

Variabilidade Climática e Eventos Extremos: Alguma relação com o Aquecimento Global?

Tércio Ambrizzi

Instituto de Energia e Ambiente - USP

Agosto 2024



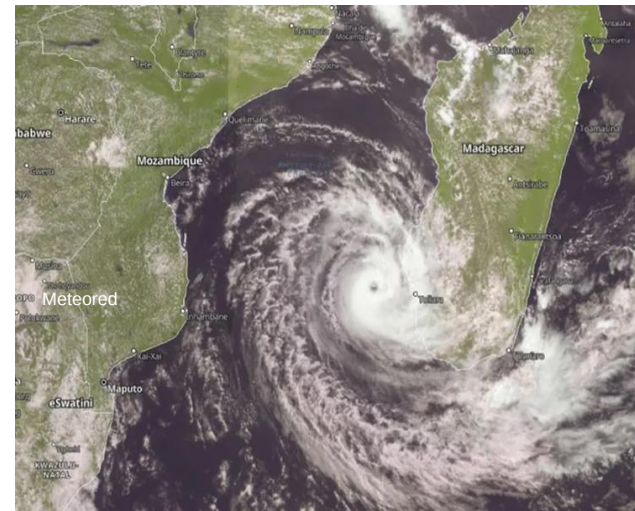
EVENTOS EXTREMOS PELO MUNDO EM 2023



**Inverno
extremo na
Califórnia:
volumes
recordes de
neve e chuva**

**Partes da Europa sofrem com
seca severa e ondas de calor**

**Ciclone Freddy atinge
Madagascar e Moçambique**

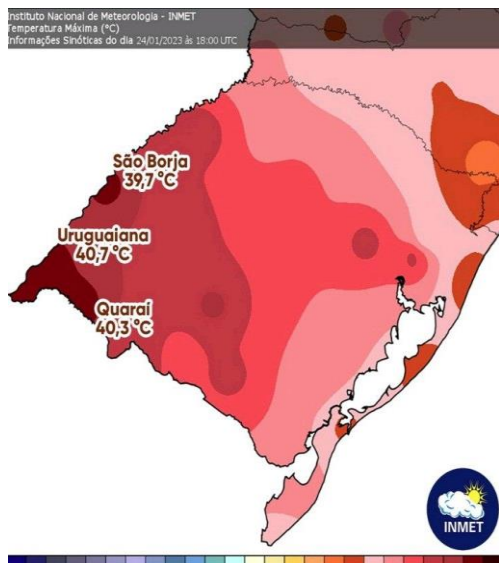


EVENTOS EXTREMOS NO BRASIL EM 2023

Inundações em Santa Catarina



Instituto Nacional de Meteorologia - INMET
Temperatura Máxima (°C)
Informações Sinóticas do dia 24/01/2023 às 18:00 UTC



Chuvas extremamente volumosas provocam tragédia no litoral de SP



MetSul.com
@emetsul

TEMPO | Chuva histórica do fim de semana:

- Bertioga: 694 mm
- São Sebastião: 649 mm
- Guarujá: 406 mm
- Ilhabela: 346 mm
- Ubatuba: 339 mm
- Santos: 243 mm
- Caraguatatuba: 240 mm
- Praia Grande: 226 mm
- São Vicente: 211 mm

1 mm = 1 litro de água por metros quadrado

Calor no Rio Grande do Sul faz termômetros baterem os 40°C

ENCHENTES RGS 2024



**Cavalo
Caramelo**



Evidências de rápidas mudanças climáticas

Aumento global da temperatura



Aquecimento oceânico



Redução da área de gelo



Redução de calotas polares



Redução da cobertura de neve



Aumento do nível do mar



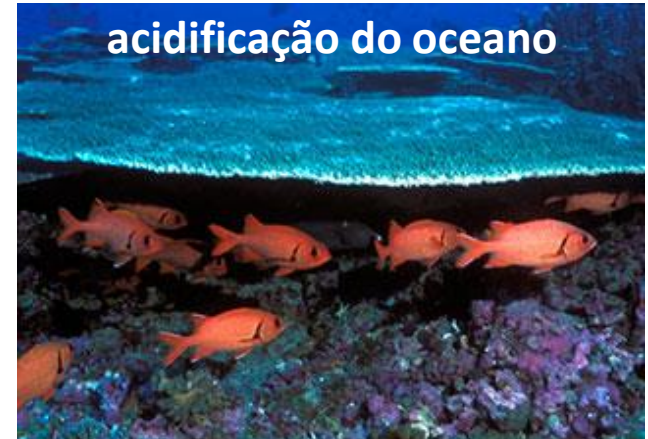
Redução do gelo do Ártico



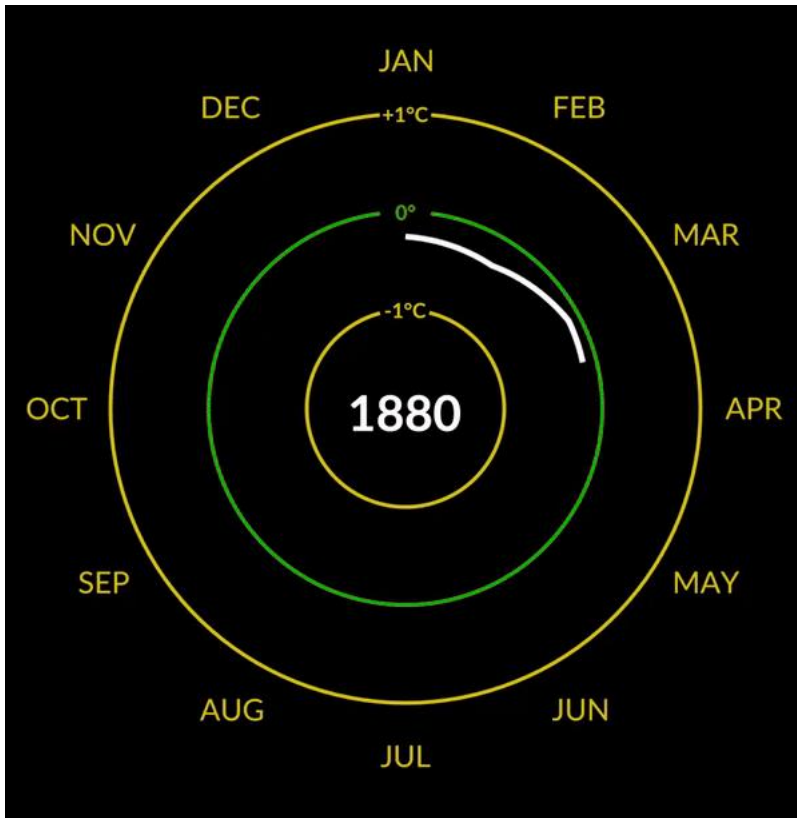
Extremos climáticos aumentam



acidificação do oceano



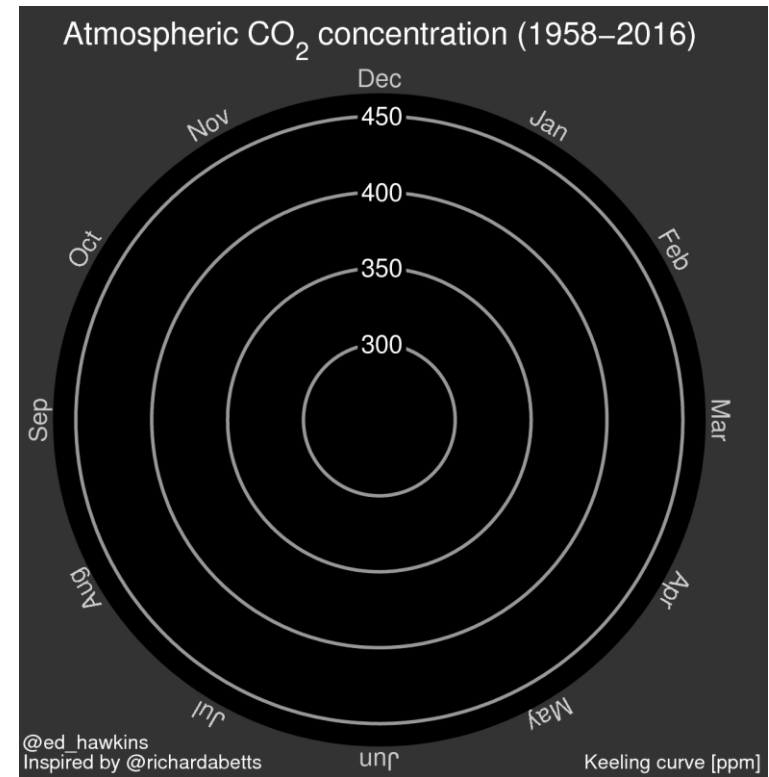
Variação da Temperatura Global entre 1881 e 2022



VARIAÇÃO MÊS A MÊS DA TEMP

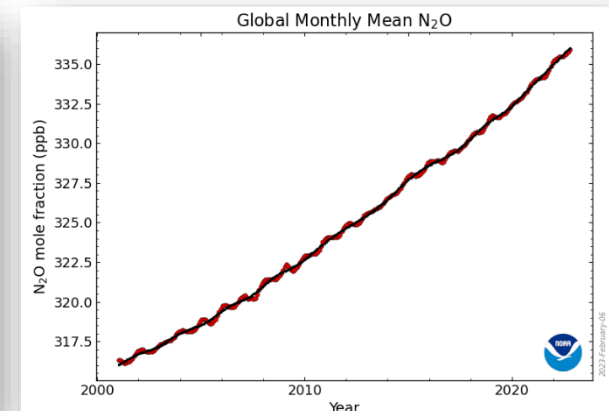
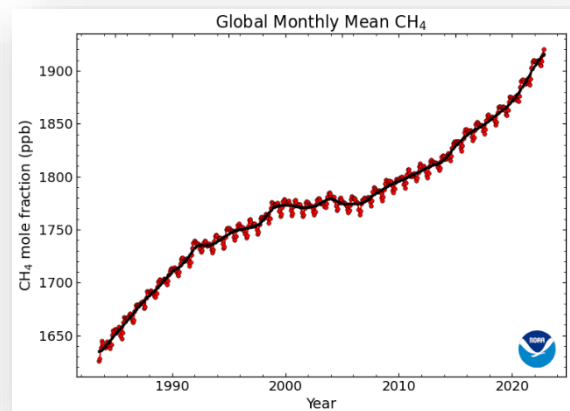
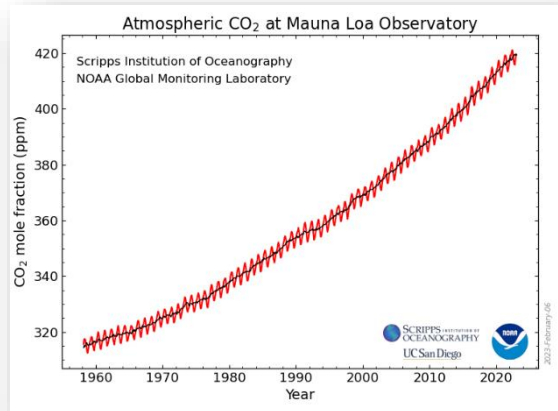
Vídeo: Climate Spiral (1880-2022) / Crédito: NASA's Scientific Visualization Studio

Concentração de Dióxido de Carbono na Atmosfera (1958 - 2016)



Estamos alterando a composição da atmosfera

Aumentos desde 1750: CO₂: 66%, CH₄: 259%, N₂O: 123%



Desmatamento de florestas tropicais:

17% das emissões

Queima de combustíveis fósseis e
outros:

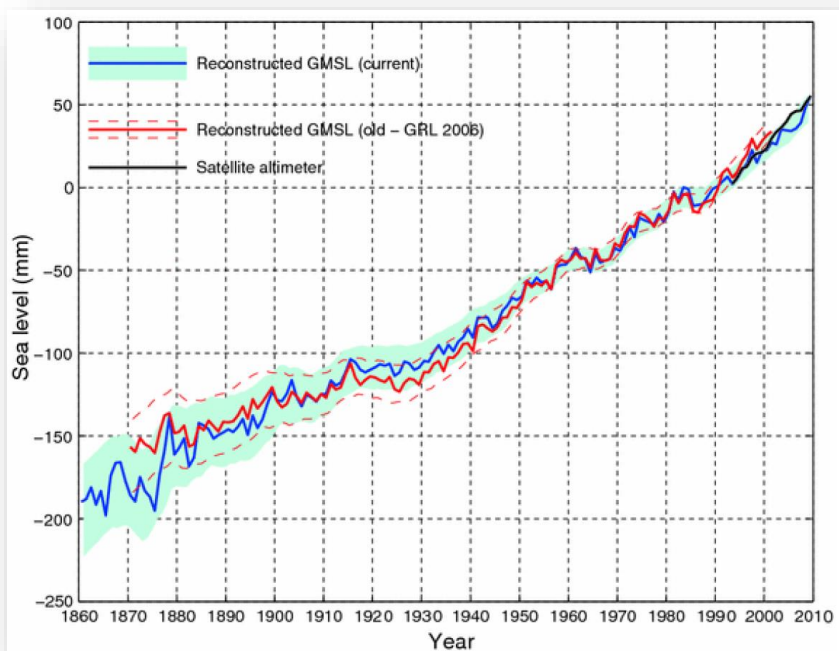
83% das emissões



IMPACTOS NAS ZONAS COSTEIRAS

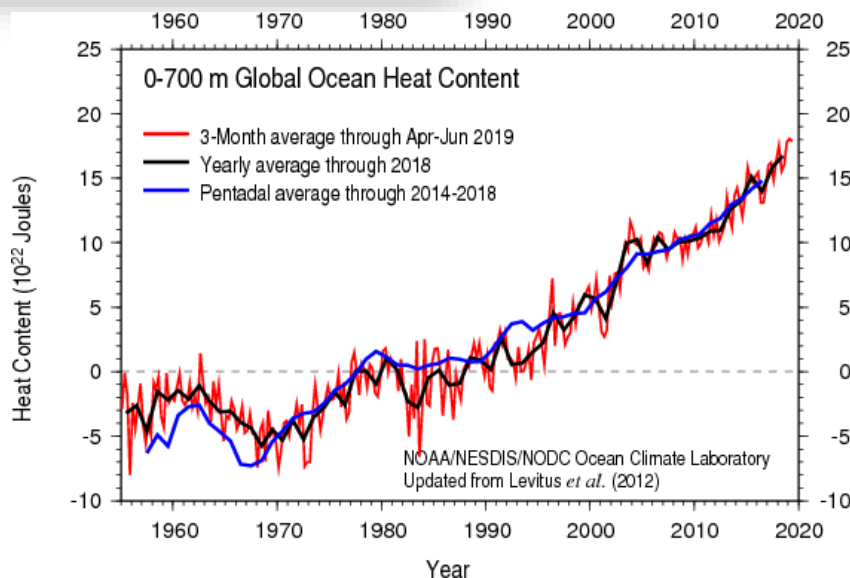
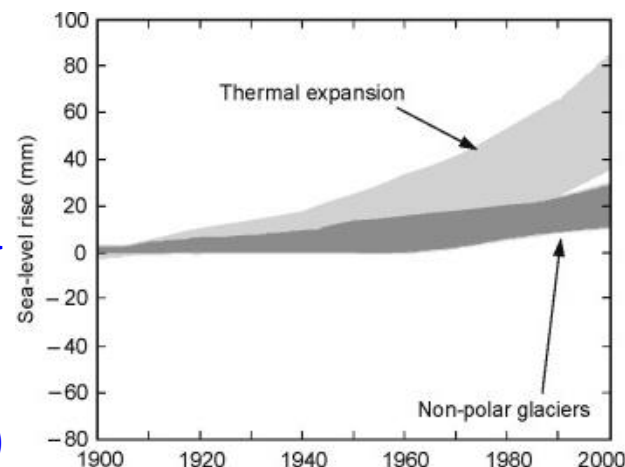


Nível global do mar (GMSL) reconstruído a partir dos dados do medidor de maré (azul, vermelho) e medido a partir da altimetria por satélite (preto).



Expansão
térmica é o
que mais
contribui para
o aumento do
nível do mar
(Church e
Gregory 2001)

23 cm

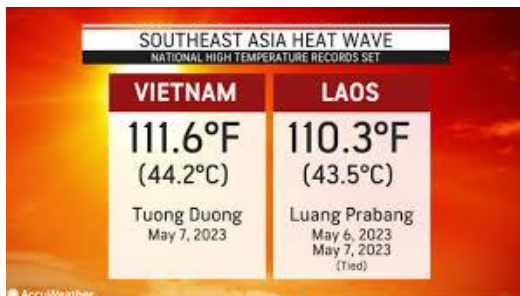
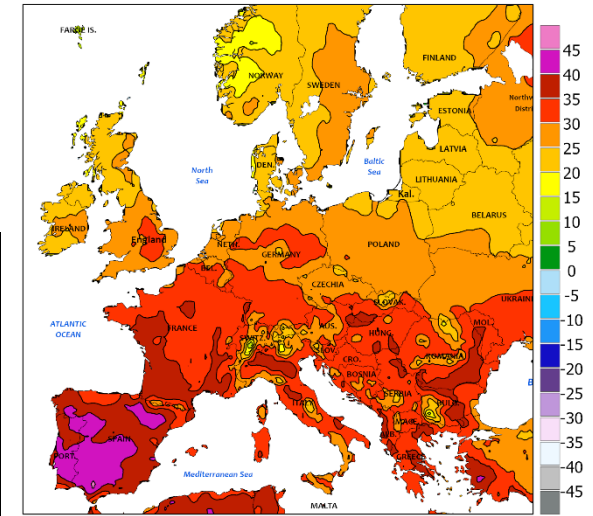
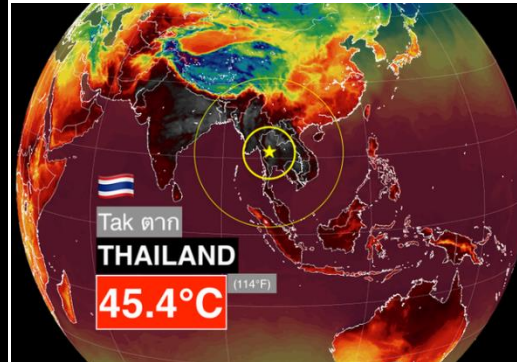
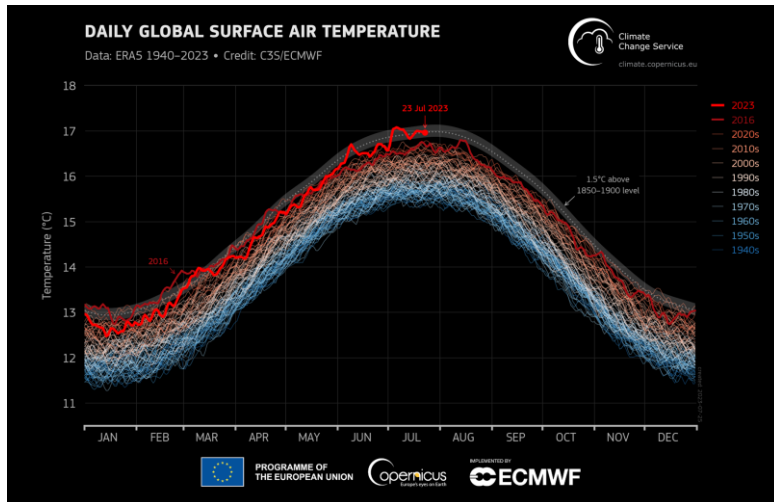


Aquecimento
global dos oceanos
entre 0 e 700 m

Church and White (2011)

Ondas de calor em Julho de 2023

Recorde Absoluto no mundo

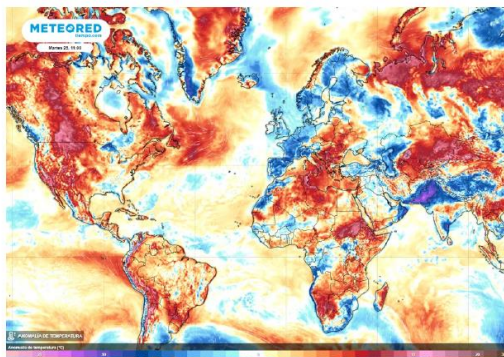


**Incêndios,
mortalidade,
impactos na saúde**



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.

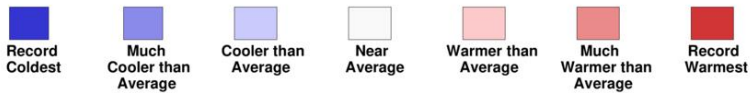
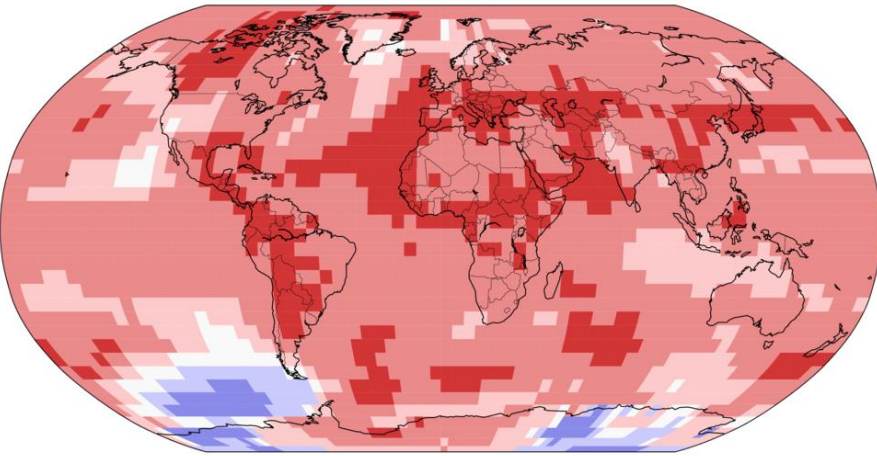


© Nicolas Echemin/Reuters

Land & Ocean Temperature Percentiles Jan–Dec 2023

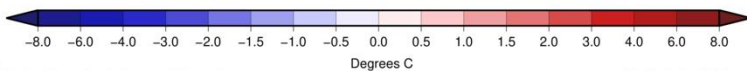
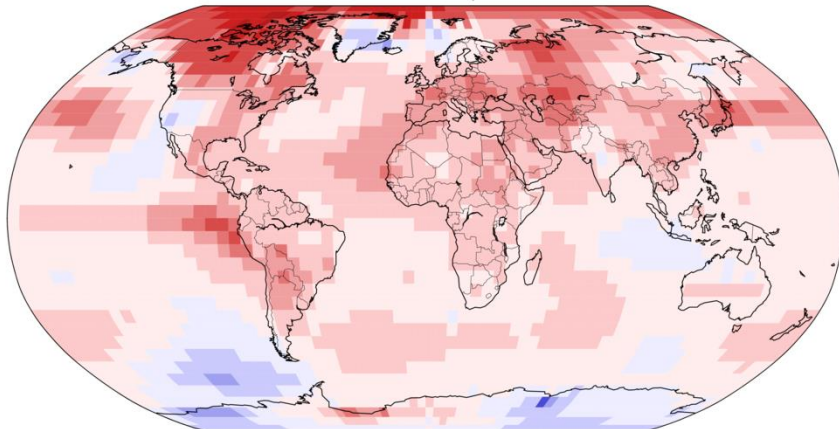
NOAA's National Centers for Environmental Information

Data Source: NOAA GlobalTemp v5.1.0–20240108



Land & Ocean Temperature Departure from Average Jan–Dec 2023 (with respect to a 1991–2020 base period)

Data Source: NOAA GlobalTemp v5.1.0–20240108



National Centers for Environmental Information

Map Projection: Robinson

E COMO FICOU O MUNDO EM 2023?

Rank

1 = Warmest

Period of Record: 1850–2023

Year

Anomaly °C

1

2023

1.18

2

2016

1.03

3

2020

1.01

4

2019

0.98

5

2017

0.95

6

2015

0.92

7

2022

0.91

8 (tied)

2018

0.86

8 (tied)

2021

0.86

10

2014

0.77

**QUAL A CONSEQUENCIA DO AUMENTO
DE TEMPERATURA GLOBAL NO CLIMA
DA AMÉRICA DO SUL E BRASIL?**

Alguns eventos extremos ocorridos durante o período de 2007-2010 na América do Sul



Seca no rio Solimões
(2010)



Seca no sul da Venezuela
(2009)



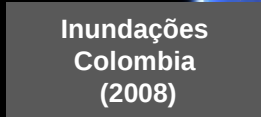
Inundações na Amazonia
(2009)



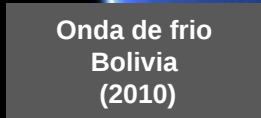
Chuvas em Alagoas
(2010)



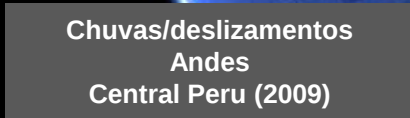
Tempestade Agatha
Central America (2010)



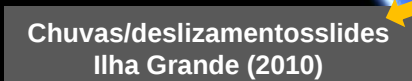
Inundações
Colombia
(2008)



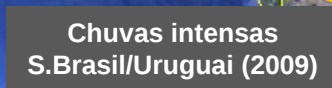
Onda de frio
Bolivia
(2010)



Chuvas/deslizamentos
Andes
Central Peru (2009)



Chuvas/deslizamentos/slides
Ilha Grande (2010)



Chuvas intensas
S.Brasil/Uruguai (2009)



Chuvas Vale do Itajaí
(2008)



Chuvas Rio de Janeiro
(2010)



Chuvas São Paulo (2010)



Onda de calor Santos (2010)

Agradec. C. Nobre

Estamos assistindo a mais extremos hidrológicos?

“A Seca da Amazônia em 2005 considerada uma das mais severas em 100 anos”



Seca da Amazônia em 2010 – maior que em 2005 ?



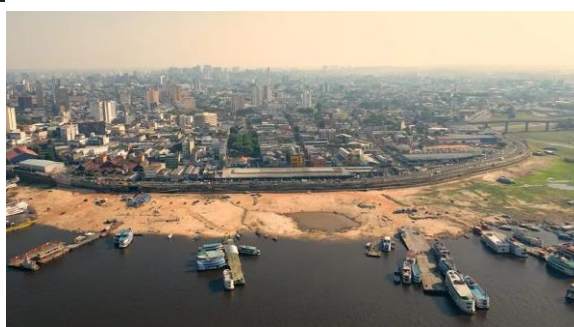
Rio Negro cheio e Rio Negro durante a seca



Régua do Rio Negro durante a cheia histórica e régua durante a seca histórica



AMAZONAS 2023



Porto e Orla de Manaus em 2023

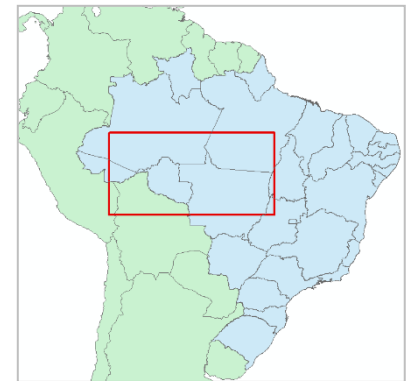
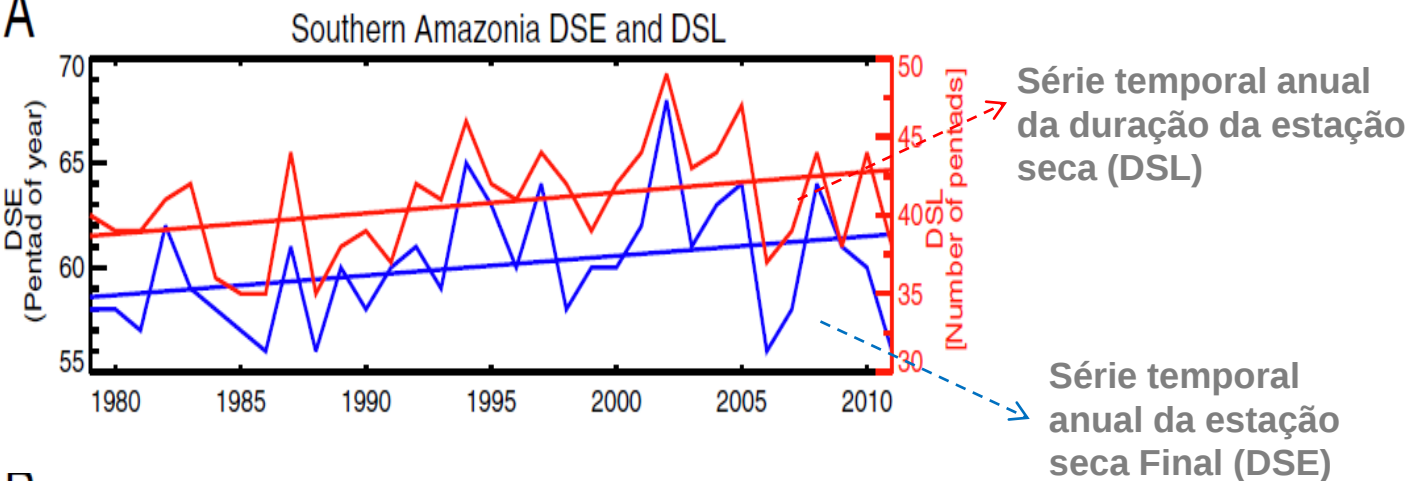
Amazônia e Mudanças Climáticas Globais: Processo de duas vias



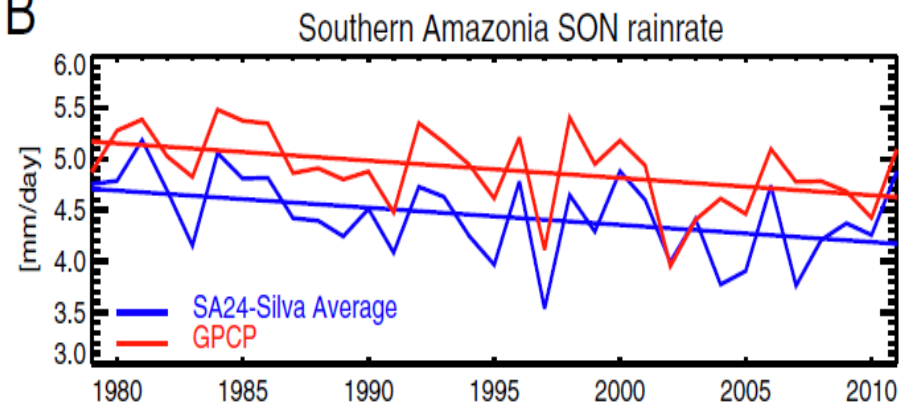
Desmatamento e mudanças climáticas

A duração da estação seca está aumentando na Amazônia

A



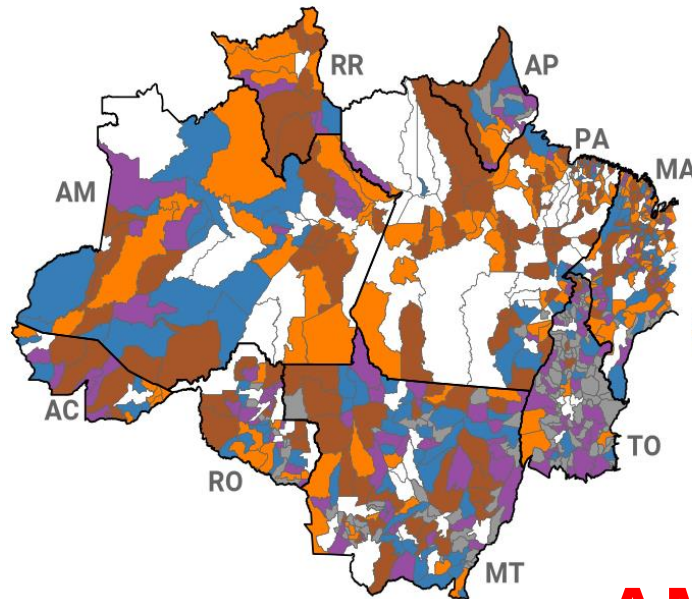
B



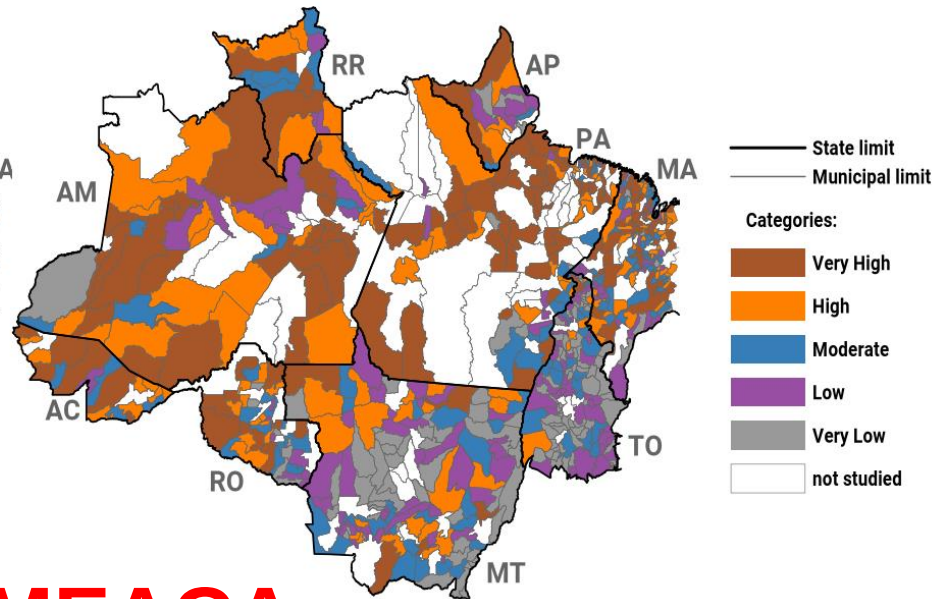
A duração da estação seca aumentou $6,5 \pm 2,5$ dias/década;

EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE

E Exposure

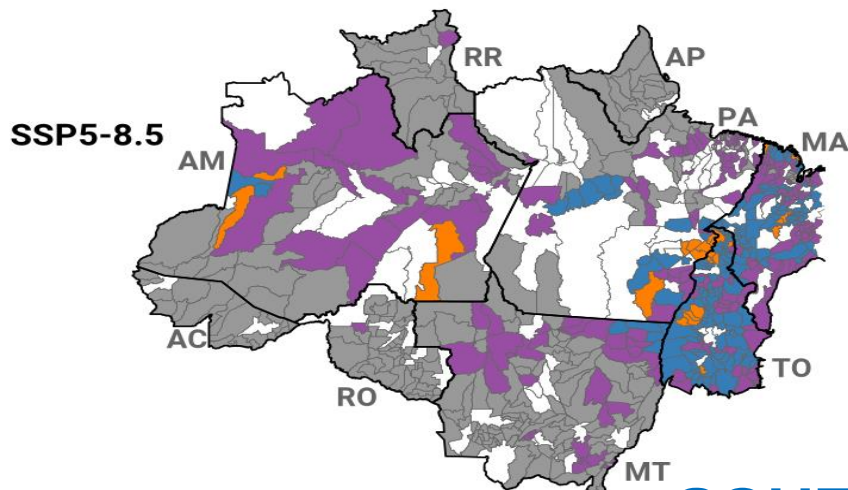


V Vulnerability

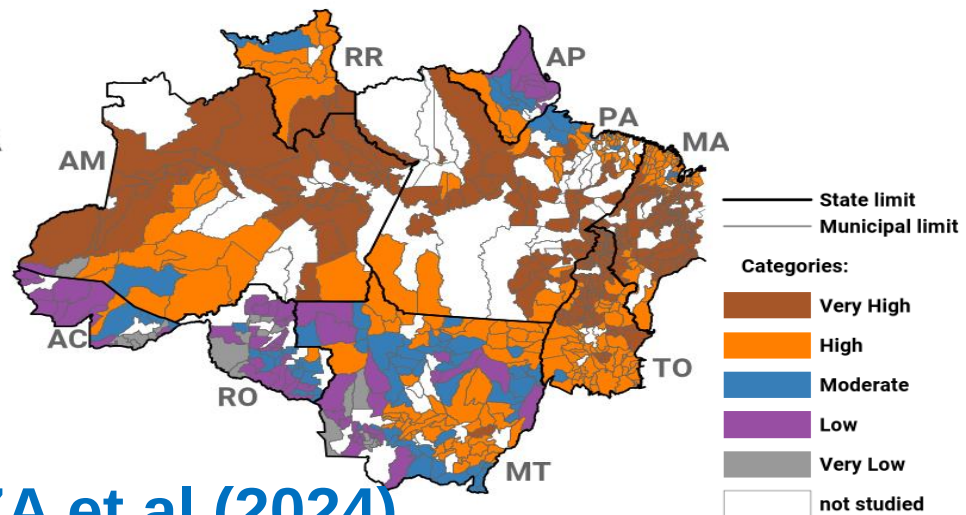


AMEAÇA

near-future (2015 to 2039)

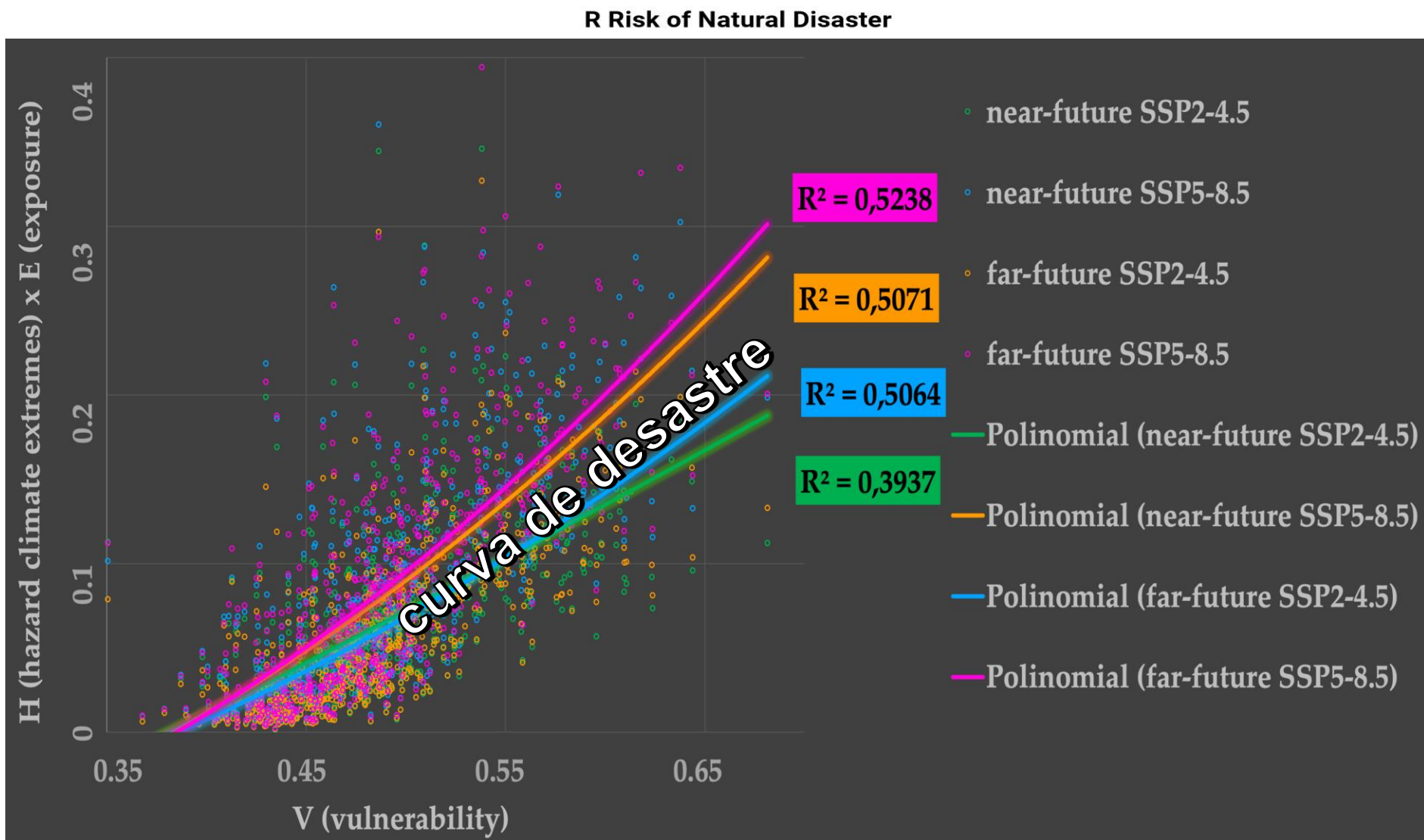


far-future (2040 to 2064)



SOUZA et al (2024)

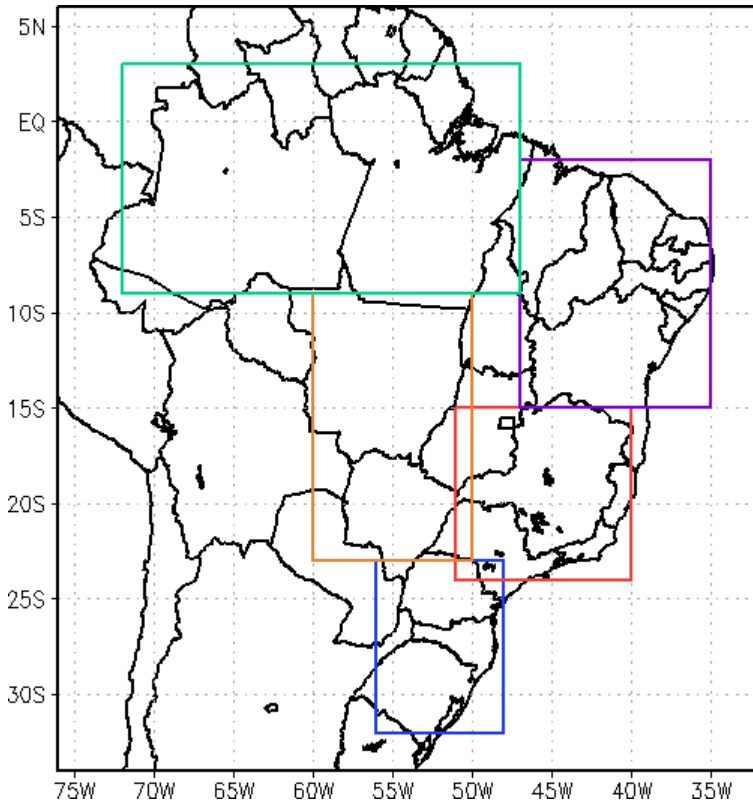
RISCO = ameaça X exposição X vulnerabilidade



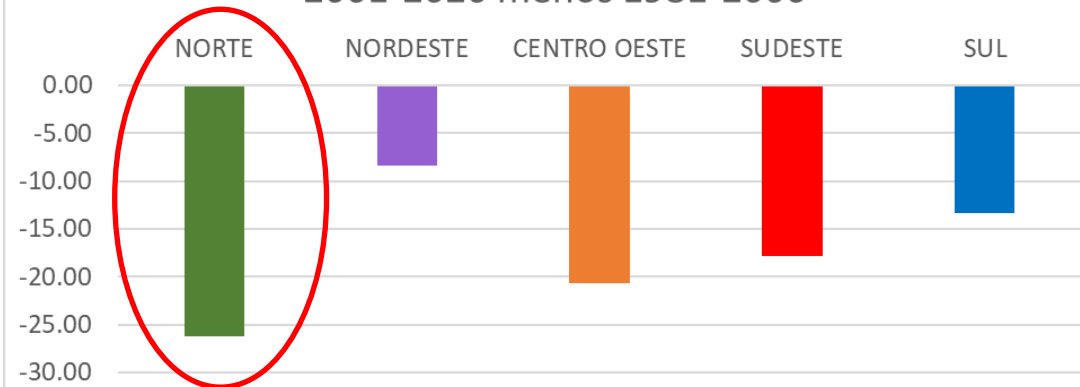
SOUZA et al (2024)

Diferença entre as precipitações e temperaturas médias do período de 2001 a 2020 menos o período 1981 a 2000

CPC

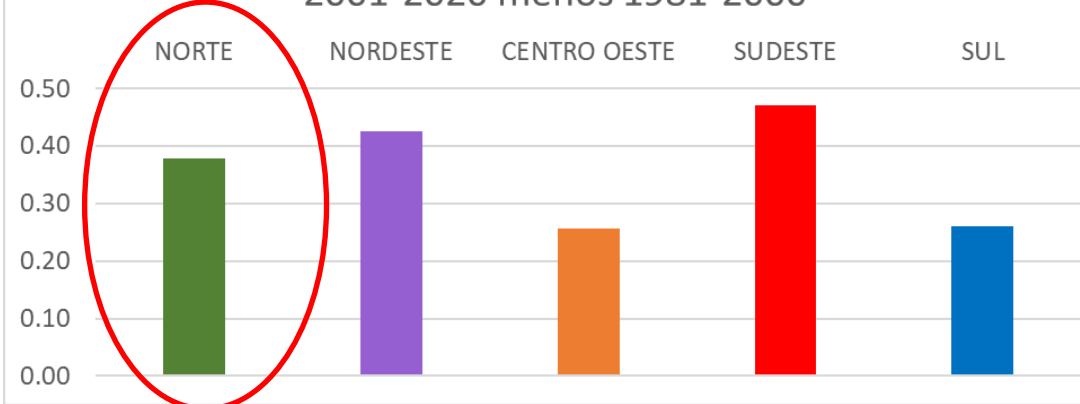


Diferença de Precipitação média (mm/mês)
2001-2020 menos 1981-2000



NCEP

Diferença de Temperatura média (°C)
2001-2020 menos 1981-2000



Eventos de chuvas intensas no Sudeste do Brasil – Rio de Janeiro 2010

Deslizamento de lama soterra a periferia do Rio de Janeiro, mais de 200 pessoas morreram em abril de 2010.



Mais de 200 pessoas morreram soterradas por lama próximo ao Rio de Janeiro. As casas estavam construídas em solo frágil e não resistiu a enorme quantidade de chuva que ocorreu em dois dias seguidos.

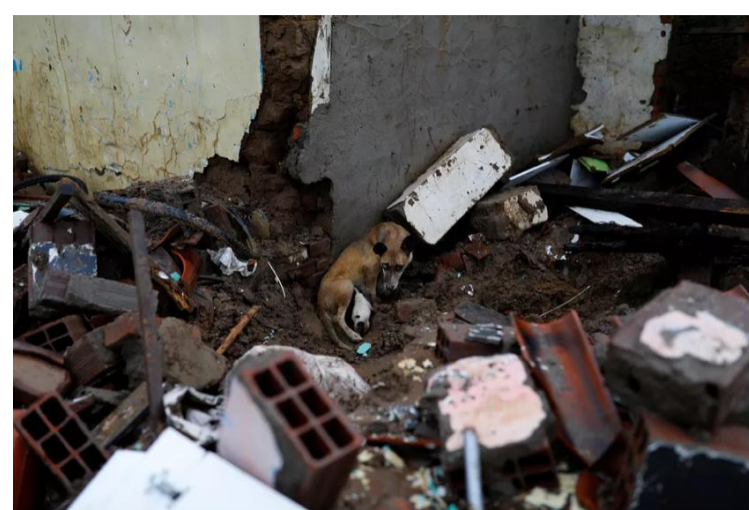


Deslizamentos de terra e inundações em Petrópolis (RJ) - 2022

Foram mais de 240 vítimas fatais em decorrência das chuvas volumosas ocorridas em fevereiro e março de 2022



Chuvas na Bahia 2021/2022



Precipitação mensal para climatologia 1981–2010 (barras laranjas) e 2021 (barras azuis) para as 5 estações pluviométricas no sul da Bahia e norte de Minas Gerais

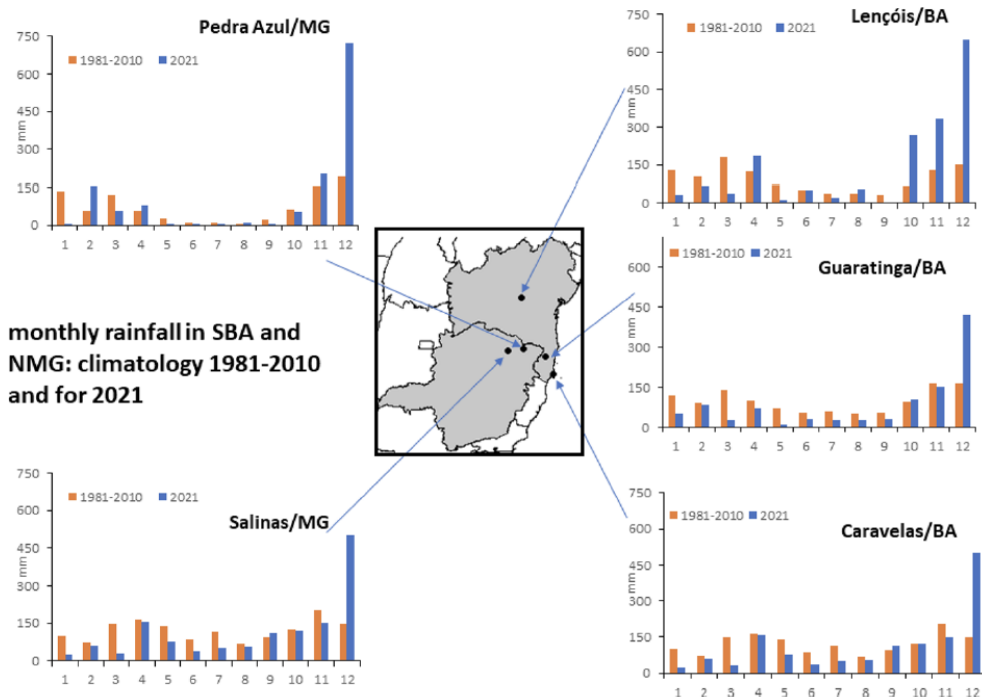
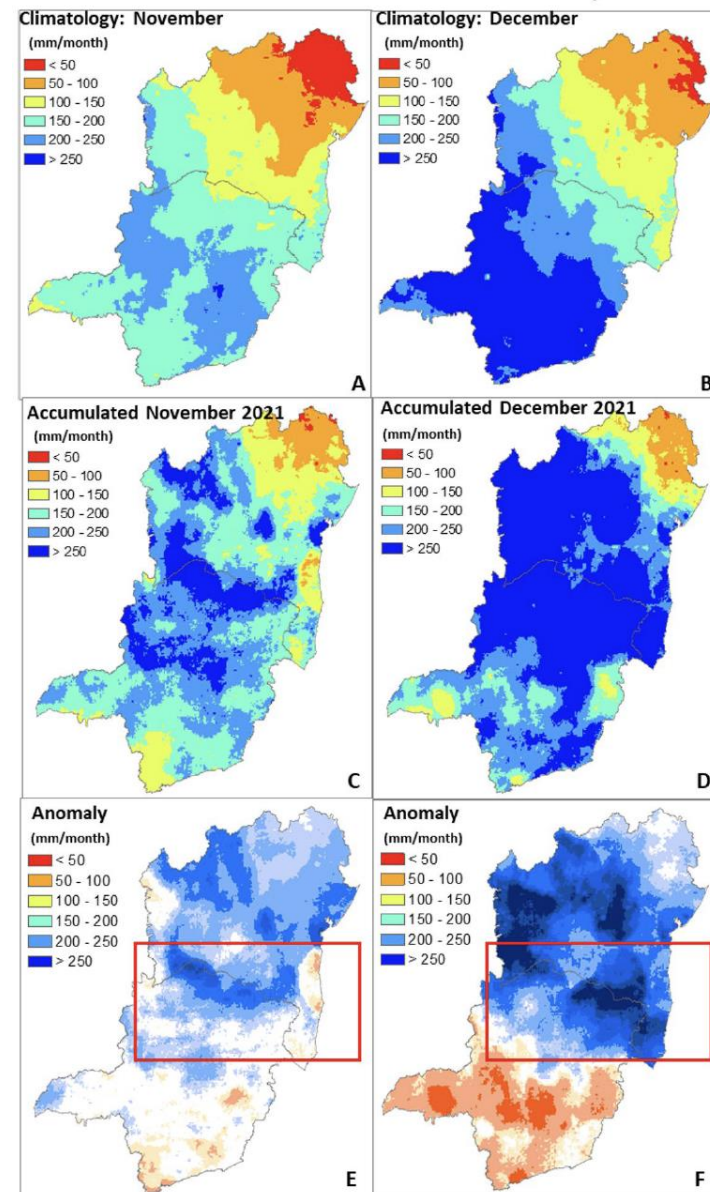


Table 3 December rainfall averages and 2021 values for stations shown in Fig. 8

Station/period	1981–2010 (mm)	2021 (mm)	Deviation (mm)	Deviation (%)
Caravelas	149.1	502.2	353.1	337
Guaratinga	165.4	420.6	255.2	254
Lençóis	149.4	684.4	498.0	433
Pedra Azul	191.6	725.0	533.4	378
Salinas	192.0	493.9	301.9	257

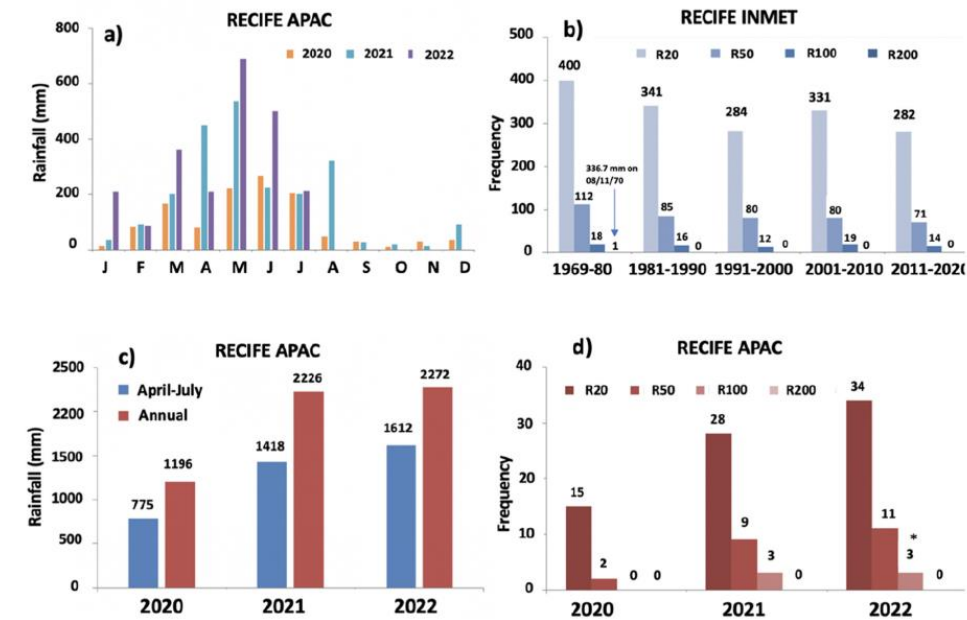
Deviation from long-term (1981–2010) levels for stations in SBA and NMG (source INMET)



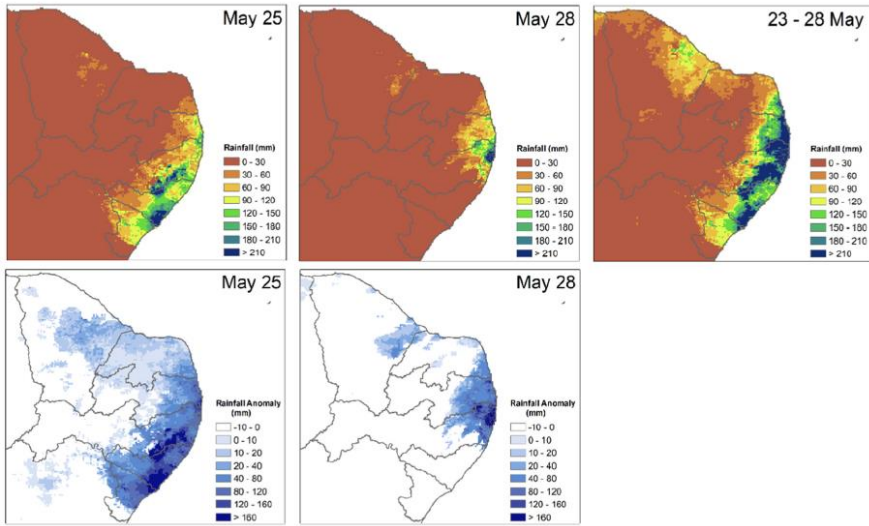
INUNDAÇÕES EM RECIFE (PE) E AREDORES



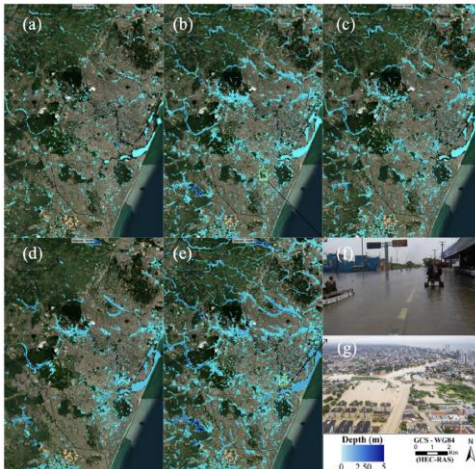
Precipitação mensal da estação meteorológica Recife APAC para 2020, 2021 e 2022; Número de dias com totais diários de precipitação igual ou superior a 20, 50, 100 e 200 mm no nível decenal para a estação meteorológica do INMET Recife de 1969 a 2020; Precipitação total e chuvosa acumulada (abril a julho) para 2020, 2021 e 2022 para a estação meteorológica APAC Recife; e Número de dias com precipitação igual ou superior a 20, 50, 100 e 200 mm para a estação meteorológica Recife APAC para 2020, 2021 e 2022



Precipitação observada em 25 e 28 de maio e precipitação acumulada de 23 a 28 de maio e anomalias de precipitação para 25 e 28 de maio, em mm, para região do ENEB.

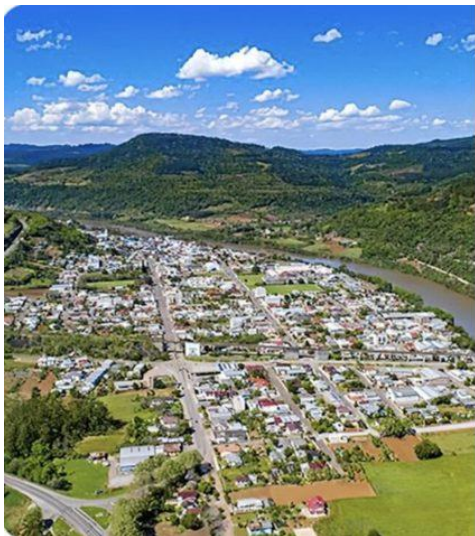


Simulação espacial e temporal de cheias na área de estudo. (a) 24 de maio, (b) 25 de maio, (c) 26 de maio, (d) 27 de maio e (e) 28 de maio de 2022. (e) Alagamento ocorrido em 25 de maio de 2022, Avenida Recife, Ipsep. (f) Alagamento ocorrido em 28 de maio de 2022, Estádio Adelar da Costa Carvalho, Ilha do Retiro





ENCHENTES RGS 2024



**IMAGENS DE SATÉLITE:
VEJA ANTES E DEPOIS**

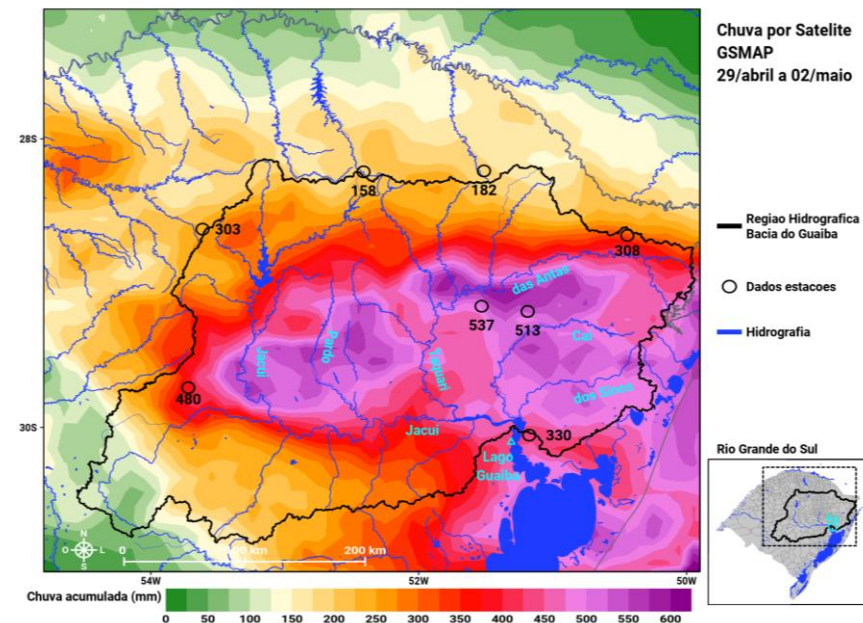
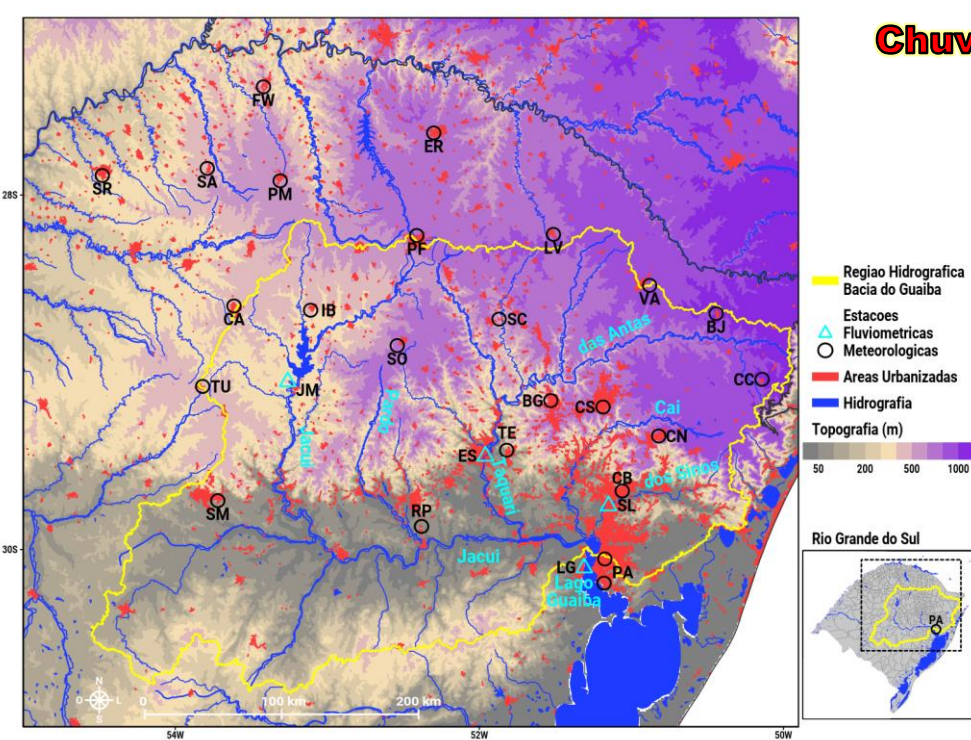
O que explica tanta chuva no RS?

Uma rara conjunção de diversos fatores ajuda a entender a catástrofe que acomete as cidades gaúchas



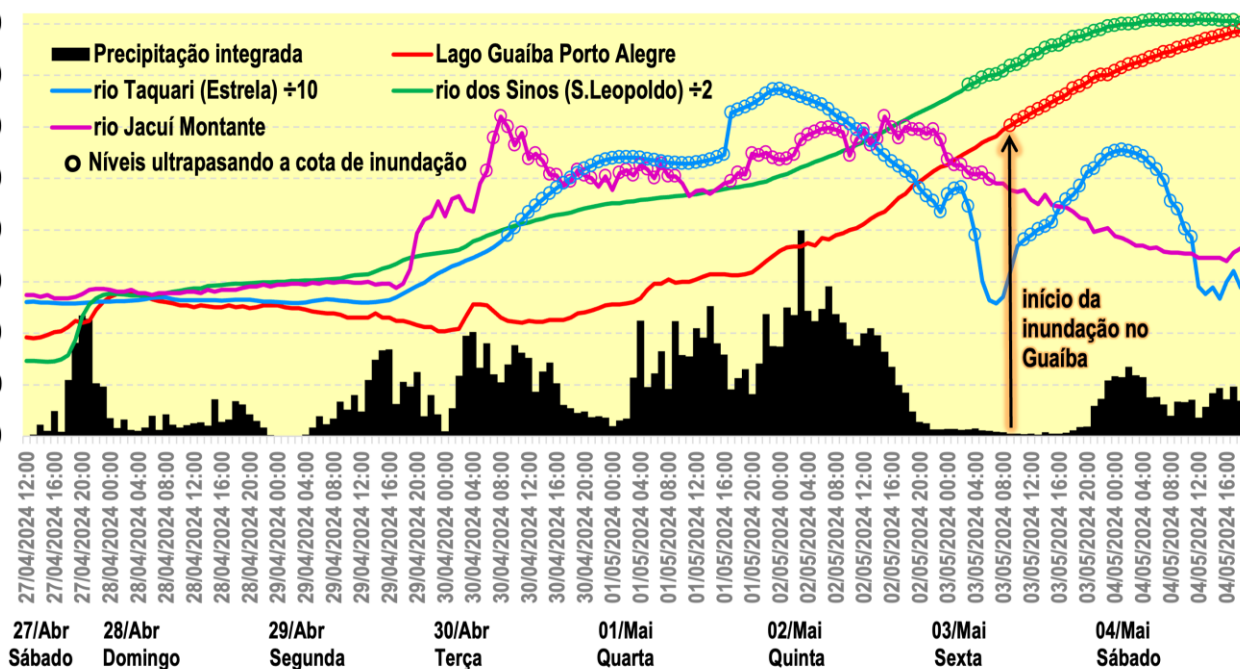
- 1** Um cavado, ou uma corrente intensa de vento, levou a um **tempo instável no Sul**
- 2** Uma onda de calor no Sudeste e no Centro Oeste **impediu que a frente fria** do Sul se diluísse.
- 3** Um corredor de umidade vindo da Amazônia **potencializou as chuvas**.
- 4** O El Niño, que aquece o oceano Pacífico, **aumentou ainda mais a umidade**.

Chuva por satélite (GSMAP) Eventos extremos de precipitação entre 29/abril a 02/maio



Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba (RHBG) característica geográfica relevante é de que a ocorrência de precipitação nas sub-bacias da margem esquerda nas regiões com topografia elevada (acima de 500 m) contribui diretamente para a drenagem na área de planície (topografia abaixo de 50 m) do baixo curso do rio Jacuí que converge num ponto único que é o Lago do Guaíba na região metropolitana de Porto Alegre.

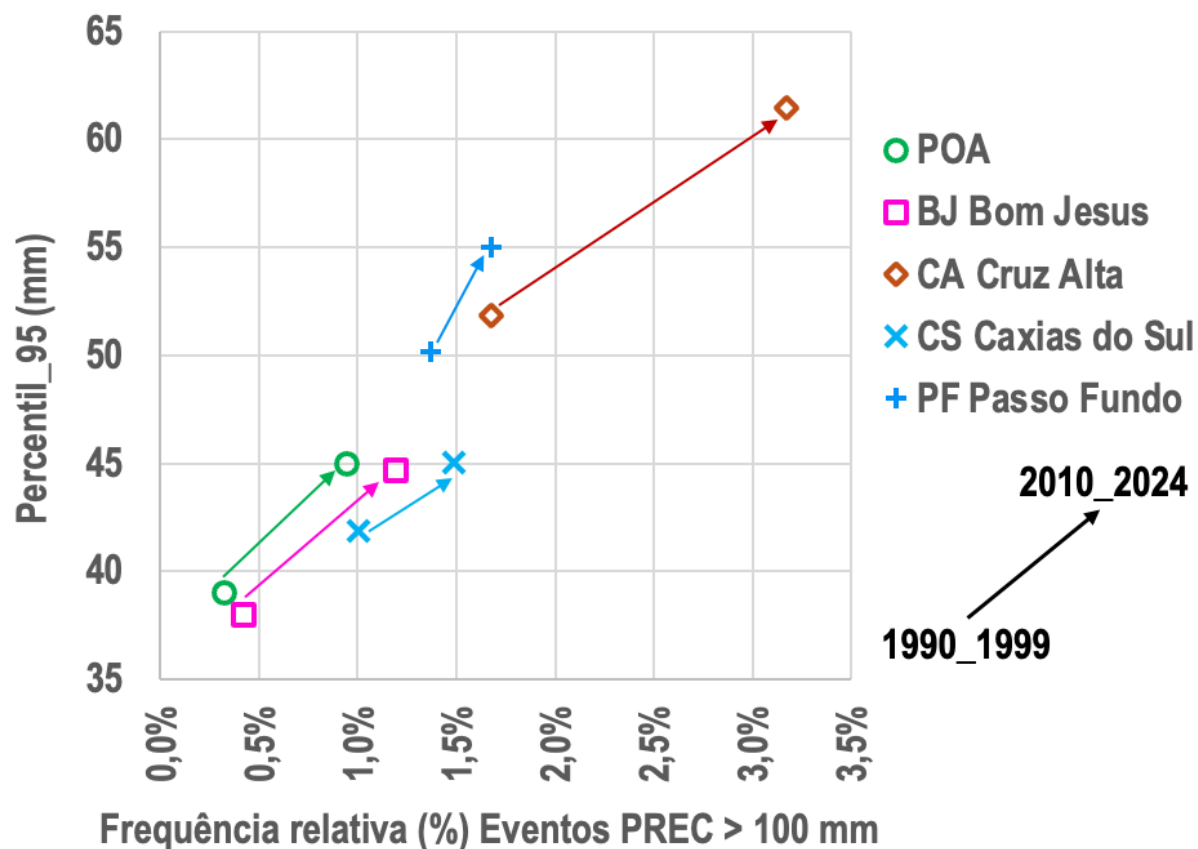
Souza e Ambrizzi (2024)



ESTAS INUNDAÇÕES NO RS TEM ALGUMA RELAÇÃO COM O AQUECIMENTO GLOBAL?

Dados
observacionais
evidenciam
tendência
positiva dos
eventos extremos
com maior
frequência e
maior intensidade
(magnitude) na
RHBG

Dados diários: frequência dos eventos extremos



Souza e Ambrizzi (2024)

São Paulo, 27 de fevereiro de 2011



Ponto de alagamento intransitável na esquina da rua Cardeal Arcoveado, em Pinheiros. 27/02/2011
Foto: Luciano Pinotti/FotoRepórter/AE

Chuva causa transtornos em SP

Mercado da Ceagesp, na Lapa, Zona Oeste, alagou.
Bombeiros dizem ter enviado equipes com bote nos bairros da região.

De G1 SP

Imprimir



Homens empurram carro na Avenida Dumont Villares, na Zona Norte. (Foto: Mario Ângelo/AE)



Moacyr Lopes Junior/Folhapress

ARENA MULTIUSO: Torcedor nada em área alagada na arquibancada do Morumbi; São Paulo e Palmeiras empataram (1 a 1) pelo Paulista

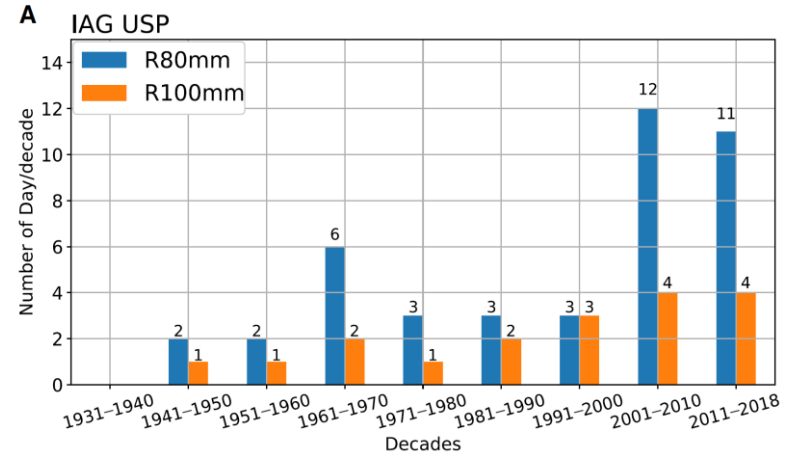


INUNDAÇÃO NA CIDADE DE SÃO PAULO VERÃO DE 2004

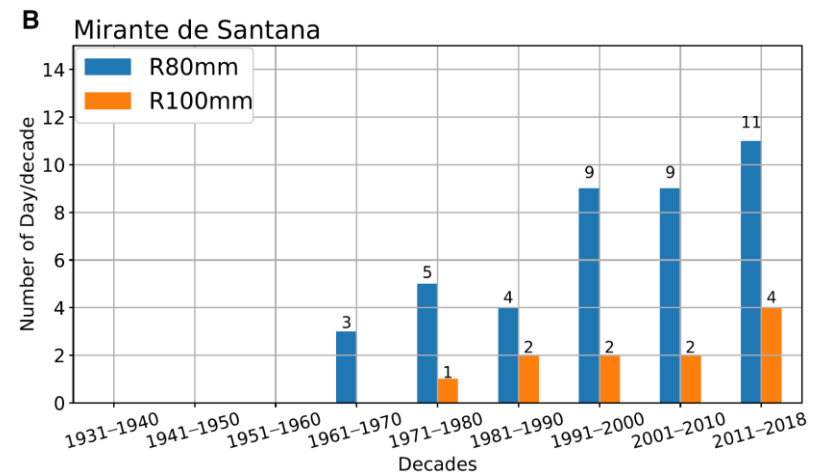
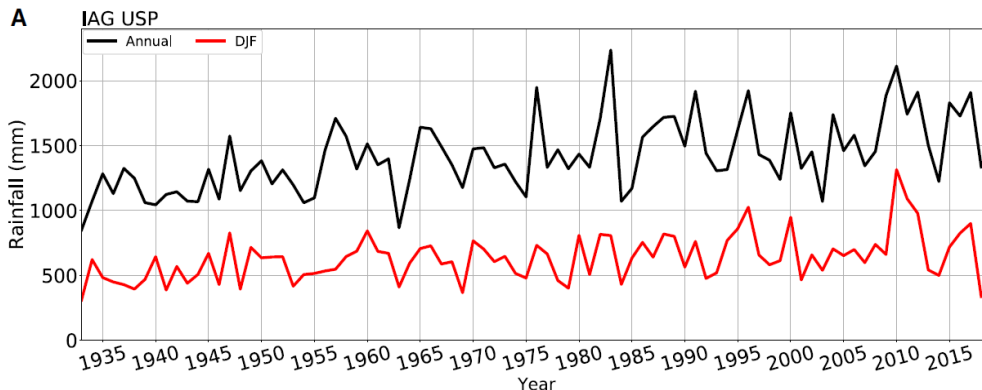
Enchentes em São Paulo e outros centros urbanos no Brasil



Numero de dias com chuva acima de 80 mm e 100 mm em 1 dia



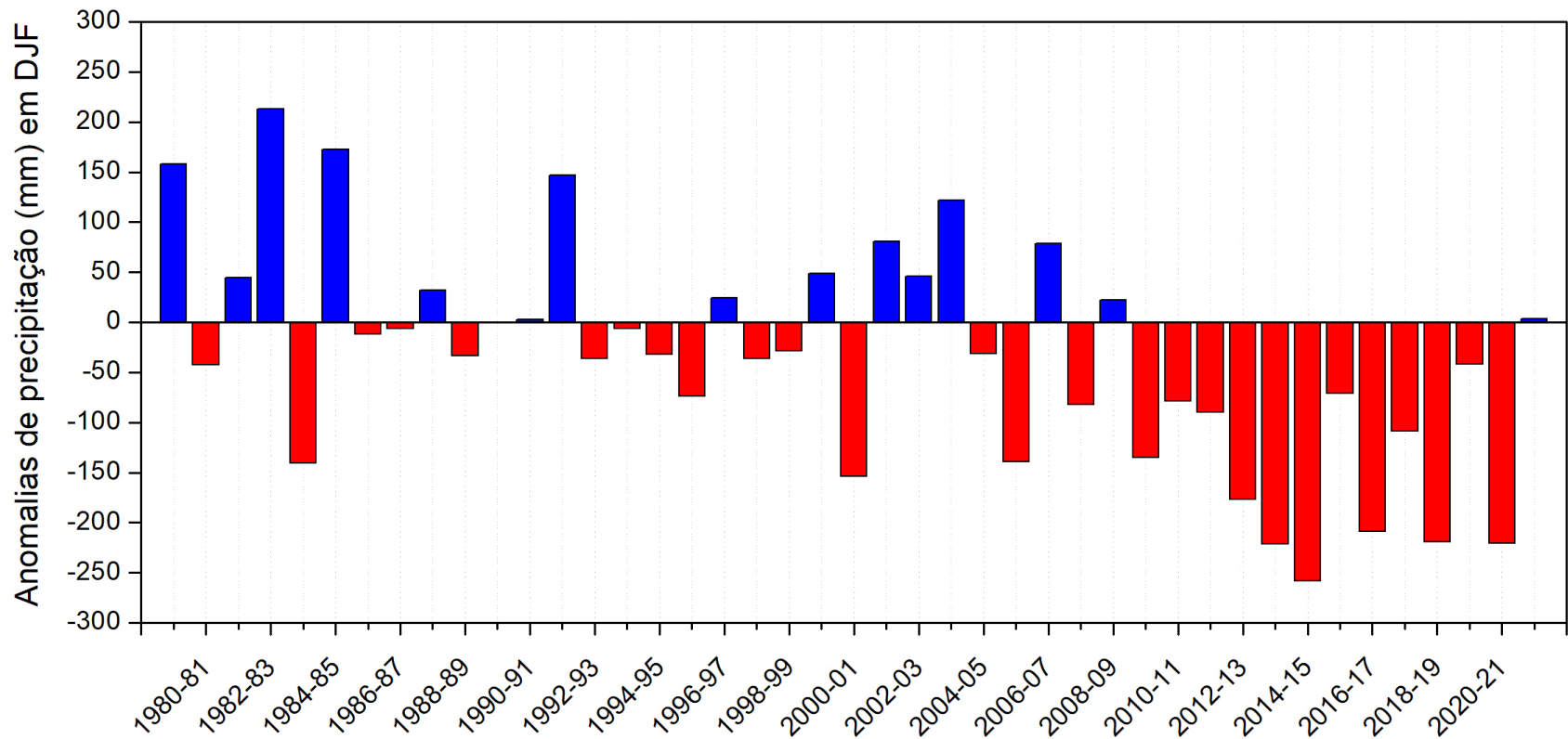
Chuva mensal em São Paulo de 1935 a 2018



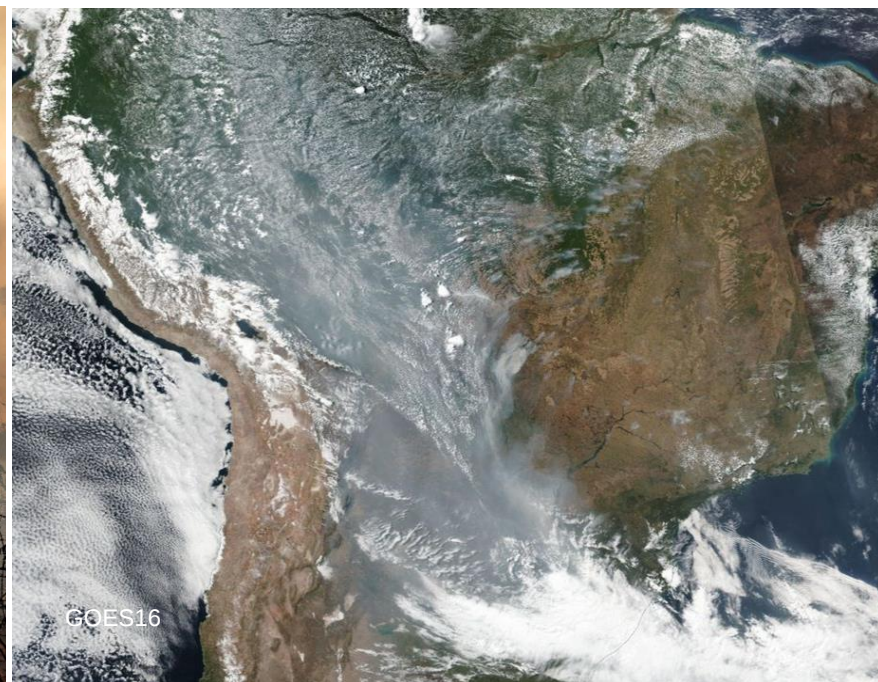


SISTEMA CANTAREIRA – SP 2014

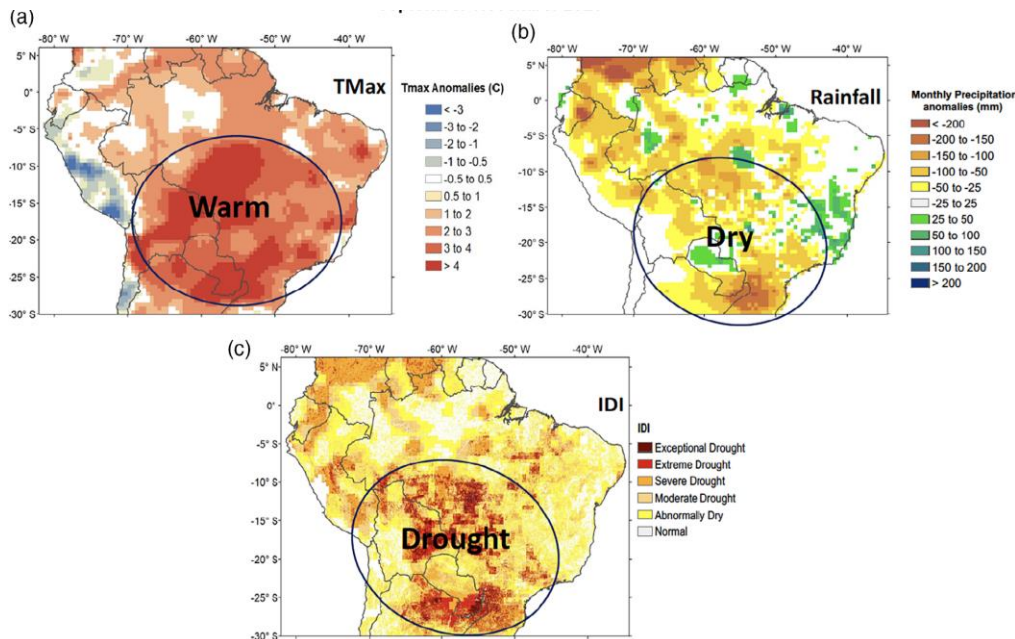
Anom. Precip. DJF média no SE



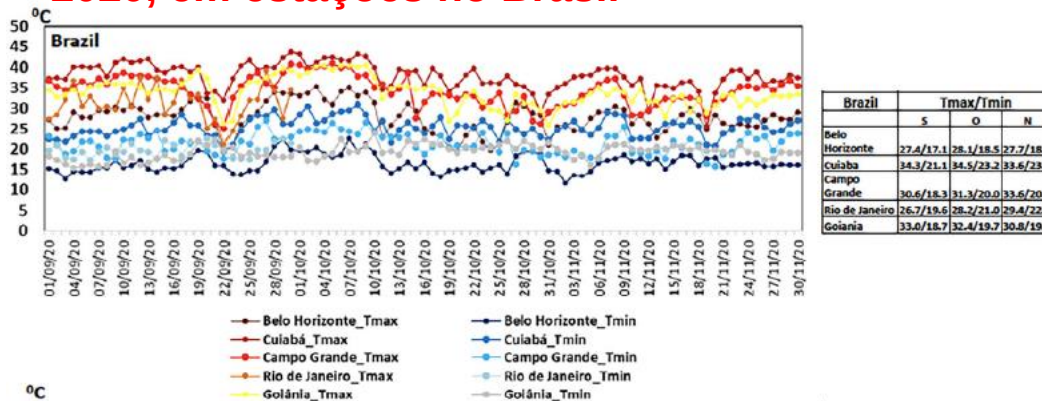
Queimadas Pantanal - 2020



Temperaturas máximas e anomalias de precipitação (a, b) e IDI (c) para setembro-novembro de 2020

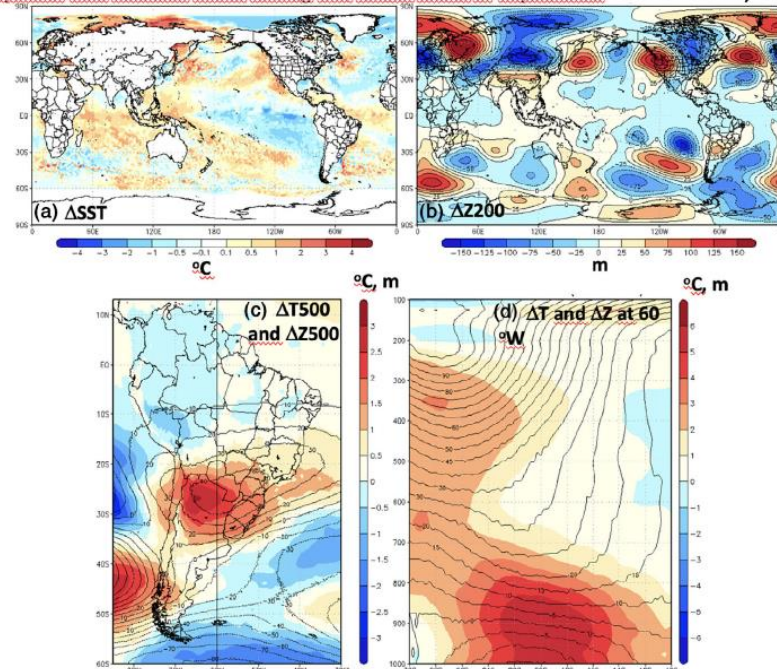


Séries temporais de temperaturas máximas e mínimas de 1º de setembro a 30 de novembro de 2020, em estações no Brasil



Campos de anomalias médios para o período de 29 de setembro a 15 de outubro de 2020, em relação ao período base de 1981–2010: (a) temperatura da superfície mar (C, sombreado), (b) altura geopotencial (m, sombreado e contorno) a 200 hPa, (c) temperatura (C, sombreado) e geopotencial altura (m, contorno) a 500 hPa e (d) seção transversal vertical norte-sul a 60° W de temperatura (C, sombreado) e altura geopotencial (m, contorno).

Atmospheric and Oceanic fields during the heat wave of September 23–October 15, 2020

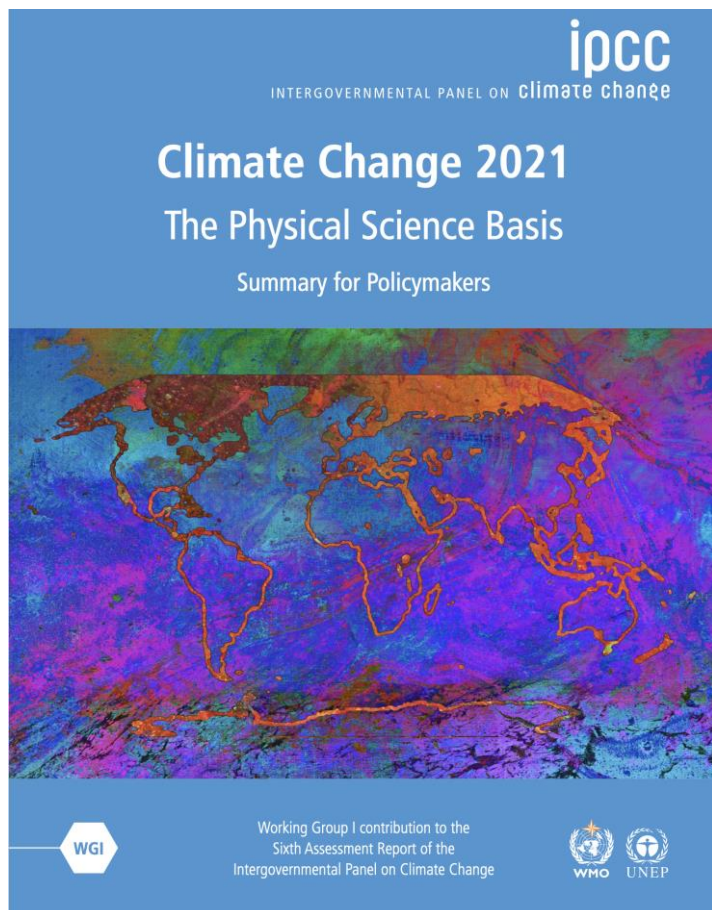


(Marengo et al 2021)

**O QUE DIZ OS ULTIMOS
RELATÓRIOS DO IPCC??**

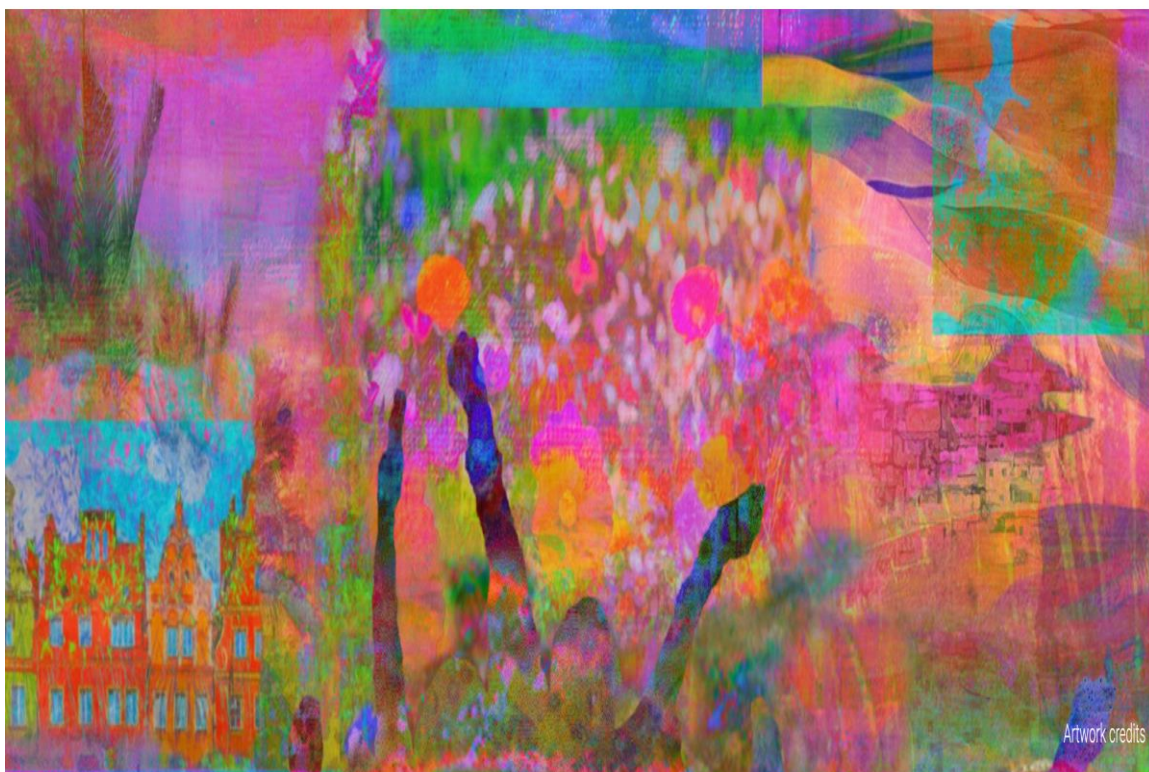
Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas 2021/22

Bases das Ciências Físicas



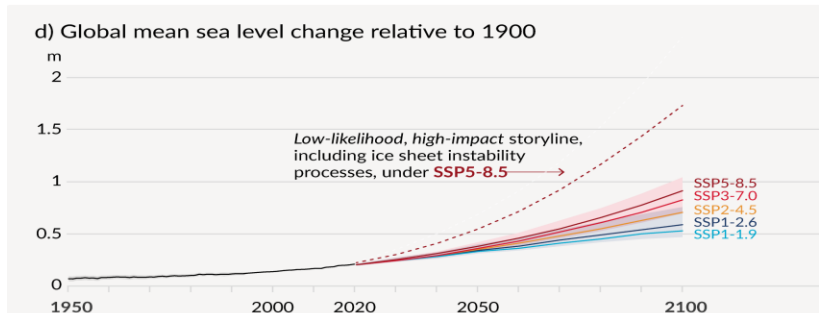
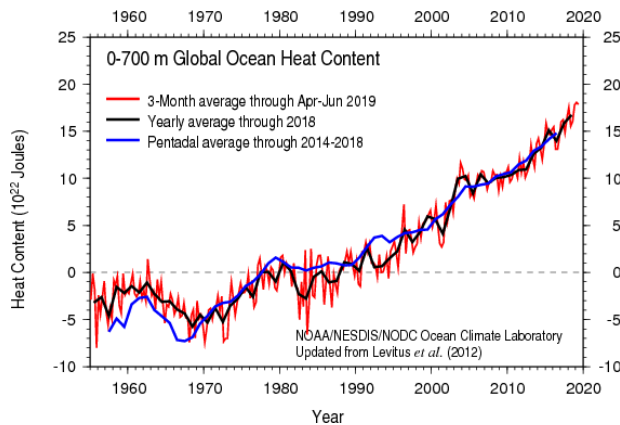
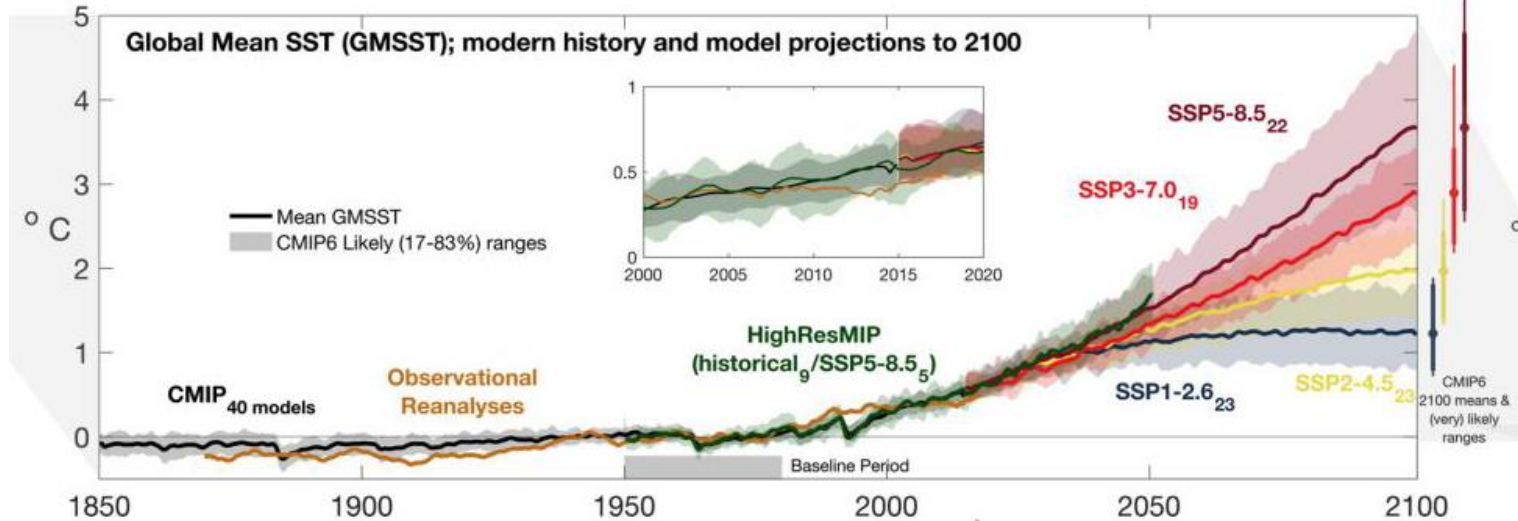
Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade

IPCC Sixth Assessment Report
Impacts, Adaptation and Vulnerability



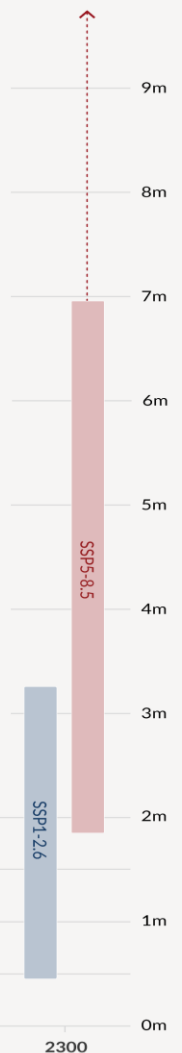
Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability

Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (SST), Nível do Mar e Simulações Numéricas



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

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

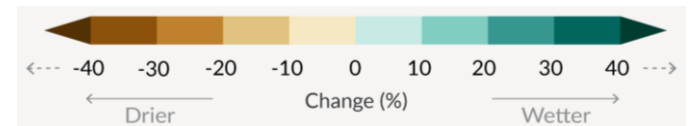
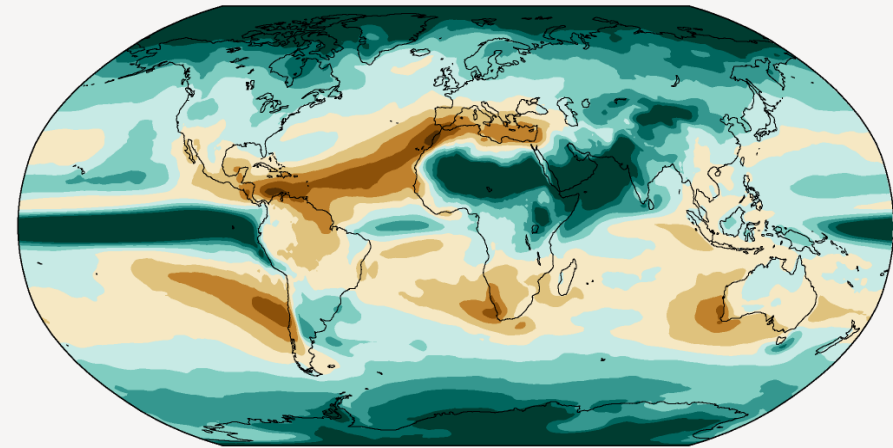
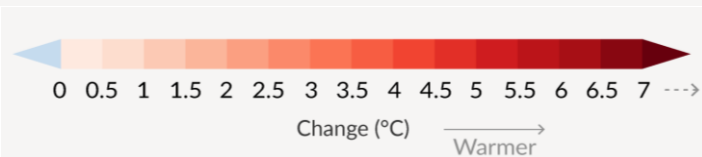
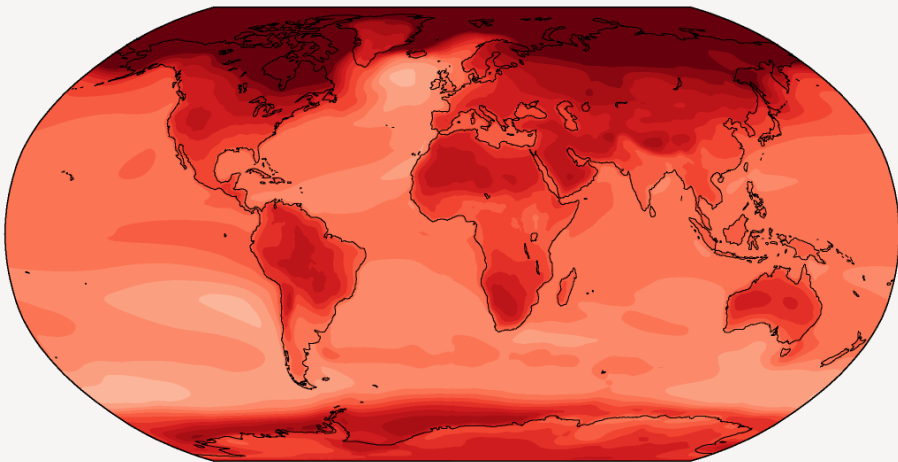


Com o aumento no aquecimento, mudanças ficam maiores na temperatura e precipitação

Mudança da temperatura média anual relativo a 1850-1900

Mudança (%) da precipitação média anual relativo a 1850-1900

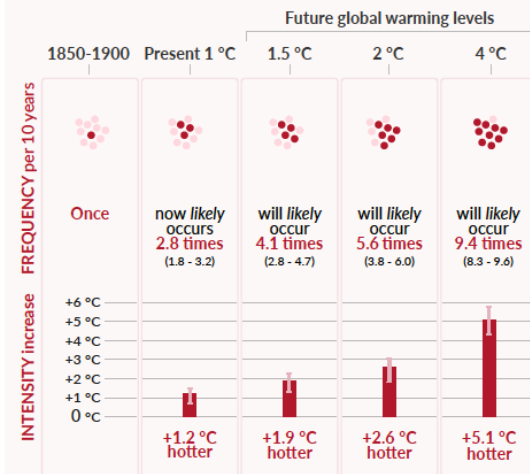
Simulando para uma temperatura global de 4°C



Hot temperature extremes over land

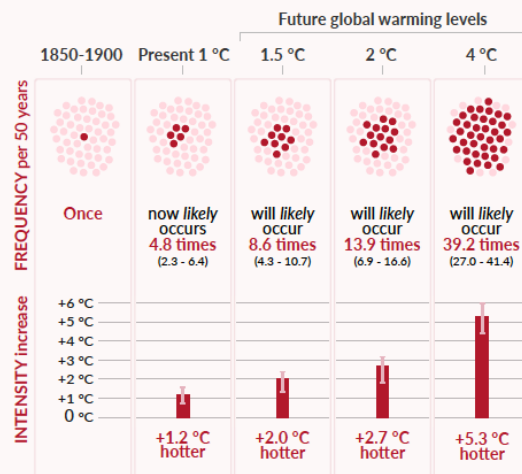
10-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence



50-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred once in 50 years on average in a climate without human influence

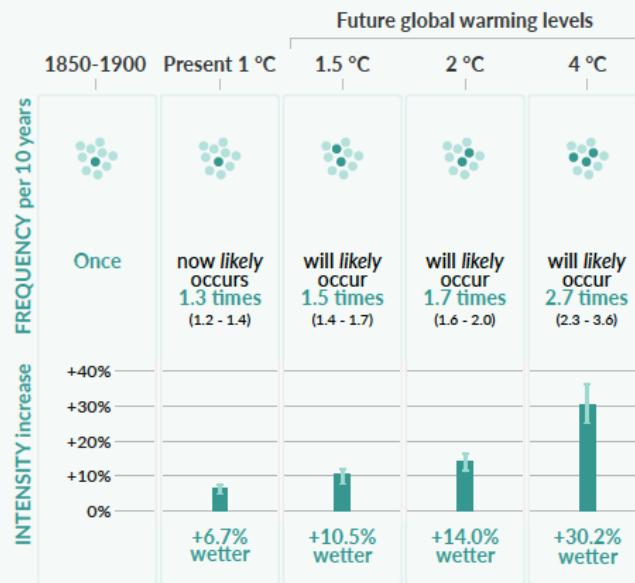


Extremos de Temperatura e Precipitação considerando aumento do aquecimento global ao longo dos próximos anos

Heavy precipitation over land

10-year event

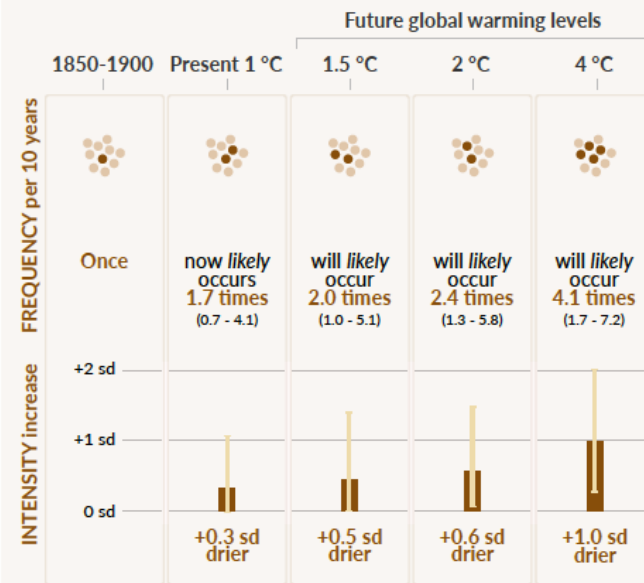
Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence



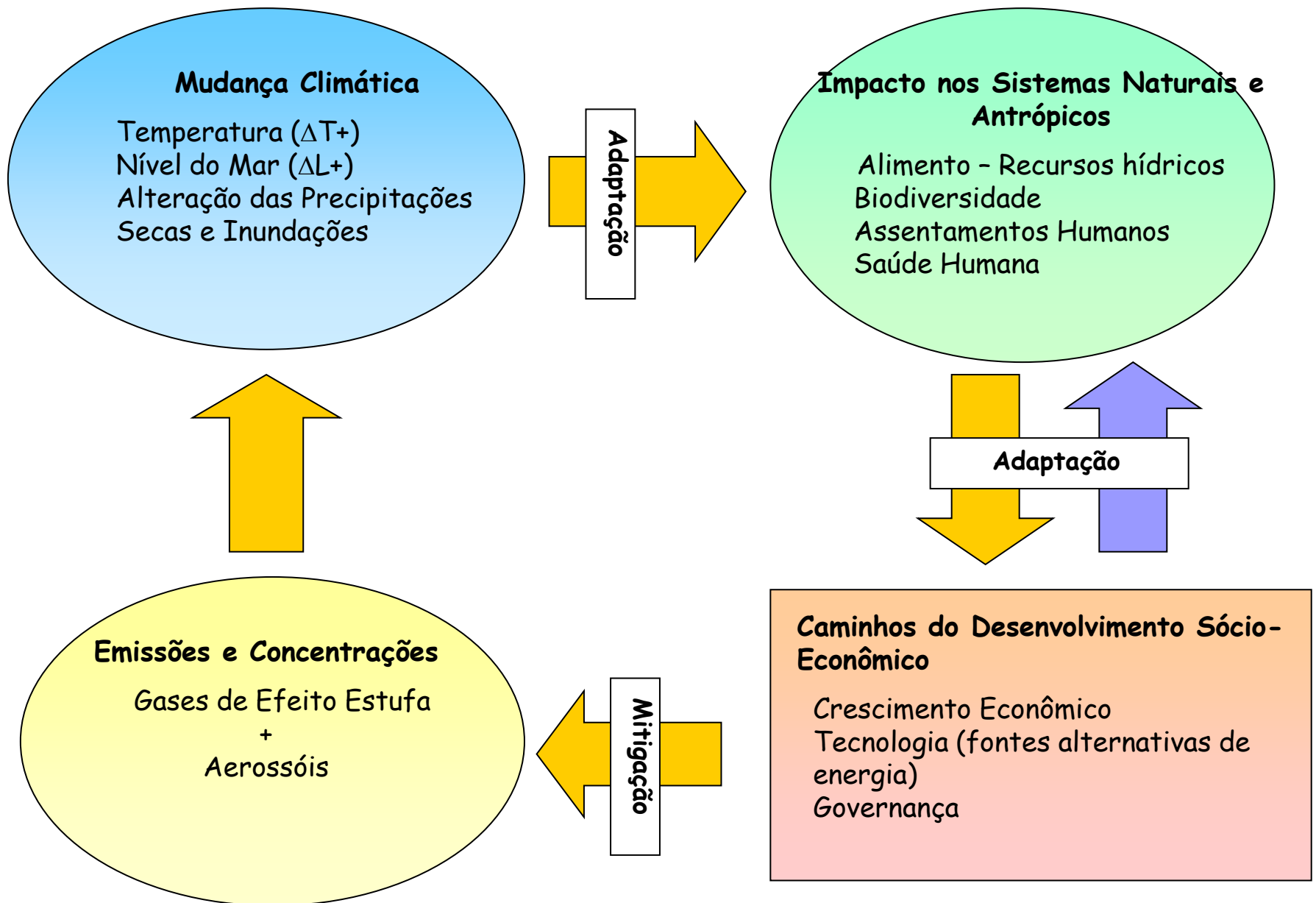
Agricultural & ecological droughts in drying regions

10-year event

Frequency and increase in intensity of an agricultural and ecological drought event that occurred once in 10 years on average across drying regions in a climate without human influence



EM RESUMO ...



“Investir hoje para um futuro mais seguro”

- Desenvolver sistemas de alertas precoces para eventos extremos;
- Aumentar a capacidade das ações comunitárias, particularmente entre os mais vulneráveis;
- Implantar as melhores práticas na construção civil e no tratamento dos recursos hídricos;
- Expandir o uso das informações do tempo e do clima regionais pelos planejadores e tomadores de decisão
- Estabelecer ações para enfrentar os inevitáveis eventos extremos.

An aerial photograph of a cityscape featuring several multi-story buildings with green roofs. The roofs are covered with lush green vegetation, including trees and shrubs, and are enclosed by green metal railings. The surrounding urban environment includes other buildings with balconies and windows, some with red-tiled roofs. The overall scene suggests a focus on sustainable urban development and green infrastructure.

O GRANDE DESAFIO

**ADAPTAÇÃO EFETIVA À
MUDANÇA CLIMÁTICA
E AOS EXTREMOS**

UM MUNDO MAIS VIBRANTE



OBRIGADO PELA ATENÇÃO



INter-disciplinary CLimate INvEstigation Center

www.incline.iag.usp.br