002-2016*, : <https://gracefo.jpl.nasa.gov/resources/33/greenland-ice-loss-2002-2016/>

A má notícia é que o derretimento completo das geleiras da Groenlândia é irreversível e as correntes oceânicas do Atlântico Norte podem mesmo parar de circular, com consequências imprevisíveis. Mas há também uma boa notícia: é possível desacelerar o aquecimento global, com a substituição planejada da geração de energia com a queima de combustíveis fósseis por fontes sustentáveis que não gerem gases estufa.

Difícil, mas possível!

1.6 Continentes e Topografia

A topografia e a distribuição de terras no planeta são fatores que contribuem para que o clima tenha atingido a dinâmica milenar que estamos vendo mudar. As grandes cordilheiras e as cadeias de montanhas estabelecem contornos estruturais marcantes para o entendimento dos fenômenos climáticos, da mesma forma que o aquecimento diferenciado da atmosfera, a presença ou não de grandes florestas, os ventos permanentes e as correntes oceânicas.

Os rios voadores, conceito de elaboração relativamente recente¹⁷, é uma categoria de fenômeno climático em que a topografia do planeta tem influência direta. São enormes massas atmosféricas de água e vapor, sem limites definidos e de formato mutável, que podem atingir até 3 quilômetros na vertical, se distribuem por centenas de quilômetros de largura e fluem por milhares de quilômetros.

Ocorrem na região tropical do Atlântico Sul, na costa Oeste dos Estados Unidos, no norte da África, na Europa Ocidental, na Groenlândia e no continente Antártico. A maior parte da água doce transportada pelo planeta se movimenta pelos rios voadores.

A floresta Amazônica tem dois grandes papéis climáticos: atua como “freio do aquecimento global ao retirar carbono da atmosfera” e fornece “o mecanismo de regular as chuvas na própria Amazônia, fundamental para sua sobrevivência e, adicionalmente, para exportar um gigantesco volume de água continente adentro”¹⁸.

¹⁷ O engenheiro agrônomo Eneas Salati (1933-2022) foi o primeiro pesquisador, ainda em 1976, a realizar estimativas sobre o balanço hidrológico da região Amazônica. Com seu trabalho, deixou um legado decisivo sobre a importância das florestas para o ciclo da água no planeta, especialmente sobre como a floresta Amazônica é responsável por irrigar as regiões ao sul do Brasil.

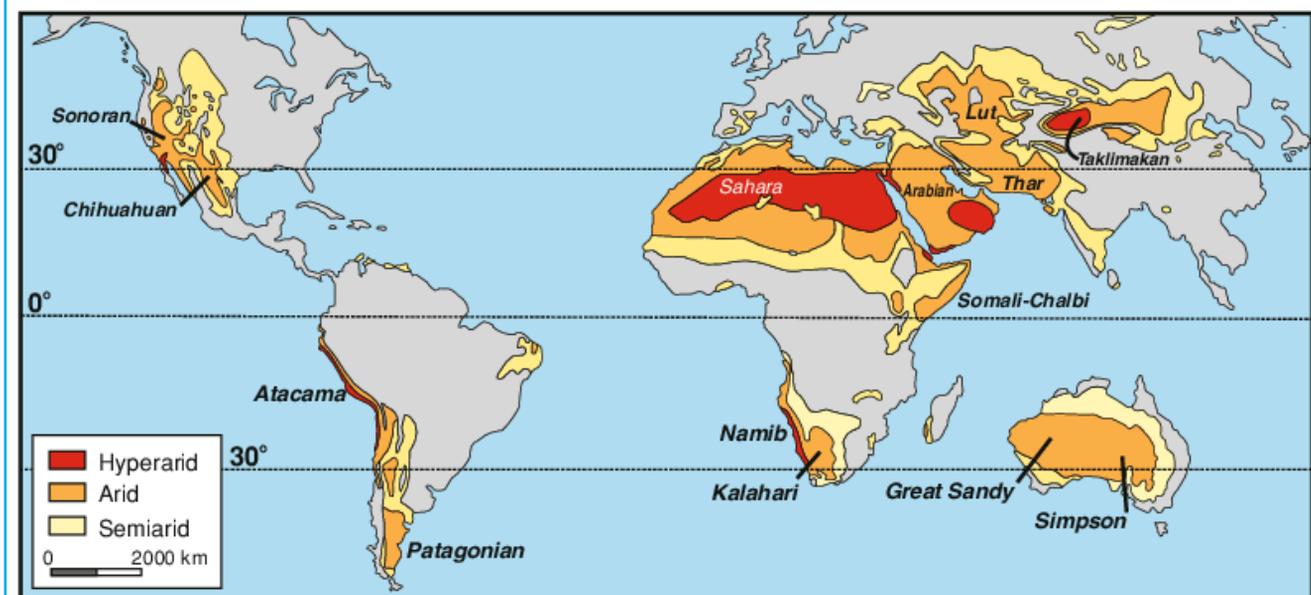
¹⁸ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 46.



Esta figura mostra de forma simplificada a interdependência entre os fatores ambientais que explicam a ocorrência de rios voadores na América do Sul e, particularmente, no Brasil¹⁹. Eles “banham” boa parte do país e têm na Cordilheira dos Andes a explicação para a trajetória que descrevem.

De acordo com o pesquisador Antonio Donato Nobre, a floresta Amazônica despeja na atmosfera cerca de 20 bilhões de toneladas de água por dia, volume maior que os 17 bilhões de toneladas que o rio Amazonas deságua diariamente no oceano Atlântico²⁰.

Desertos no planeta



Há um fato notável, decorrente da existência dos rios voadores amazônicos. Essa figura ilustra o planisfério terrestre com destaque para as regiões desérticas, em que chamam a atenção os Desertos do Kalahari e o Grande Deserto da Austrália²¹.

São dois vastos territórios áridos que se encontram na mesma faixa de latitudes que, no Brasil, estão nas partes das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com áreas de grande produtividade agrícola, exatamente por serem regiões irrigadas pelos rios voadores amazônicos. Essa particularidade que nos beneficia diretamente reforça ainda mais a importância de mantermos a floresta Amazônica em pé, por ela em si e por tudo que ela propicia ao continente e ao planeta, no que se refere aos serviços ambientais, à economia e às gerações futuras.

¹⁹ Infográfico baseado na imagem de referência do artigo TORRES, Wylam, O que são rios voadores, Canal Tech, publicado em 18/02/2022: <https://canaltech.com.br/meio-ambiente/o-que-sao-rios-voadores-209407/>

²⁰ Antonio Donato Nobre é pesquisador em ciências climáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). TEDx Amazônia: Antonio Donato Nobre mostra que tem um rio em cima de nós, 2010: <https://www.youtube.com/watch?v=HYcY5erxTYs>.

²¹ SEMANTIC SCHOLAR, Chapter 2 Aridity and Drought 2. 1 Definition of Aridity, 2019. <https://www.semanticscholar.org/paper/Chapter-2-Aridity-and-Drought-2--1-Definition-of/366628fa844e2c89f5f7b172599b4c443f277e75/figure/2>

2. O aquecimento global

2.1 O que é o IPCC?²²

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC na sigla em inglês, é o “órgão das Nações Unidas para a ciência relacionada às mudanças climáticas”. Órgão de caráter consultivo, o IPCC conta com 195 países membros e foi criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

O Painel não realiza pesquisas próprias, é um esforço coletivo que reúne centenas de cientistas das universidades e centros de pesquisa mais importantes de todo o mundo. Produz reuniões, conferências e relatórios em que se avalia o estado mais avançado do conhecimento sobre o clima, no âmbito do planeta como um todo e nos diferentes níveis regionais. Seu objetivo é “fornecer aos formuladores de políticas avaliações regulares sobre as mudanças climáticas, adaptação e mitigação de seus efeitos”.

Todas as avaliações e relatórios são preparados por três grupos de trabalho: GT1 – A Base da Ciência Física; GT2 – Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade; e GT3 – Mitigação das Mudanças Climáticas. Há ainda um quarto grupo, a Força-Tarefa que atualiza inventários nacionais de gases de efeito estufa, com o objetivo principal de desenvolver e refinar uma metodologia para o cálculo e reporte das emissões e remoções desses gases em cada país.

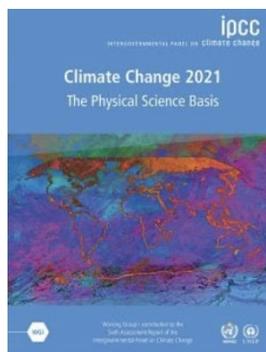
Na produção de seus resultados, os Grupos de Trabalho e a Força-Tarefa são coordenados por dezenas de cientistas, que promovem a necessária interação entre os resultados e buscam sinergia entre as diferentes recomendações das várias áreas de conhecimento. Recentemente, foi publicado o 6º. Relatório de Avaliação do IPCC (AR6), cujo primeiro esboço foi apresentado em maio de 2017.

A elaboração final do AR6 “envolveu 230 cientistas de 66 países, sendo 21 brasileiros”²³. As versões finais dos relatórios de cada GT foram revisadas e publicadas entre agosto de 2021, início de dezembro de 2021²⁴ e final de janeiro de 2022, mas ainda estão sujeitas a uma última edição.

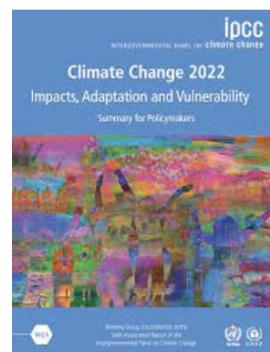
Eis alguns dos tópicos científicos que são avaliados pelos pesquisadores que compõem o GT1: gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera; mudanças de temperatura no ar, terra e oceano; o ciclo hidrológico e as mudanças nos padrões de precipitação (chuva e neve); clima extremo; geleiras e mantos de gelo; oceanos e nível do mar; bioquímica e o ciclo do carbono; e sensibilidade ao clima.

Em seu trabalho, o GT1 combina observações com equipamentos de tecnologia mais avançada a cada momento, estudos de paleoclima, identificação e análise de processos, aplicação de teorias e modelagem matemática, criando uma imagem completa do sistema climático e de como ele está mudando, incluindo as possíveis causas das mudanças.

Capa do Relatório completo do GT1



Capa do Relatório do GT2 para tomadores de decisão



²² As informações não referenciadas neste texto foram extraídas de www.ipcc.ch, site oficial da organização.

²³ A matéria, publicada no *Valor Econômico*, traz uma pequena análise sobre a mudança de linguagem nos seis relatórios de avaliação do IPCC, desde o AR1, em 1990, no sentido de tornarem-se cada vez mais assertivos quanto às alterações climáticas serem influenciadas pela atuação humana. CONSIGLIO, Sonia, *SDG Pioneer* pelo Pacto Global da ONU e especialista em Sustentabilidade, 21/09/2021. <https://valorinveste.globo.com/blogs/sonia-favaretto/post/2021/09/o-que-o-6o-relatorio-do-ipcc-nos-ensina-sobre-linguagem-e-mudanca-climatica.ghtml>

²⁴ O GT1 saiu em agosto 2021 e o GT3 saiu em abril 2022.

O GT2 avalia os impactos das mudanças climáticas desde uma visão mundial até uma visão regional dos ecossistemas, da biodiversidade e dos seres humanos e suas diversas culturas e formas de assentamento.

Considera nessa avaliação as vulnerabilidades, capacidades e limites desses sistemas naturais e humanos para se adaptar às mudanças climáticas, reduzindo, assim, os riscos associados ao clima. Procura agregar a esses estudos opções para criar um futuro sustentável para todos, por meio de uma abordagem equitativa e integrada aos esforços de mitigação e adaptação, em todas as escalas. Além dos Relatórios completos, os GTs publicam também versões especiais para os tomadores de decisão.

O GT3 trabalha com a mitigação das mudanças climáticas tendo como foco a prevenção, limitação e remoção de gases de efeito estufa da atmosfera.

Esses gases são provenientes de várias atividades que incluem a geração de energia, o transporte, o funcionamento de edifícios e indústrias, a gestão de resíduos, agricultura e silvicultura, o que dá ao GT3 um caráter altamente interdisciplinar. Sua função é oferecer uma perspectiva de curto prazo aos tomadores de decisão de governos e setores privados nacionais, e uma perspectiva de longo prazo que ajude a identificar como as metas estratégicas de política climática podem ser alcançadas.

O AR6 completo (com 3949 páginas), os sumários para tomadores de decisão dos três GTs (com 40 páginas cada) e outros documentos podem ser acessados em www.ipcc.ch/reports.

2.2 O que é aquecimento global

O conhecimento sobre as causas do aquecimento global já está bastante avançado. Há dados inquestionáveis mesmo para os que se negaram a reconhecer as mudanças climáticas até recentemente.

Sérgio Margulis, em *Mudanças do Clima*, traz dados, análises e argumentos exaustivos sobre o tema, evidenciando “a gravidade do problema do aquecimento global e de 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 [gases de efeito estufa] serão reduzidas. (...) Somente a negação da ciência pode nos desviar de enxergar isso”²⁵.

Esse alerta é real e aponta para a urgência de diminuirmos drasticamente essas emissões, o quanto antes. Para entender um pouco mais sobre esses gases, vamos falar sobre a atmosfera. Ela é composta por diversos gases, particulados e água, e apresenta uma fração proporcionalmente muito pequena de GEE, que inclui dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), e os clorofluorcarbonos (CFCs). A tabela mostra a composição química da atmosfera em seus elementos e substâncias mais relevantes, sem incluir a água, que entra com algo entre 1% e 4%, em volume.

²⁵ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 151.

Composição aproximada da atmosfera seca (%)		
Nitrogênio	N₂	78,08
Oxigênio	O₂	20,95
Argônio	Ar	0,93
Dióxido de carbono	CO₂	0,04
Neônio	Ne	} 0,003
Hélio	He	
Metano	CH₄	
Criptônio	Kr	
Hidrogênio	H₂	

Proporcionalmente, os GEE são pouco expressivos, mas é preciso lembrar que a atmosfera é um ótimo exemplo de sistema adaptativo complexo. Mesmo em quantidades pouco relevantes, pequenas variações nas concentrações de cada um dos GEE têm provocado um aumento sensível da temperatura média do planeta. O que pesa nesse fenômeno não é a proporção de cada gás na atmosfera, mas, sim, o chamado Potencial de Aquecimento Global de cada um deles (GWP, na sigla em inglês).

Sabemos que, de longe, o CO₂ é o grande vilão, quando se fala em aquecimento global, por ser emitido em quantidades muito maiores do que a de todos os outros.

O GWP desses três outros gases é “convertido” no equivalente em CO₂ (CO₂-eq). Isso facilita a construção de balanços e gráficos.

Mas, como Margulis ressalta, o GWP dos outros três gases, dos quatro mencionados acima, “é muito maior que o do CO₂: o do metano é 30 vezes maior (ou seja, o efeito de 1 tonelada de metano na atmosfera é igual ao de 30 toneladas de CO₂). Igualmente, o GWP do N₂O é de 273, enquanto o dos gases fluorados, entre 140 e 23.900”²⁶.

²⁶ Sérgio Margulis, Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber, p.19.

Ciclo Global do carbono | valores anuais



O esquema representado nesta figura mostra, em grandes linhas, o balanço global entre emissões e capturas do CO₂ equivalente no período de 2006 a 2015, com destaque para as fontes (antropogênicas) e sumidouros (naturais) dos GEE²⁷. O balanço é altamente desfavorável ao equilíbrio ambiental, com um aumento na atmosfera de 16,4 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente no final do período analisado.

As emissões mais importantes vêm da queima de combustíveis fósseis voltada principalmente para geração de energia elétrica; geração de calor nas indústrias e cozinhas; para aquecimento de água nas residências e em processos industriais; e para movimentar meios de transporte com motor à explosão. As emissões relativas a mudanças no uso da terra incluem o desmatamento e as queimadas florestais; a liberação do metano pelos rebanhos de animais ruminantes criados em grande escala para servir de alimento humano; e também o uso de fósforo e nitrogênio dos fertilizantes químicos. O nitrogênio excedente que chega à atmosfera forma óxido nítrico.

²⁷ Idem p.14.

O metano e o nitrogênio são emitidos em quantidades muito menores que o dióxido de carbono. No entanto, como vimos, o metano e o óxido nitroso têm potencial de aquecimento global dezenas ou centenas de vezes mais que o do CO₂.

Assim, o aumento sistemático de GEE na atmosfera tem sido responsável pelo “aprisionamento” de radiação solar na forma de calor no sistema Terra, com o aumento do que os físicos chamam de *forçamento radiativo*, causador do aumento da temperatura média do planeta.

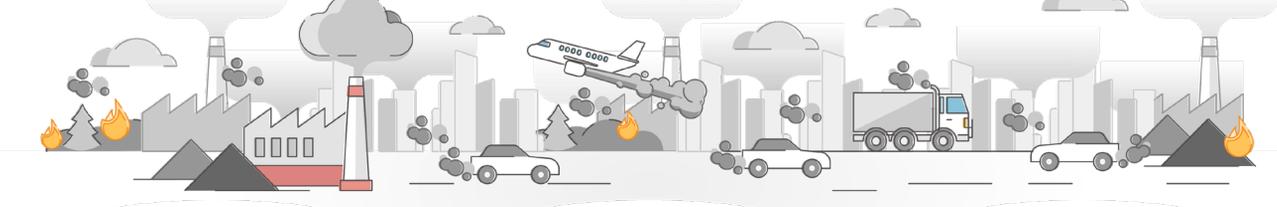
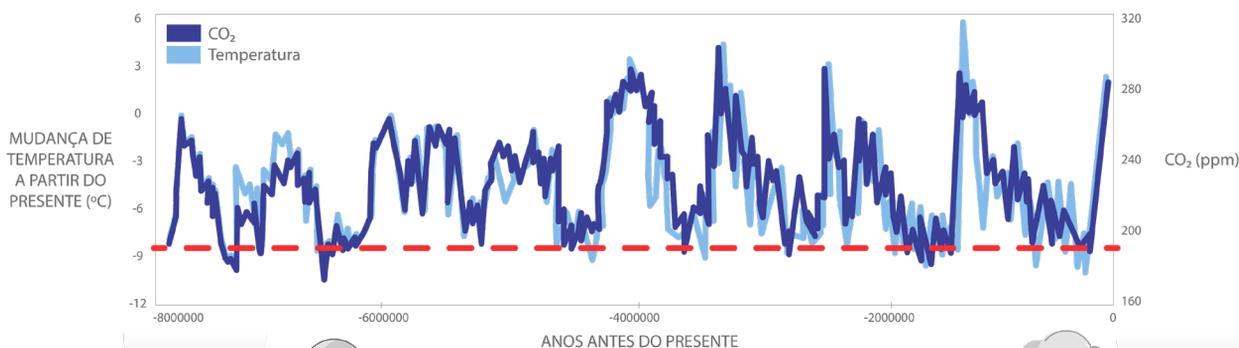
2.3 Antropoceno: exagero ou realidade?

Do ponto de vista do tempo geológico, vivemos no Éon²⁸ Fanerozoico (iniciado há 570 milhões de anos, com o surgimento dos primeiros animais invertebrados e de algas marinhas), na Era Cenozóica (desde 65 milhões de anos, com início marcado pelo domínio dos mamíferos na Terra), no Período Quaternário (desde 1,6 milhões de anos, caracterizado pelo surgimento do gênero homo), na Época Holoceno (desde 10 mil anos, com o surgimento das civilizações e da constituição do tempo histórico).

Muitos pesquisadores e ativistas climáticos admitem que a humanidade alterou tanto as características do Holoceno que já podemos falar em uma nova Época, o Antropoceno, desde o início da Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII, marcada por um fato inédito: pela primeira vez, mudanças climáticas globais estão sendo causadas de forma rápida e irreversível por ações dos próprios seres humanos.

Quais são os indícios de que essa nova Época já esteja ocorrendo? Vamos olhar para resultados seguros de pesquisas científicas.

Concentração de CO₂ na atmosfera e mudanças de temperatura na Terra



Este gráfico foi construído com base em estudos do paleoclima²⁹ e mostra as variações da concentração de CO₂ na atmosfera e as mudanças na temperatura média no planeta, ao longo de centenas de milênios³⁰.

Os estudos do paleoclima são feitos com recursos metodológicos e técnicos que permitem obter dados confiáveis, de várias características físicas do clima, referentes a tempos ancestrais. Esses estudos atestam a perfeita correlação entre as duas grandezas citadas desde meados do Período Quaternário, isto é, desde 800 mil anos atrás.

²⁸ Éon é uma palavra de origem grega, usada para designar o “que é para sempre, eterno”.

²⁹ O prefixo grego paleo tem o significado de antigo.

³⁰ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 18.

O eixo vertical da esquerda representa a variação das temperaturas médias do planeta em relação à temperatura média predominante no Holoceno e o eixo da direita traz a concentração de CO₂ em partes por milhão (ppm³¹). No gráfico, as temperaturas estão em azul claro e a concentração de CO₂, em azul escuro.

Lê-se, por exemplo, que há 800 mil anos nosso planeta era 9°C mais frio do que atualmente, quando a concentração de CO₂ estava perto de 190 ppm.

De lá para cá, tivemos cerca de dez ou onze extremos de temperaturas baixas (períodos glaciais) e de temperaturas altas (período interglaciais), todos entremeados por picos intermediários de temperaturas baixas e altas não tão intensas. É importante notar que, em todo o período analisado, os extremos e os picos intermediários de temperatura, para cima e para baixo, são acompanhados coerentemente pelos valores correspondentes da concentração de CO₂ na atmosfera.

Anomalias de temperatura na superfície da Terra relativas a 1951-1980 e concentrações de CO₂ na atmosfera



Esta imagem, o gráfico da esquerda, traz outra informação sobre as anomalias nas medidas de temperatura na superfície da Terra, observadas entre 1880 e 2020, tendo como referência a temperatura média observada entre 1951 e 1980, assumida como o "zero" dessa escala³².

É interessante observar que cinco diferentes instituições importantes no estudo do clima obtiveram resultados praticamente iguais nessas medidas, desconsiderando pequenos desvios. Isso torna ainda mais confiável a informação que as medidas trazem.

O que esse gráfico nos diz? Que, em 1880, a temperatura média do planeta era cerca de 0,3°C menor do que a temperatura tomada como zero; e que, em 2020, a temperatura era 0,9°C mais alta. No período houve, então, um aumento da temperatura média global de cerca de 1,2°C [0,9 – (-0,3) = 1,2°C]. Isso em apenas 140 anos.

O que esse gráfico nos diz? Que, em 1880, a temperatura média do planeta era cerca de 0,3°C menor do que a temperatura tomada como zero; e que, em 2020, a temperatura era 0,9°C mais alta. No período houve, então, um aumento da temperatura média global de cerca de 1,2°C [0,9 – (-0,3) = 1,2°C]. Isso em apenas 140 anos.

³¹ Na atmosfera, isso significa que, no meio de um milhão de moléculas que compõem a atmosfera, há um ppm moléculas de um dado gás. O parágrafo seguinte menciona 190 ppm de CO₂ – isso significa que há 190 moléculas de CO₂ em cada milhão de moléculas da atmosfera.

³² MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p.18.

Vamos juntar essas informações analisando o gráfico da direita, na mesma imagem ao lado. Ele retoma as concentrações de CO₂ na atmosfera e acrescenta o valor referente ao ano de 2020, que foi cerca de 407 ppm³³. Em 2022, por exemplo, esse valor certamente já é mais alto. Ocorre que, em todo o Holoceno, as concentrações de CO₂ giraram em torno de 280 ppm, valor que se mantinha no início da Revolução Industrial.

Se juntarmos essas evidências com os fenômenos climáticos extremos que o mundo já observa nas diferentes latitudes, nas florestas, no campo e nas cidades, não fica difícil concluir que a adoção do conceito de Antropoceno é só uma questão de tempo.

2.4 Forçamento Radiativo

Este é um conceito físico cuja compreensão leva ao entendimento do aquecimento global com mais rigor. Do ponto de vista termodinâmico, o planeta Terra é um sistema em equilíbrio dinâmico, com um entra e sai contínuo de energia radiante que, no final das contas, deve resultar em um balanço de soma zero.

O *forçamento radiativo* (FR) ocorre quando esse balanço zero é quebrado: se o resultado do balanço for negativo, significa que saiu mais energia do que entrou e o efeito será de resfriamento da atmosfera; ao contrário, se for positivo, entrou mais energia do que saiu e o efeito será de aquecimento da atmosfera. Resfriamento ou aquecimento sempre associados às temperaturas médias de balanço zero.

Fisicamente, o conceito é expresso assim: forçamento radiativo é o resultado da diferença entre a quantidade de energia que entra no sistema Terra, e chega nas partes mais baixas da atmosfera, e a quantidade de energia que é emitida de volta. Tanto na entrada como na saída, as quantidades de energia são calculadas por unidade de tempo e por unidade de área.

Energia por unidade de tempo é **potência** e pode ser expressa em watt (W). Com a área medida em metros quadrados (m²), o **forçamento radioativo** é medido em **W/m²**.

Nos relatórios emitidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os pesquisadores usam o *forçamento radiativo* para estabelecer até que ponto um fator altera o balanço energético na troposfera, onde, a todo momento, acontecem trocas de energia. A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera, situada entre o nível do mar e até cerca de 20 km de altitude.

O que vem acontecendo desde aproximadamente 1750 é que o FR tem apresentado resultados positivos de modo crescente, ano após ano. De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4), publicado em 2007, a contribuição humana para o FR no período de 1750 a 2005 foi de 1,6 W/m². O próximo gráfico traz um detalhamento dos fatores que provocam alterações no balanço energético do planeta, para mais ou para menos³⁴. A coluna "componente antropogênico líquido" destaca a contribuição humana para o desequilíbrio energético do planeta, no período mencionado.

Uma análise do gráfico permite entender quais são os fatores que interferem no FR e para que lado agem, se para aumentar ou diminuir o seu valor:

- Os GEE contribuem fortemente para uma variação positiva do FR, em cerca de 2,7 W/m²: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, nossos velhos conhecidos, e hidrocarbonetos, como gasolina, propano e butano (usados como gás de cozinha) e gás natural. Não é incomum os hidrocarbonetos no estado gasoso escaparem para a atmosfera nos processos de manejo, como em abastecimento de veículos, abertura e fechamento de válvulas de distribuição de gás etc.
- A camada de ozônio, que age como filtro de radiação ultravioleta, dá uma contribuição líquida positiva para o FR de cerca de 0,3 W/m².
- O vapor d'água presente na estratosfera (camada da atmosfera entre 20 km e 50 km de altitude) dá também uma contribuição positiva para o FR, embora pequena.

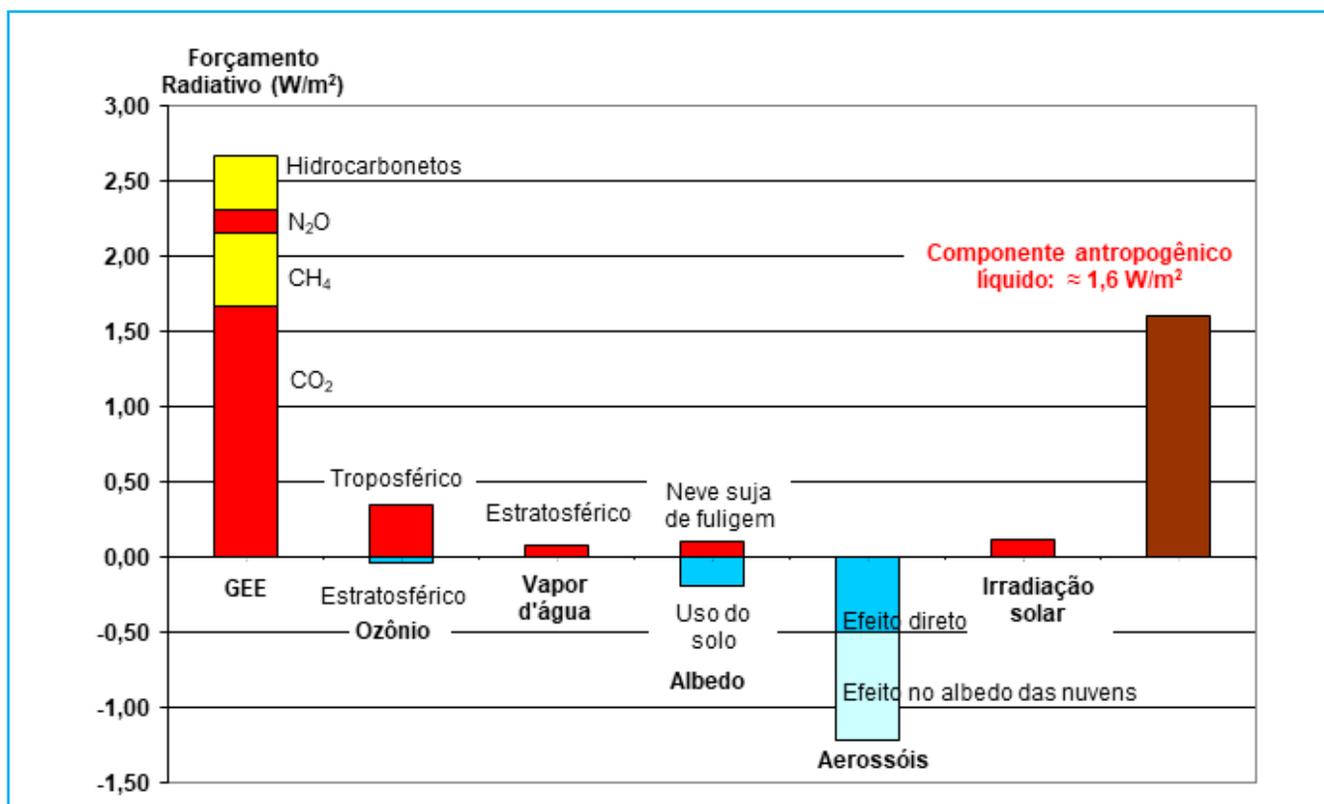
³³ Idem, p.16.

³⁴ Baseado em *Climate Change 2007: The Physical Science basis, Summary for policymakers*, IPCC, website www.ipcc.ch.

- A modificação do albedo da superfície do planeta dá uma contribuição líquida negativa para o FR. O albedo mede o quanto uma superfície reflete a radiação que recebe. Superfícies com alto valor de albedo são bastante reflexivas, portanto absorvem muito pouco da radiação que recebem. É o caso das superfícies com neve ou geleiras no planeta³⁵. O albedo da Groenlândia, por exemplo, vem diminuindo com o derretimento das geleiras de lá, pois o gelo remanescente é sujo, aumentando a absorção de radiação, o que provoca mais derretimento.

Por outro lado, as modificações no uso do solo com desmatamentos e aumento de áreas para a agricultura, têm aumentado o albedo das áreas onde isso acontece, efeito que tem mais que compensado a diminuição do albedo por derretimento de geleiras. Isso explica a contribuição negativa para o valor do FR, neste item.

Os aerossóis liberados por produtos da engenharia humana dão uma contribuição negativa para o FR, tanto pela simples presença deles na atmosfera, como pelo fato de aumentarem o albedo das nuvens, tornando-as mais reflexivas.



Infelizmente, é importante observar que, no AR6 do IPCC, publicado em fevereiro de 2022, o FR no período de 1750 a 2019 foi de 2,7 W/m², portanto, 69% maior do que o FR de 1750 a 2005³⁶. Johan Rockström, físico sueco integrante do IPCC, tem argumentos fortes para considerar que um valor seguro para o FR do planeta “não deve exceder 1,0 W/m², acima dos níveis pré-industriais”.

Transgredir esses limites aumentará o risco de mudanças climáticas irreversíveis, como a perda de grandes mantos de gelo, a aceleração do aumento do nível do mar e as mudanças abruptas nos sistemas florestal e da agricultura³⁷.

É o que fica bastante claro no filme *Rompendo Barreiras*, em que o naturalista David Attenborough apresenta o trabalho de Rockström sobre os limites do planeta.

³⁵ Uma comparação simples é andar debaixo do Sol do meio-dia no verão, numa calçada escura e numa clara – esta reflete muito mais luz e a preta absorve muito mais e fica muito mais quente.

³⁶ *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, IPCC, p. SPM13.

³⁷ Johan Rockström e 28 coautores, *A safe operating space for humanity*, in *Nature*, Vol. 461, 24/09/2009.

2.5 Emissões de CO₂ por queima de combustíveis

Principais responsáveis

O aquecimento global é uma das principais causas das mudanças climáticas. É um fenômeno fartamente evidenciado por meio de dados científicos que mostram as variações nas temperaturas médias do planeta ao longo de décadas, séculos ou milhares de anos, comprovando sua relação direta com o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

Em termos globais, a queima de combustíveis fósseis com finalidades diversas vem sendo, desde pelo menos dois séculos, a atividade humana que mais contribui para o aumento das emissões de GEE. Há outras atividades que também contribuem para essas emissões, como as mudanças do uso da terra, as atividades agropecuárias, os processos industriais e o tratamento de resíduos.

Aqui vamos dar ênfase à queima de combustíveis na geração de eletricidade e no transporte.

Focando nos tempos atuais, quais são os principais responsáveis por essa queima? Em que quantidades esses gases são emitidos pelos diferentes países? E, quanto à economia, há algum indicador que meça o quanto uma economia é mais “limpa” do que outra?

Uma análise de dados recentes das emissões em cada país permite algumas conclusões. Para uma análise em grandes linhas, esta tabela, abaixo, traz dados de 2020 dos 15 países maiores geradores de GEE por queima de combustíveis, principalmente fósseis (CF), suas respectivas populações e valores de Produto Interno Bruto (PIB)³⁸.

³⁸ (a) Valores de emissões e população obtidos no site (b) Valores de PIB, de acordo com dados do Fundo Monetário Internacional. (c) Valores obtidos por cálculos baseados nos dados referidos em (a) e (b).

PRINCIPAIS PAÍSES EMISSORES DE CO₂ POR QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, 2020

País/Mundo Ranking por emissão ^(a)	Emissões ^(a) (milhões tCO ₂ e)	População ^(a) (milhões de pessoas)	Emissões per capita ^(c) (tCO ₂ e/hab.)	PIB ^(b) (US\$ bilhões)	Intensidade de CO ₂ ^(c) (tCO ₂ e/US\$mil)
1. China	10.668	1.439	7,4	14.860,80	0,72
2. EUA	4.713	331	14,2	20.580,30	0,23
3. Índia	2.442	1.380	1,8	2.592,60	0,94
4. Rússia	1.577	146	10,8	1.464,10	1,08
5. Japão	1.031	126	8,2	4.910,60	0,21
6. Irã	745	84	8,9	446,10	1,67
7. Alemanha	644	84	7,7	3.780,60	0,17
8. Arábia Saudita	626	35	17,9	680,90	0,92
9. Coreia do Sul	598	51	11,7	1.586,80	0,38
10. Indonésia	590	274	2,2	1.088,80	0,54
11. Canadá	536	38	14,1	1.600,30	0,33
12. Brasil	467	213	2,2	1.363,80	0,34
13. África do Sul	452	59	7,7	368,10	1,23
14. Turquia	393	84	4,7	649,40	0,61
15. Austrália	392	26	15,1	1.334,70	0,29
Top 15	25.874	4.370	5,9	57.307,90	0,45
Mundo	34.807	7.800	4,5	84.929,50	0,41
17. Reino Unido	330	68	4,9	2.638,30	0,13

Em conjunto, esses quinze países representam 67% do PIB e 56% da população mundial. Foram responsáveis, em 2020, por 74% do total de GEE emitidos por queima de CF em todo o planeta. Podemos aproximar um pouco mais o olhar e focar nas cinco maiores economias, com valores de PIB em azul na tabela: Estados Unidos, China, Japão, Alemanha e Reino Unido, 17º em emissões, mas quinto em relação ao PIB. Com 55% do PIB mundial e 26% da população, apenas estes cinco países foram responsáveis por 50% de todas as emissões de GEE por queima de CF no planeta, dentre os cerca de 211 países pesquisados, reconhecidos ou não pela ONU.

Outro indicador interessante de se observar é a emissão per capita, nos países e no mundo. A grosso modo, pode-se dizer que, no primeiro ano da pandemia de Covid19, a Arábia Saudita emitiu, em média, cerca de 18 toneladas de dióxido de carbono equivalente por habitante (18 tCO₂e/hab); a Austrália, 15t; EUA e Canadá, 14t; Coreia do Sul, perto de 12t; e Rússia, cerca de 11t. São indicadores limitados por serem muito gerais, mas são interessantes como fator de comparação entre os países.

Certamente por razões diversas, esses países consomem muito mais combustíveis fósseis per capita do que o Brasil, por exemplo, que, por ter uma matriz energética quase 50% renovável, emitiu 2,2 tCO₂e/hab em 2020 queimando combustível fóssil e de biomassa, menos da metade da média mundial de 4,5 tCO₂e/hab.

Mas não nos enganemos com relação ao nosso país. Veremos em outro momento que, ao incluirmos o carbono liberado com as mudanças no uso da terra, em que entra o desmatamento, não somos nada exemplares quando se fala em emissões de GEE.

Finalmente, temos o indicador que dá uma ideia de quanto a economia de um país é “limpa” ou não: a chamada *intensidade de carbono*, que fornece a quantidade média de toneladas de carbono emitida para a geração de cada mil dólares de riqueza produzida.

Neste item, destacam-se positivamente a Alemanha, com a emissão de apenas 0,17 toneladas, ou 170 quilos (kg) de CO₂ e para cada mil dólares produzidos;

EUA e Japão, com pouco mais de 200 kg; e Austrália, Canadá, Brasil e Coreia do Sul, todos com emissões abaixo da média mundial, de 410 de kg CO₂ e para cada mil dólares de PIB. Os destaques negativos são Irã, África do Sul, Rússia, Índia e Arábia Saudita, com valores que vão de 920 kg até 1670 kg de CO₂, e emitido para cada mil dólares produzidos.

Quais são os setores da economia que mais emitem? É o que veremos em outro momento, com o Brasil, infelizmente, se colocando entre os maiores emissores do planeta.

2.6 Emissões no Brasil

O Brasil é o 5º maior emissor de GEE do planeta graças às emissões que ocorrem nas mais diversas atividades em todo o país. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) são monitoradas, em todo o mundo, em cinco grandes setores de atividades humanas. É muito instrutivo analisar os dados nacionais referentes a essas atividades, organizados pelo Observatório do Clima (OC), que utiliza o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), sistema lançado em 2012 e incorporado ao OC em 2013.³⁹

Quais são esses cinco setores e de que atividades provêm as emissões de GEE?

Setor de energia – inclui as emissões oriundas da produção e do consumo de energia em todas as suas formas de aproveitamento: geração de eletricidade em termelétricas para os mais diversos usos finais (iluminação, telecomunicações, refrigeração, aquecimento elétrico, motores elétricos, etc.); geração de calor para aquecimento de água e de ambientes; e transporte em suas mais diversas modalidades (veículos terrestres, aquáticos e aéreos com motor a explosão etc.).

³⁹ Os três gráficos e os dados da tabela, apresentados nesse texto, foram extraídos do relatório SEEG - *Análise das Emissões Brasileiras de GEE e suas implicações para as metas climáticas do Brasil, 1970-2020*, publicado em 2021. Recomendamos a leitura desse relatório: <https://energiaambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2020>

Agropecuário – onde se encontram as mais diversas atividades agrícolas e pecuárias: as que são mecanizadas e/ou praticadas em grande escala (grandes monoculturas como as de soja e de cana e as de criação de rebanhos de bovinos para leite e carne, aves, suínos, caprinos etc.); e a agricultura, a horticultura e a pecuária de pequeno porte, praticadas com fins comerciais ou para subsistência.

Processos industriais – desenvolvidos nas mais diferentes modalidades de engenharia, na indústria química, de alimentos, de equipamentos mecânicos, eletrônicos e eletroeletrônicos, na indústria farmacêutica, do couro, do vidro. Enfim, em todas as atividades industriais que não tenham como finalidade última a produção e o consumo de energia.

Setor de gestão e tratamento de resíduos

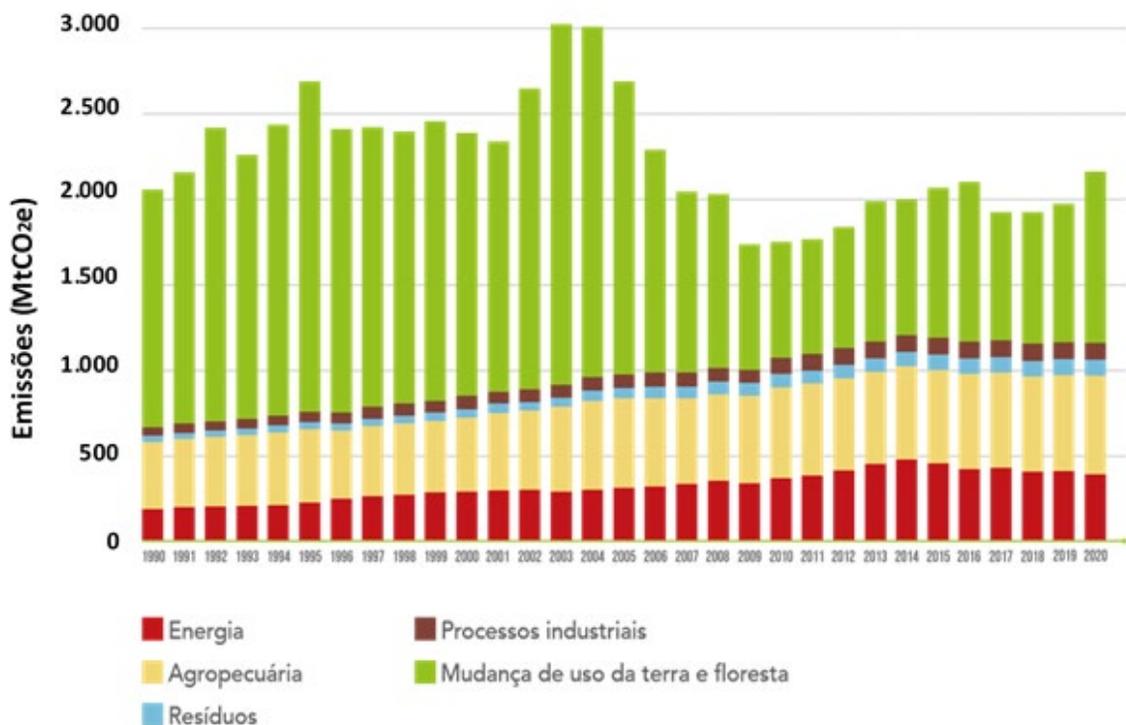
– inclui as emissões associadas a todo tipo de resíduo gerado: doméstico, industrial, comercial, do serviço público, dos hospitais, etc. São computadas as emissões de metano geradas em lixões a céu aberto, na queima de metano em aterros em que o gás é recolhido, mas sem objetivos econômicos, na queima de resíduos hospitalares etc.

Mudanças de uso da terra e florestas

– nesse setor, estão incluídas as emissões por desmatamento legal ou ilegal, com a expansão da agropecuária, a construção e crescimento das cidades, a mudança de uso de áreas de agricultura para pastagens, o reflorestamento de áreas antes usadas na agropecuária, e a recuperação de matas ciliares. Observe que a mudança no uso da terra não se dá apenas no sentido de aumentar as emissões de GEE, mas também no sentido contrário, para aumentar a capacidade de remoção desses gases da atmosfera.

Lembrete: a unidade de medida de emissões utilizada aqui é 1 milhão de toneladas, ou megatoneladas, de dióxido de carbono equivalente, abreviada por MtCO₂e.

Emissões de gases de efeito estufa do Brasil, 1990 a 2020 (MtCO₂e)



Referente a este gráfico, primeiro, observa-se que, de 1990 a 2020, as emissões por **mudanças no uso da terra** (barras em verde) cresceram até 2004; depois, tiveram uma queda significativa até 2009, mantendo-se estáveis até 2014; e, em seguida, começam de novo a crescer, chegando em 2020 ao mesmo nível que estavam em 2007. É interessante cotejar essas alterações com as políticas de governo nos campos ambiental e econômico, vigentes em cada momento, uma vez que essas alternâncias não são frutos do acaso.

Secundariamente, olhando apenas para as emissões dos outros setores, abstraindo a existência das barras em verde, especialistas asseguram que as emissões no Brasil, no período, apresentam o mesmo perfil dos gráficos de emissões da maioria dos países industrializados. Apenas confirma o quanto o uso da terra se constitui no principal foco de aumento das emissões e/ou de diminuição da capacidade de remoção de carbono da atmosfera em nosso país.

EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL, 2019 E 2020 (MtCO₂e)

Setores	2019	%	2020	%	Varição 2019-2020
Mudança de uso da terra e de florestas	807	41	998	46	24%
Processos industriais	99,5	5,0	100	4,6	0,5%
Resíduos	90,1	4,5	92,0	4,3	1,0%
Agropecuária	563	29	577	27	2,5%
Energia	413	21	394	18	-4,5%
Total Emissões Brutas	1.973		2.161		9,5%

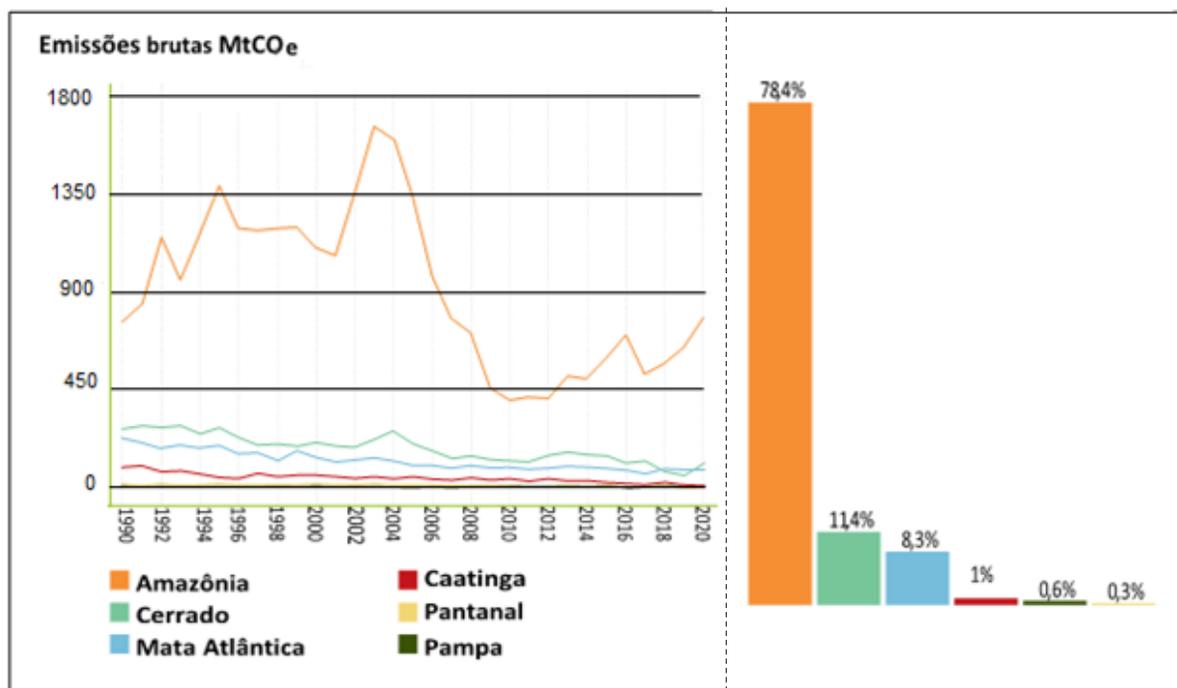
Os dados desta tabela acima trazem para mais perto dos tempos atuais o quanto a sociedade brasileira deve se atentar para as emissões de GEE do setor de **mudanças no uso da terra e florestas**. Enquanto todos os outros setores mantiveram-se estáveis em suas emissões, este setor teve um aumento de 24% em suas emissões, de 2019 para 2020, aumentando de 41% para 46% sua participação no total de emissões brutas.

Ainda sobre estes dados, a diminuição das emissões no setor **energia** deve-se em parte ao aumento do uso de energia fotovoltaica e eólica, mas também ao declínio da atividade econômica,

que ocorre desde 2015, com reflexos no menor uso de combustíveis, uma vez que o país tem no transporte rodoviário seu principal modal para distribuir mercadorias por toda sua extensão. A estabilidade de emissões no setor de **processos industriais** apenas confirma essa mesma tendência. Logo, nada a comemorar, uma vez que a estabilidade nas emissões nos setores econômicos em que isso ocorreu deve-se muito mais à estagnação da atividade produtiva no período do que a medidas positivas de mitigação das respectivas emissões.

Emissões por mudança de uso da terra por bioma, 1990 a 2020

Porcentagem das emissões no setor em 2020



O gráfico, da esquerda, se refere às emissões por **mudança do uso da terra e florestas** nos diferentes biomas do país. O gráfico da direita mostra como evoluíram as emissões em cada bioma, de 1990 a 2020. Já o segundo compara os percentuais de participação dos biomas nas emissões ocorridas em 2020.

Infelizmente, ambos só comprovaram com números o quanto o bioma amazônico vem sendo criminosamente devastado por desmatamentos e queimadas, o que o leva dramaticamente a ficar cada vez mais próximo do ponto de inflexão, além do qual uma boa parte da floresta poderá sofrer um processo de savanização irreversível.

2.7 Pontos de inflexão

No contexto das ciências climáticas, um dos conceitos utilizados pelos pesquisadores é o **ponto de inflexão** (*tipping point*, em inglês) de um fator variável que integra um sistema climático. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) conceitua ponto de inflexão como “um limiar crítico além do qual um sistema se reorganiza, muitas vezes de forma abrupta e/ou irreversível”⁴⁰. O fator variável é qualquer atributo quantificável cuja variação demarca os limites em que o sistema em estudo permanece, ao longo da história, dinamicamente estável. O grande desafio é quantificar esse fator com a maior confiabilidade possível.

Alguns exemplos podem tornar essa ideia mais concreta. Em seu livro [Mudanças do Clima](#), Sérgio Margulis utiliza esse conceito quando comenta as mudanças que vêm ocorrendo na floresta Amazônica: “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”.

⁴⁰ *Climate Change, The Physical Science Basis, AR6, IPCC, Glossary, p. AVII60.*

E continua: “No caso do desmatamento, o ponto-limite é estimado entre 20% e 40% [da **área** da floresta]. (...) 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°C e 4°C”⁴¹.

Nesse caso, os fatores variáveis críticos são a porcentagem da área da floresta e a temperatura média no bioma. Tecnicamente, esses fatores são classificados como *tipping elements*, “componentes do Sistema Terrestre que são suscetíveis de alcançar um ponto de inflexão, a [alcançar] um ponto de inflexão”. A eventual superação desses limites levará à transformação de boa parte da floresta Amazônica em savana, e Margulis alerta que a savanização da Amazônia é um dos pontos de inflexão globais mais importantes, sempre presente na lista dos mais preocupantes de todos que estudam o clima⁴².

Vamos a um exemplo que envolve as condições de normalidade para a nossa sobrevivência cotidiana, que depende da quantidade de alimentos que ingerimos, da qualidade do ar e da água que dispomos. Tanto a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos (FAO) como o IPCC admitem que o aquecimento global pode afetar fortemente a agricultura, com impactos na produtividade, disponibilidade e acesso de certas culturas.

Margulis: “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”⁴³.

O desafio da quantificação dos *tipping elements* vem sendo enfrentado por vários pesquisadores. Um deles é o físico sueco Johan Rockström, que já alcançou avanços importantes nesse tema, desde 2009.

2.8 Pontos de inflexão e limites planetários

Com o objetivo de agregar confiabilidade aos números que dão sentido concreto aos pontos de inflexão, o físico sueco Johan Rockström e sua equipe vêm dando importantes contribuições ao que conceituam como **limites planetários**, que “definem o espaço operacional seguro para a humanidade em relação ao sistema Terra e estão associados a subsistemas ou a processos biofísicos do planeta”⁴⁴. A grosso modo, é um conceito com o mesmo significado de pontos de inflexão. A diferença está no arcabouço metodológico desenvolvido por Rockström, ao qual esse conceito está associado.

O físico trabalha com um modelo de análise que admite a existência de nove grandes subsistemas e processos complexos interdependentes que controlam a estabilidade das condições de vida na Terra, abrangendo as várias possibilidades de análise: mudanças climáticas; acidificação dos oceanos; destruição do ozônio atmosférico; interferência com os ciclos do nitrogênio e do fósforo; uso global da água doce; mudança no uso da terra; taxa de perda de biodiversidade terrestre e marinha; carregamento de aerossol atmosférico; e poluição química.

Em cada subsistema ou processo, foram estabelecidos os componentes suscetíveis de alcançar um ponto de inflexão, os chamados *tipping elements*⁴⁵.

⁴¹ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p. 45.

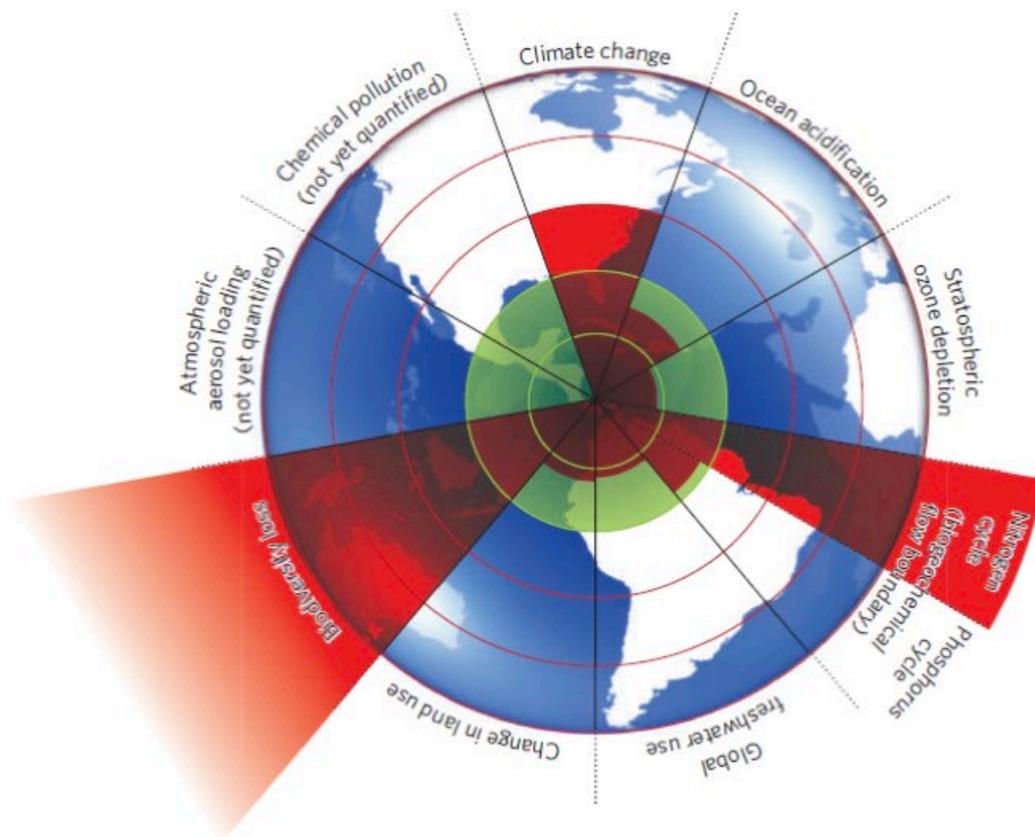
⁴² Idem, p. 45.

⁴³ Idem, p. 63.

⁴⁴ Johan Rockström e 28 coautores, *A safe operating space for humanity*, in *Nature*, Vol. 461, 24/09/2009.

⁴⁵ *Climate Change, The Physical Science Basis*, AR6, IPCC, Glossary, p. AV1160

Sistemas e/ou processos terrestres	Parâmetros (<i>tipping elements</i>)	Limites propostos	Status em set/2009	Valor pré-industrial
Mudanças climáticas	(i) Concentração atmosférica de dióxido de carbono (ppmv)	350	387	280
	(ii) Mudança no forçamento radiativo (watts/m ²)	1	1,5	0
Taxa de perda de biodiversidade	Taxa de extinção (número de espécies por milhão de espécies por ano)	10	>100	0,1–1
Limite de fluxo biogeoquímico Ciclo do nitrogênio	Quantidade de N ₂ removida da atmosfera para uso humano (Mton/ano)	35	121	0
Ciclo do fósforo (partes complementares do mesmo limite)	Quantidade de P fluindo para os oceanos (Mton/ano)	11	8,5–9,5	~1
Destruição do ozônio estratosférico	Concentração de ozônio (unidade Dobson)	276	283	290
Acidificação dos oceanos	Estado de saturação médio global da aragonita na água superficial do mar	2,75	2,90	3,44
Uso global de água doce	Consumo de água doce por humanos (km ³ /ano)	4.000	2.600	415
Mudança no uso da terra	Porcentagem da cobertura terrestre global convertida em terras agrícolas (%)	15	11,7	Baixo
Carga de aerossol atmosférico	Concentração geral de partículas na atmosfera, em base regional	A ser determinado		
Poluição química	Por exemplo, quantidade emitida ou concentração de poluentes orgânicos persistentes, plásticos, desreguladores endócrinos, metais pesados e resíduos nucleares no meio ambiente global ou os efeitos no ecossistema e funcionamento do sistema Terra	A ser determinado		



O modelo e as conclusões de Rockström são ilustradas nesta figura, com os nove subsistemas/processos organizados em setores. Os círculos concêntricos marcam os **limites planetários** de normalidade (em verde), alerta e perigo (ambos em vermelho).

No artigo mencionado, são enunciados os limites planetários estabelecidos para sete dos sistemas ou processos terrestres, apresentados nesta tabela. Apenas dois dos subsistemas ainda não tinham os limites quantificados. A tabela traz os parâmetros considerados para cada *tipping element*, o status de cada um deles em 2009 e os respectivos valores vigentes antes da Revolução Industrial.

Os autores enfatizam que três dos limites (em vermelho na tabela) já haviam sido ultrapassados e que vários outros já se aproximavam dos respectivos limites. E advertem que “embora os limites planetários sejam descritos em termos de quantidades individuais e processos separados, eles são fortemente acoplados. Não concentramos nossos esforços em nenhum deles isoladamente dos demais.

Se um limite é transgredido, então outros limites também estão sob grave risco”. E dão exemplos:

- mudanças significativas no uso da terra na Amazônia podem influenciar os recursos hídricos até o Tibete;
- O limite da mudança climática depende de ficarmos no lado seguro do uso da água doce, do uso da terra, do carregamento de aerossol, dos ciclos nitrogênio-fósforo, da acidificação dos oceanos e da destruição do ozônio estratosférico. Ultrapassar a fronteira dos ciclos de nitrogênio e fósforo pode corroer a resiliência de alguns ecossistemas marinhos, reduzindo potencialmente a sua capacidade de absorção de CO₂ e afetando, assim, a fronteira climática.

Para finalizar, vale enfatizar que essas relações e interferências recíprocas entre os *tipping elements* evidenciam o caráter complexo e adaptativo dos subsistemas e processos estudados pelas ciências climáticas.

3. Geopolítica no clima

3.1 O que são as COPs e quais foram seus resultados?

Em seu livro *Mudanças do Clima*, Sérgio Margulis dedica boa parte do capítulo VII à análise dos principais resultados das Conferências das Partes (COP) sobre mudanças climáticas, órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), criada na ECO-92, no Rio de Janeiro⁴⁶. A Convenção Quadro é um tratado internacional cujo objetivo é a estabilização da concentração dos GEE na atmosfera e participam de suas Conferências os países, as "partes", que a subscreveram.

Em 1995, ano em que a Convenção Quadro entrou em vigor, foi realizada a 1ª COP, em Berlim, e até hoje aconteceram 26 Conferências. As partes da Conferência são os países e eles que perfazem a parte mais importante das negociações. O resto da galera aproveita para assumir outros compromissos. Mas o fundamental são os acordos feitos entre os países. A 26ª A COP foi realizada em novembro de 2021, na Escócia, e a 27ª está prevista para o final de 2022, no Egito.

As questões colocadas nas mesas de negociação em todos esses anos são extremamente complexas, pois tocam na necessária e difícil mudança do modo hegemônico, na maior parte dos países, de se produzir e consumir os bens e serviços, frutos das atividades humanas. A resistência às mudanças estruturais na economia mundial explica porque quase não saímos do lugar, desde 1992 até hoje, no que diz respeito ao controle efetivo das emissões de GEE. Mesmo levando em conta que na maioria das COPs houve avanços com relação a muitos aspectos importantes sobre como encarar as mudanças climáticas.

Em que aspectos houve avanços? Vamos enumerar alguns deles⁴⁷, sem necessariamente vinculá-los à COP em que ocorreram:

- fixação de metas e prazos para redução de emissões com responsabilidades diferenciadas de acordo com o grau de industrialização de cada país;
- definição de métodos comuns para análise de impactos e de alternativas de compensação pelas reduções de emissão, com o desenvolvimento de mecanismos de financiamento e transferência de tecnologia;
- inclusão das mudanças no uso da terra e florestas como fator relevante na quantificação da concentração dos GEE na atmosfera;
- estímulo a projetos para criação de um mercado de crédito de carbono, criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com transferência de recursos dos países industrializados para países em desenvolvimento;
- criação de fundos de ajuda a países em desenvolvimento para iniciativas de adaptação às mudanças climáticas;
- definição de metas para o crescente uso de fontes de energia renováveis na matriz energética dos países subscritores da Convenção Quadro;
- regulamentação de sumidouros de carbono no âmbito dos MDLs e regras para projetos de reflorestamento;
- divulgação de inventários anuais de emissão de GEE;
- reconhecimento de que as reduções de emissões resultantes de desmatamento e degradação florestal (REDD) são fundamentais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas;

⁴⁶ MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber*, p.132 e seguintes.

⁴⁷ Instituto Socioambiental, <https://widgets.socioambiental.org/pt-br/content/história-das-conferências-do-clima#0>

- criação do Fundo Verde do Clima para administrar recursos que os países industrializados se comprometeram a dar;
- discussão sobre a necessidade de um novo ordenamento financeiro internacional baseado em uma economia de baixo carbono.

O grande desafio atual e urgente é a implementação definitiva dessas medidas e do Acordo de Paris, firmado em 2015, na COP21, por todos os países integrantes da Convenção Quadro.

3.2 O Acordo de Paris e a chamada ao “carbono zero”

O acordo firmado na COP21, realizada em Paris, em 2015, marcou uma mudança da estratégia adotada na Convenção Quadro, que até então determinava aos países metas e procedimentos “de cima para baixo”. O Acordo de Paris adotou recomendações que facultam aos países a declaração de suas próprias intenções quanto às mudanças climáticas e a fixação de suas próprias metas quanto às emissões de GEE, que incluem, dentre outras medidas, cuidados específicos com o uso da terra de florestas e a substituição gradativa de fontes de energia fóssil por fontes renováveis.

Os principais pontos do Acordo são:

- fixação de meta para limitar o aumento da temperatura média do planeta em 2°C até 2100, tendo como referência os níveis pré-industriais, mas com a forte recomendação de buscar a marca de 1,5°C;
- criação de um fundo de US\$100 bilhões anuais por parte dos países desenvolvidos para financiar ações nos países em desenvolvimento;
- definição de parâmetros para apresentação de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) para mitigação de impactos ambientais e adaptação às mudanças climáticas;

De acordo com Margulis, as NDCs constituem um dos marcos principais do Acordo de Paris e “representam o quanto cada país estaria espontaneamente disposto a reduzir suas emissões de carbono”. Por meio delas, todos os 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” que “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”.⁴⁸

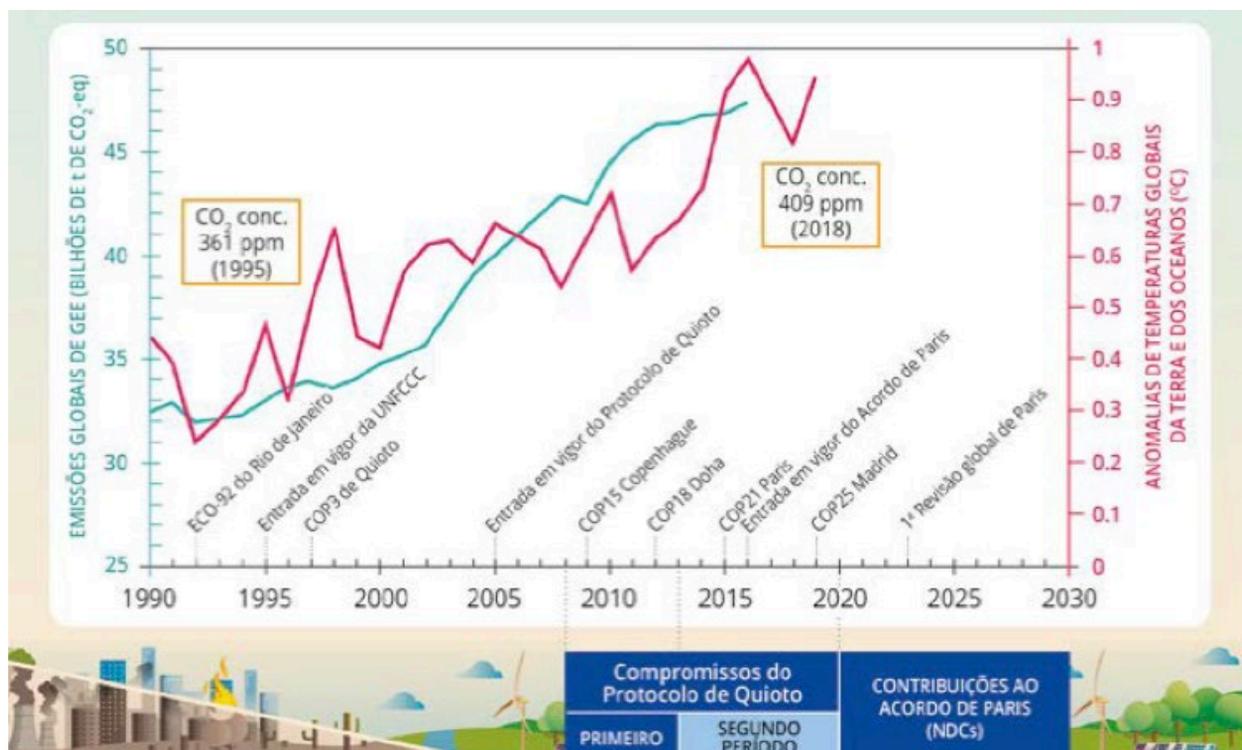
Particularmente no caso do Brasil, na COP21, o governo da época anunciou uma NDC para 2030, com a meta geral de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, em relação às emissões de 2005. Para isso, eram previstas várias metas setoriais na geração de energia e no uso da terra e das florestas.

Ocorre que, na revisão desta NDC, realizada em 2021 pelo governo atual, foram feitas “manobras contábeis” bastante criticadas por ambientalistas e acadêmicos. Uma ótima referência para a compreensão desse tema é o vídeo [Livro de regras e NDCs](#), com Shiguelo Watanabe, Stela Herschmann e Suely Araújo, de setembro de 2021, que compõe [material de formação em ciências climáticas do Observatório do Clima](#). Outra referência fundamental para entender a complexidade das discussões climáticas e das tomadas de decisão é a aula proferida pelo professor Eduardo Viola, outro material do Observatório do Clima, também de setembro de 2021. O título do vídeo é [Geopolítica da COP, Parte 1](#).

⁴⁸ MARGULIS, Sérgio. Mudanças do Clima, tudo o que você queria e não queria saber, p. 132.

Com relação às resoluções das COPs, de modo geral, Margulis alerta para o fato extremamente relevante de que, no âmbito da Convenção Quadro, a “lógica e mecanismos para tentar resolver o aquecimento global seguem um padrão parecido com o de outras convenções internacionais, ignorando a particularidade da agenda climática e sua urgência. O processo de tomada de decisão, por consenso entre todos os países [padrão ONU], parece justo e democrático, mas na verdade, pelo seu tamanho, não tem a agilidade necessária para tomadas de decisão (...) hoje temos um sistema de negociação global amplamente incapaz de responder de forma rápida aos desafios urgentes impostos pela questão climática”.⁴⁹

Acordos da UNFCCC e emissões globais resultantes da queima de combustíveis fósseis



Principais impulsionadores de impactos climáticos

O que são impulsionadores (*drivers*, em inglês) das mudanças ou dos impactos ambientais? Os *drivers* são condições físicas do sistema climático que afetam a sociedade humana ou os ecossistemas. São fatores naturais ou de origem antrópica que aceleram as mudanças ambientais, no âmbito regional ou global.

Exemplos de impulsionadores naturais de mudanças erupções vulcânicas, terremotos e maremotos, que podem ocorrer a qualquer momento, e avalanches, grandes ventanias, furacões ou tempestades típicas de certas regiões do planeta, em determinadas épocas do ano.

Mas o que nos interessa aqui são os impulsionadores de impactos ambientais antrópicos, ou seja, frutos da ação humana. Johan Rockström fala sobre a perda de biodiversidade nos tempos recentes: “A extinção de espécies é um processo natural, e ocorreria sem ações humanas. No entanto, a perda de biodiversidade no Antropoceno tem se acelerado massivamente (...) a uma taxa que não foi vista desde o último evento global de extinção em massa”.⁵⁰

⁵⁰ ROCKSTÖM, Johan. et al 28 coautores. *A safe operating space for humanity*, in *Nature*, Vol. 461. 2009.

Ainda alerta que o principal impulsionador dessa extinção acelerada são as atividades humanas, dentre as quais as “mudanças no uso da terra [que] exercem o efeito mais significativo”, incluindo “a conversão de ecossistemas naturais em áreas para agricultura ou em áreas urbanas; mudanças na frequência, duração ou magnitude de incêndios florestais e perturbações semelhantes; e a introdução de novas espécies em ambientes terrestres e de água doce”.⁵¹ Com base na experiência brasileira, podemos acrescentar a esta lista as atividades de madeireiros e garimpeiros ilegais, com técnicas primitivas e criminosas de devastação da floresta.

E completa, afirmando que o impulsionador mais importante da perda de espécies no século 21 será a alta velocidade das mudanças climáticas provocadas pelas atividades humanas: “até 30% de todos os mamíferos e espécies de aves e anfíbios estará ameaçado de extinção neste século”⁵².

O Relatório AR6 do IPCC, publicado em fevereiro de 2022, apresenta projeções de mudanças de mais de 30 impulsionadores de impacto climático ou *climatic impact-drivers* (CIDs), em centenas de regiões do mundo. Foram estudados *drivers* com impacto em regiões continentais, costeiras e de oceano aberto. Segue a relação dos principais impulsionadores estudados⁵³:

<p>No interior dos continentes:</p> <p>Temperatura média da superfície Calor extremo Geadas Precipitação média Inundação de rio Chuva forte e enchentes nos rios Deslizamento de terra Aridez Escassez de água doce Seca na agricultura e nas matas Tempestade de areia e poeira Clima com poluição do ar</p>	<p>CO₂ atmosférico na superfície Radiação na superfície Velocidade média do vento Tempestade forte com vento Ciclone tropical Neve, geleira e manto de gelo Permafrost Gelo em lagos, rios e mares Tempestade de gelo Avalanche de neve</p>	<p>Em regiões costeiras:</p> <p>Nível relativo do mar Inundação costeira Erosão costeira</p> <p>Em regiões de mar aberto:</p> <p>Temperatura média do oceano Salinidade do oceano Oxigênio dissolvido</p> <p>Nas costeiras e em mar aberto:</p> <p>Onda de calor marinha Acidez do oceano</p>
--	--	--

De acordo com o relatório, “dependendo da tolerância do sistema, os impulsionadores de impacto climático e suas alterações podem ser prejudiciais, benéficos, neutros ou uma mistura de cada um entre os elementos e regiões do sistema”.

É difícil imaginar que as alterações climáticas que já estamos vivenciando possam não ser apenas prejudiciais, mas também neutras ou ainda benéficas. É certo que, objetivamente, e para pensarmos em um exemplo no Brasil, o aumento da temperatura média da superfície pode, a médio prazo, causar a desertificação de extensas áreas no Nordeste e ao mesmo tempo favorecer as regiões Sul e Sudeste, que poderão se tornar aptas a produzir certas espécies agrícolas mais afeitas a temperaturas mais altas. Mas você consegue imaginar benefícios maiores que essas mudanças causarão? Algo para ser vivido, observado e estudado.

⁵³ idem

⁵² idem

⁵³ Climate Change 2021. *The Physical Science Basis*, AR6, IPCC.

4. Referências

Atlas Global de Carbono, 2021

<http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>

CLAY, Jonathan (dir.). *Rompendo Barreiras: Nosso planeta* (doc.). Netflix, 2021

<https://www.netflix.com/title/81336476>

CONSIGLIO, Sonia. *O que o 6º Relatório do IPCC nos ensina sobre linguagem e mudança climática*. Valor Investe. Valor Econômico, 23/09/2021.

<https://valorinveste.globo.com/blogs/sonia-favaretto/post/2021/09/o-que-o-6o-relatorio-do-ipcc-nos-ensina-sobre-linguagem-e-mudanca-climatica.ghtml>

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. *Formações em Clima: negociando o futuro*

<https://formacoes.oc.eco.br/conheca.html>

Fundo Monetário Internacional. *Dados econômicos e demográficos por país*.

<https://pt.countryeconomy.com/paises/grupos/fmi>

GELL-MANN, Murray. *O Quark e o Jaguar*. Ed. Rocco, 1996.

Instituto Socioambiental

<https://widgets.socioambiental.org/pt-br/content/história-das-conferências-do-clima#0>

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science basis, Summary for policymakers*. 2008. www.ipcc.ch

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. 2022. www.ipcc.ch

IPCC. *Climate Change, The Physical Science Basis, AR6*. 2022. www.ipcc.ch

MARGULIS, Sérgio. *Mudanças do clima tudo o que você queria saber e não queria saber*. iCs e Konrad Adenauer Stiftung, 2021. <https://www.mudancasdoclima.com.br>

NASA. *Perda de gelo da Groenlândia 2002-2016*

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

NOBRE, Antonio Donato. TEDx Amazônia: Antônio Donato Nobre mostra que tem um rio em cima de nós, novembro 2010. <https://www.youtube.com/watch?v=HYcY5erxTYs>.

ROCKSTÖM, Johan. et al 28 coautores. *A safe operating space for humanity, in Nature*, Vol. 461. 2009.

SEEG - *Análise das Emissões Brasileiras de GEE e suas implicações para as metas climáticas do Brasil, 1970-2020*. 2021.

https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf

TEDx AMAZÔNIA. *Antonio Donato Nobre mostra que tem um rio em cima de nós*, 2010:

<https://www.youtube.com/watch?v=HYcY5erxTYs>.

Gráficos e tabelas – MARGULIS (2021) e José Domingos Teixeira Vasconcelos.

Expediente

Autor: José Domingos Teixeira Vasconcelos

Baseado em: Sérgio Margulis - Mudanças do clima tudo o que você queria saber e não queria saber.

Edição: Tatiane Matheus

Revisão: Maria Luiza M. Stiepcich

Revisão técnica: Shiguo Watanabe

Diagramação: Guilherme Boschi

Gerência administrativa-financeira: Renata Rodriguez

Direção-executiva: Délcio Rodrigues

Realização: Instituto ClimaInfo

Apoio: Essa publicação foi organizada com o apoio financeiro do Instrumento de Parceria da União Europeia com o Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente,



 Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) no contexto da Iniciativa Climática Internacional (IKI). Os conteúdos desta publicação são de inteira responsabilidade dos seus organizadores e não necessariamente refletem a visão dos financiadores.



climainfo

climainfo.org.br