



DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE FRENTE À PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E CLIMÁTICA

Auditório da Escola de Engenharia de Lorena (EEL) da USP
08 de março de 2024

Pedro Ivo Camarinha
PhD Ciências do Sistema Terrestre
Tecnologista em Geodinâmica de Desastres

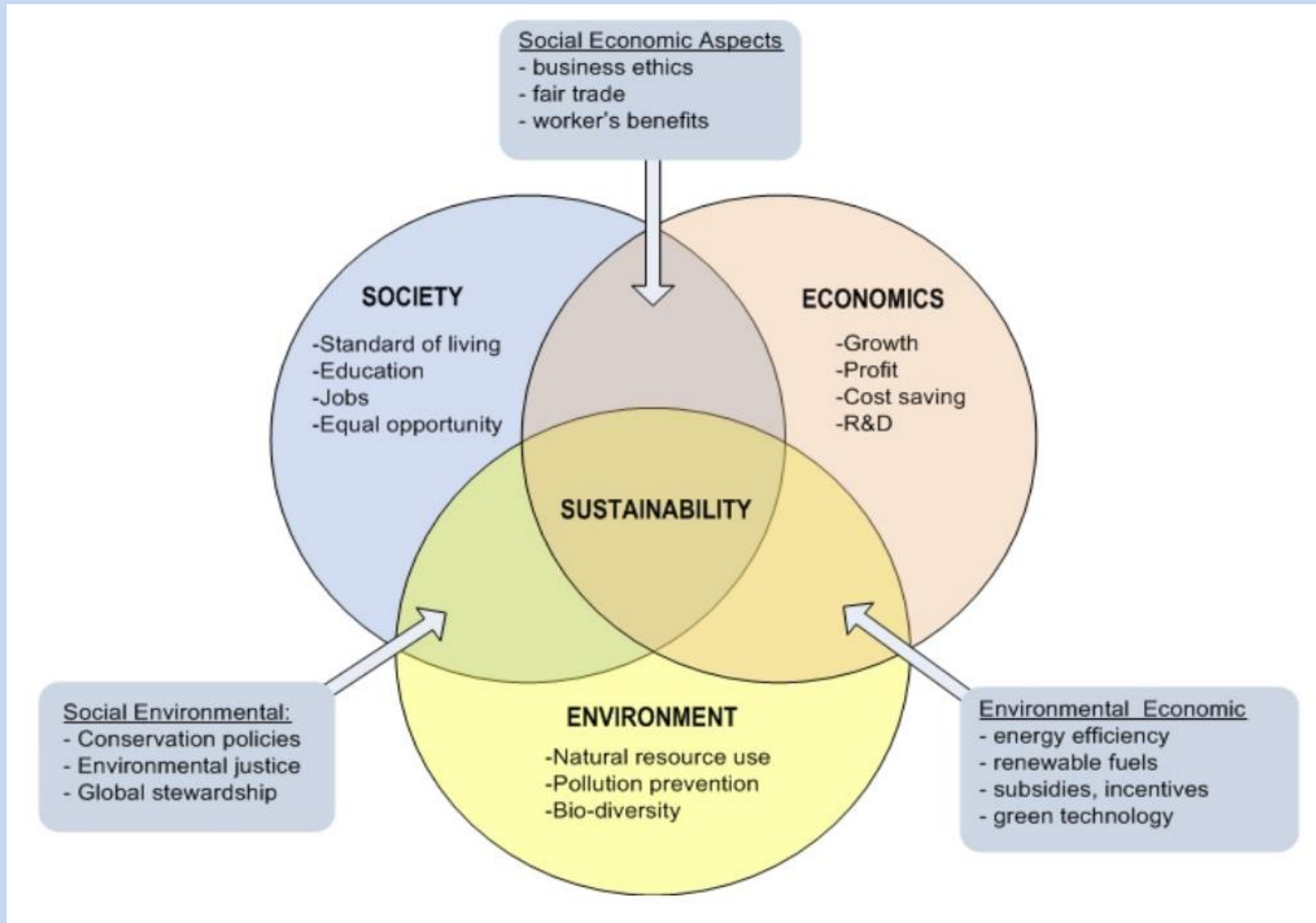


MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



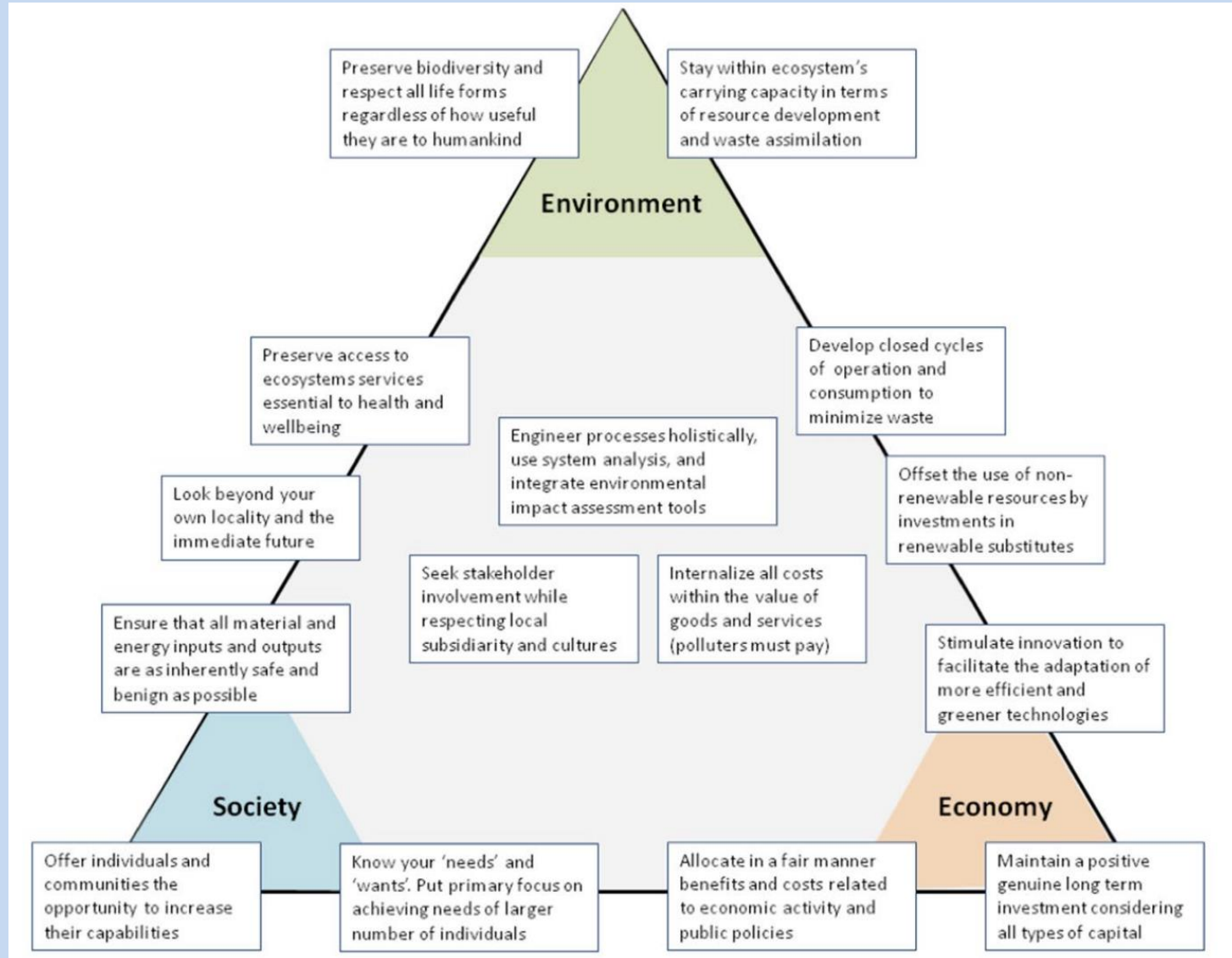
*Palestra adaptada ao material originalmente organizado pelo Professor Paulo Artaxo (USP)

Princípios conceituais da Sustentabilidade



Princípios conceituais da Sustentabilidade

Classificação dos princípios de engenharia sustentável versus princípios ambientais, sociais e critérios econômicos.



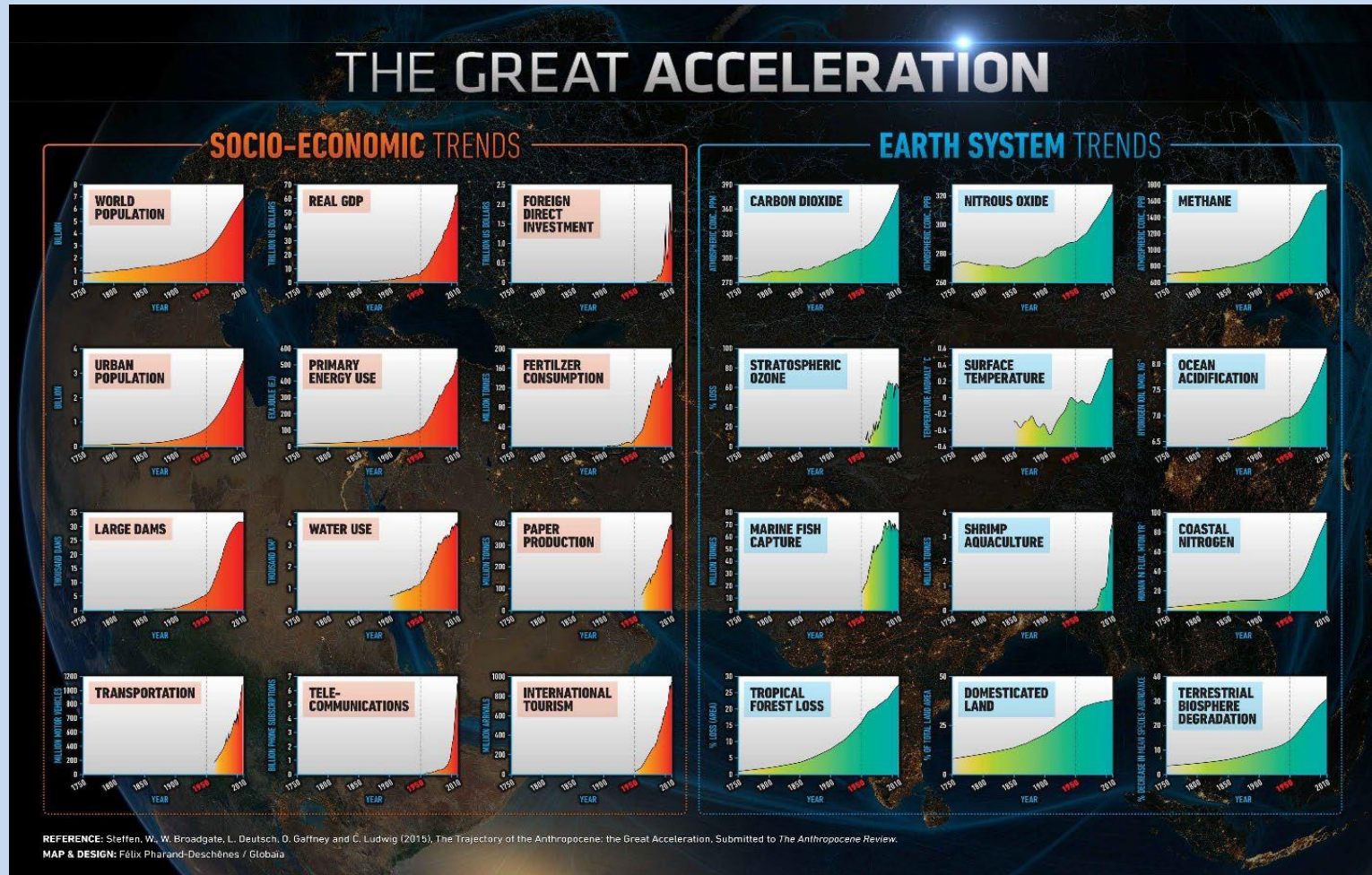
Os grandes desafios atuais (e provavelmente futuros) que a humanidade tem enfrentado

- Perda de biodiversidade
- Mudança climática
- Alta desigualdade social
- Poluição do ar urbano
- Disponibilidade de água
- Fome para milhões
- Paz (falta de)
- Pandemias
- Uso predatório dos Recursos naturais
- Extrema concentração de renda
- Felicidade (falta de)
- Etc.

Como a ciência e engenharia podem ajudar a humanidade?



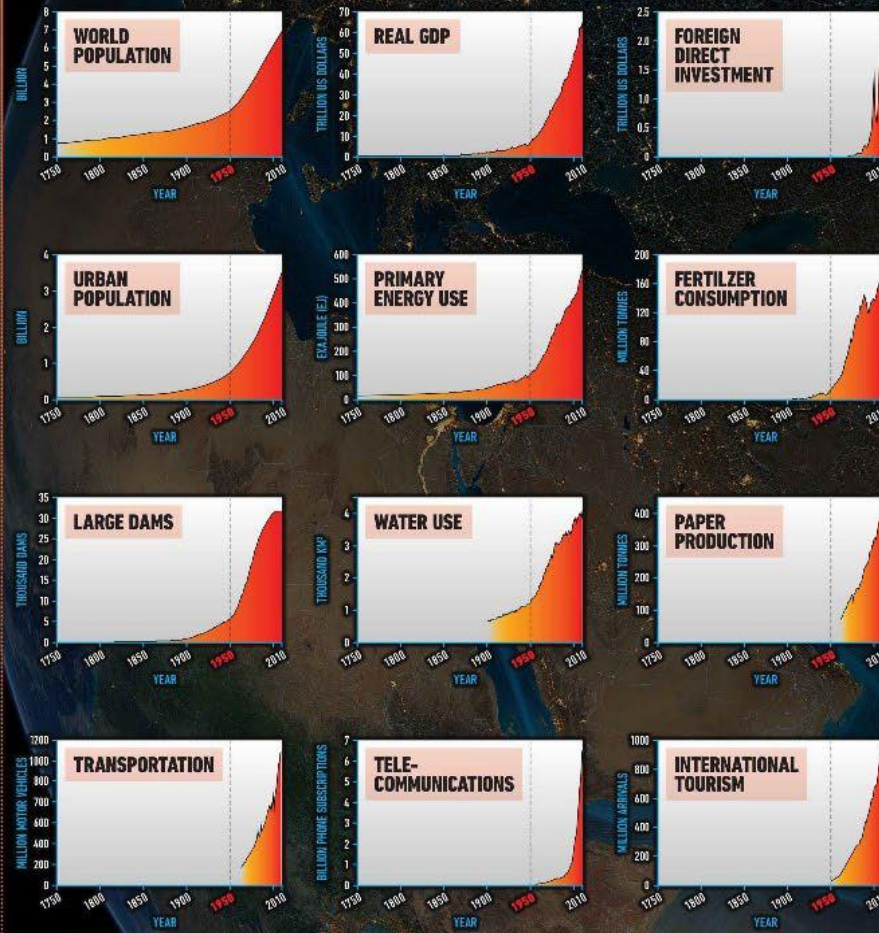
Antropoceno: a humanidade tornou-se uma força dominante para direção de alteração de muitos sistemas



Um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta atualmente é a perda de conexão vital entre os humanos e o resto do mundo que nos sustenta

THE GREAT ACCELERATION

SOCIO-ECONOMIC TRENDS



EARTH SYSTEM TRENDS

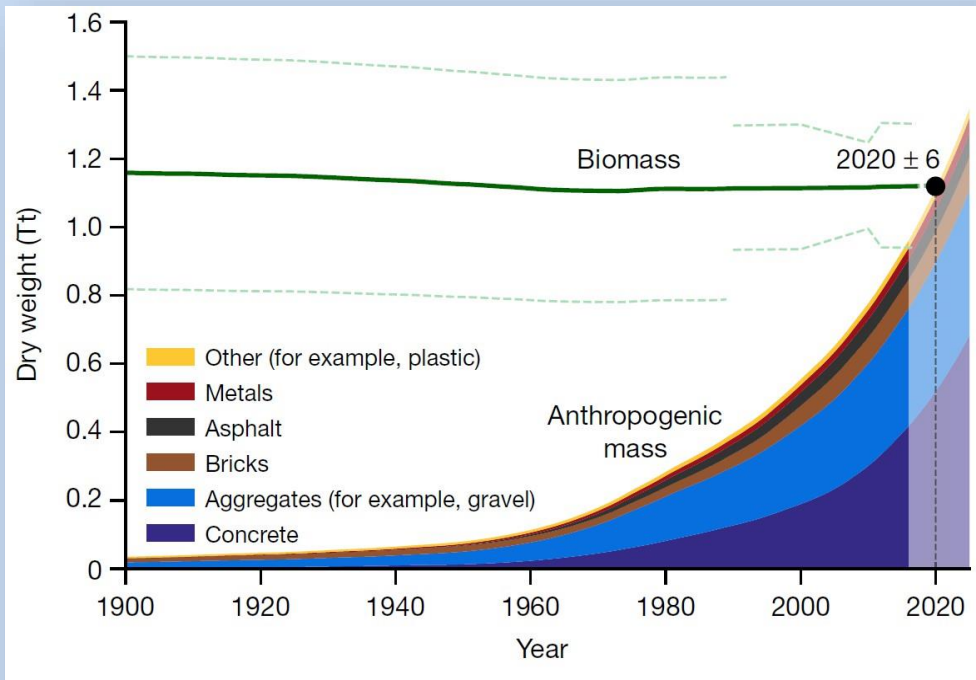


REFERENCE: Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney and C. Ludwig (2015), The Trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration, Submitted to *The Anthropocene Review*.

MAP & DESIGN: Félix Pharand-Deschênes / Globaia

Antropoceno: exemplos da magnitude de nossos impactos

Em 2020, a massa total de coisas produzidas pela humanidade ultrapassou toda a biomassa viva



Evolução da massa antropogênica desde o século XX

Milo et al., PNAS 2023



Contrastes alcançados no ano de 2020 entre a produção antropogênica acumulada e biomassa

Em milhões de anos

★ Extinção em massa: % de espécies extintas



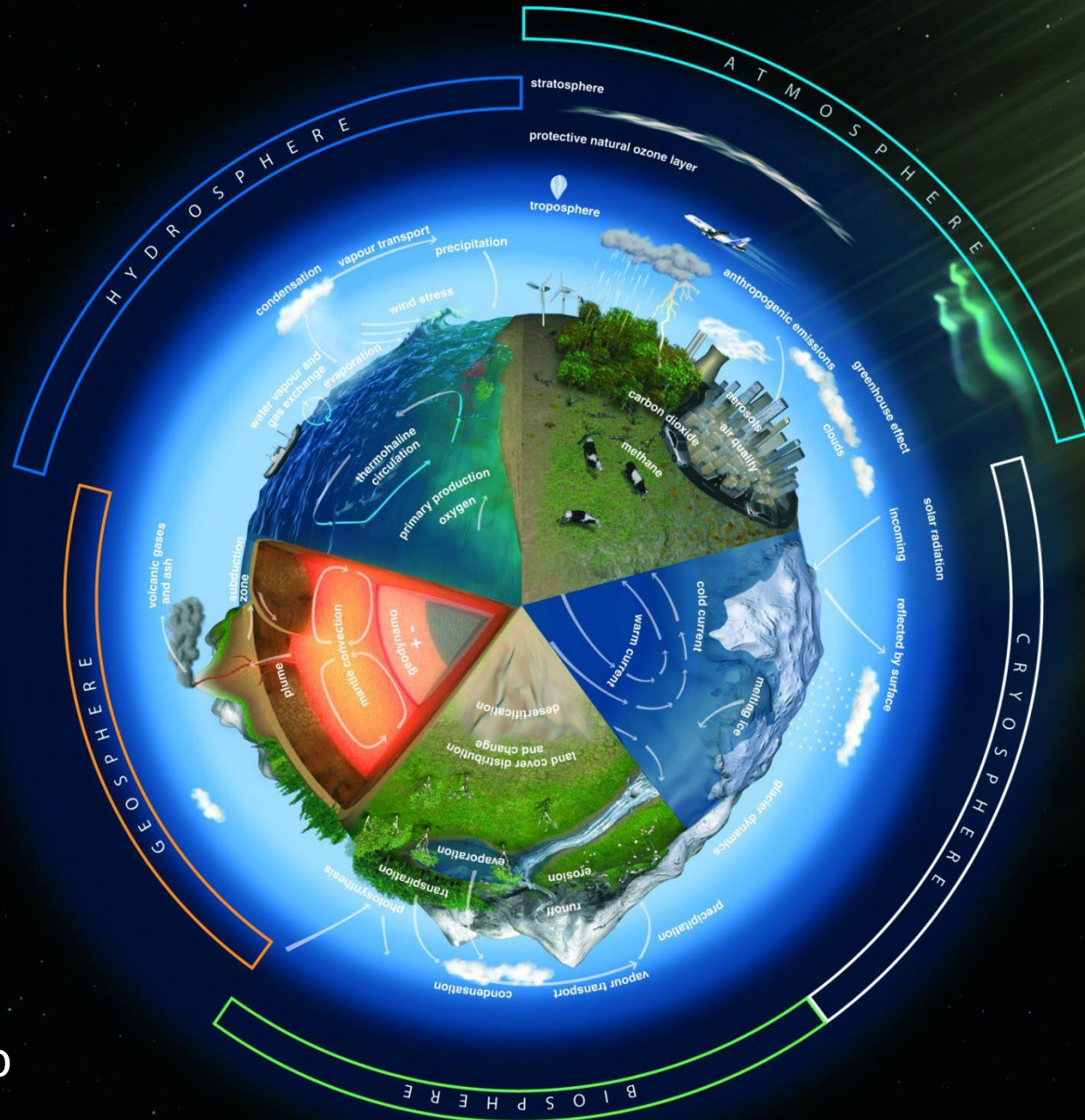
Antropoceno ou «Época dos Humanos» é o período em que as atividades humanas têm repercussões que chegam a transformar os ecossistemas

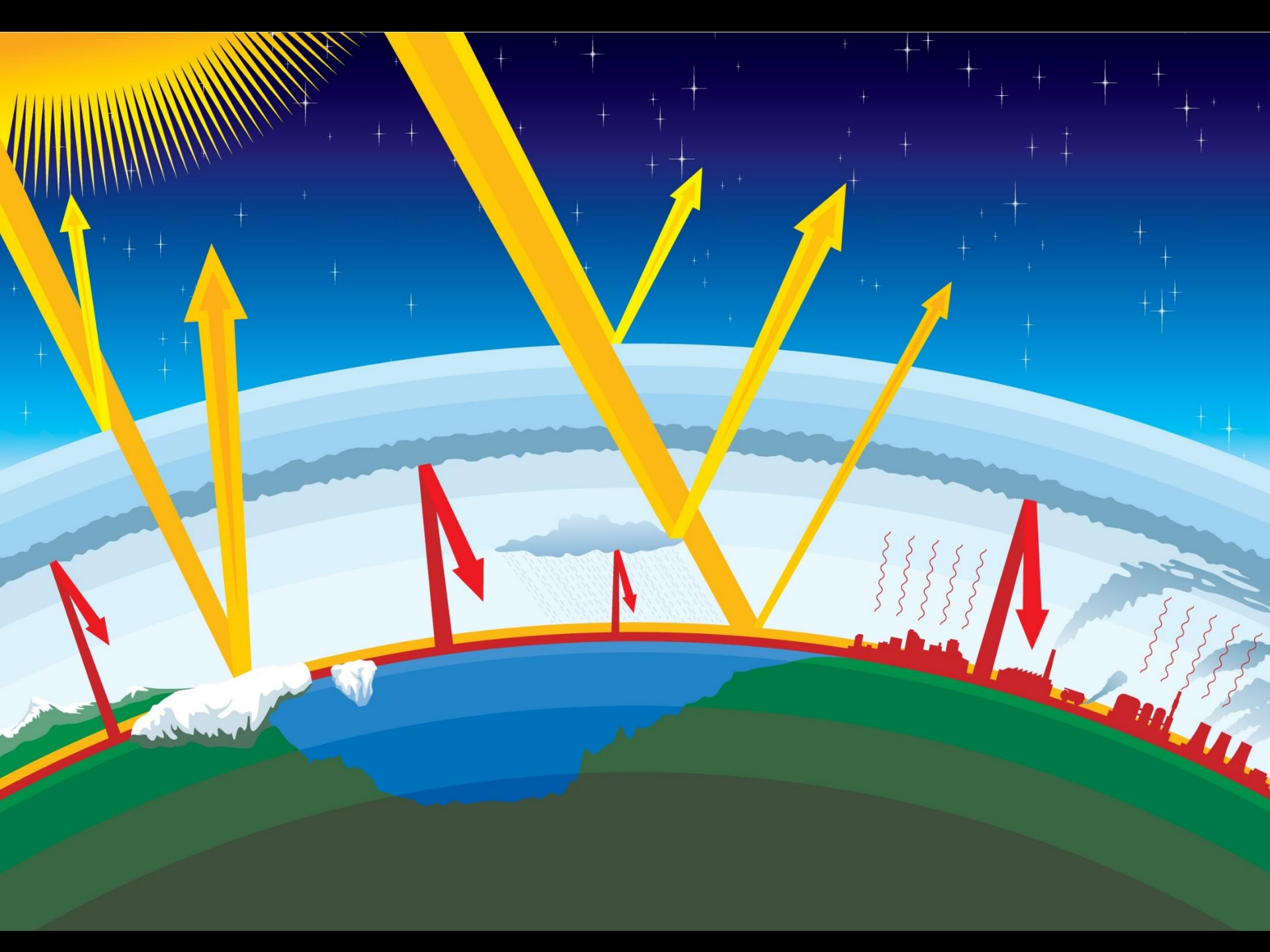


Nosso planeta em constante mudança nos compartimentos interligados:

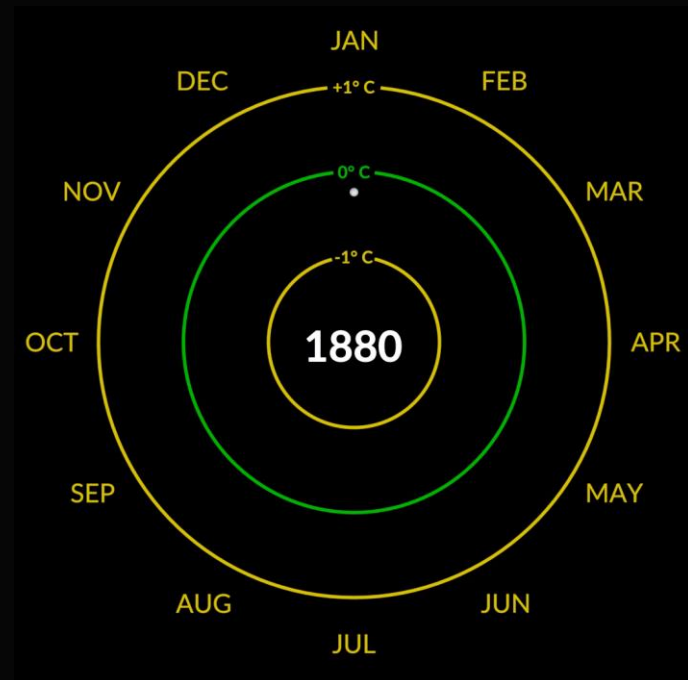
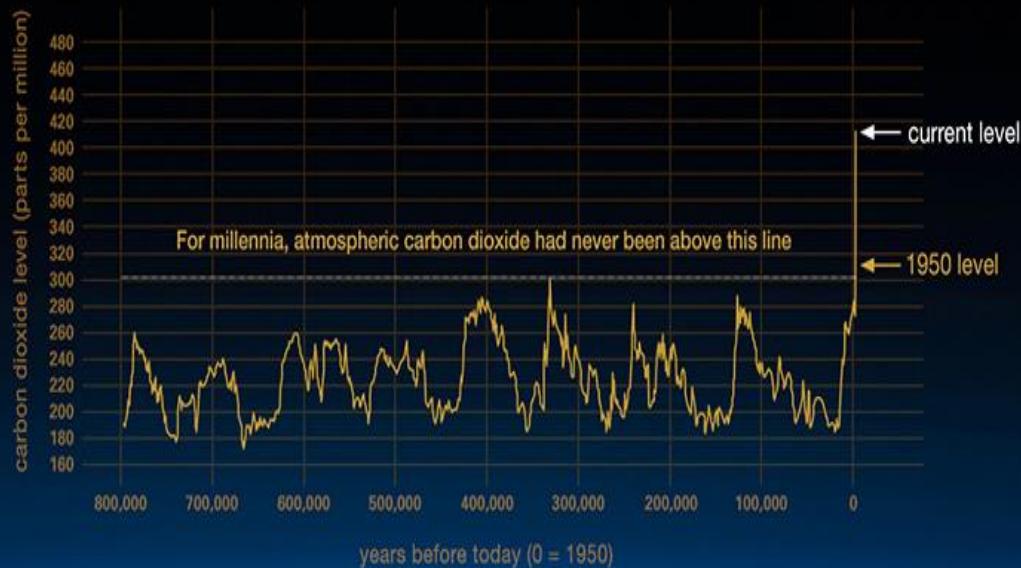
- Atmosfera
- Criosfera
- Biosfera
- Geosfera
- Hidrosfera

Os limites disciplinares **não** existem em nosso planeta

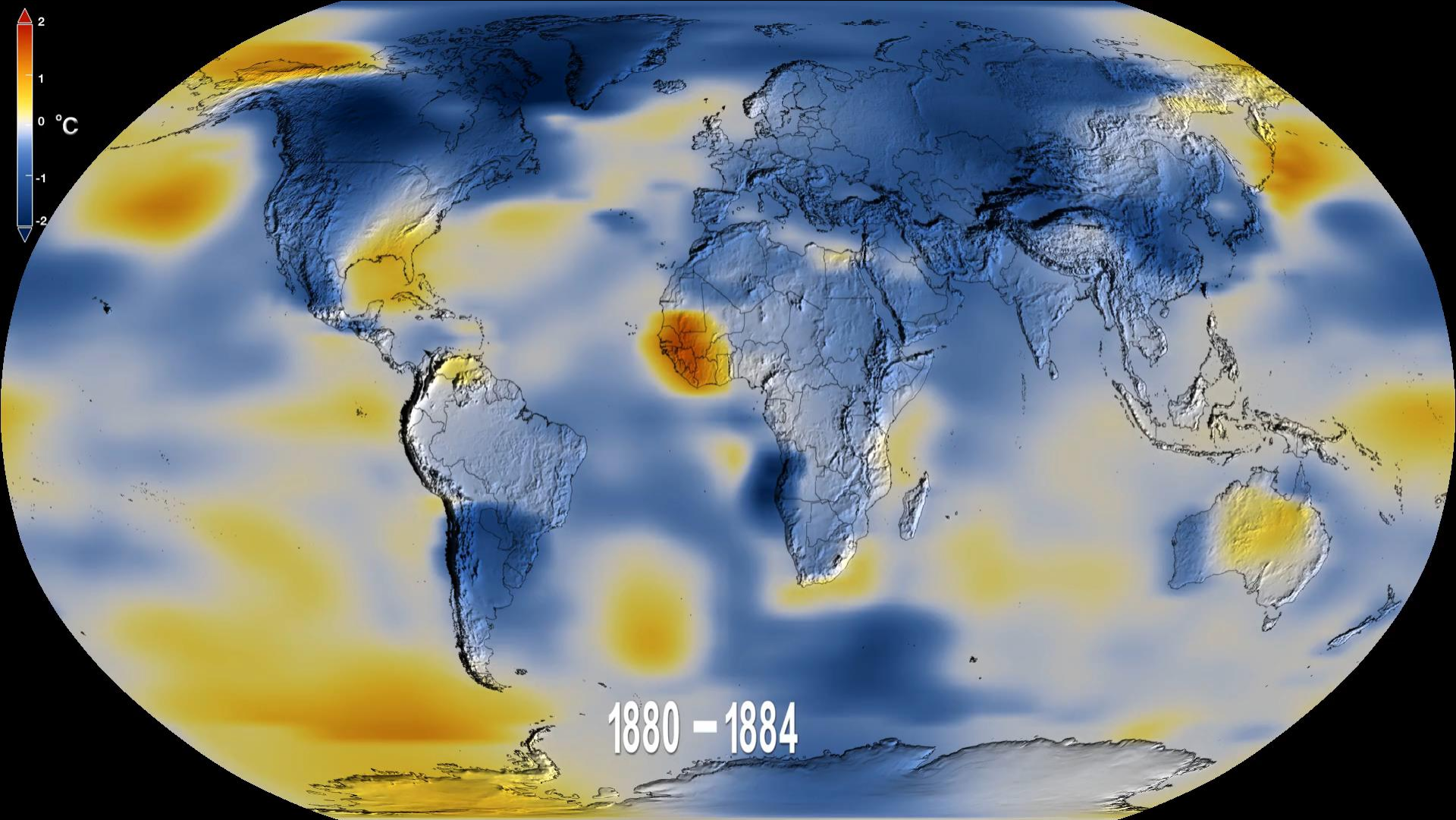




**Emissão de gases de efeito estufa aumentando em níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos.
E temperatura média global também!**



Fonte: NASA Climate Change - Ed Hawking



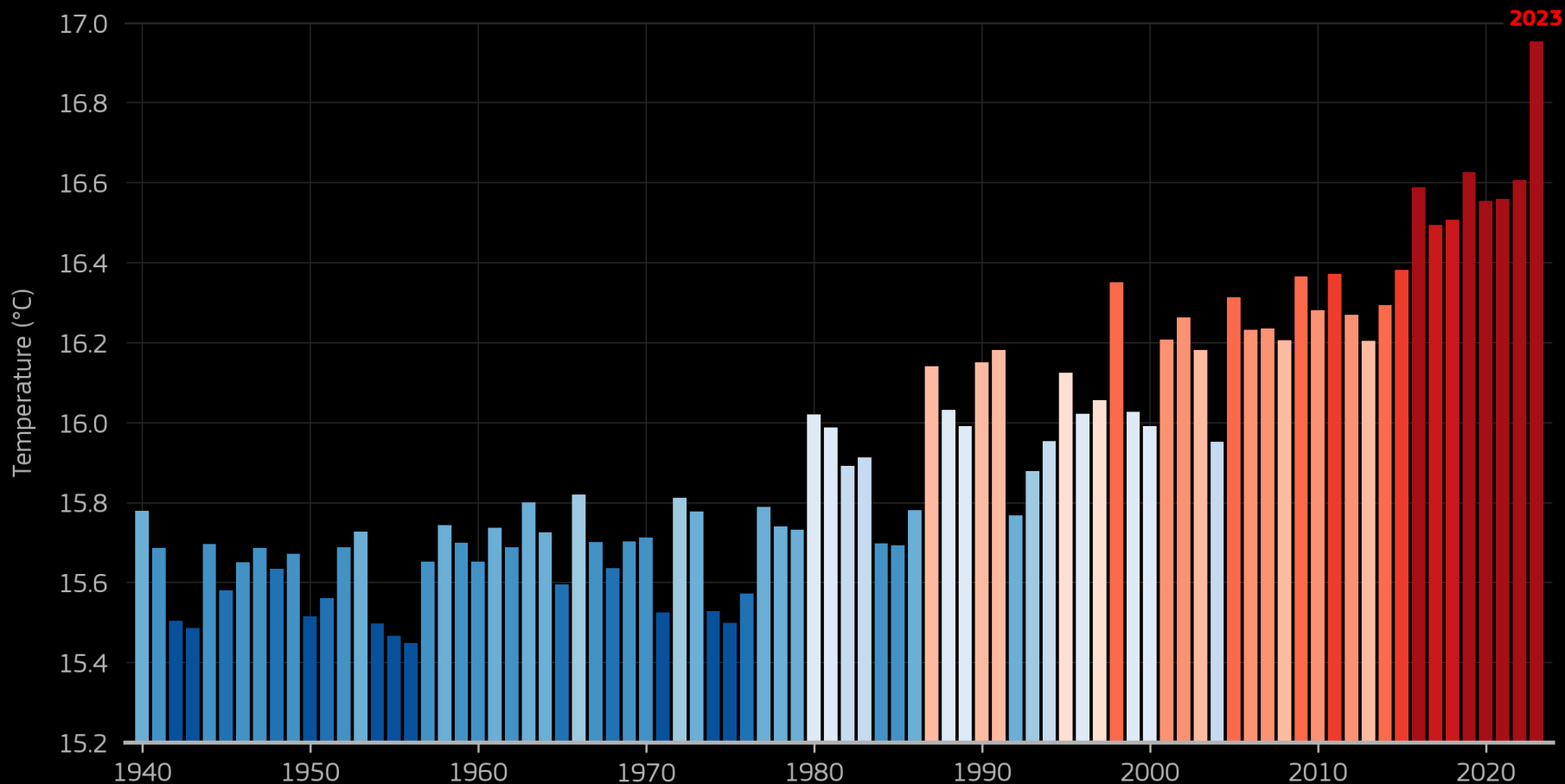
GLOBAL SURFACE AIR TEMPERATURE • JULY

Data: ERA5 1940–2023 • Credit: C3S/ECMWF



Climate
Change Service

climate.copernicus.eu



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



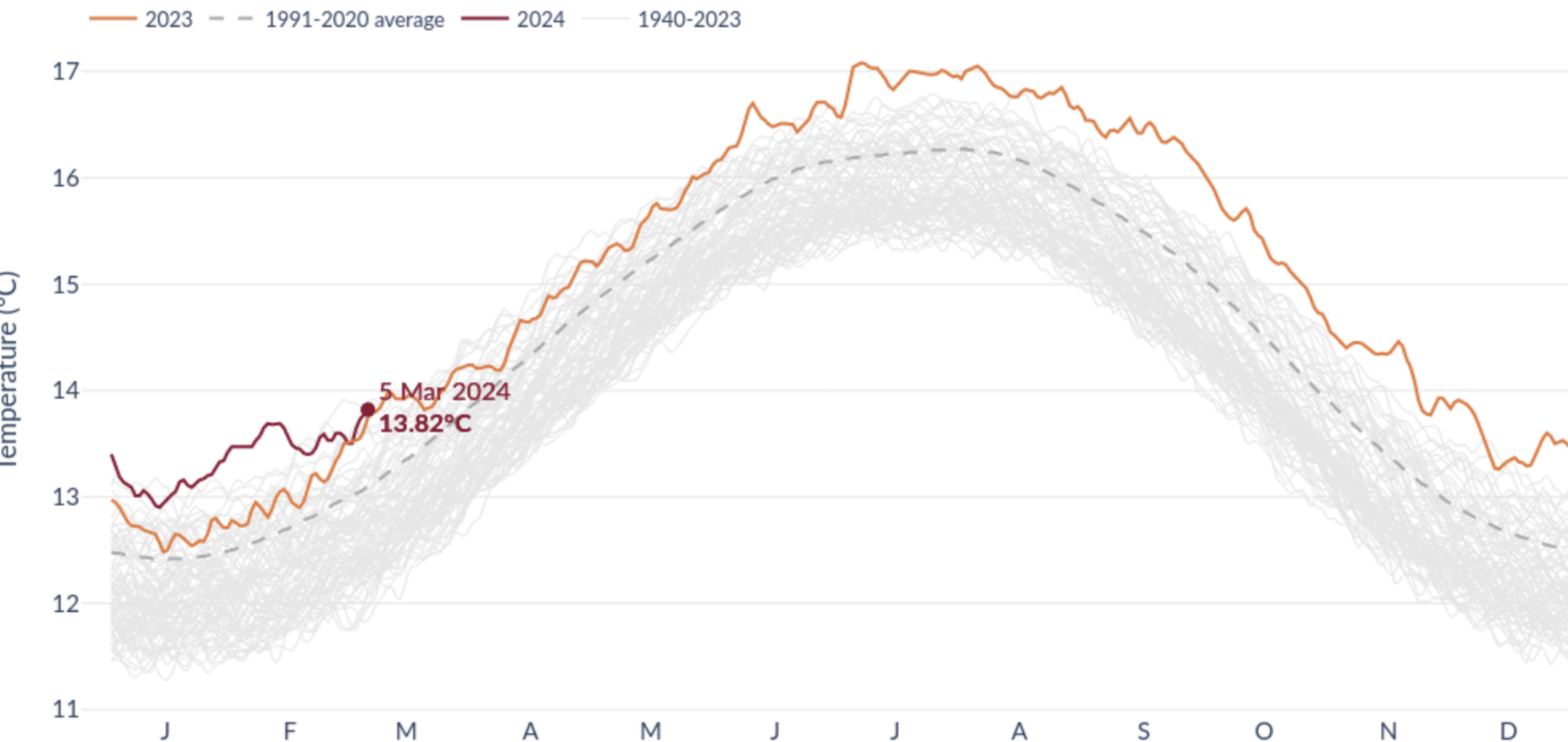
IMPLEMENTED BY



Surface air temperature

ERA5 1940-2024 (global mean)

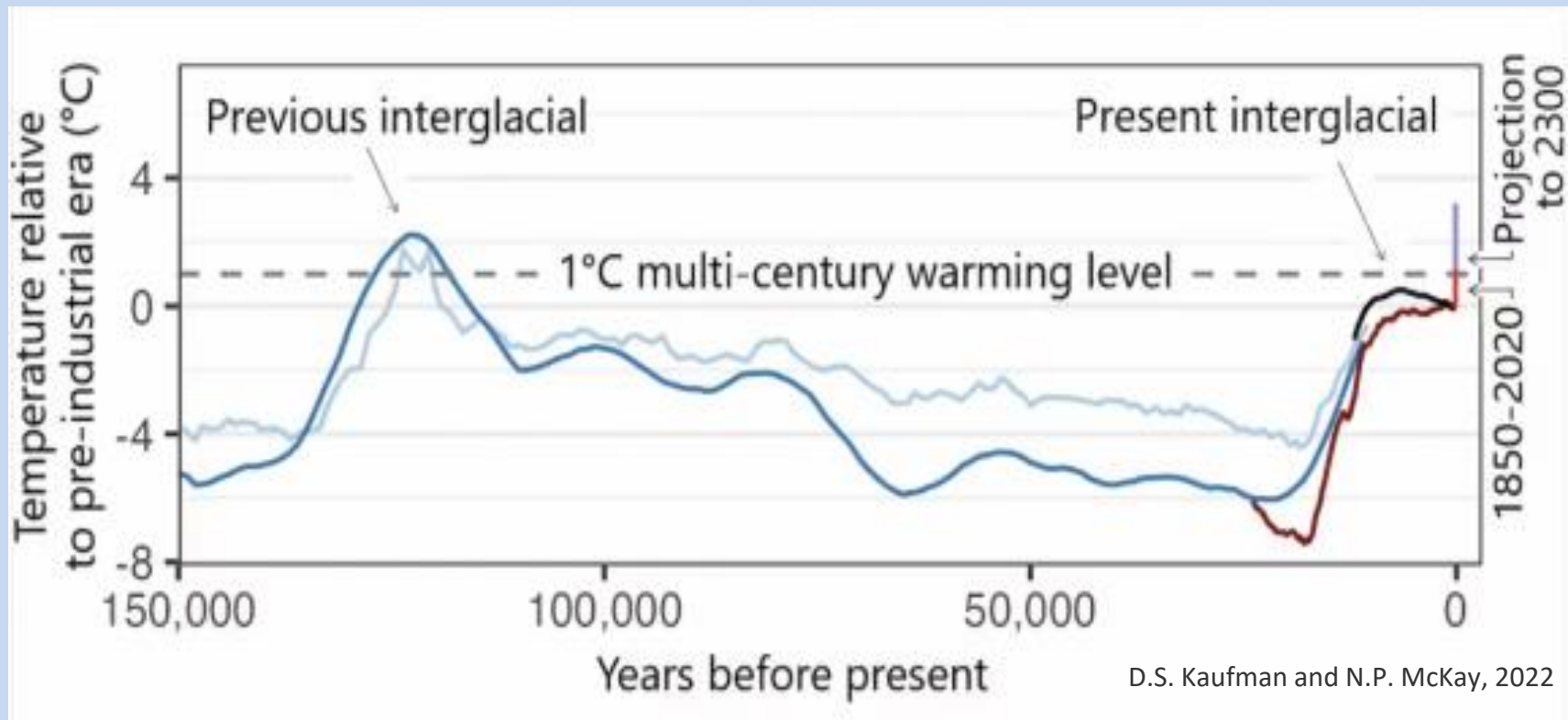
Data ERA5 • Credit: C3S/ECMWF



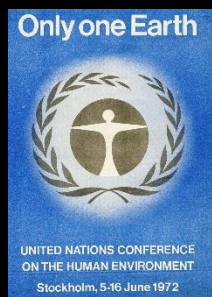
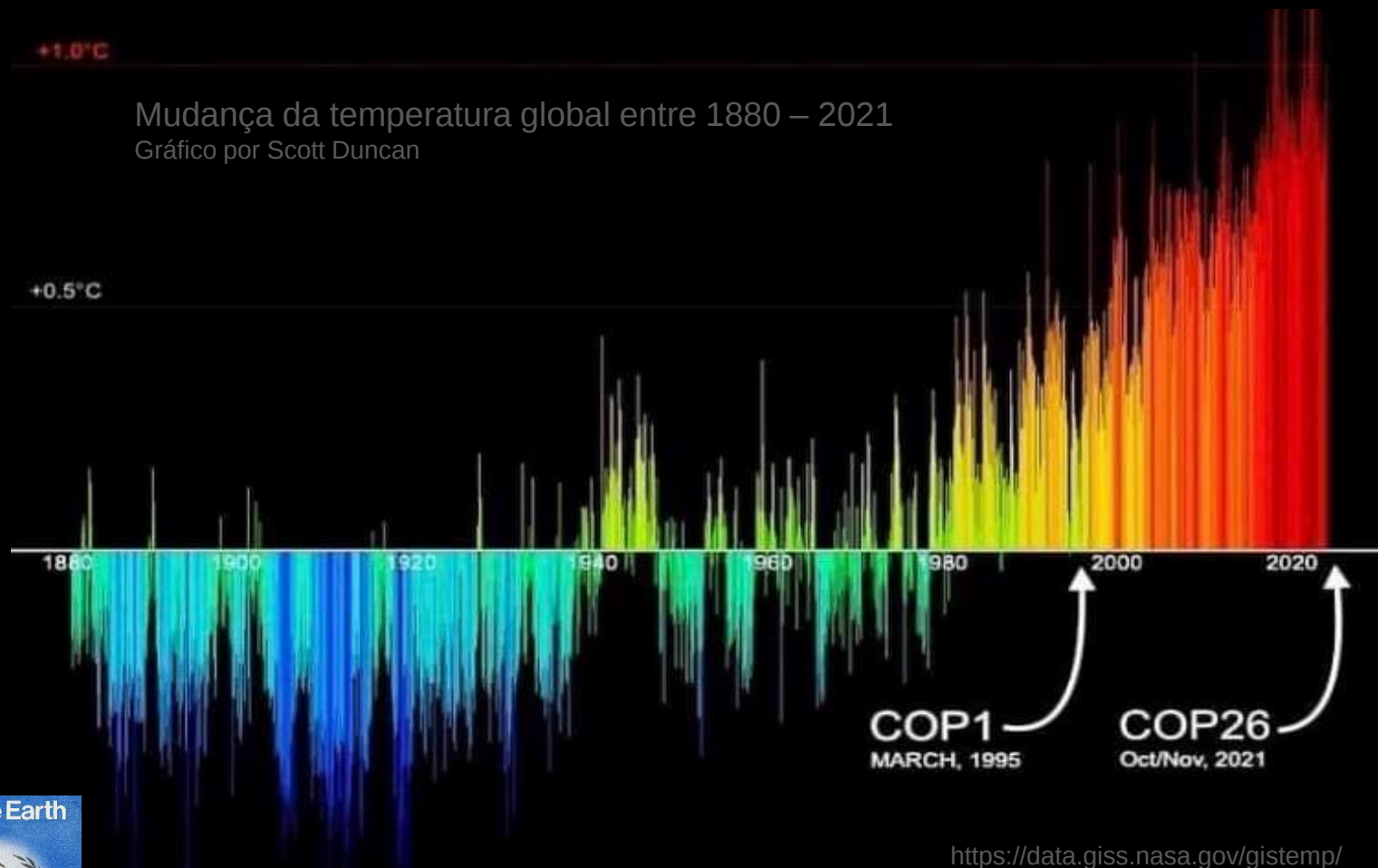
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



As ações humanas tem aquecido o planeta a uma taxa sem precedentes há pelo menos 100mil anos



Governança é a questão mais importante na construção de um novo sistema socioeconômico



há 50 anos



há 32 anos



há 10 anos



há quase 10 anos

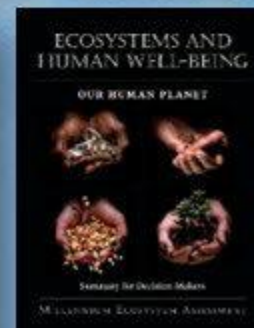
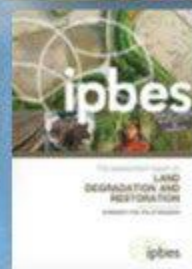
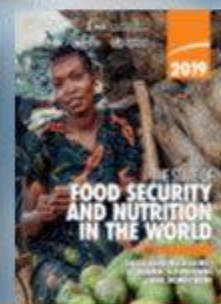
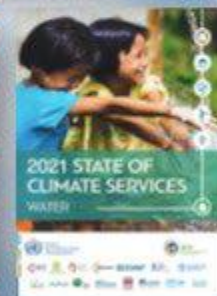
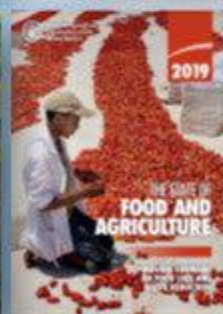
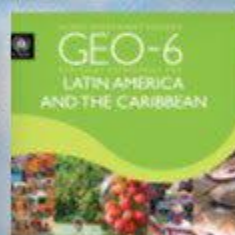
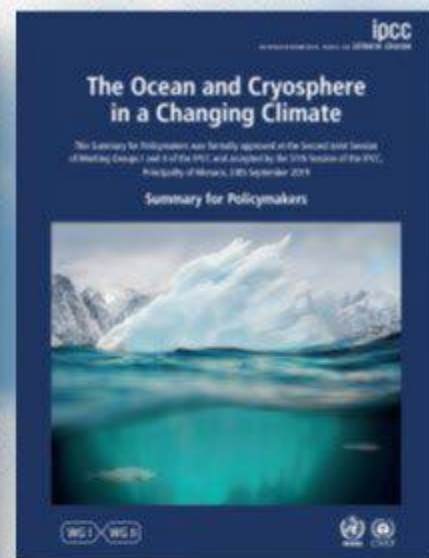
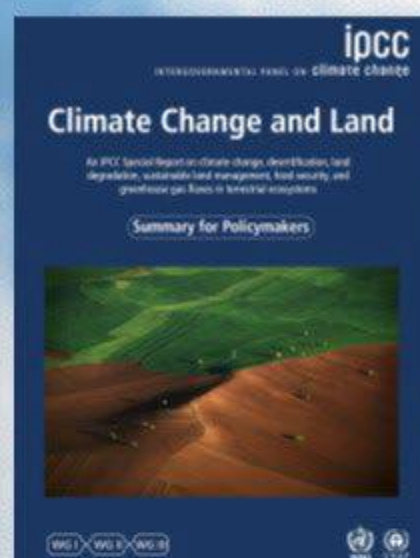
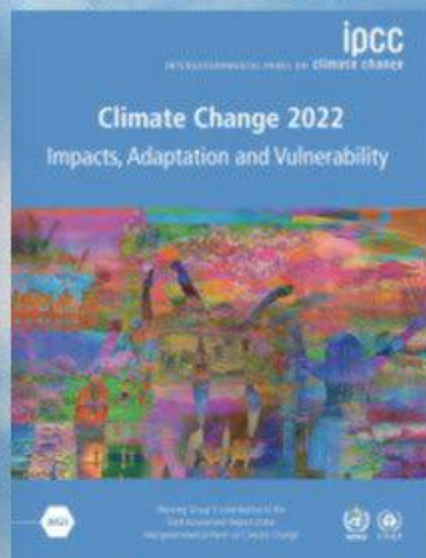
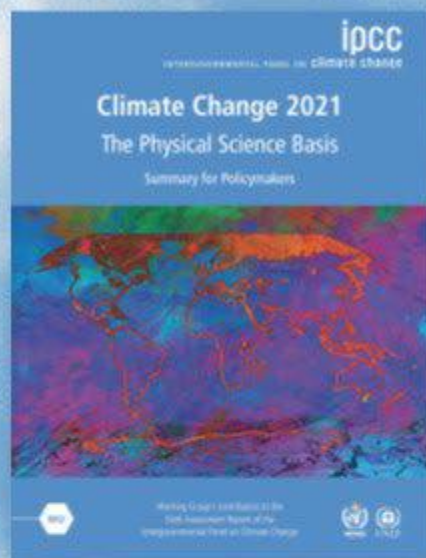


há 3 anos

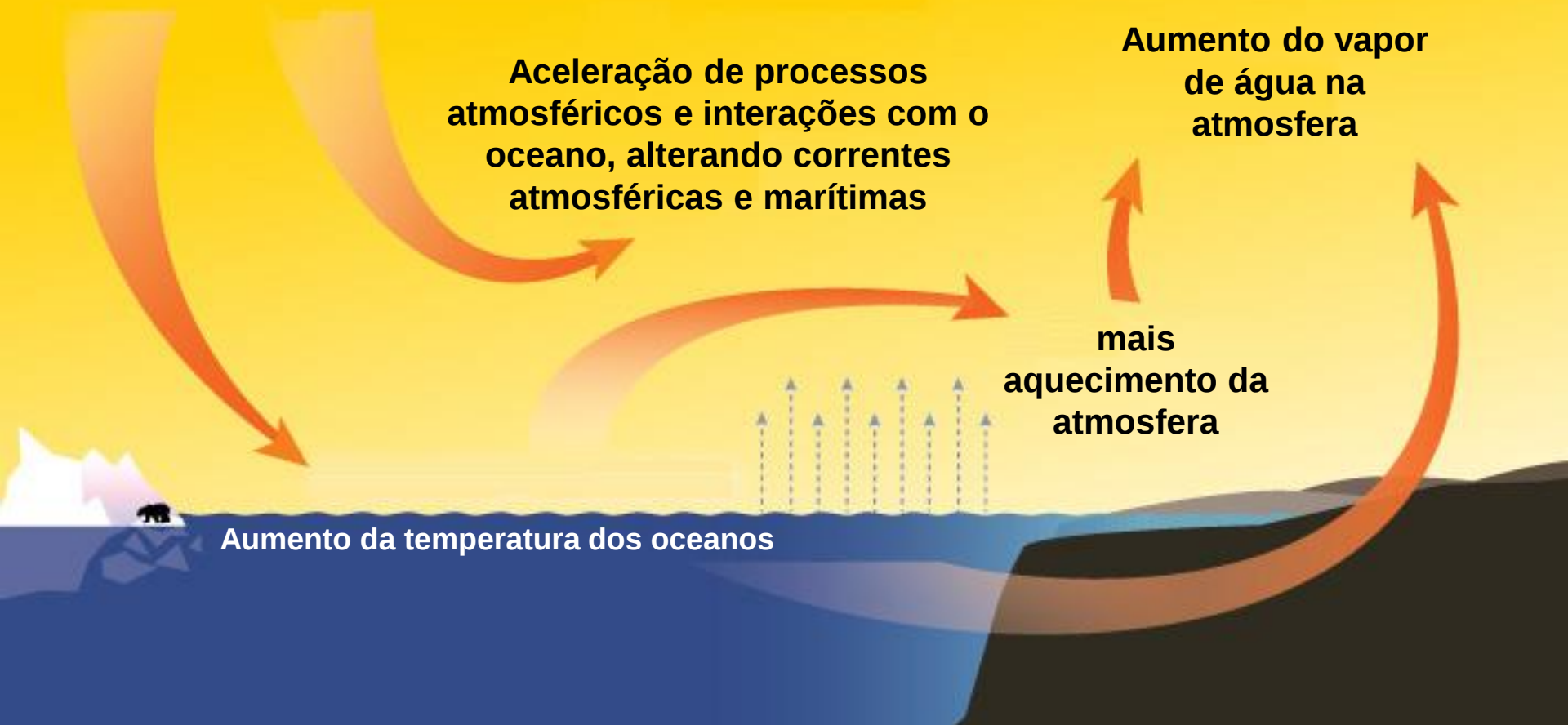


há 2 anos

A Ciência das mudanças climáticas é muito sólida



Aumento da temperatura global



**Aceleração de
processos
atmosféricos e
interações com o
oceano, alterando
correntes
atmosféricas e
marítimas**

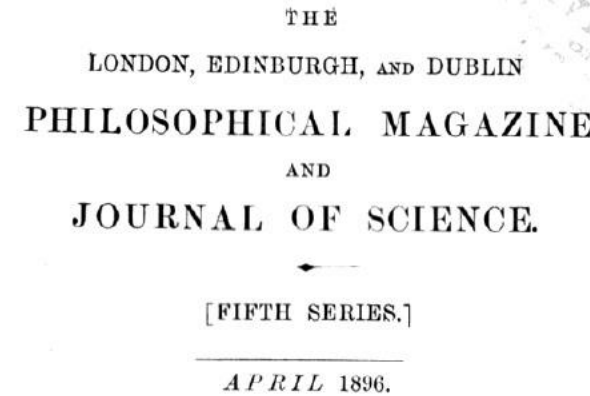
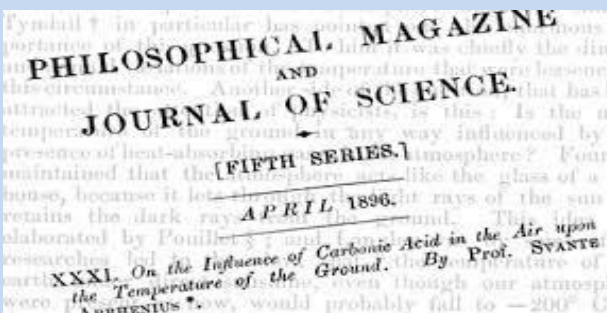
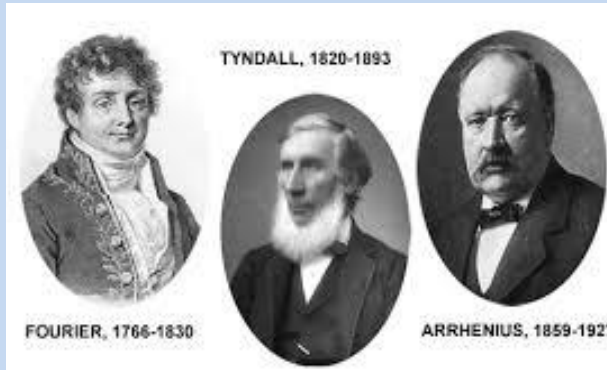
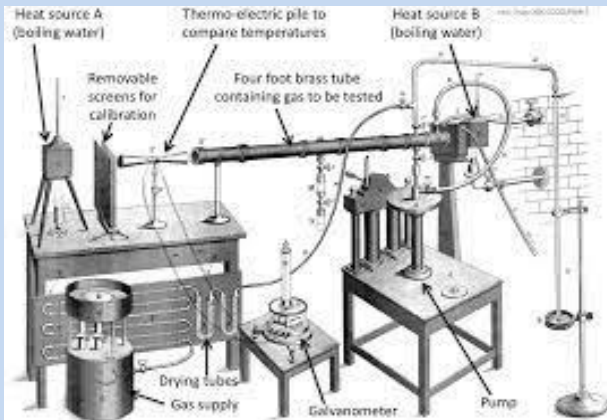
**Aumento do vapor
de água na
atmosfera**

**Atmosfera mais dinâmica
Eventos extremos mais severos e
frequentemente**

Aumento da temperatura dos oceanos



Primeira projeção climática considerando a influência do CO₂



XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS *.

I. Introduction: Observations of Langley on Atmospheric Absorption.

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to -200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).

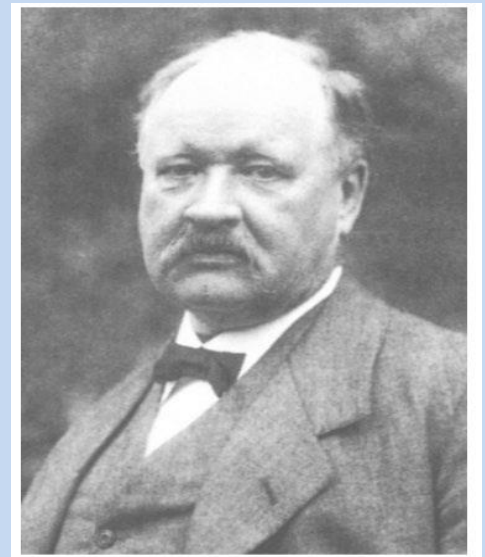
‡ Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France, t. vii. 1827.

§ Comptes rendus, t. vii. p. 41 (1838).

Phil. Mag. S. 5. Vol. 41. No. 251. April 1896.

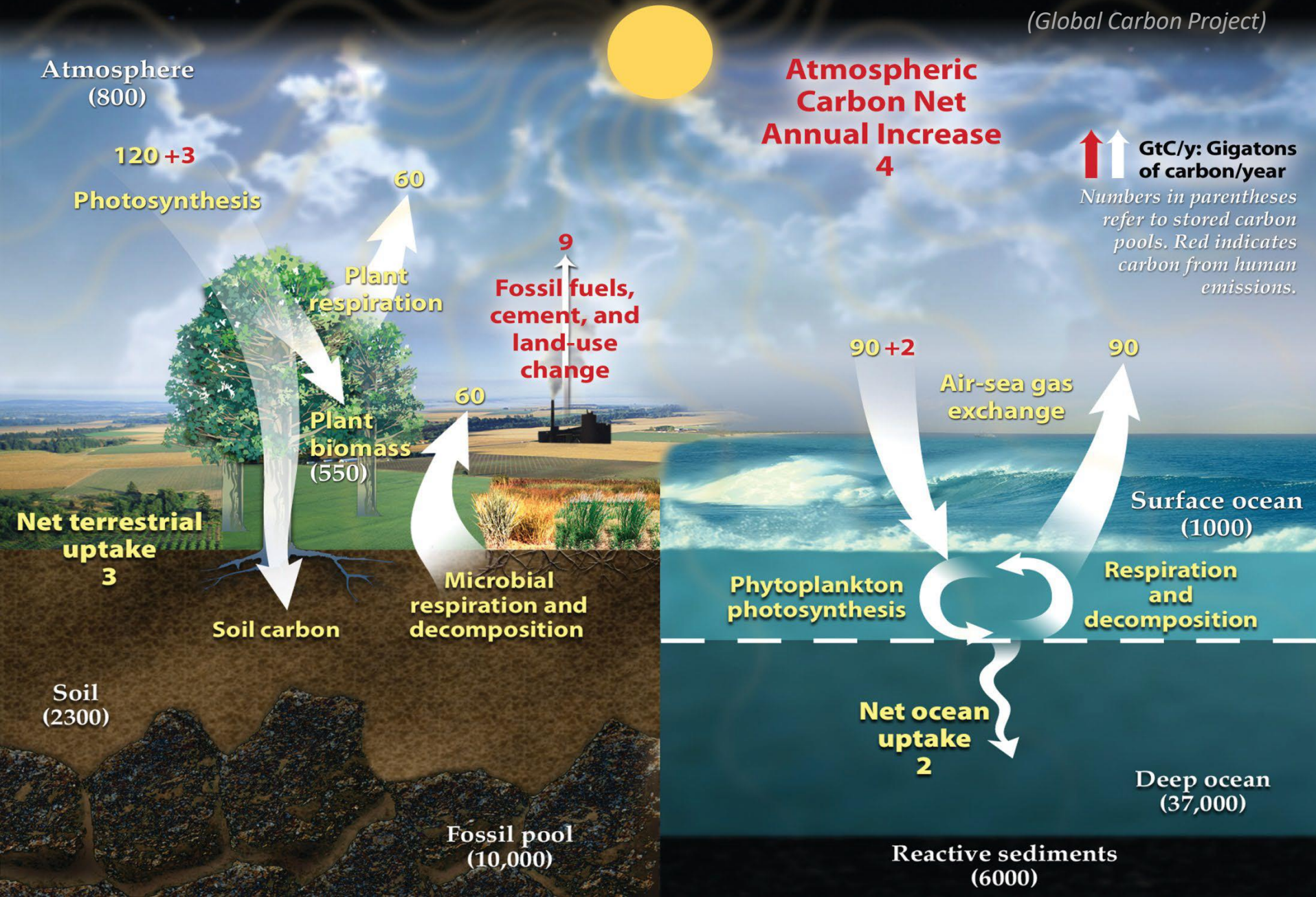
S

Em abril de 1896 Svante Arrhenius quantificou as mudanças na temperatura da baixa atmosfera (aprox. 5 C) que deveriam ocorrer se as concentrações de CO₂ fossem duplicadas, baseado nos conceitos introduzidos em 1824 por Joseph Fourier.



Perturbações humanas no ciclo do carbono global

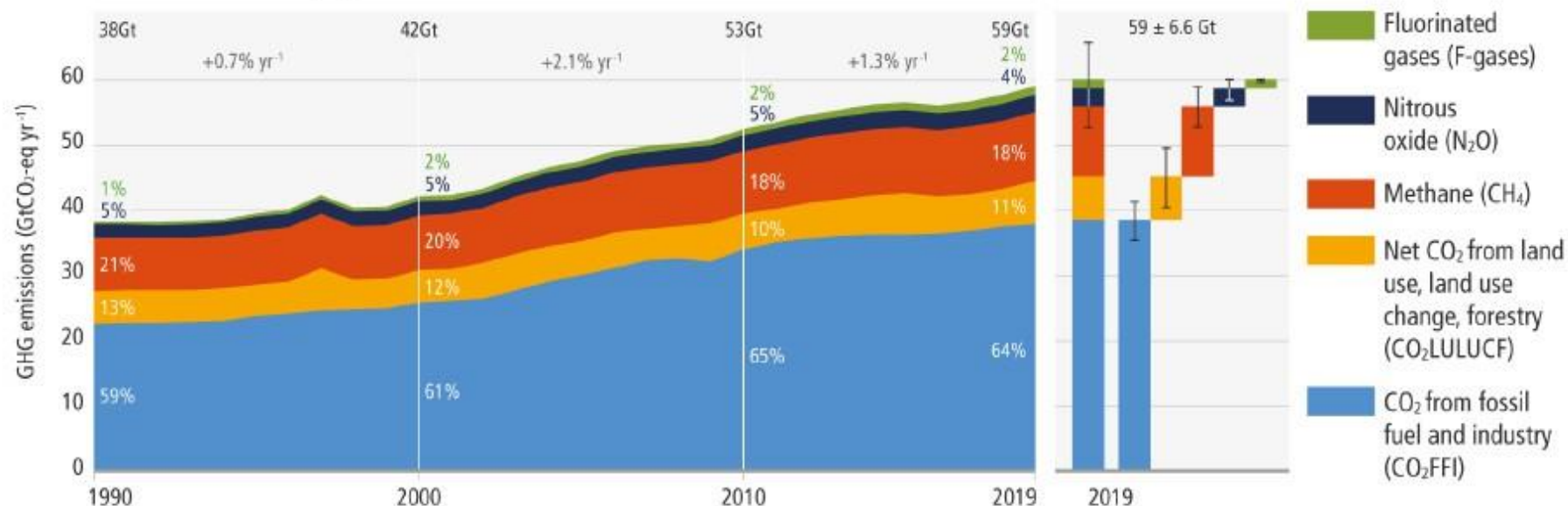
(Global Carbon Project)



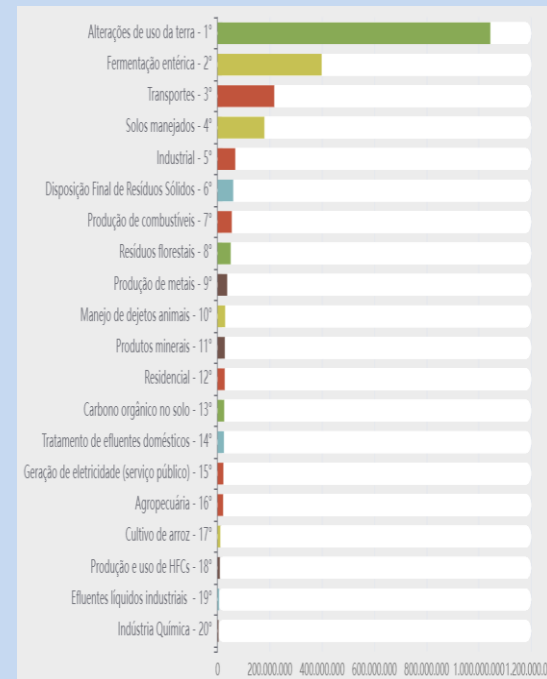
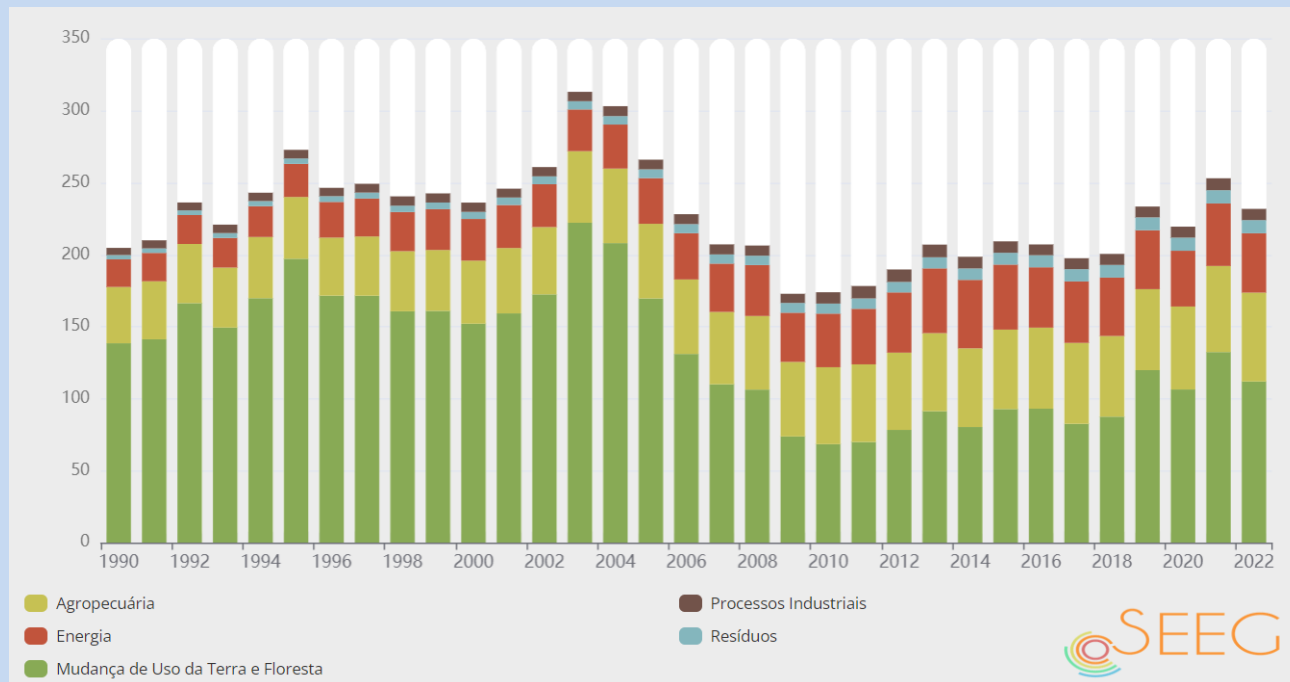
As emissões (líquidas) globais de gases de efeito estufa continuam a aumentar ano a ano

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.

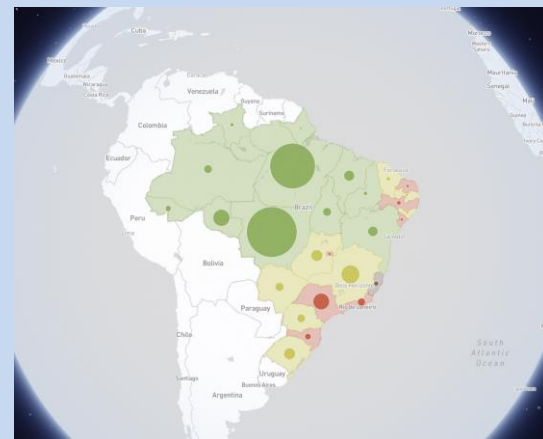
a. Global net anthropogenic GHG emissions 1990–2019 ⁽⁶⁾



Emissões de gases de efeito estufa no Brasil

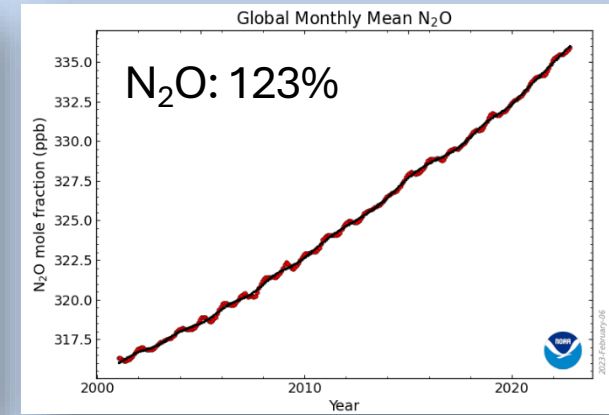
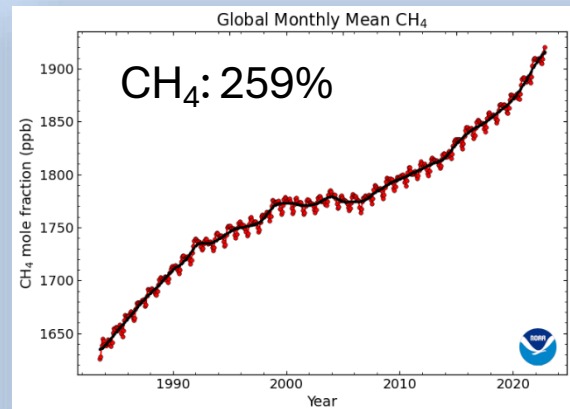
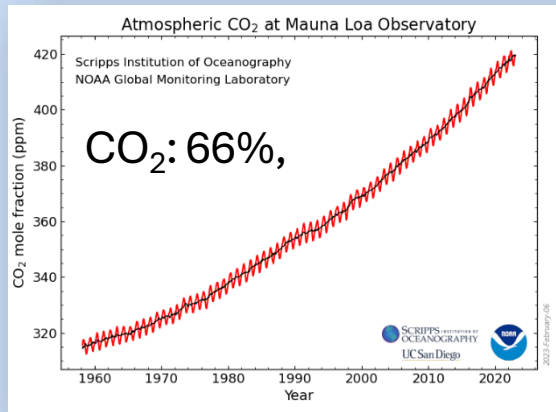


Problema e oportunidade:
48% das nossas emissões são derivadas do desmatamento.
Curiosidade: emissões relacionadas ao transporte corresponde à 9%



Nosso impacto na composição da química da atmosfera ao longo do tempo

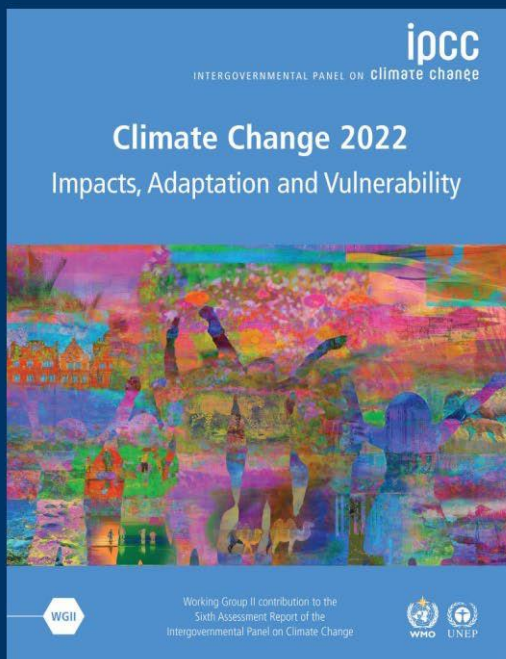
Aumentos desde 1750:



Desmatamento de florestas tropicais:
17% das emissões

Queima de combustíveis fósseis:
83% das emissões





“

A evidência científica é inequívoca: mudanças climáticas são uma ameaça ao bem estar humano e à saúde do planeta.

Qualquer atraso em uma ação global, coordenada e conjunta, levará a perda de uma breve janela, que se fecha rapidamente, para assegurar um futuro habitável.

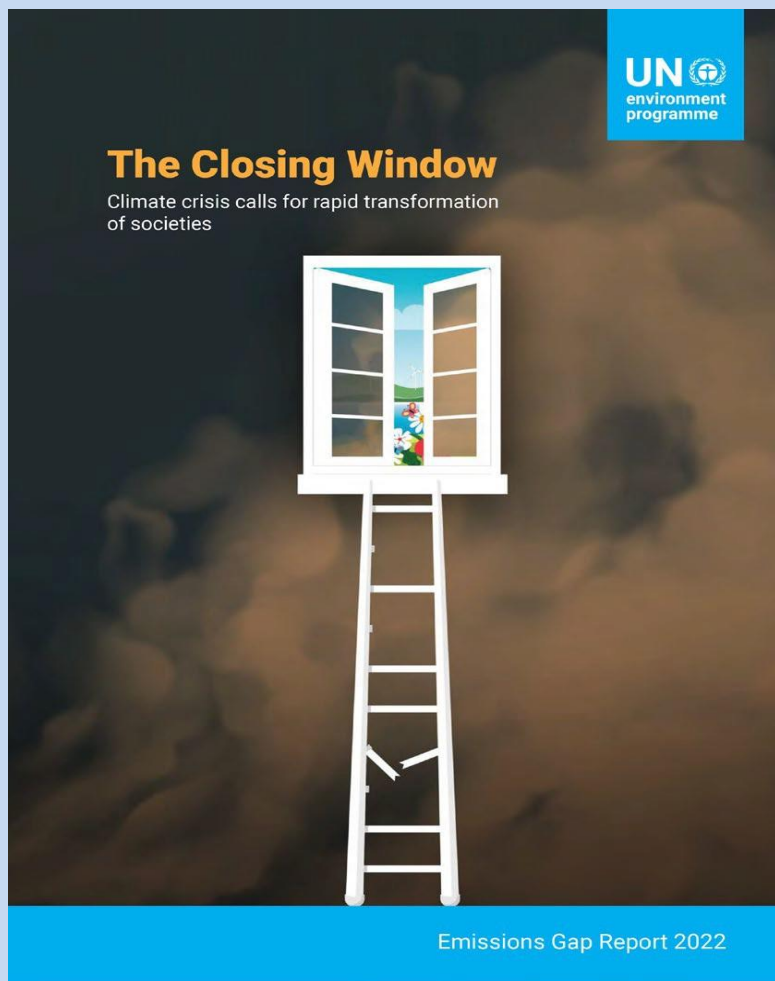
“



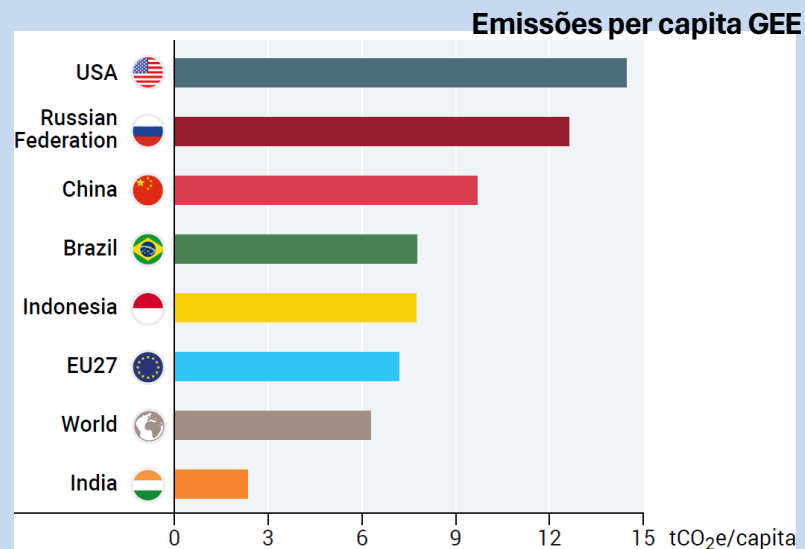
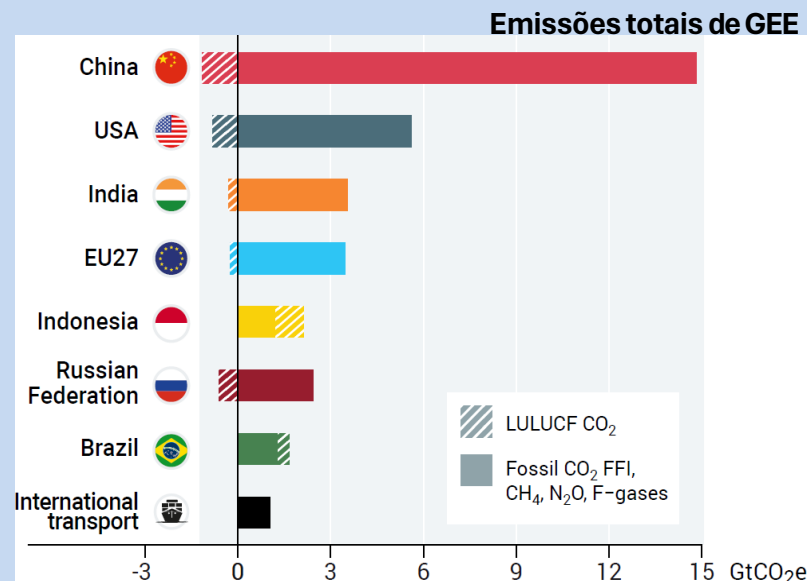
[Credit: Peter John Maridable | Unsplash]

A menos que haja reduções imediatas, rápidas e em grande escala nas emissões de gases de efeito estufa, limitar o aquecimento a 2 °C pode ser impossível

Vivemos uma crise ambiental e climática que requer rápidas transformações em nossa sociedade

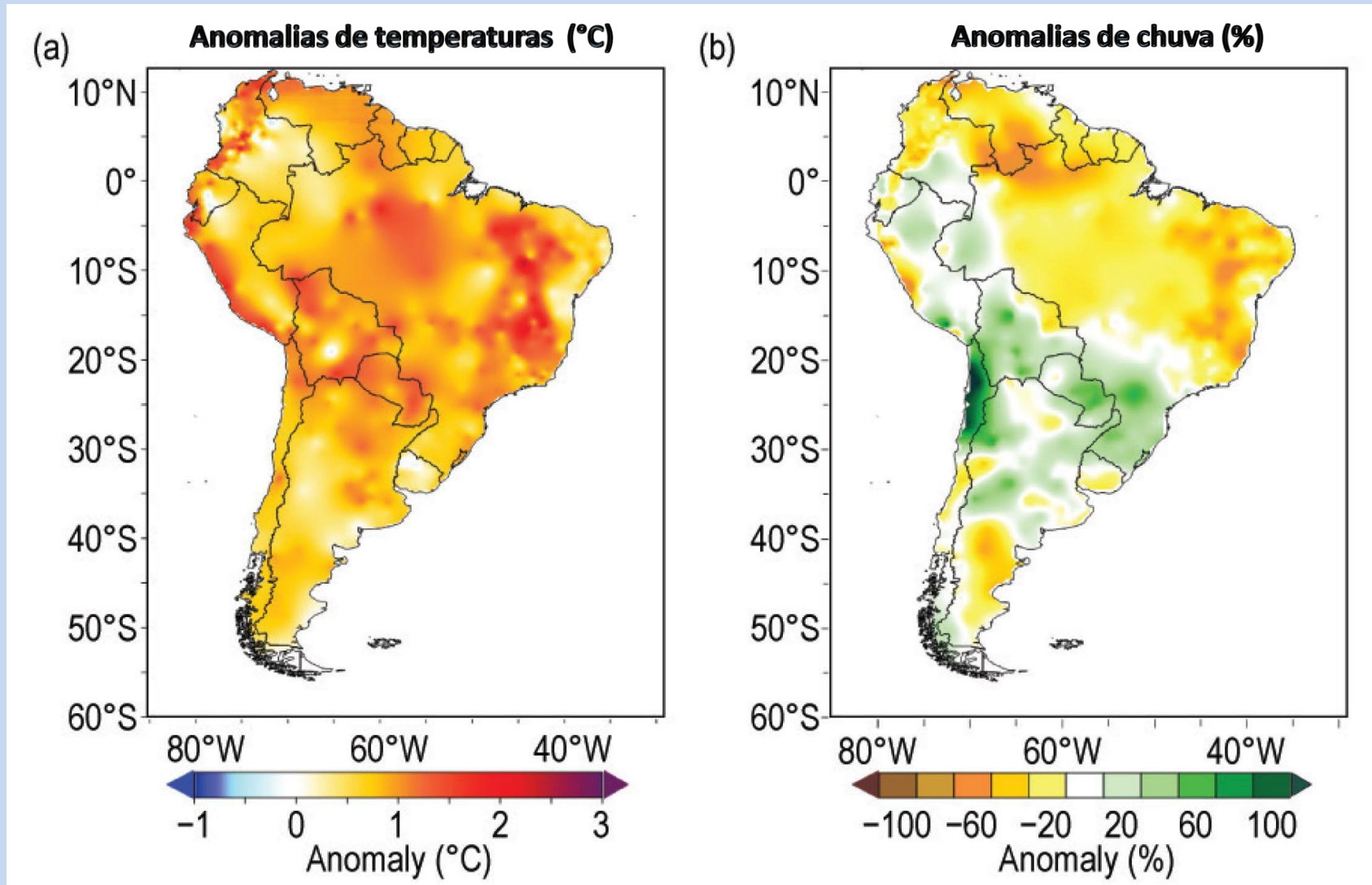


UNEP: Não se trata mais de reduzir emissões, mas de transformar nossa sociedade



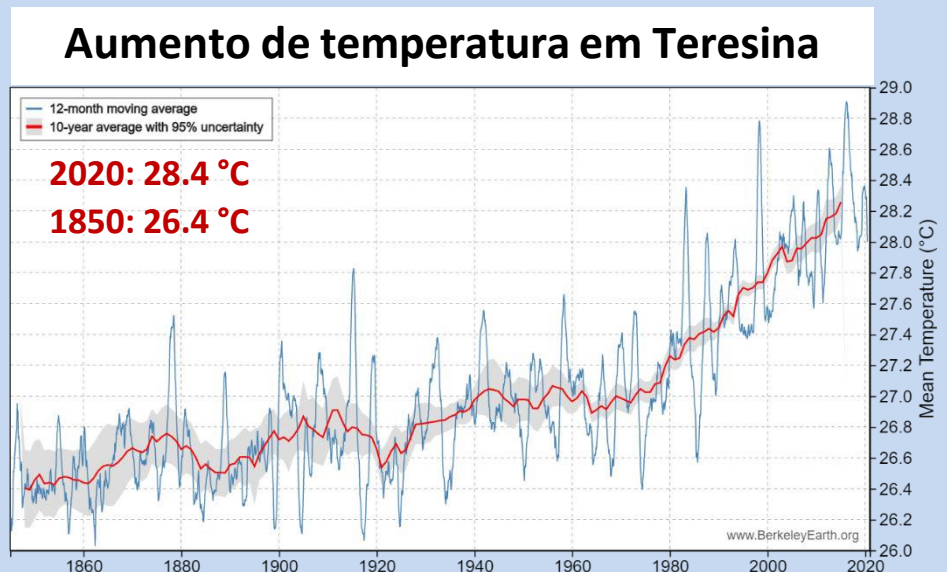
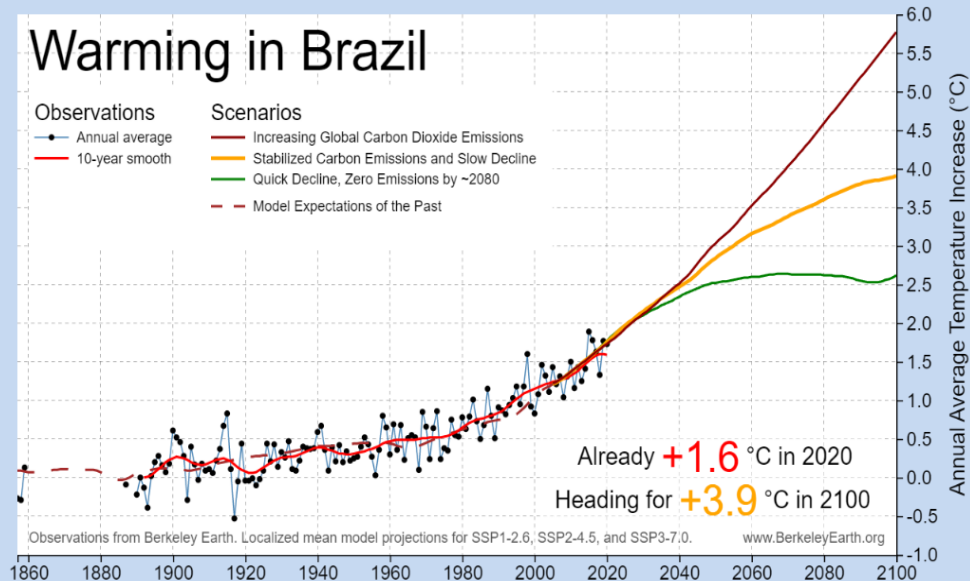
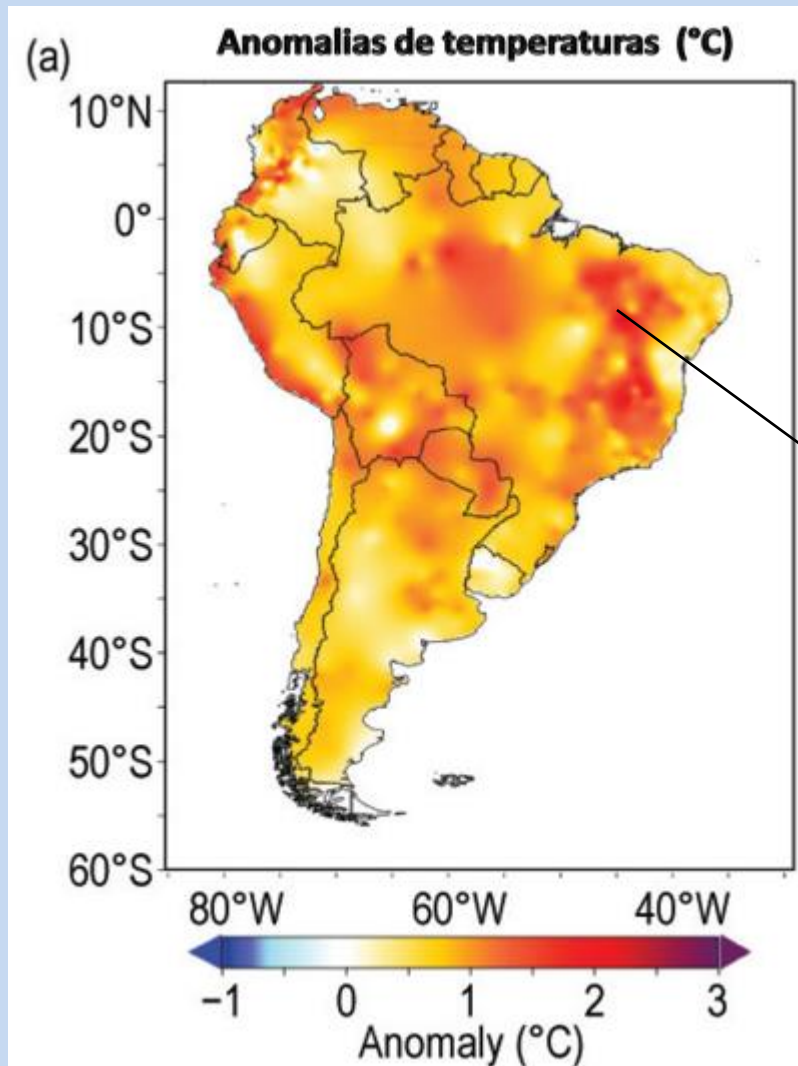
UNEP The Closing Report, 2022

América do Sul: tem se tornado um continente muito mais quente e seco, especialmente no Brasil tropical



Período de base: 1981–2010. Fonte: State of the Climate in 2015, Bull. Amer. Meteor. Soc., 97 (8), 2016.

Aumento de temperatura observado no Brasil e análise local para Teresina entre 1850 e 2020



Das emissões de gases de efeito estufa aos impactos

Emissões

Concentrações

Forçantes Radiativas (balanço de radiação)

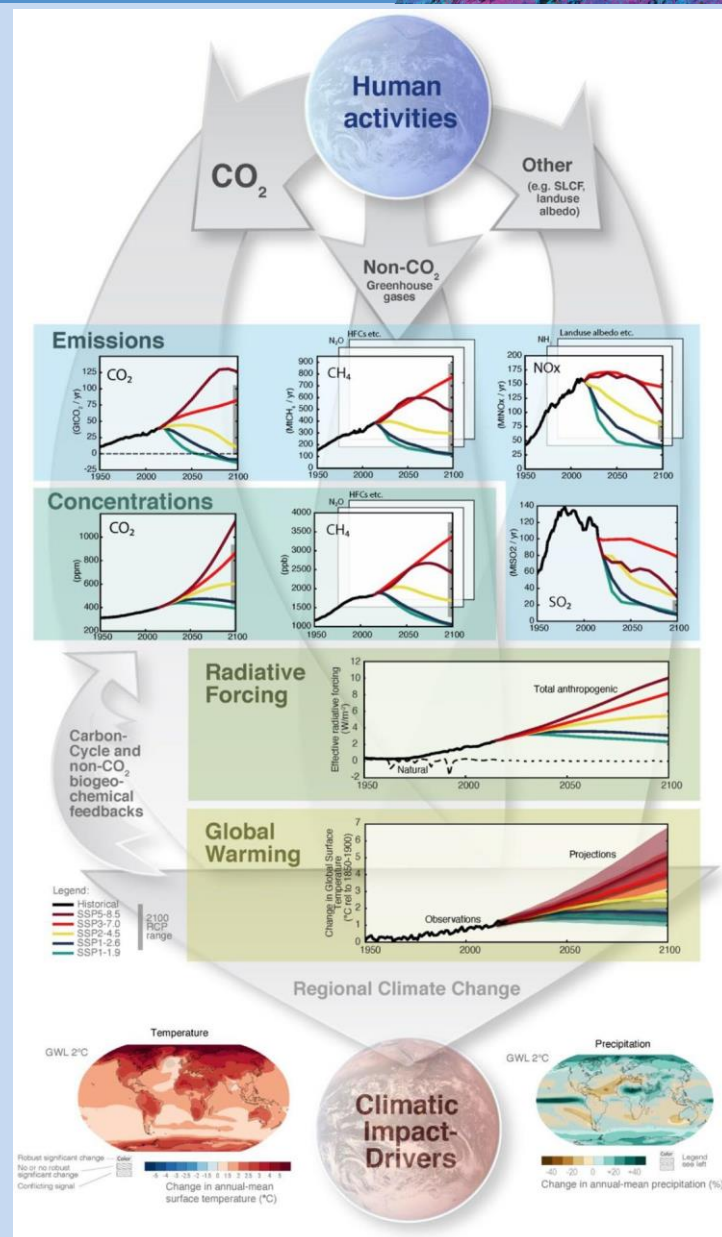
Aquecimento da atmosfera

Mudanças nos padrões de circulação

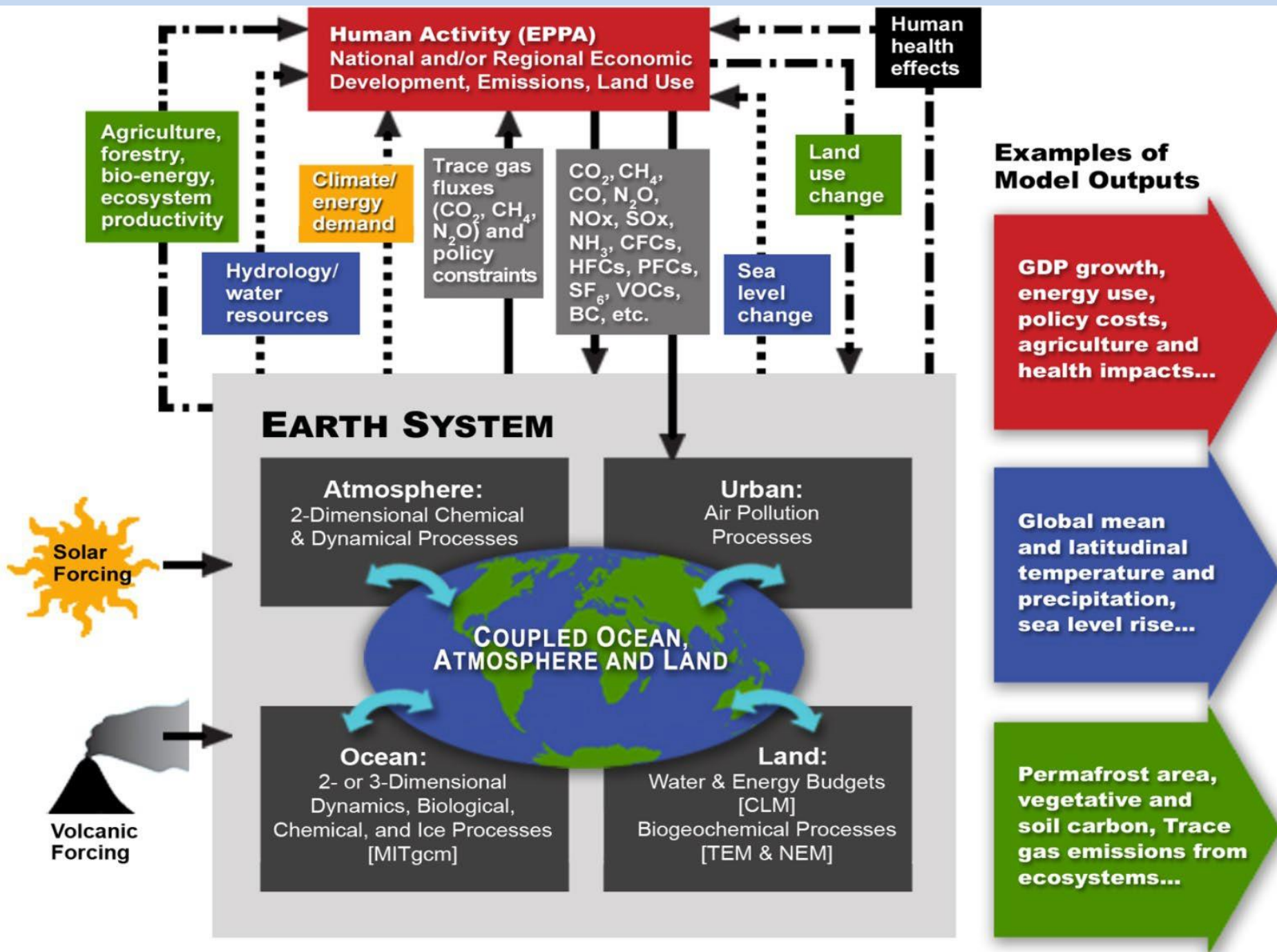
Alterações climáticas

Eventos extremos

Impactos



“Mas como são feitas as estimativas da variação do clima décadas a frente se as previsões do tempo mal acertam se vai chover daqui alguns dias?”

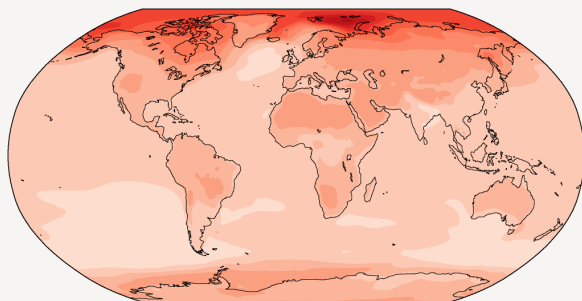


Cada aumento nas emissões de GEE, as mudanças ficam maiores na temperatura

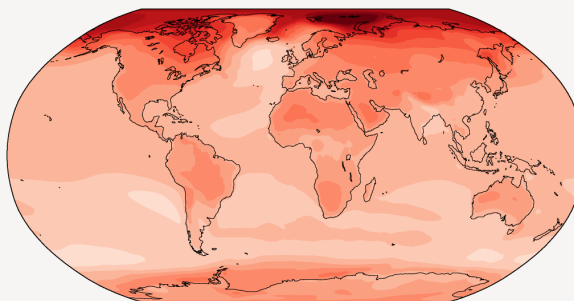
b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than oceans, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

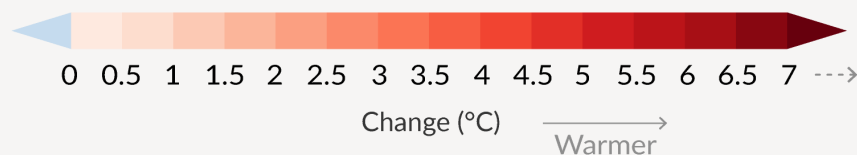
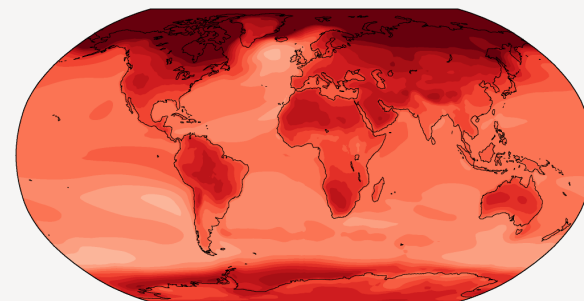
Simulated change at 1.5 °C global warming



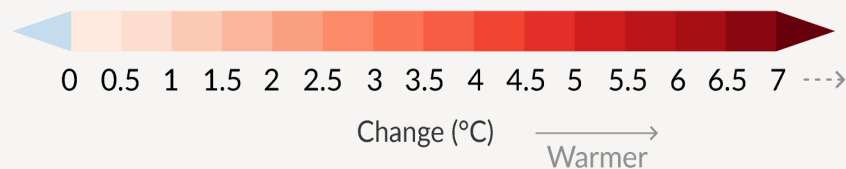
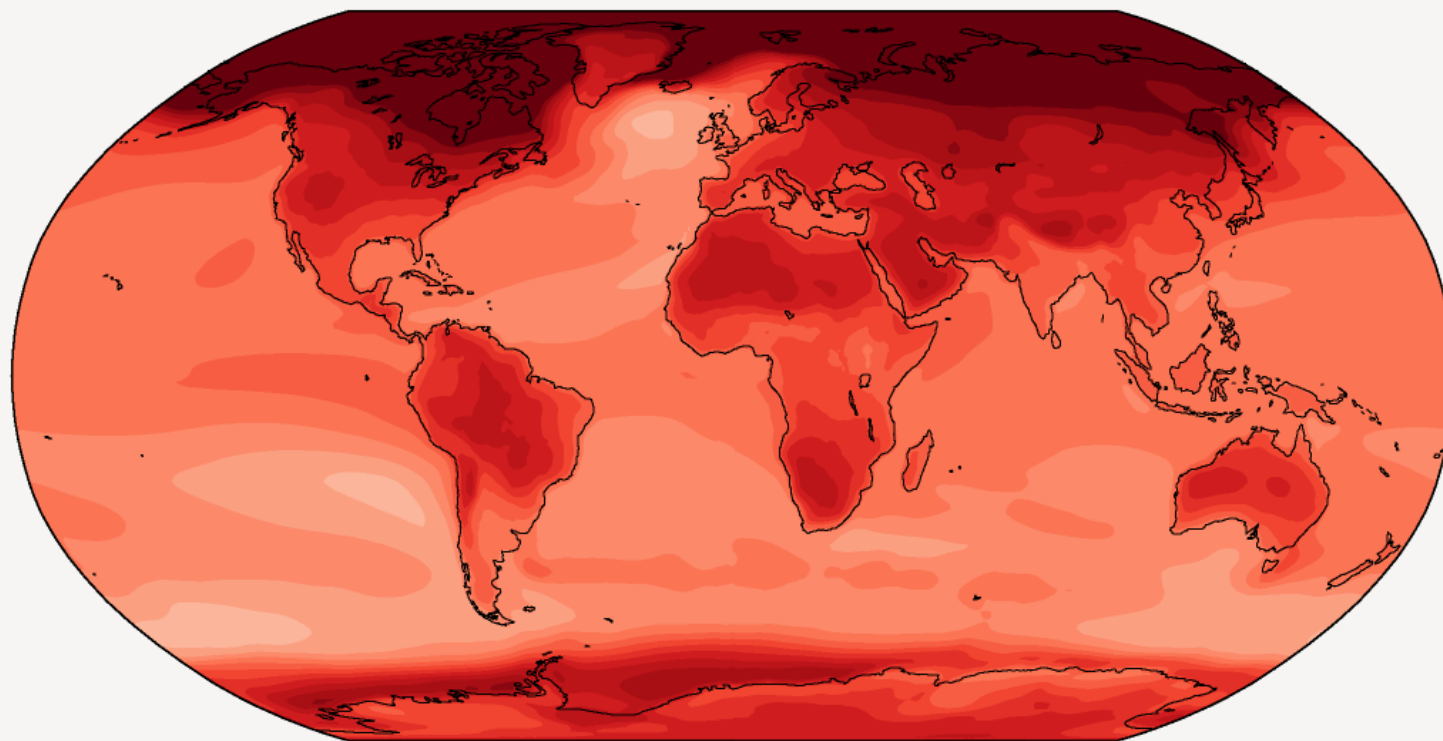
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



Cenário com planeta 4 graus mais quente



Cada aumento nas emissões, as mudanças ficam ainda mais acentuadas na distribuição de precipitação

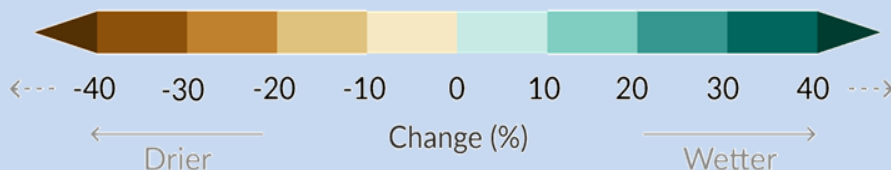
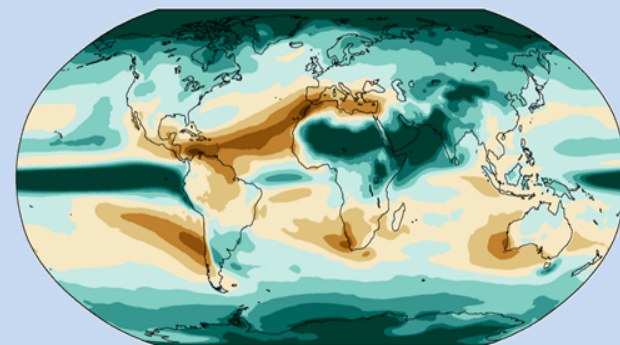
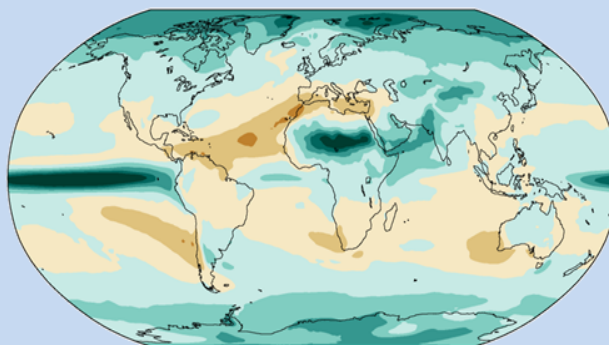
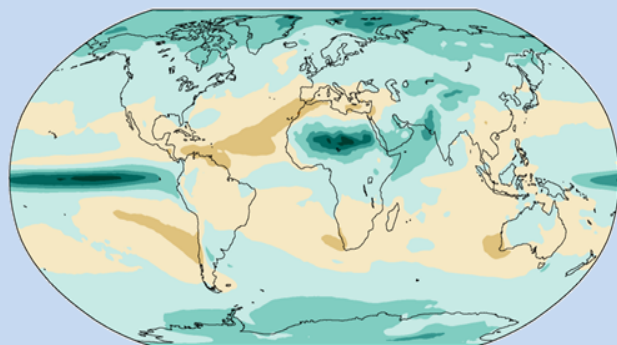
c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

Simulated change at 1.5 °C global warming

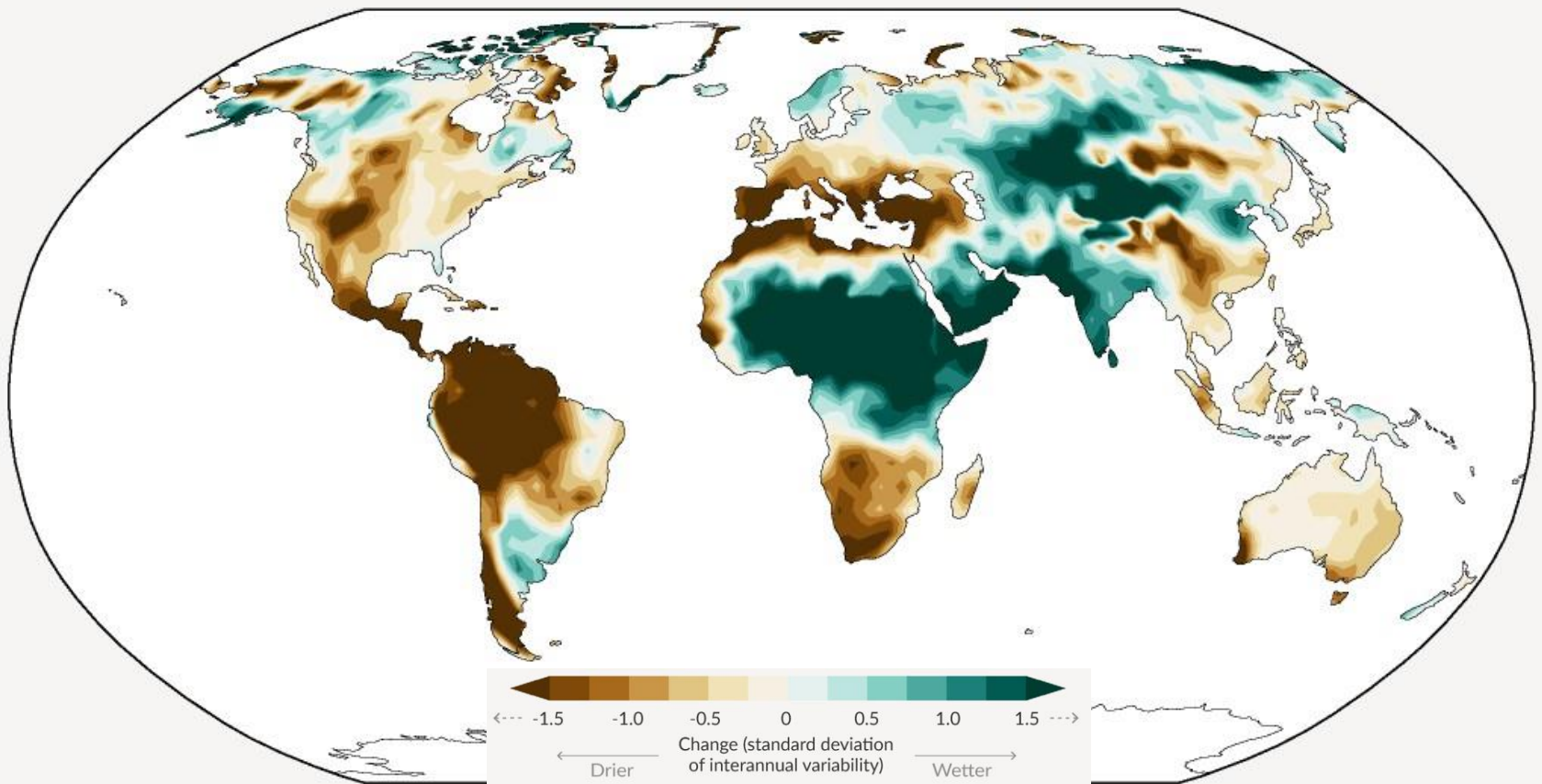
Simulated change at 2 °C global warming

Simulated change at 4 °C global warming

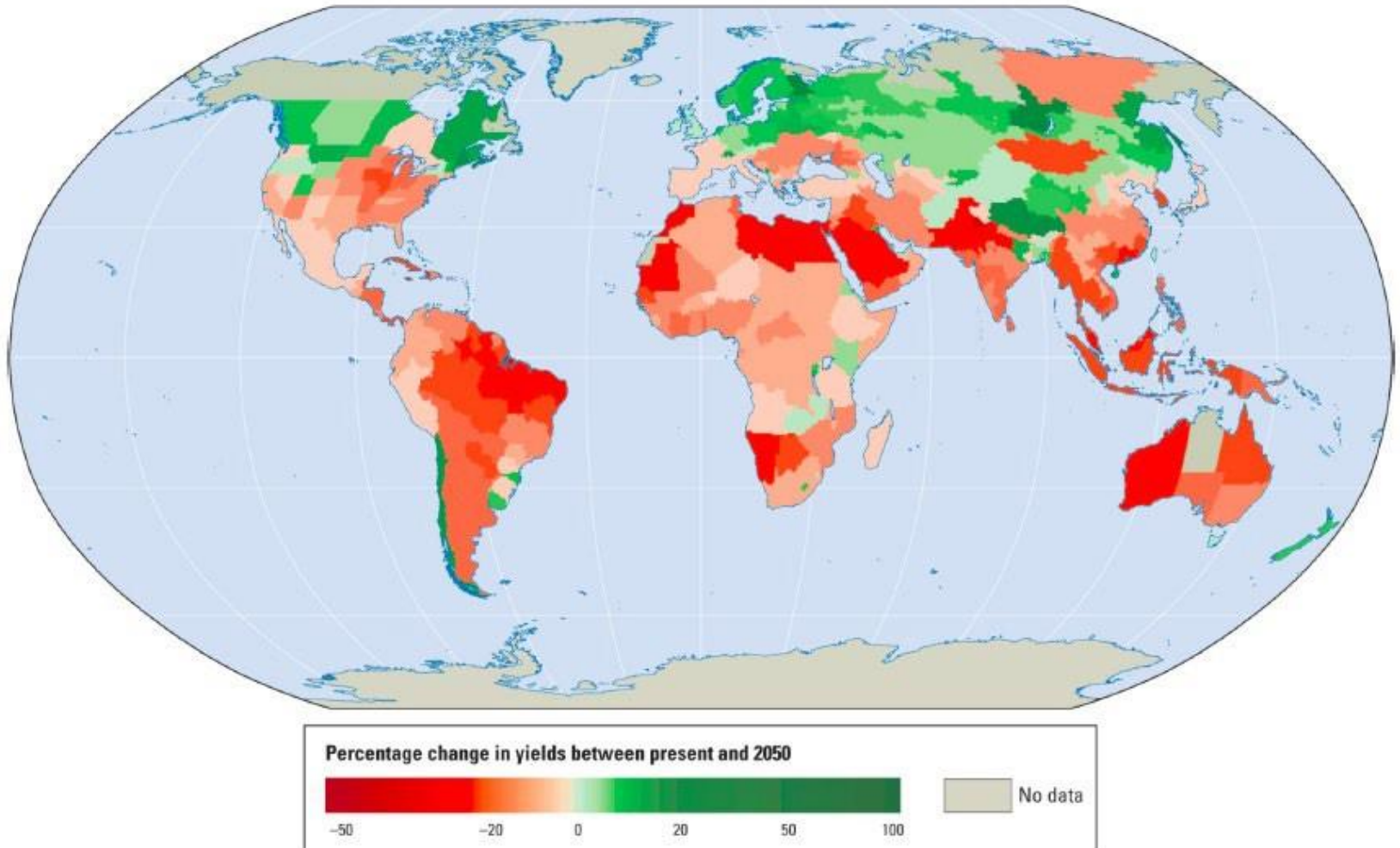


Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions

Mudanças na variabilidade da umidade do solo para cenário com aumento de 4°C



Impactos na produção de alimentos em um planeta 3°C mais quente

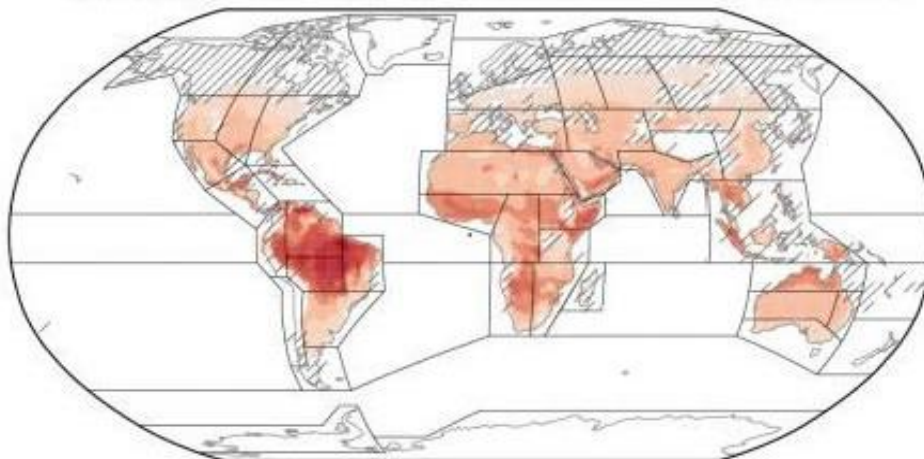


Eventos climáticos extremos aumento consideravelmente tanto em frequência quanto em magnitude!

Mapas do indicador que representa a anomalia de dias POR ANO com temperatura superior a 35 graus e umidade maior que 80%

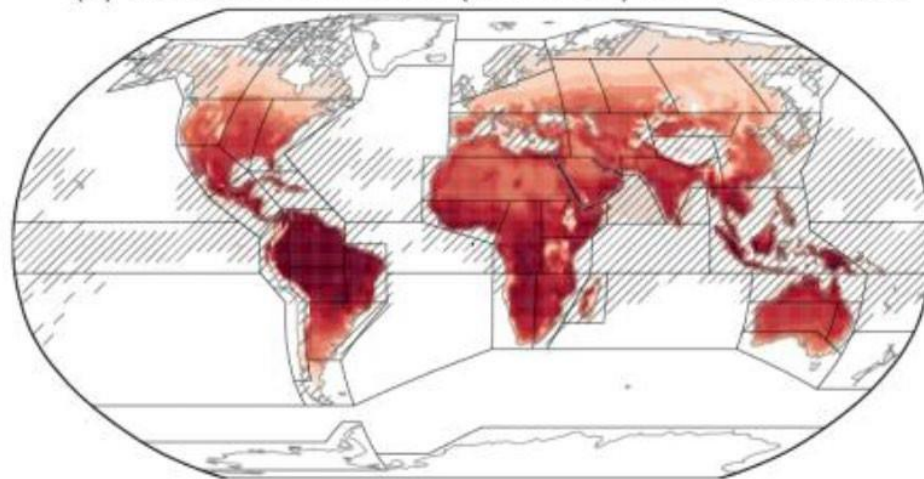
Cenário 2.6
(extremamente otimista)

(e) TX35 for 2041–2060 (SSP1-2.6) rel. to 1995–2014



Cenário 8.5
(pessimista – realista)

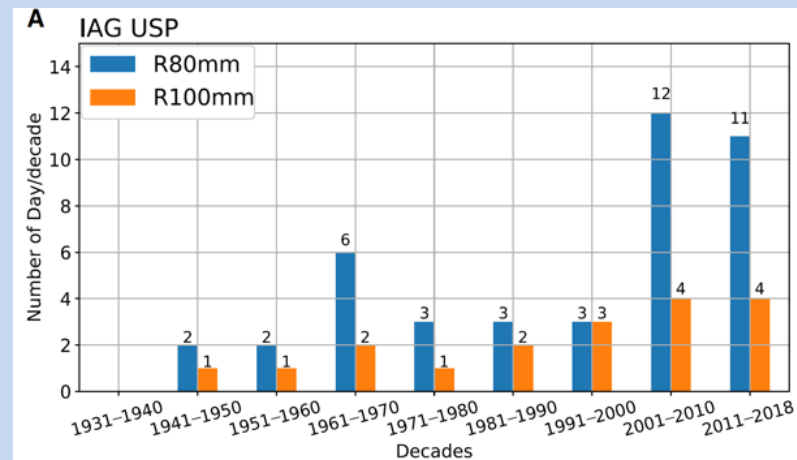
(h) TX35 for 2081–2100 (SSP5-8.5) rel. to 1995–2014



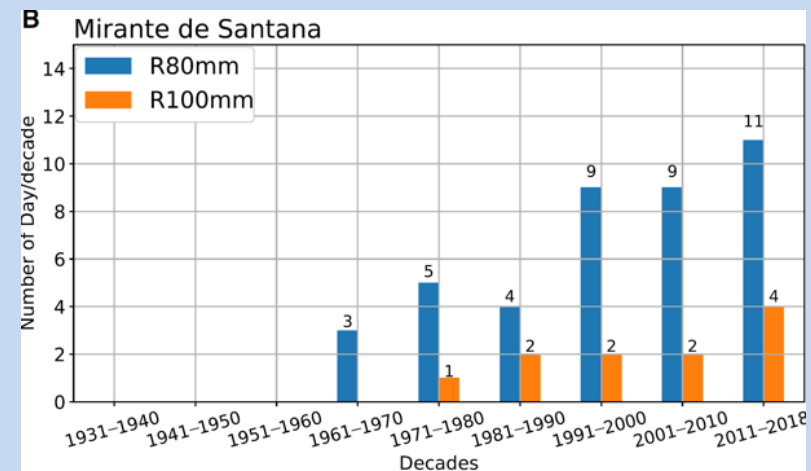
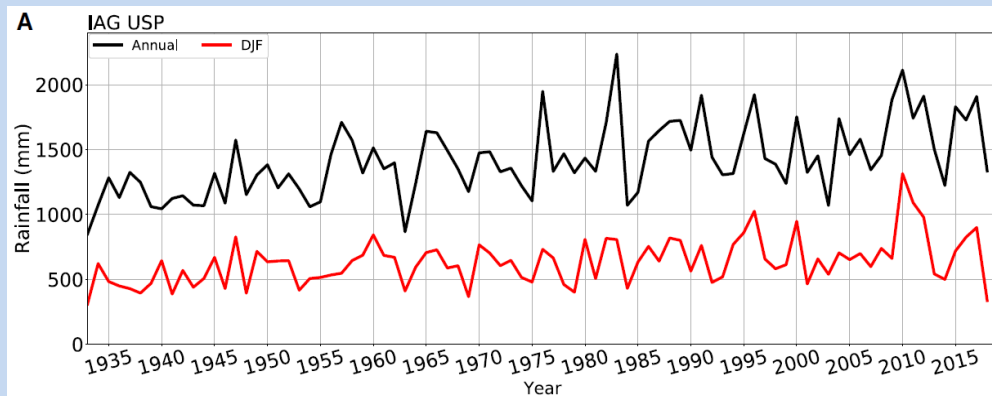
Exemplos de impactos decorrentes a intensificação os eventos extremos



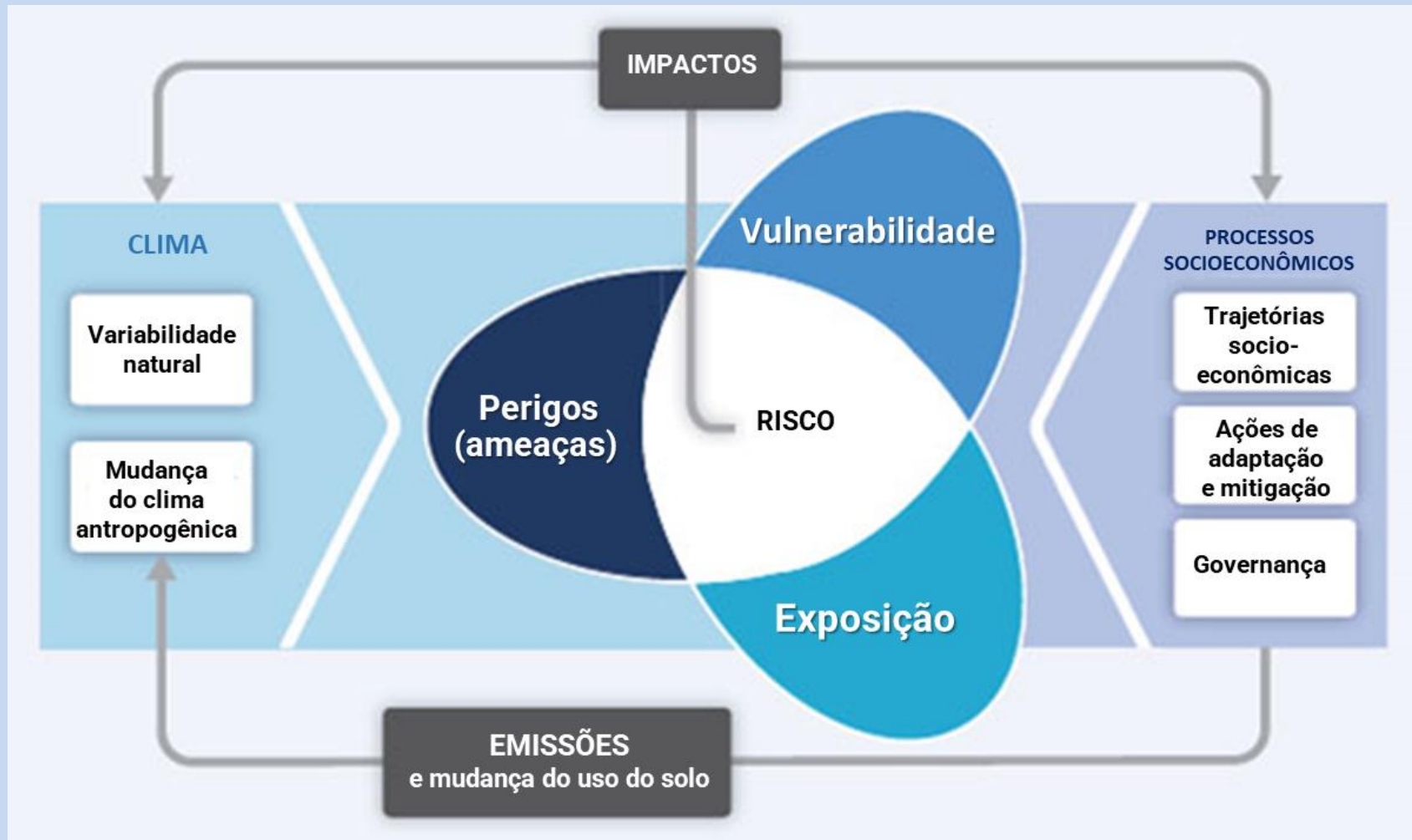
Número de dias com chuva maior que 80mm e 100mm em 1 dia



Chuva mensal em São Paulo de 1935 a 2018

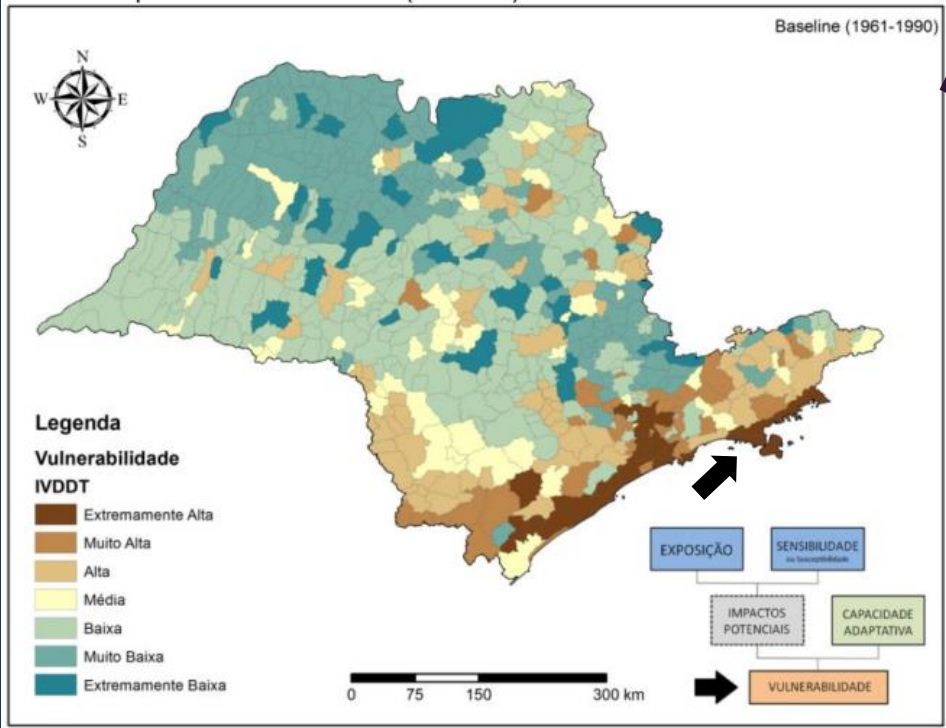
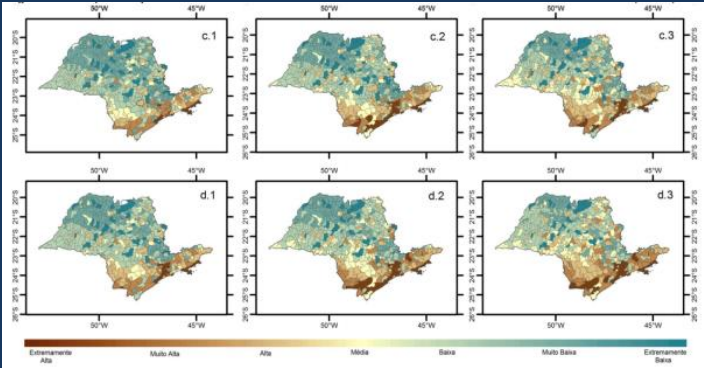


Em um contexto mais amplo, outros fatores também interferem no risco de desastres!



Exemplo de estudos avaliando a influência do aquecimento global no aumento ou diminuição de chuvas que tenham relação específica com a deflagração de deslizamentos de terra.

Estudo de 2016, diagnosticando os municípios do Estado de São Paulo quanto ao risco climático (incorporando variáveis não climáticas como suscetibilidade, demografia, dados socioeconômicos, capacidade de enfrentamento, e dados pluviométrico) associado aos deslizamentos de terra, tanto para o tempo presente mas também projeções do clima futuro. São Sebastião foi considerado o mais crítico do Estado em todas as situações (presente e futuro).



MUNICÍPIO	BASELINE		2011-2040			
	IVDDT	RANKING	RCP 4.5		RCP 8.5	
			IVDDT	RANKING	IVDDT	RANKING
São Sebastião	0,4334	1	0,4075	1	0,4059	1
Ilhabela	0,4213	2	0,3958	2	0,3911	3
Peruíbe	0,4127	3	0,3918	4	0,3759	7
Ubatuba	0,4072	4	0,3921	3	0,396	2
Guarujá	0,4039	5	0,364	10	0,3618	10
Cubatão	0,4029	6	0,3846	5	0,385	4
Praia Grande	0,4021	7	0,379	6	0,3791	5
Itariri	0,3888	8	0,3676	9	0,3584	13
Itanhaém	0,3878	9	0,3683	8	0,3566	15
Caraguatatuba	0,3852	10	0,3729	7	0,3775	6
Pariquera-Açu	0,3815	11	0,3426	21	0,3366	38
Iguape	0,3748	12	0,3377	30	0,3298	47
São Vicente	0,3737	13	0,3462	17	0,343	30
Santana do Parnaíba	0,3718	14	0,3632	11	0,3733	8
Jacupiranga	0,3678	15	0,3397	26	0,3417	33
Barueri	0,3610	16	0,3561	12	0,3658	9
Sete Barras	0,3575	17	0,3403	24	0,3375	37
São Bern. do Campo	0,3571	18	0,351	14	0,3571	14
São Paulo	0,3539	19	0,3485	15	0,3563	16
Guarulhos	0,3522	20	0,3464	16	0,3591	12

Exemplo de estudos avaliando a influência do aquecimento global no aumento ou diminuição de eventos extremos de chuva que tenham relação com a deflagração de deslizamentos de terra.

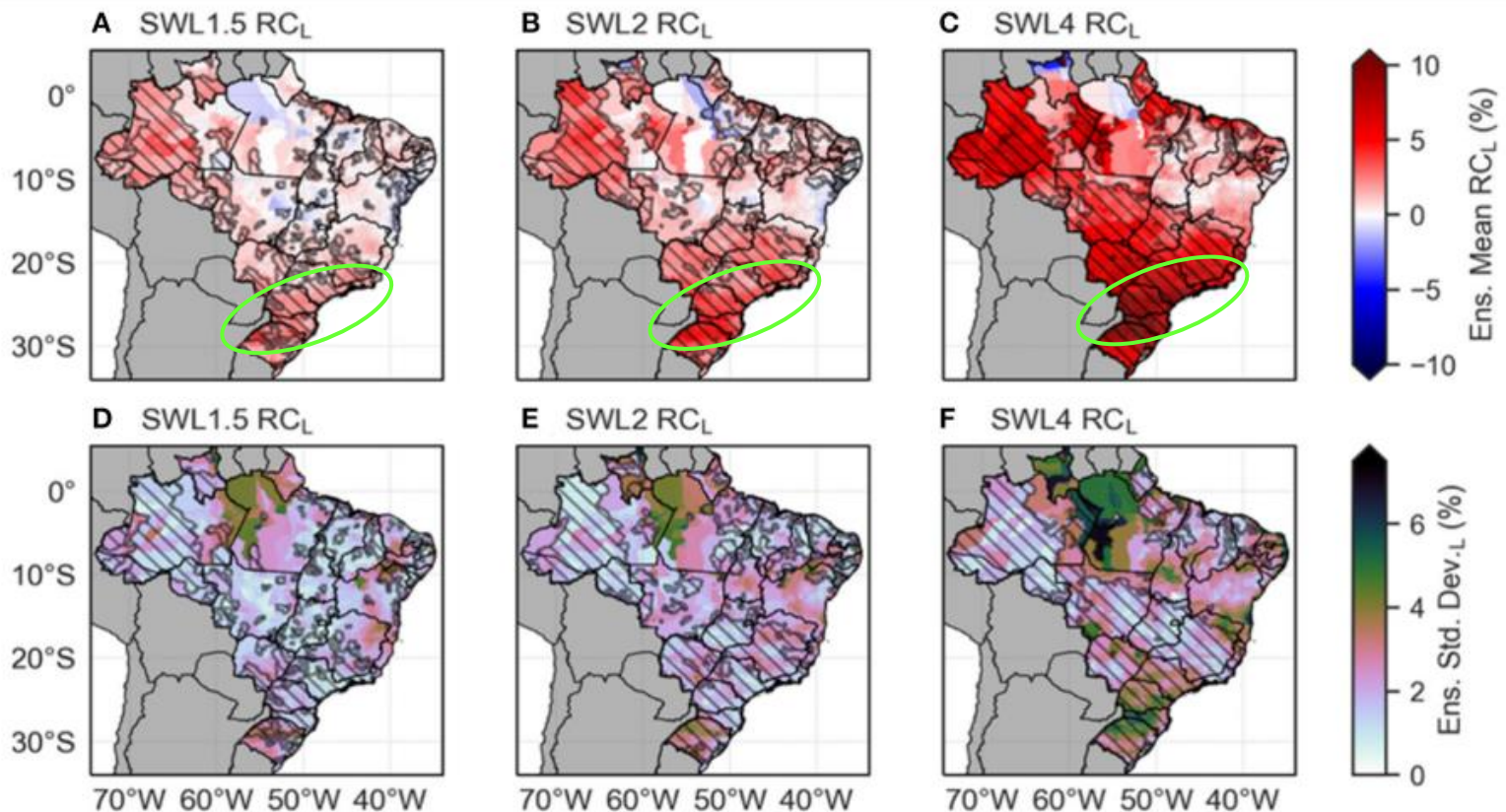
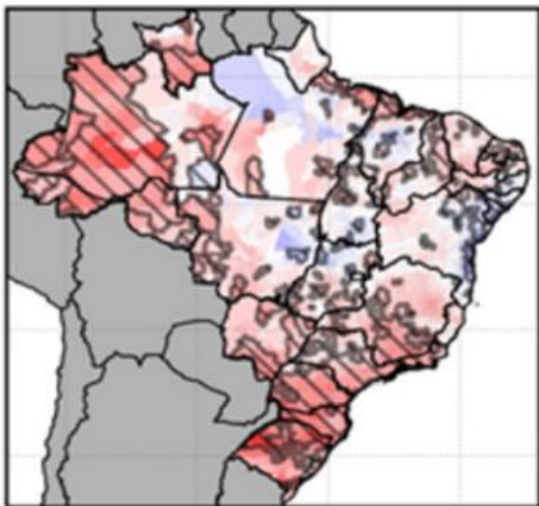
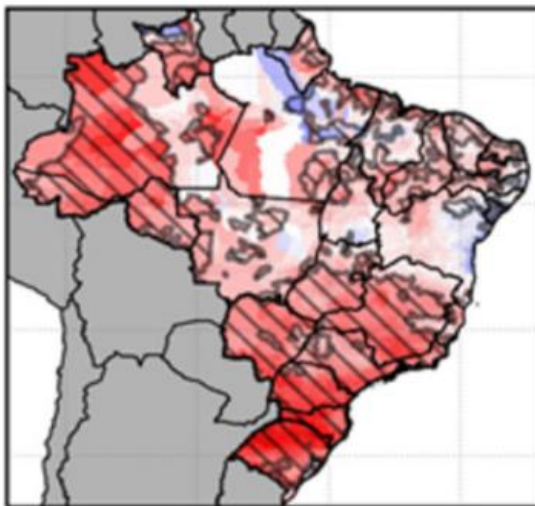


FIGURE 3 | Geographical distribution of the ensemble mean (A-C) and standard deviation (D-F) relative changes of the potential impact index for landslides (RC_L) with respect to the historical period for various scenarios: (A,D) SWL1.5; (B,E) 2.0; and (C,F) 4.0. The hatch pattern represents areas where the ensemble sign agreement presents values above or below +66% or -66%, respectively.

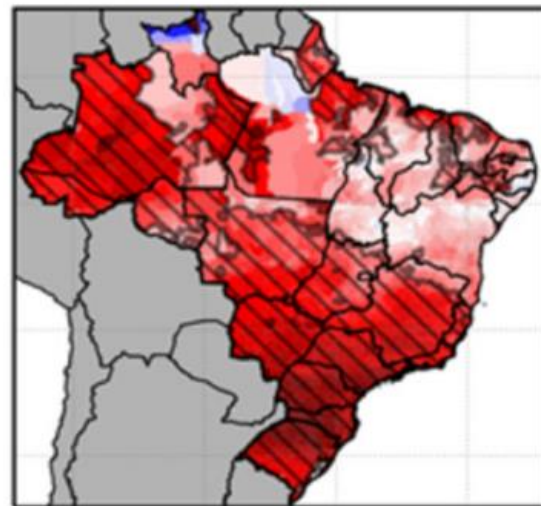
A SWL1.5 RC_L



B SWL2 RC_L

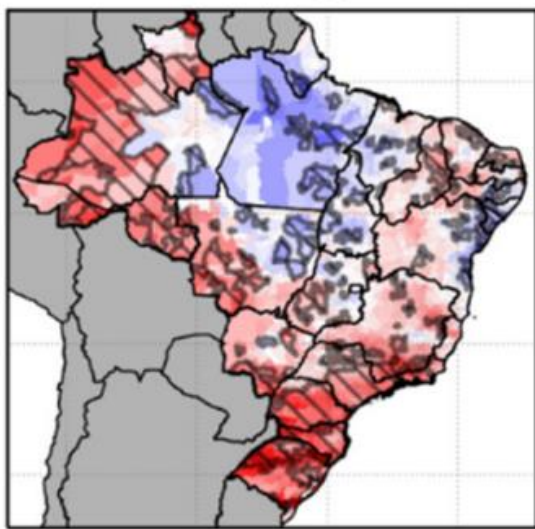


C SWL4 RC_L

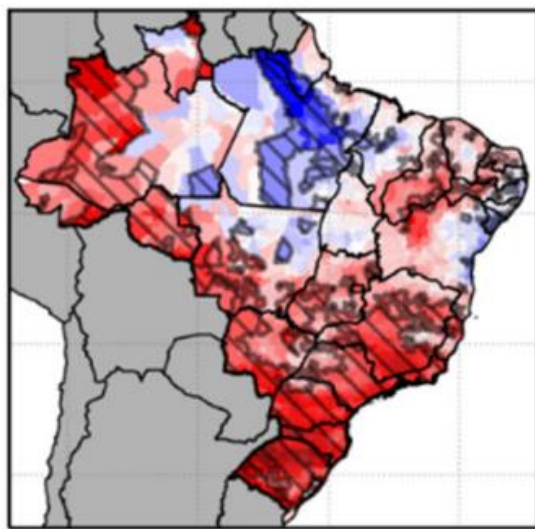


Aumento ou **diminuição** de chuvas extremas que causam deslizamentos de terra

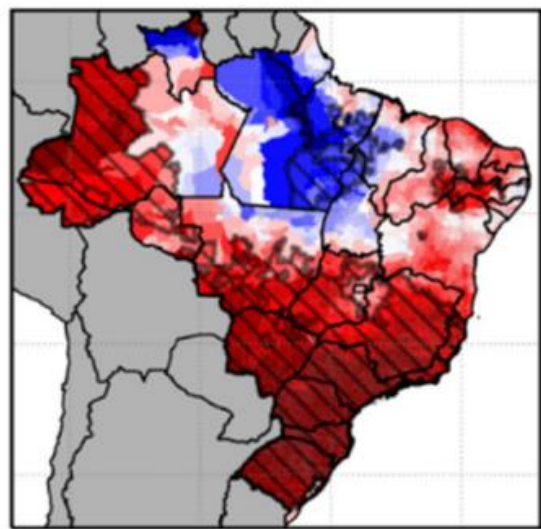
A SWL1.5 RC_{FF}



B SWL2 RC_{FF}



C SWL4 RC_{FF}



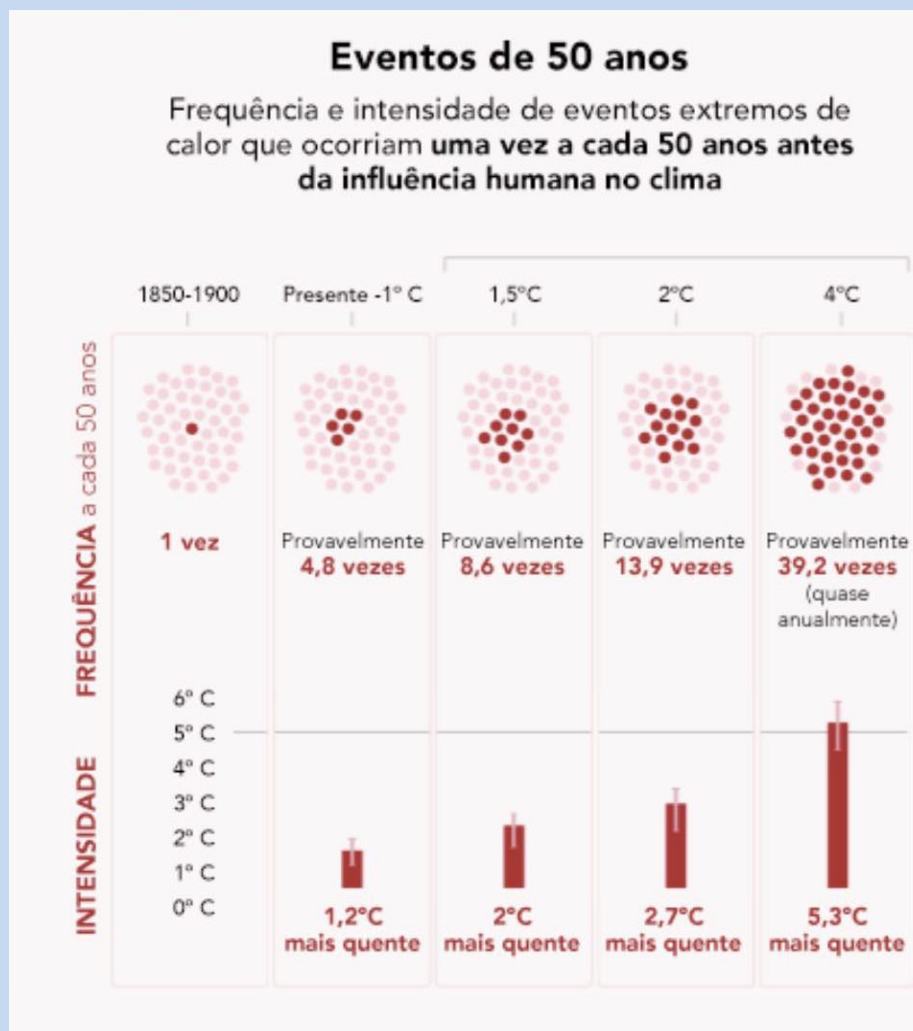
Aumento ou **diminuição** de chuvas extremas que causam enxurradas e inundações

A frequência projetada de extremos e sua intensidade aumentam com cada grau de aquecimento adicional

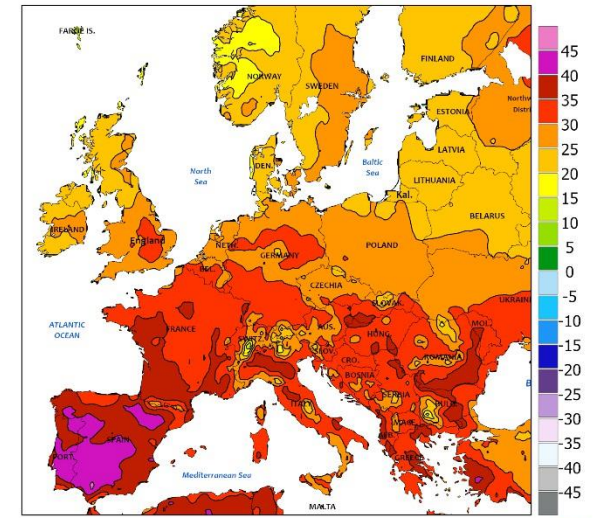
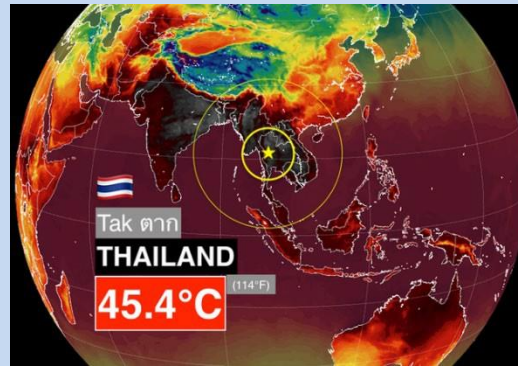


CLIMA

Estados Unidos, Europa e Japão enfrentam ondas de calor extremo de até 54° C



Ondas de calor em Julho de 2023

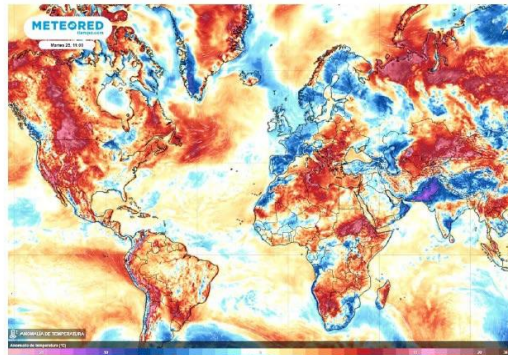


**Incêndios,
mortalidade,
impactos na saúde**



Novo estudo de atribuição: "essas ondas de calor extremo não podem ser explicadas sem a mudança climática"

Um estudo publicado na última terça-feira pela WWA atribui as várias ondas de calor extremo que ocorreram em diferentes regiões da Terra em julho às mudanças climáticas.

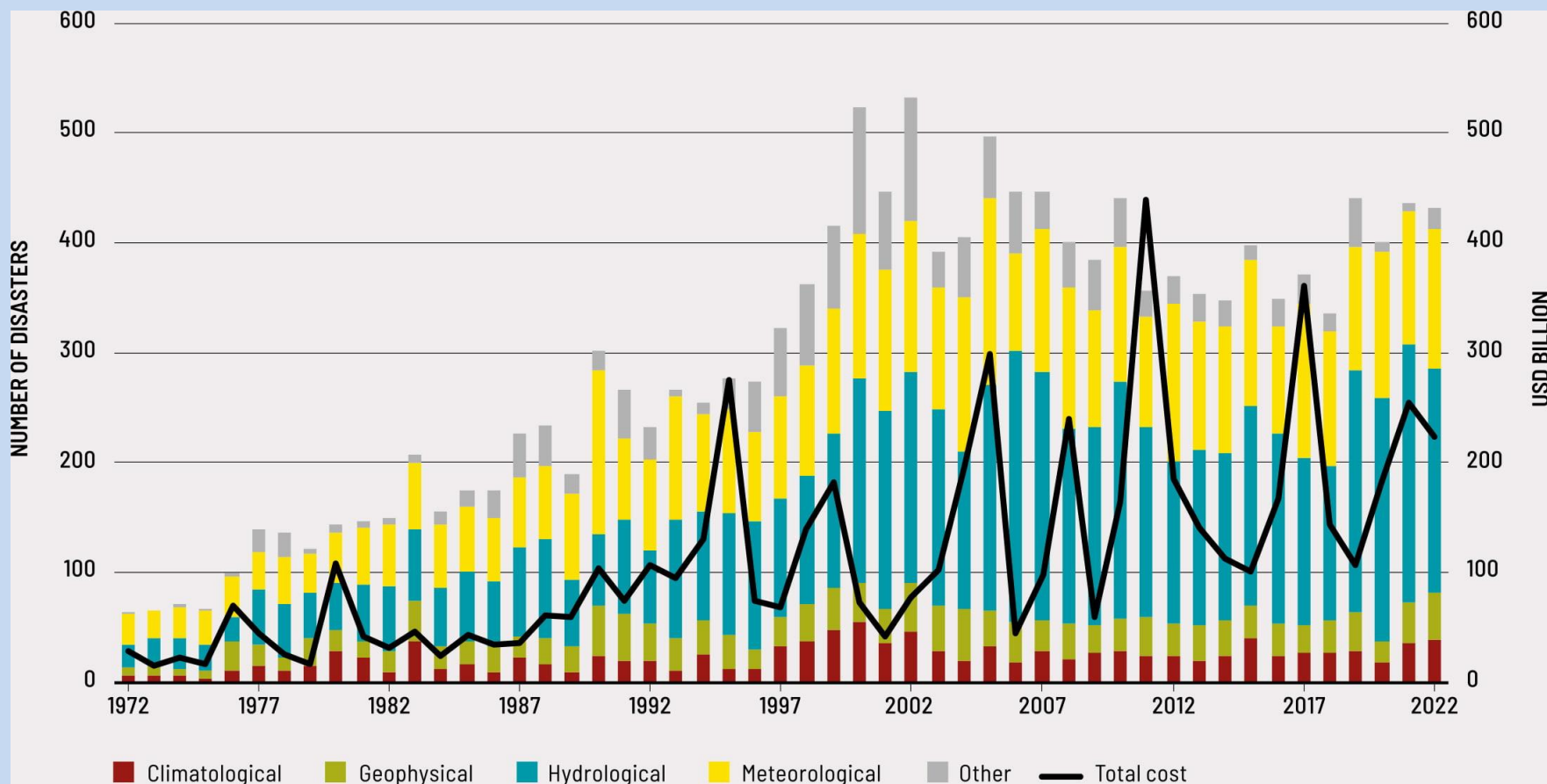


Anomalias na temperatura da superfície previstas para hoje em parte do mundo.



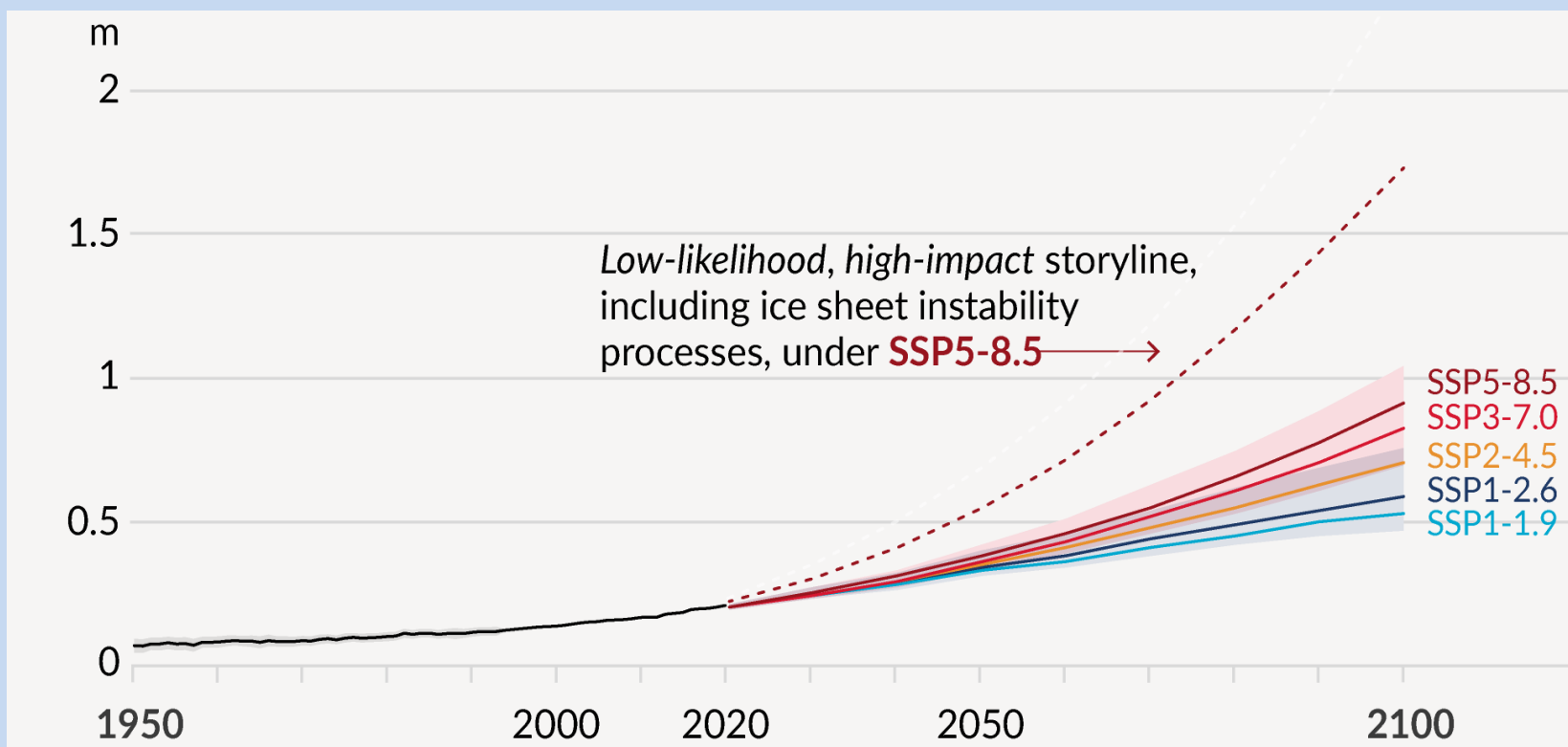
Impactos sociais e econômicos aumentam consideravelmente, muitas vezes na forma de desastres

Quantidade global de Desastres, por tipologia (1972-2022) e prejuízos (USD)



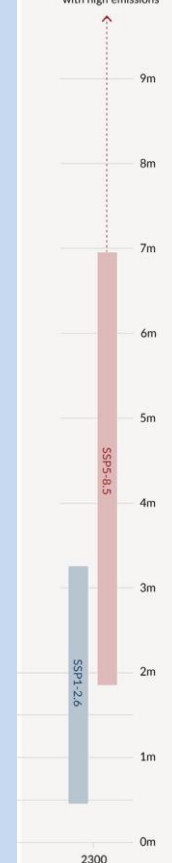
Já está ocorrendo de forma acentuada desde a década de 80

Aumento observado e projetado do nível do mar até 2100



e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900

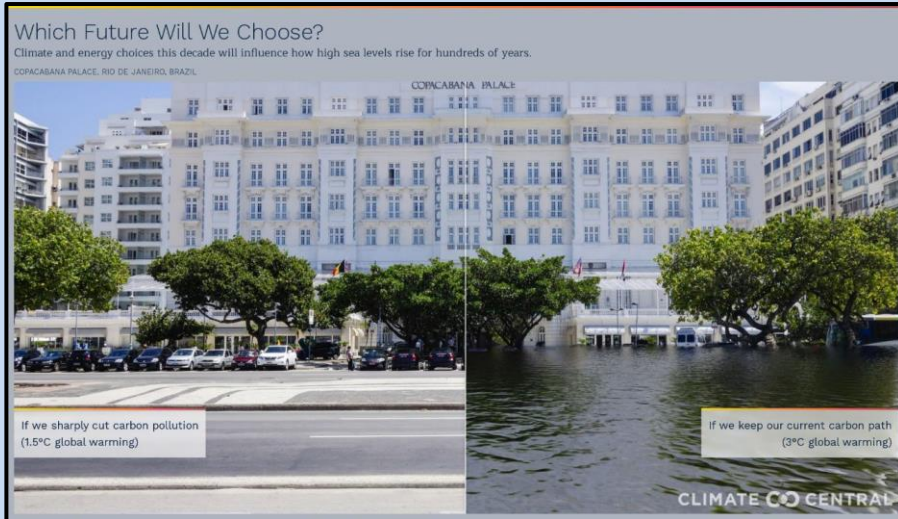
Sea level rise greater than 15m cannot be ruled out with high emissions



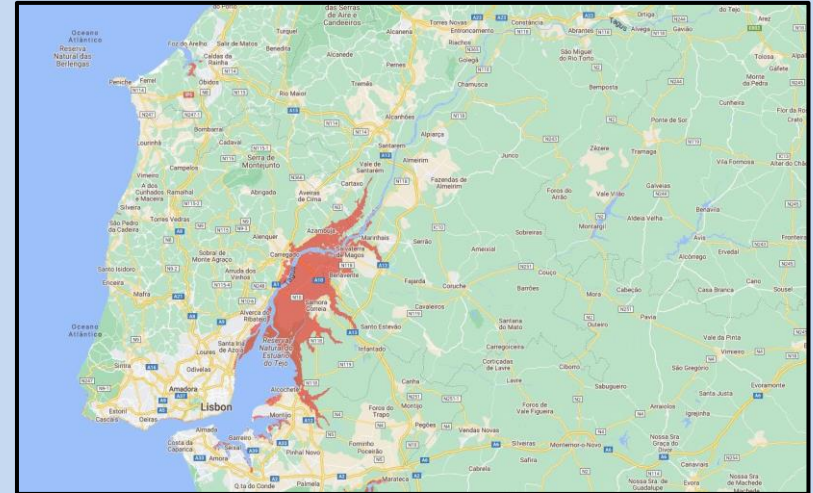
O nível médio do mar aumentou em 0.20 m entre 1901 e 2018. A taxa de aumento foi de 1.35 mm/ano entre 1901 e 1990, aumentando para 3.7 mm/ano entre 2006 e 2018.

Ainda é uma escolha. Qual futuro escolheremos?

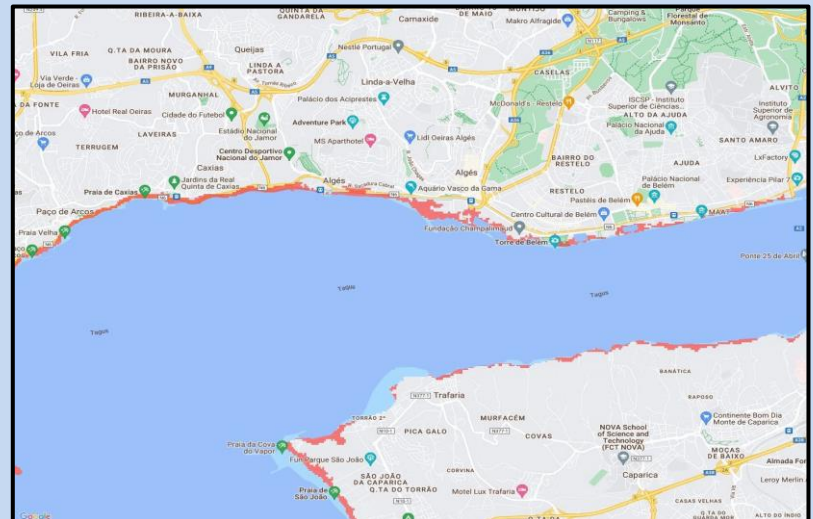
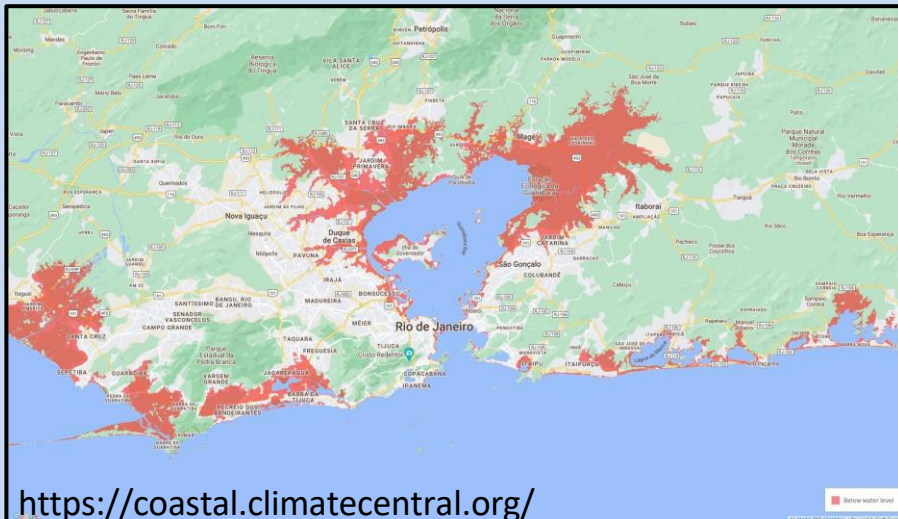
Rio de Janeiro



Lisboa



Em Vermelho: áreas inundadas no cenário com 3°



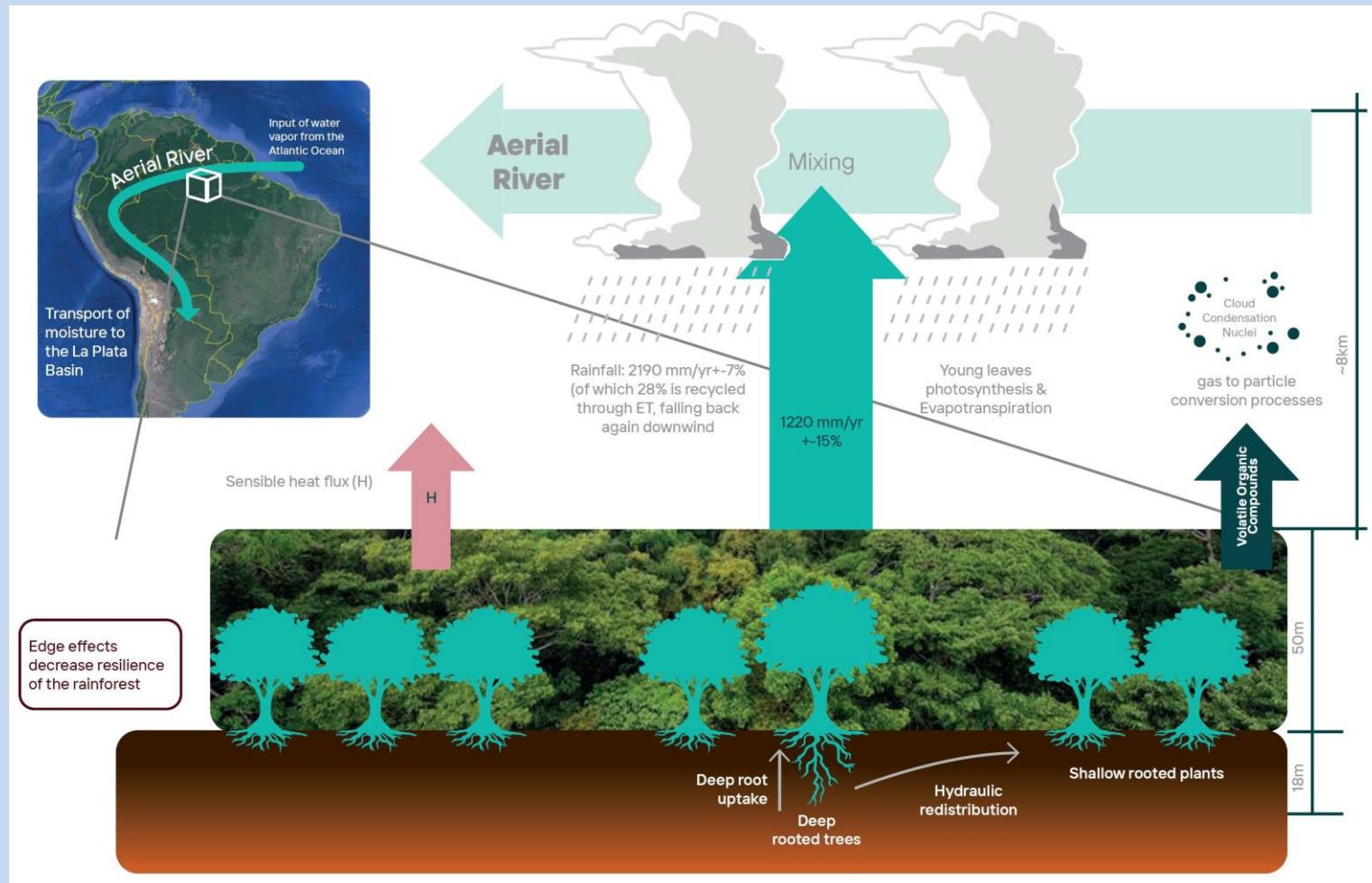
Amazônia e Mudanças Climáticas Globais

Um processo de duas vias



**Problema central do desmatamento :
Amazônia contém 120 bilhões de toneladas
de carbono (~10 anos de emissões)**

Amazônia alimenta os chamados “Rios Voadores” que distribuem chuva pela América do Sul

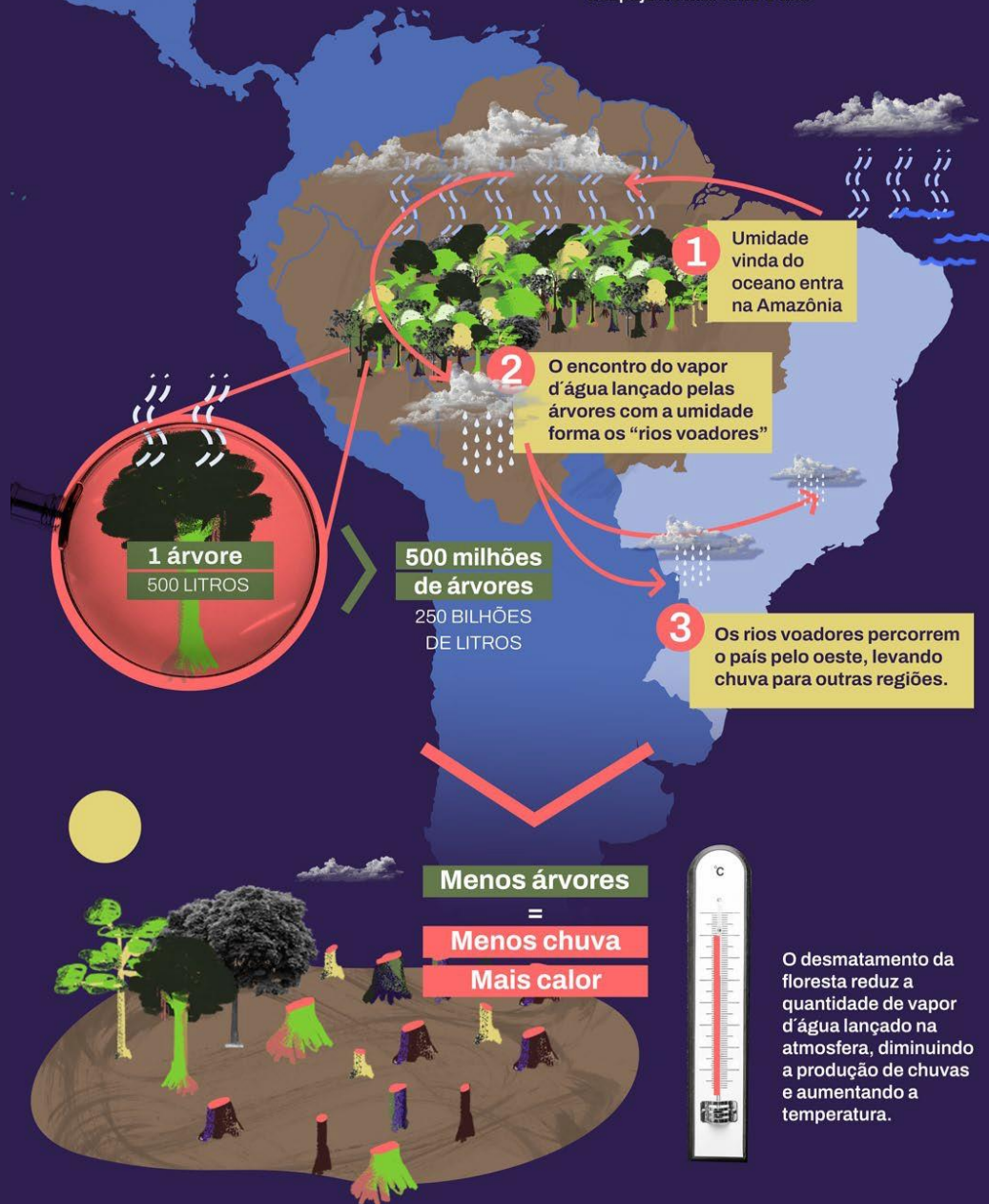


“A injeção permanente de vapor d'água pela vegetação aumenta as chuvas dentro da Amazônia, e o excesso de umidade é transportado para a Bacia do Prata, aumentando a precipitação lá também.”

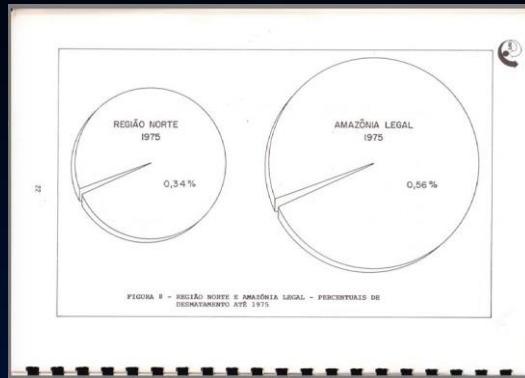
Science Panel for Amazônia, Executive summary, chapter 7

FÁBRICA DE CHUVAS

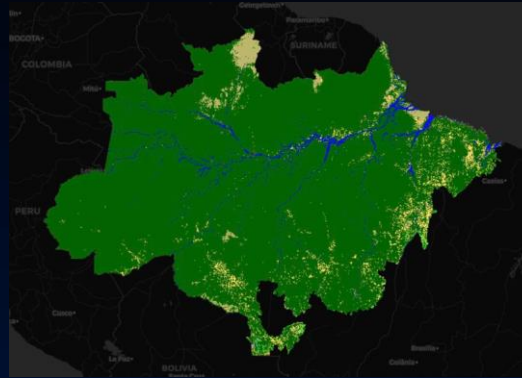
A Amazônia lança na atmosfera uma quantidade de vapor d'água quase igual à que o rio Amazonas, o maior rio do mundo, despeja no mar todo o dia.



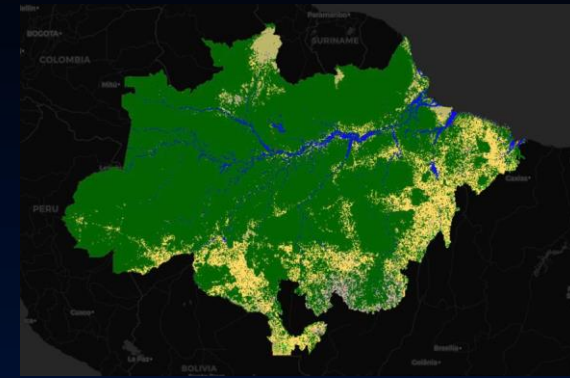
Evolução do desmatamento na Amazônia brasileira



1975 = 0,5%



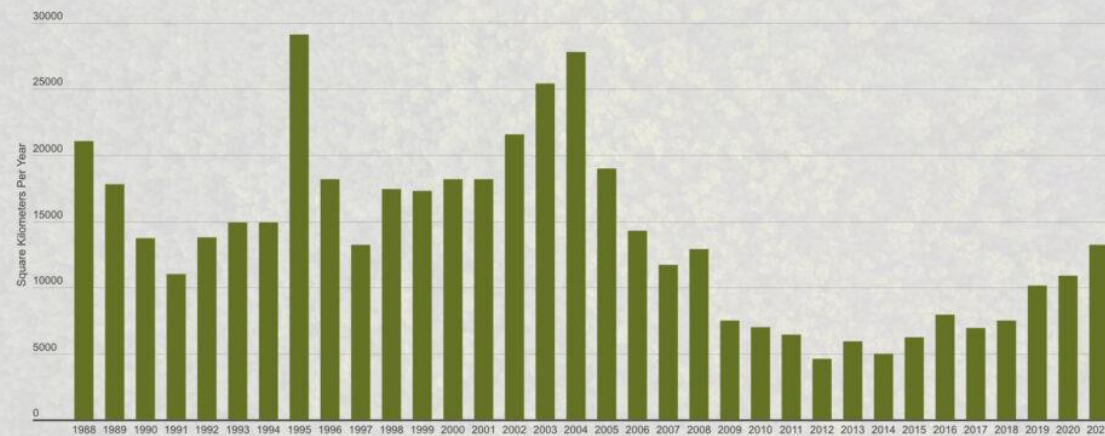
1975 = 5,0%



1975 = 19%

Deforestation in the Brazilian Amazon, 1988-2021

The Brazilian National Institute of Space Research (INPE) publishes annual Amazon deforestation reports via its PRODES satellite monitoring system. According to the agency's most recent report, deforestation in the Brazilian Amazon has reached a 15-year high after a 22% increase from 2020.



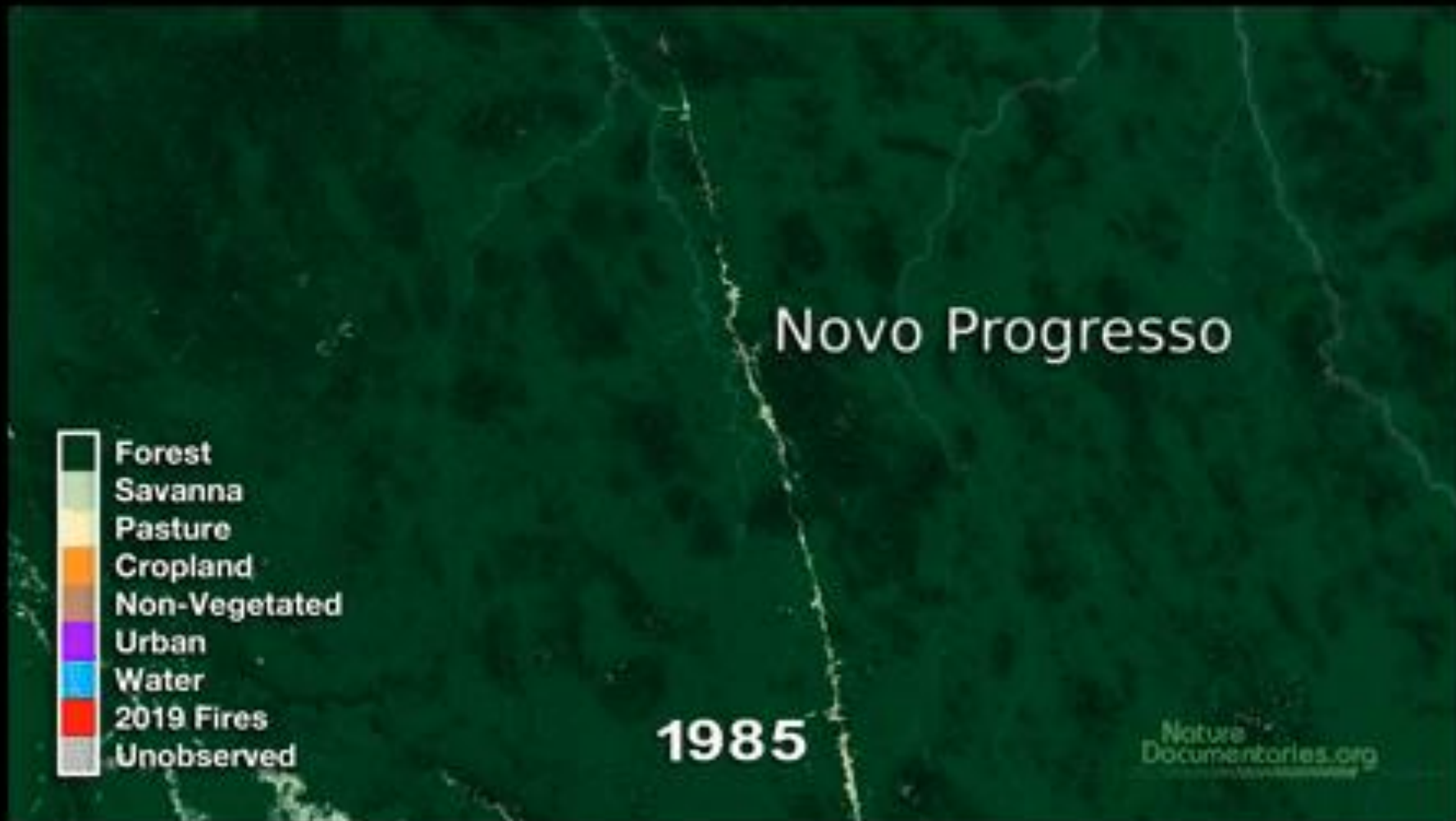
Data Source: Brazilian National Institute of Space Research PRODES System



Source: Prodes/INPE, MapBiomass

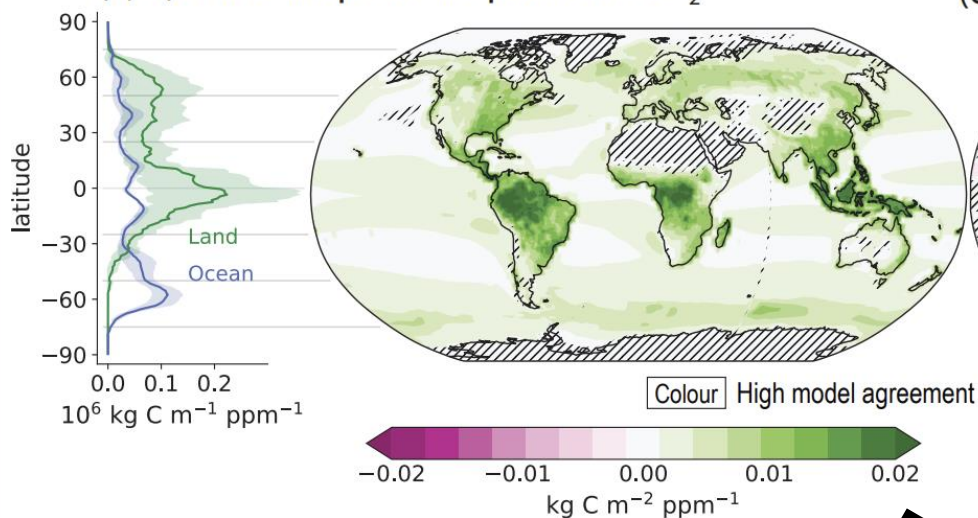


<https://www.youtube.com/watch?v=gpmv2XfnVFo>

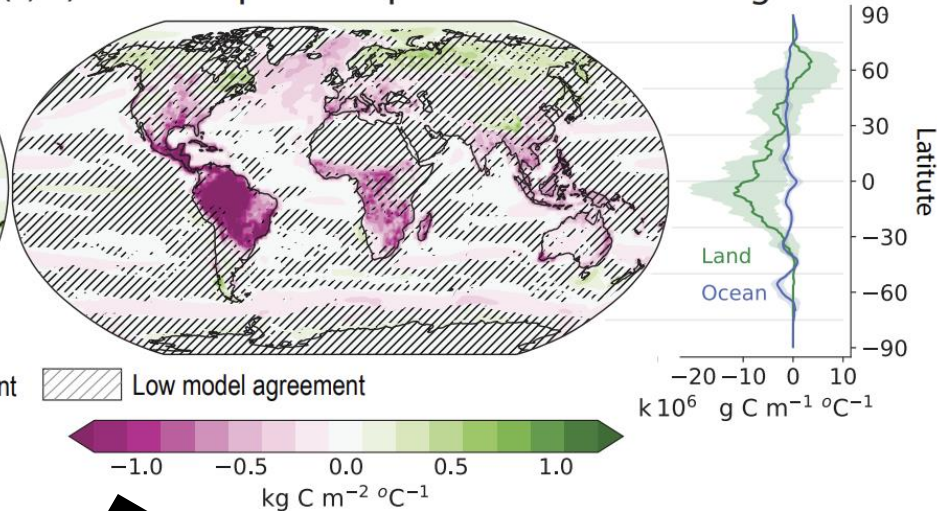


E a Amazônia? Fonte ou emissora de carbono?

(a, b) Carbon uptake response to CO₂

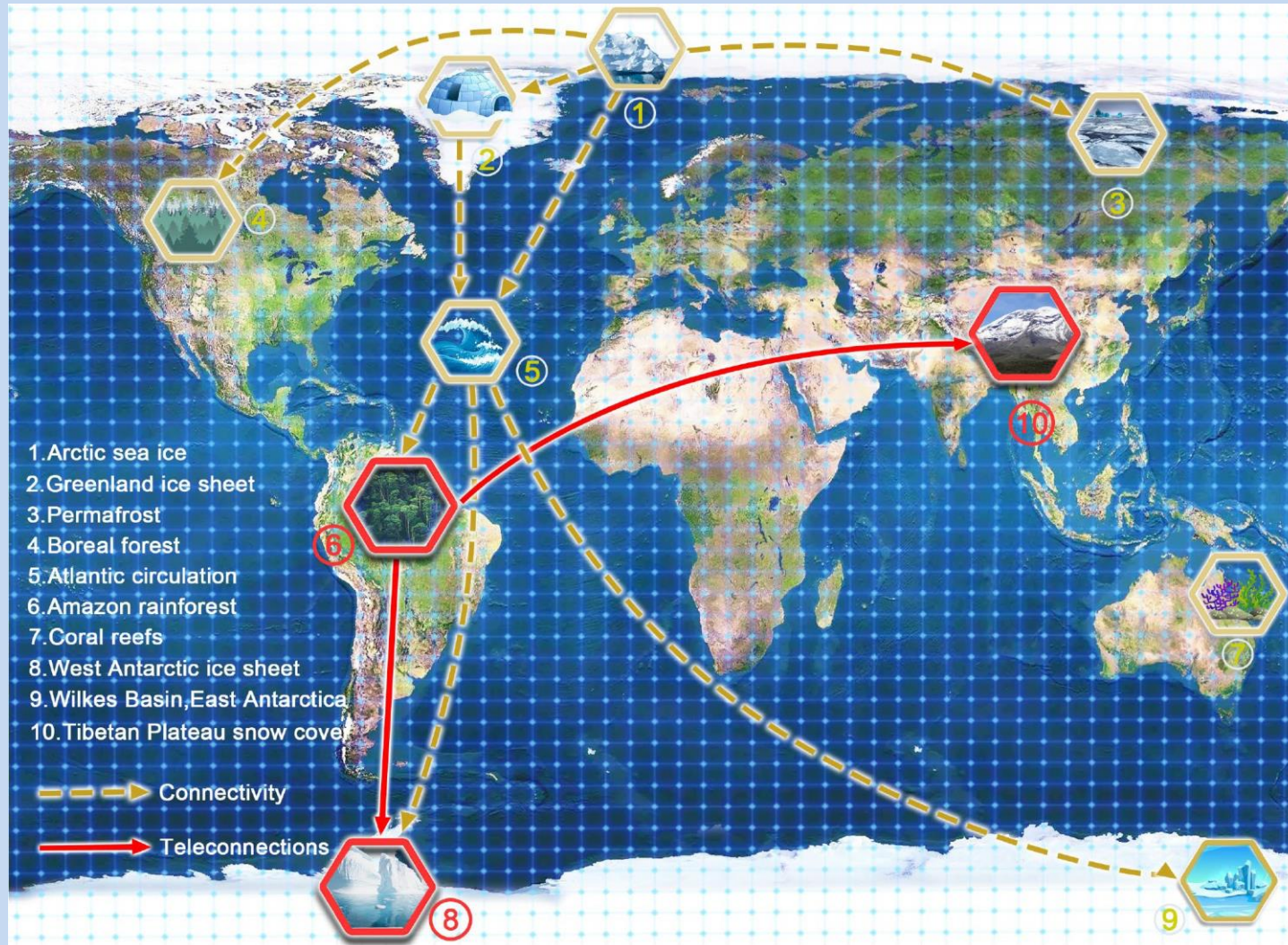


(c, d) Carbon uptake response to climate change

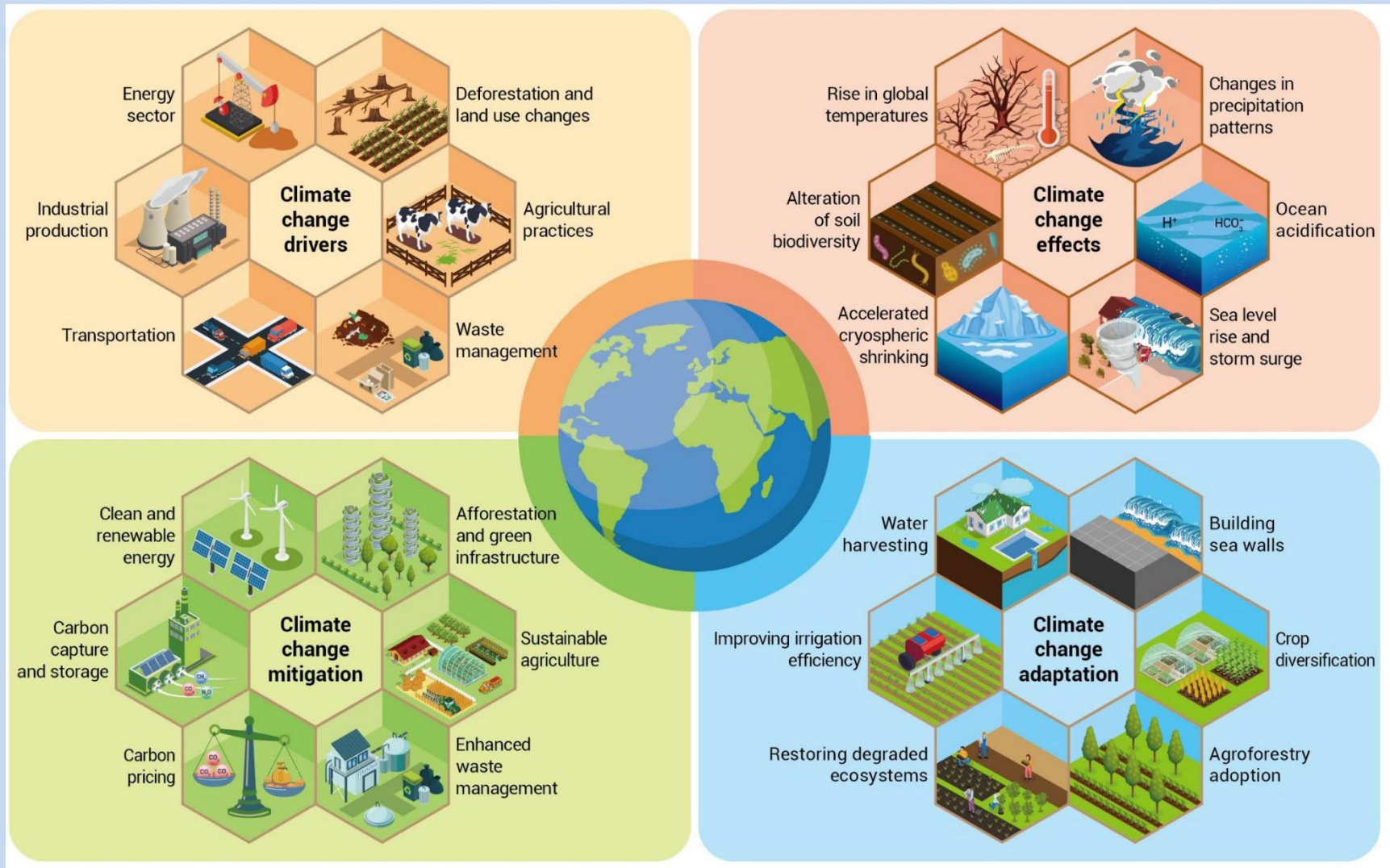


Florestas podem realmente absorver mais carbono se tiver mais CO₂ na atmosfera (mapa da esquerda)

Mas repare o quanto as florestas tropicais passam a deixar de absorver com o aquecimento da atmosfera!

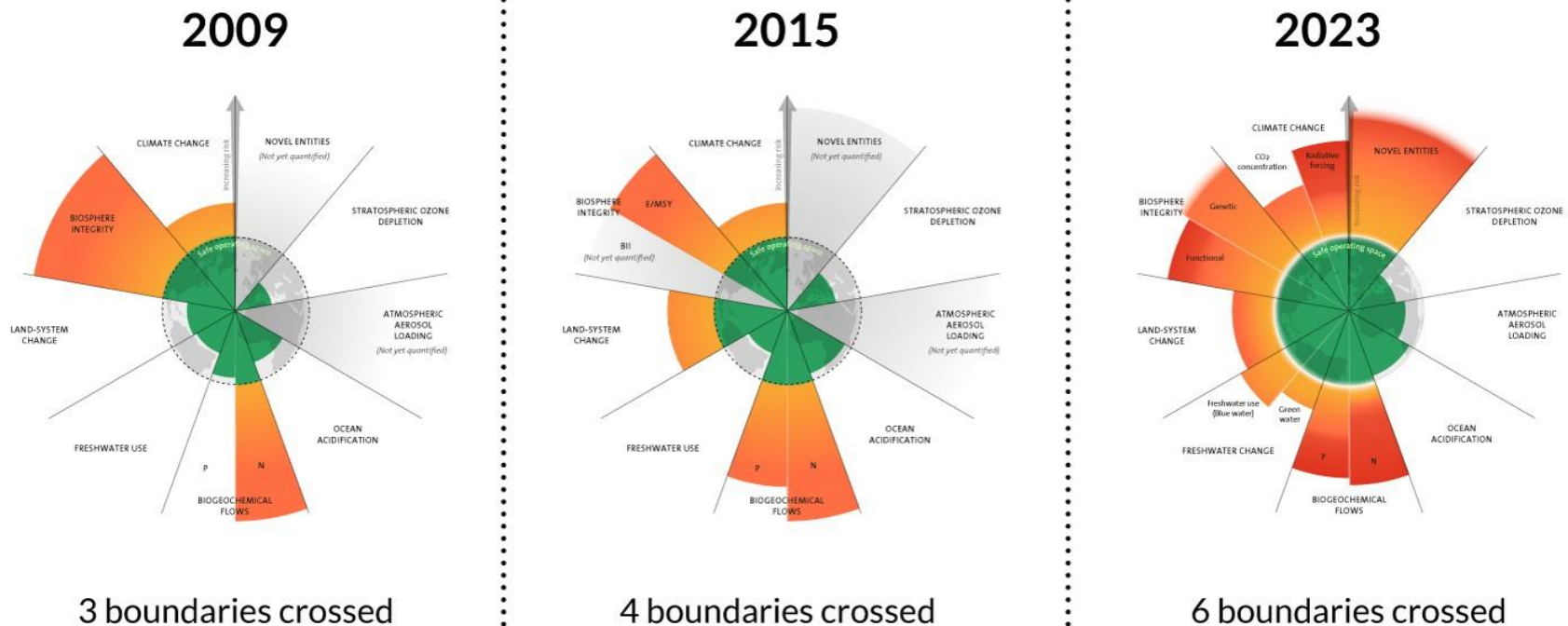


Entendendo as forças, os impactos, como mitigar e adaptar pra uma atuação integrada



Quais são os nove limites planetários seguros para humanidade e onde estamos atualmente?

Science, Setembro 2023



Apenas 3 limites ainda não foram ultrapassados: acidificação dos oceanos, aerossóis na atmosfera e redução ozônio estratosférico

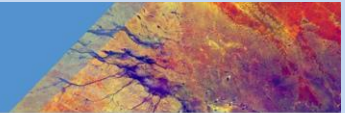
Perda de diversos Serviços Ecossistêmicos que são fundamentais para a manutenção da vida

SIXTH ASSESSMENT REPORT

Working Group II – Impacts, Adaptation and Vulnerability

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Nature's crucial services at risk in a warming world



Pollination



Coastal protection



Tourism / recreation



Food source



Health



Water filtration

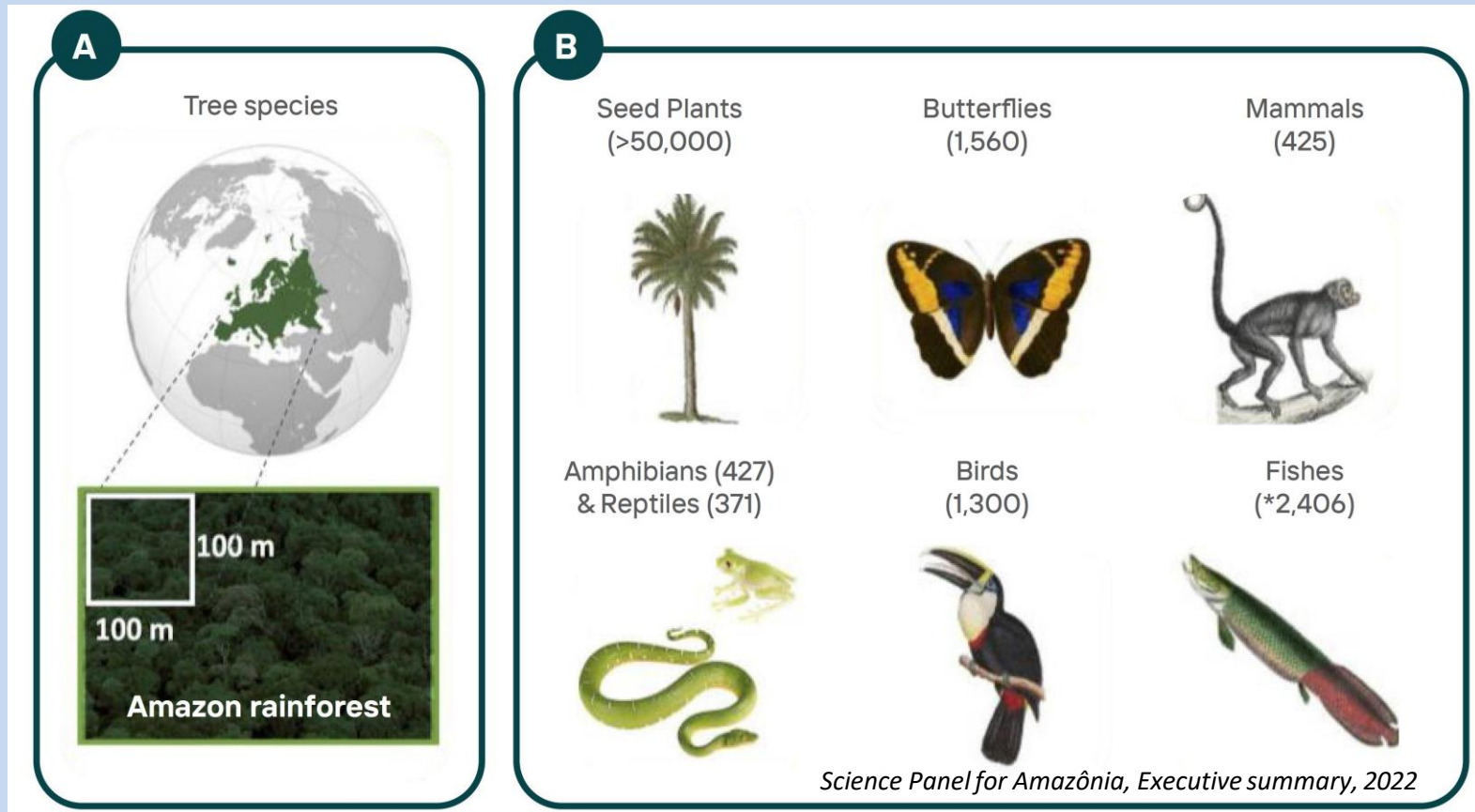


Clean air



Climate regulation

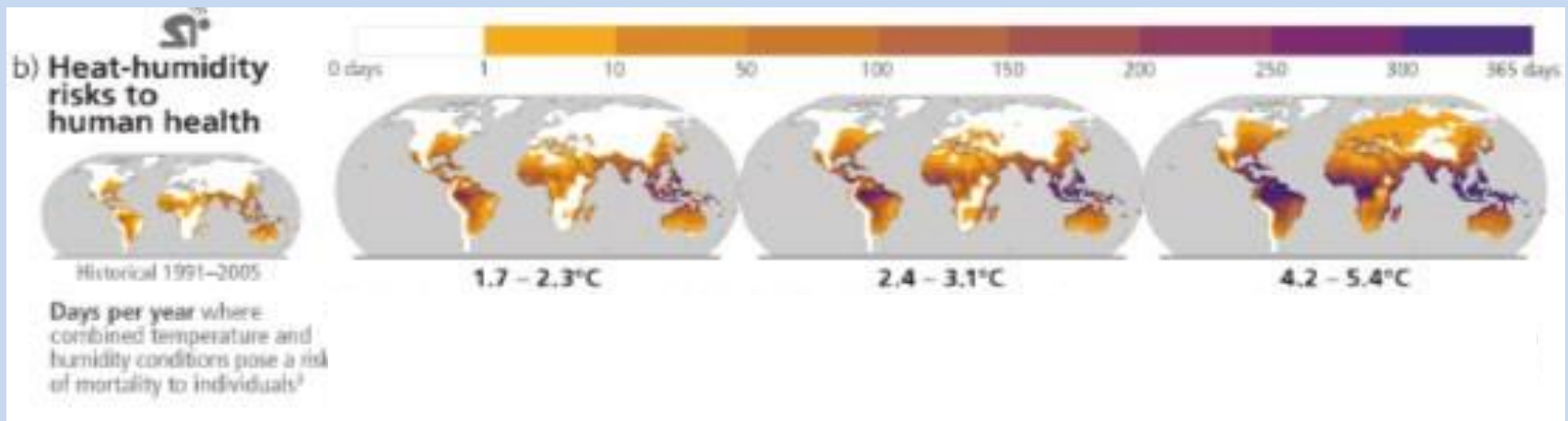
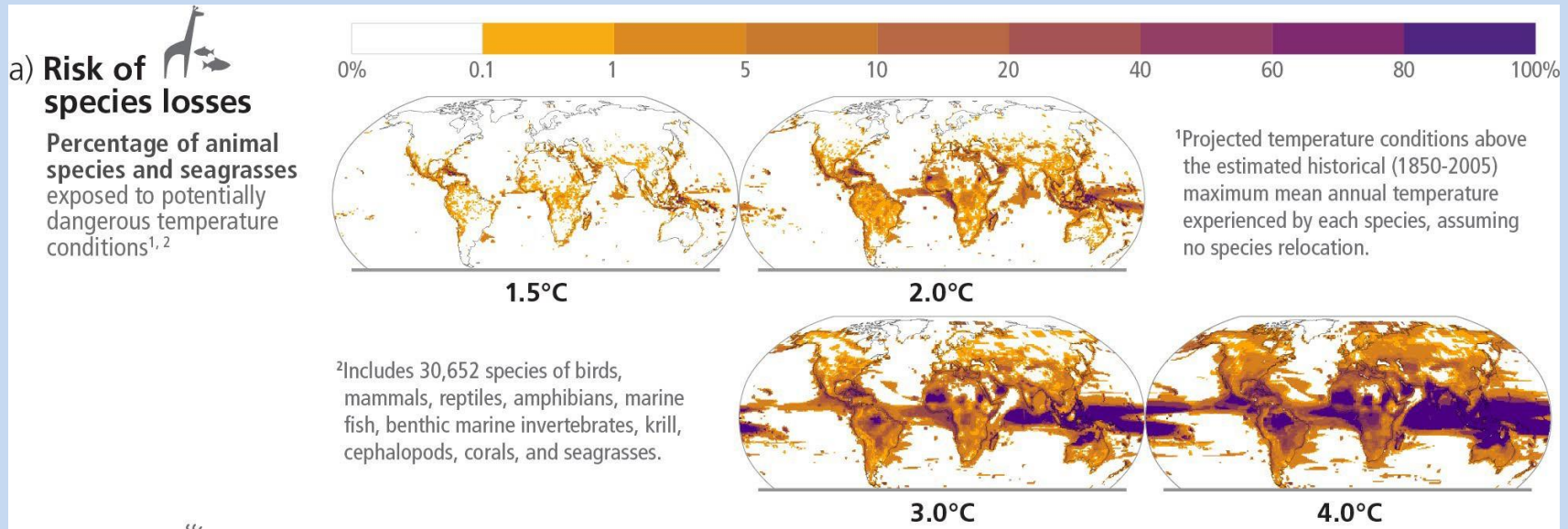
Perda de biodiversidade tem que ser enfrentada em conjunto com a mudança climática



A diversidade de espécies de árvores que existem em 1 hectare (100 m x 100 m) de Floresta Amazônica supera o que tem em toda Europa

Regiões tropicais como Brasil e África são os que mais perderão espécies e o mais impactados, aumentando as diferenças regionais

Perda de biodiversidade



Riscos à saúde humana

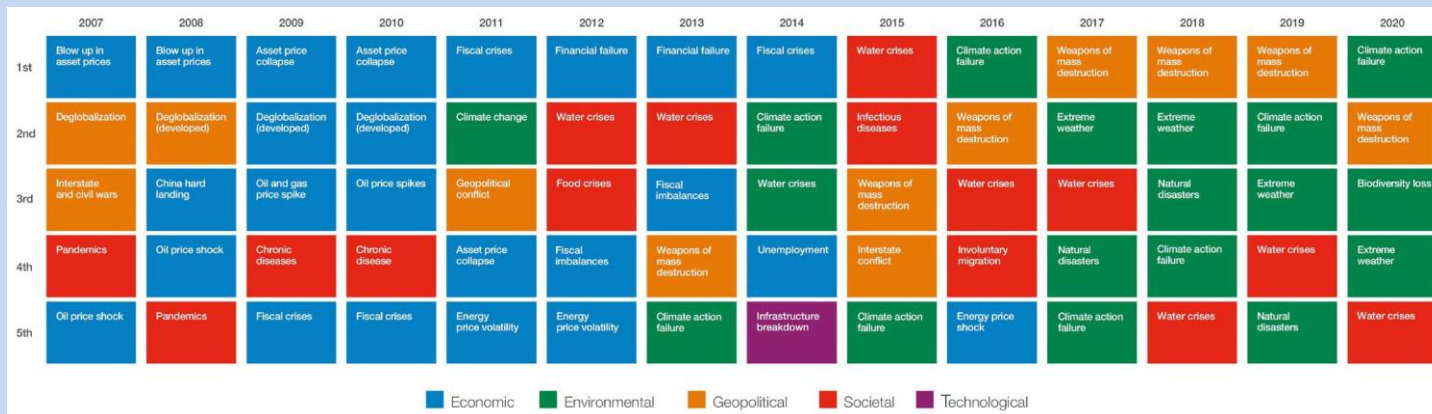
Fórum Econômico Mundial: Relatório dos principais Riscos Globais em 2020

Os 5 maiores riscos globais em termos de probabilidades (2007 – 2020)



■ Economic
 ■ Environmental
 ■ Geopolitical
 ■ Societal
 ■ Technological

Os 5 maiores riscos globais em termos de impactos potenciais (2007 – 2020)



■ Economic
 ■ Environmental
 ■ Geopolitical
 ■ Societal
 ■ Technological

2020

Extreme weather

Climate action failure

Natural disasters

Biodiversity loss

Human-made environmental disasters

Obs: Não são preocupações de cientistas, ONGs ou grupos ambientais, mas do WEF!

Já temos opções AGORA, em todos os setores da economia, que podem reduzir pela metade as emissões em 2030



Demand and services



Energy



Land use



Industry



Urban



Buildings

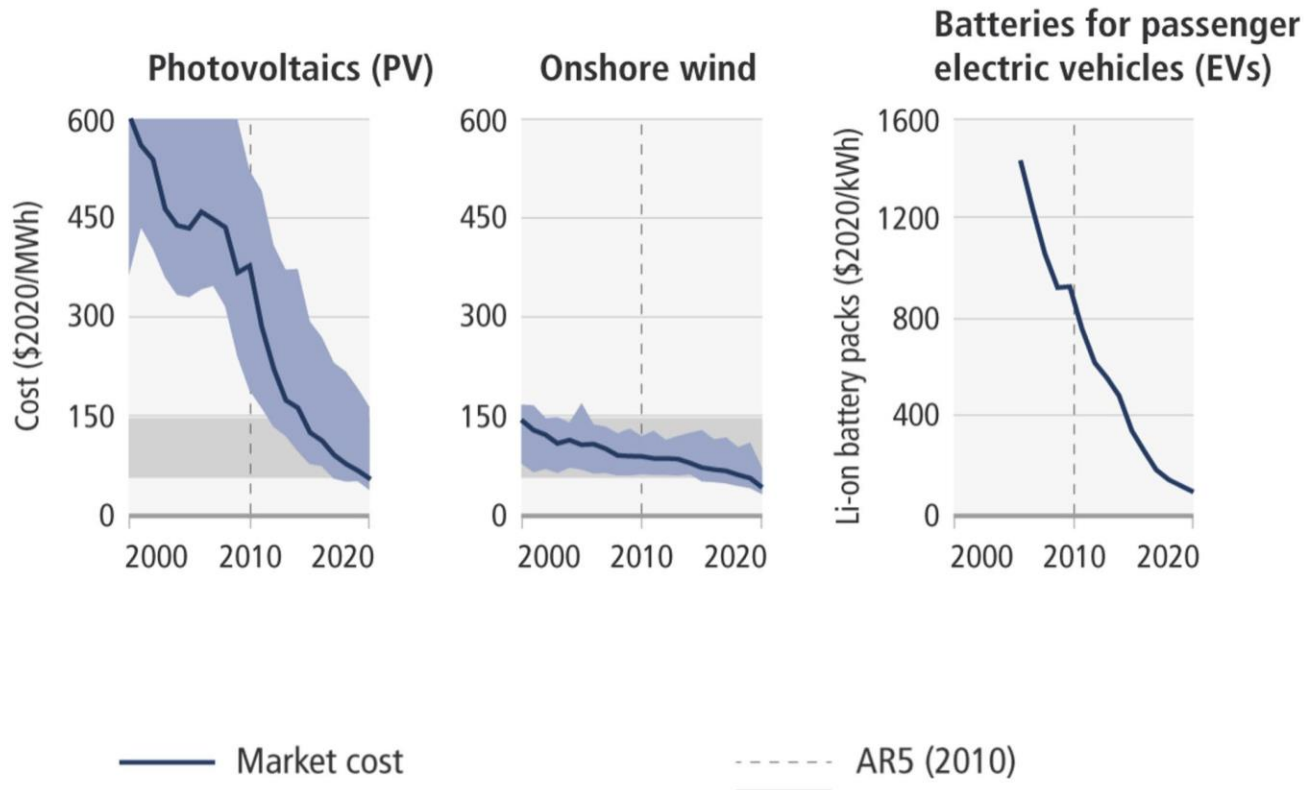


Transport

Soluções já existe: Preço da geração de energia solar, eólica e baterias para carros elétricos

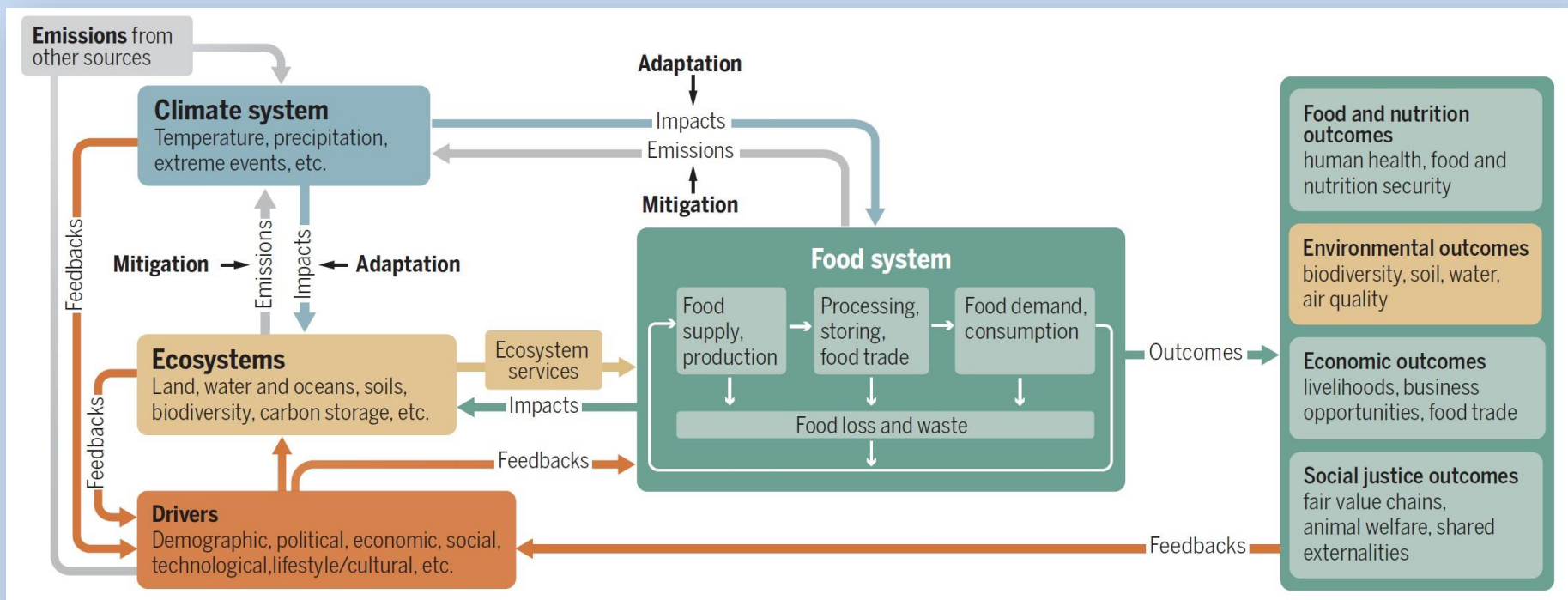
Sixth Assessment Report

WORKING GROUP III – MITIGATION OF CLIMATE CHANGE



In some cases, costs for renewables have fallen below those of fossil fuels.

Como as mudanças climáticas, ecossistemas e o sistema de produção de alimentos interagem e afetam a segurança alimentar



A produção de alimentos hoje é responsável por cerca de 30% das emissões (direta ou indiretamente).

Como atingir “emissões líquidas zero” em 2030?

Urgente necessidade de redução da nossa “pegada ecológica”



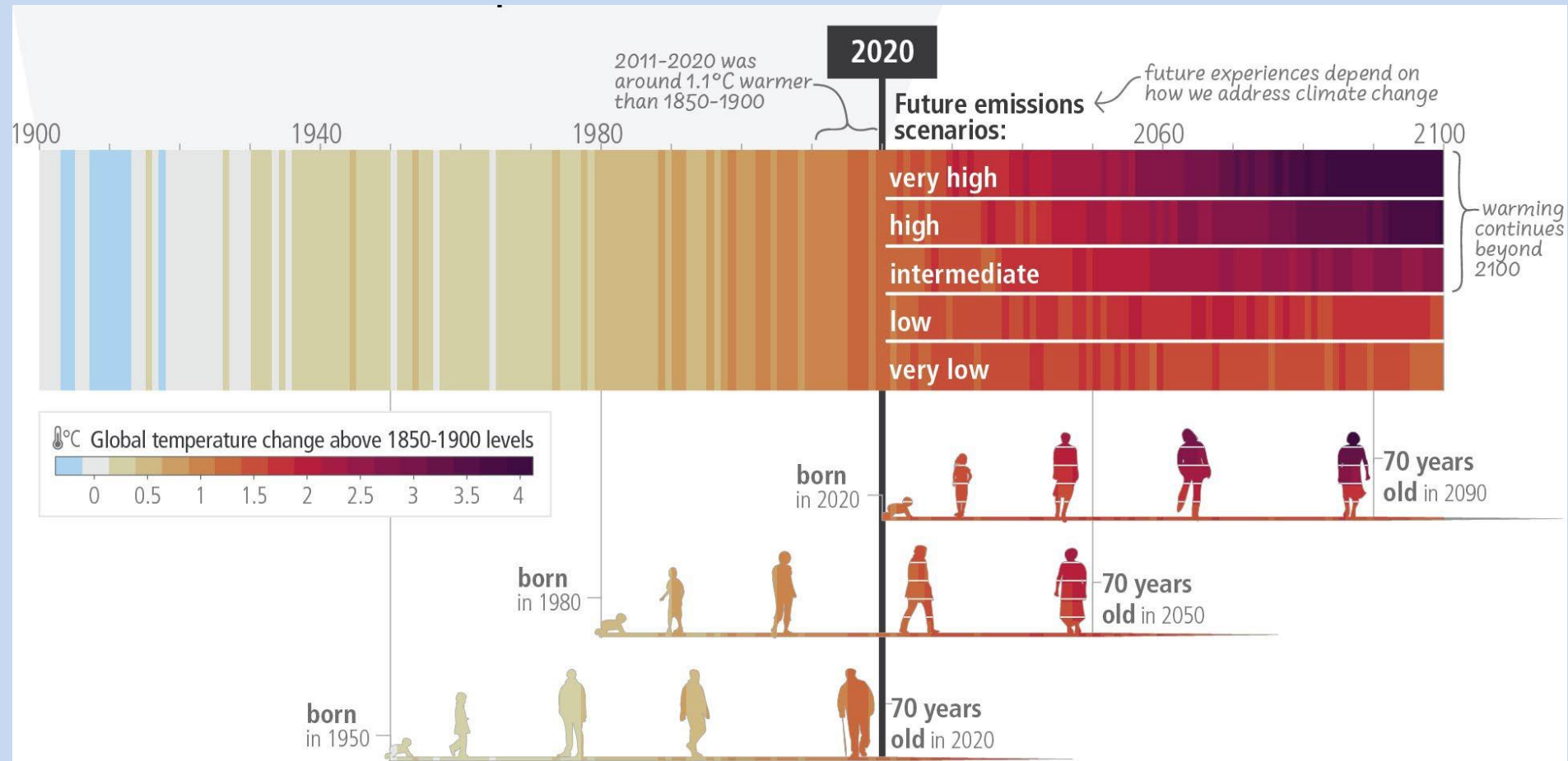
Brasil tem oportunidades únicas no mundo

- **Potencial de grande redução de emissões sem prejuízos à sociedade**
- **Potencial solar e eólico que nenhum outro país possui**
- **Programa de biocombustíveis único no mundo**
- **Potencial de sequestro de carbono, com geração de renda através do mercado de carbono**

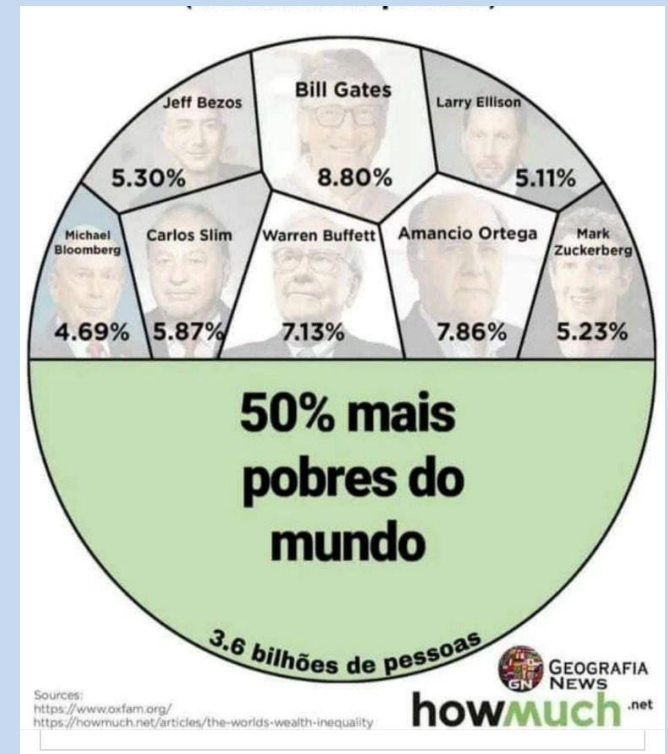
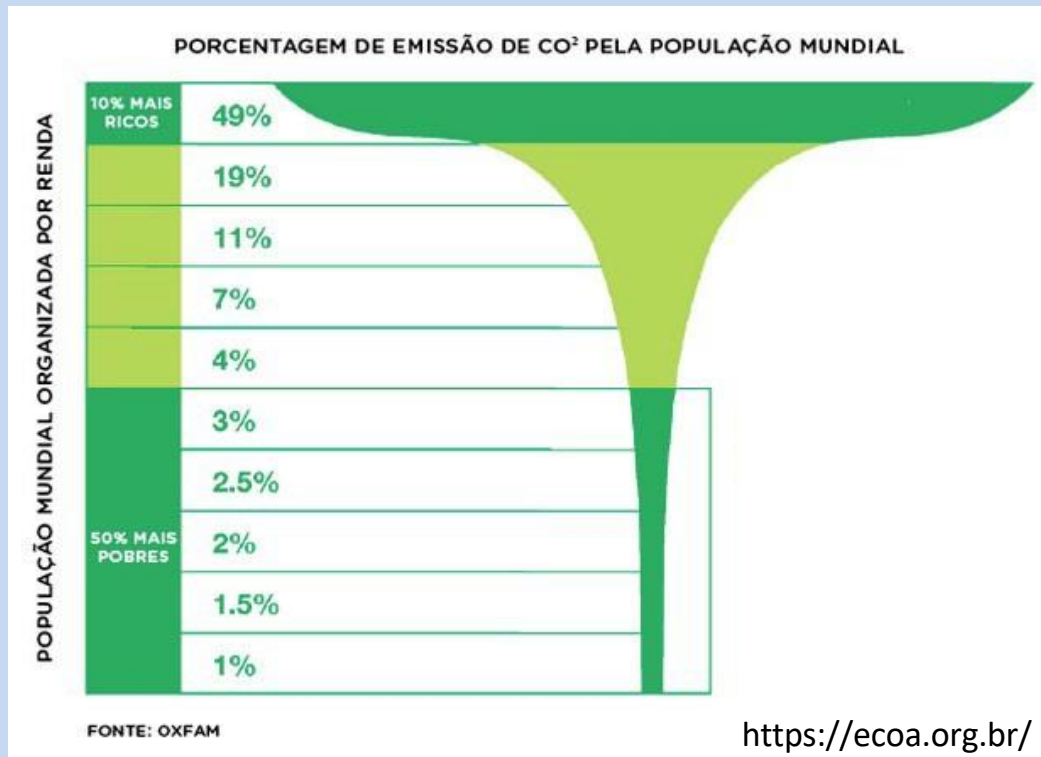
Mas temos vulnerabilidades importantes

- **Economia fortemente dependente do agronegócio que pode não ser tão viável nos próximos anos. Geração de eletricidade dependendo do clima.**
- **8500 Km de áreas costeiras vulneráveis às mudanças climáticas.**
- **Nordeste brasileiro pode ser inviável em algumas décadas.**
- **Grandes contrastes sociais, que acentuam diferentes tipos de vulnerabilidade**

Questões éticas: Impactos na atual e nas futuras gerações

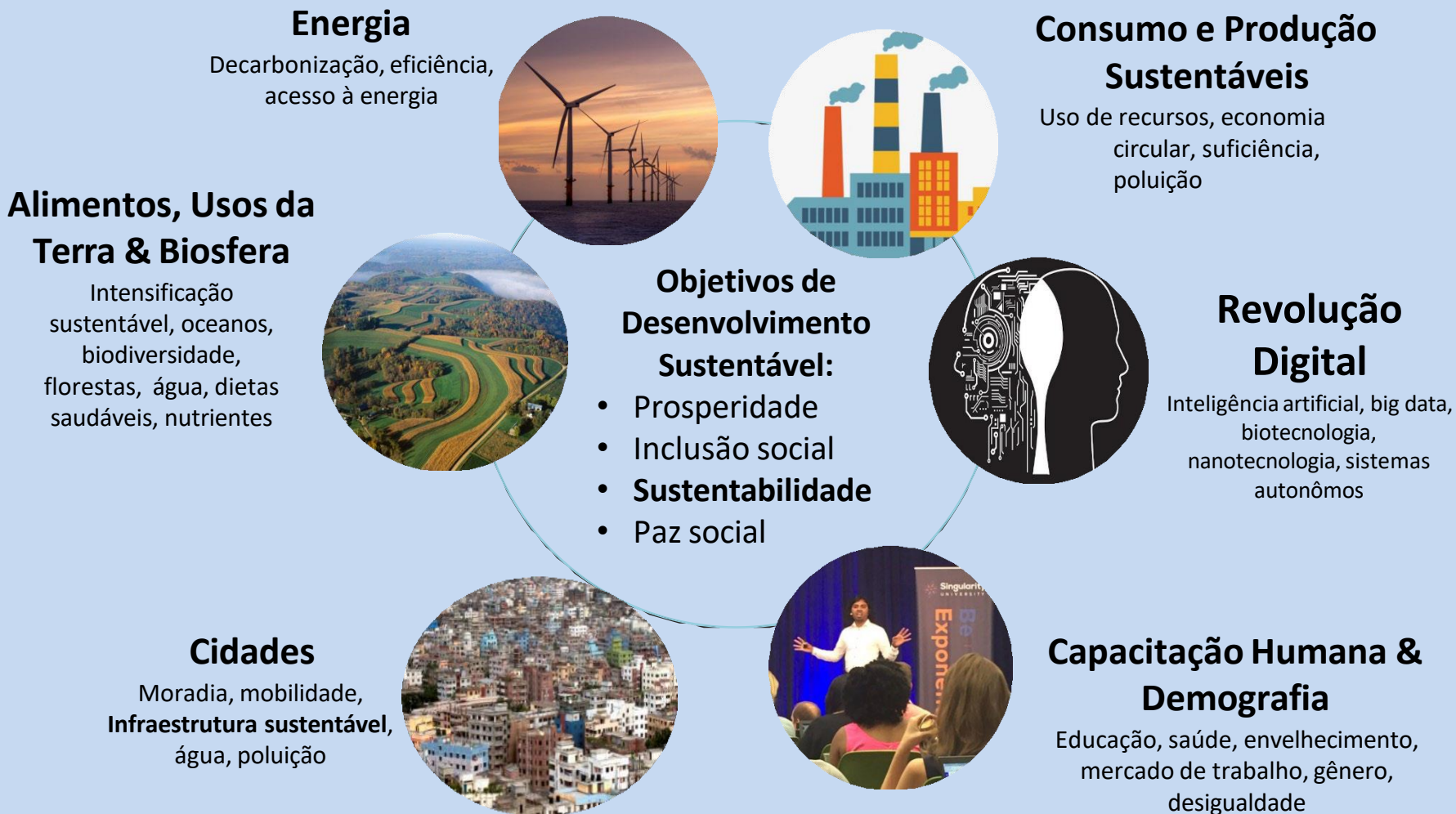


Porcentagem de emissões de CO2 pela população mundial em função da renda



Olhando para o futuro:

As seis grandes transformações necessárias para o mundo em 2050



Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável adotados pela ONU

O desenvolvimento sustentável é definido como o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias necessidades.



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



As verdades inconvenientes



- É impossível com as emissões atuais limitar o aquecimento em 2 graus.
- Estamos indo para uma trajetória de 2.7 a 3.2 graus ao longo deste século
- Não há qualquer possibilidade de atingirmos “Net Zero” no planeta em 2050
- Nós iremos extinguir milhares de espécies ao longo deste século.
- Produzir alimentos para 10 bilhões de pessoas no novo clima é um desafio
- Migrações em massa irão ocorrer, com aumento de tensões geopolíticas

Vamos sair desta? só depende de nós



- A humanidade está passando por mais uma transição. Desta vez, terá de ser para um mundo mais sustentável.

Precisamos restabelecer
a conexão vital entre os
humanos e o resto do
mundo que nos
sustenta. Somente
com ações
integradas
entre governos,
empresas e
sociedade, com a
governança correta
que iremos alcançar
um mundo sustentável



Obrigado!



pedro.camarinha@cemaden.gov.br



/pedro-camarinha

Intelligence

is the ability to adapt
to change.

Stephen Hawking



www.gov.br/cemaden/

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

