



# **Mudanças Climáticas: Tendências Observadas e Cenários Futuros de Extremos Climáticos**

**Wanderson Luiz Silva**  
Meteorologista, D.Sc. – UFRJ

## Relembrando...



# Efeito Estufa

## EFEITO ESTUFA

É um fenômeno natural que mantém o clima adequado para a existência de vida na Terra, uma vez que aquece o planeta. No entanto, quando há emissão excessiva de gases poluentes, entre eles o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), ocorre um aumento desproporcional de temperatura, dando origem ao aquecimento global

1

O sol emite luz e radiação para a Terra



2

Parte dessa luz é refletida de volta ao espaço quando chega à atmosfera

30%

3

O restante da energia é absorvido até a superfície do planeta

70%

4

A Terra e sua atmosfera se aquecem e tentam emitir o calor de volta ao espaço

5

No entanto, parte desse calor não consegue ultrapassar uma barreira formada por vapor d'água, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano e outros gases

6

A emissão desses poluentes é feita pelo escapamento dos carros, pelas usinas de energia que trabalham com carvão, petróleo e gás natural e queimadas em florestas, entre outros motivos

### POLUIÇÃO RECORDE

Concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera em 2011

	Concentração	Crescimento em relação à era pré-industrial
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	390*	40%
Metano (CH <sub>4</sub> )	1.813**	259%
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	324,2**	120%

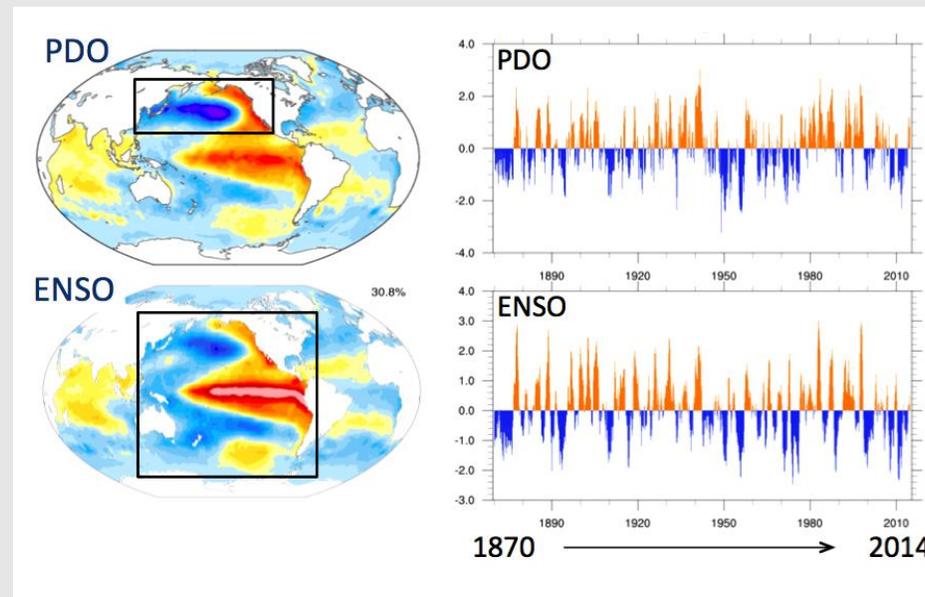
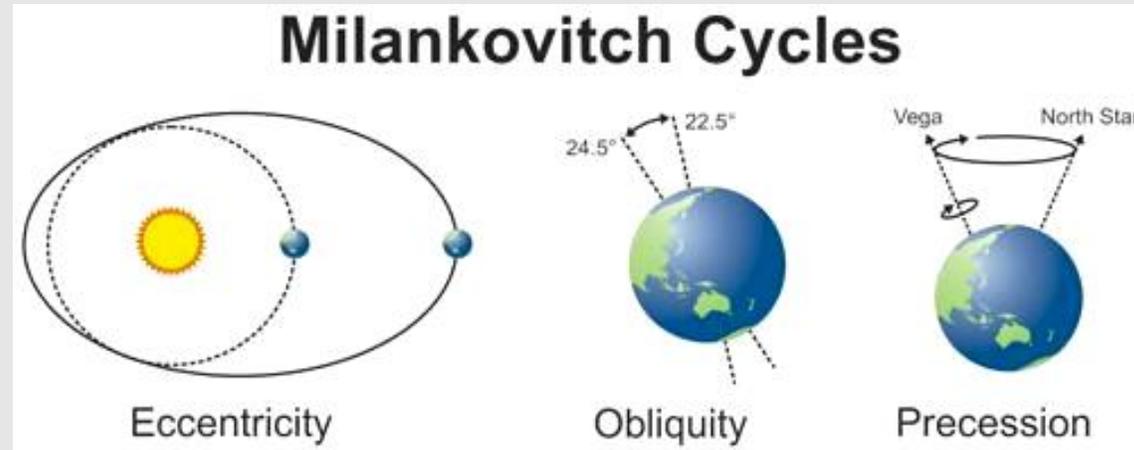
\* Partes por milhão

\*\* Partes por bilhão

Fonte: OMM

# Variabilidade Climática

20 mil a 100 mil anos



1 a 30 anos

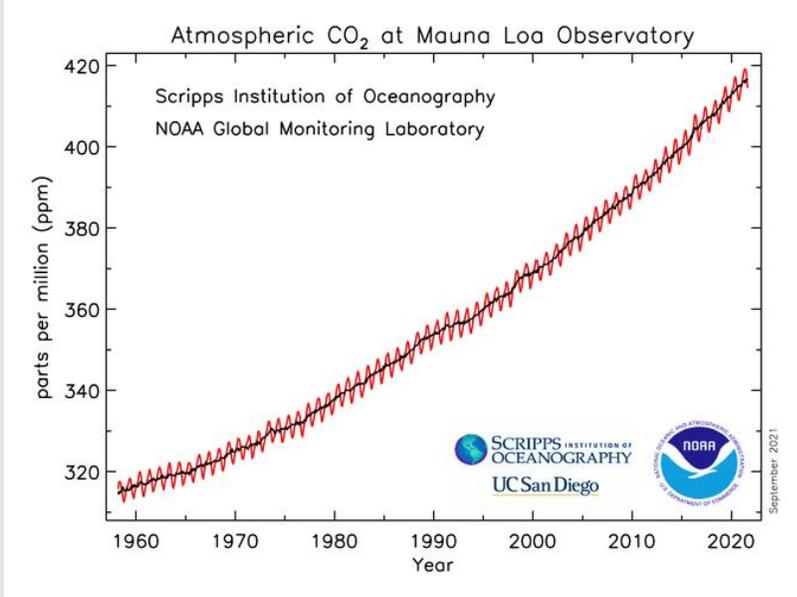
# Mudanças Climáticas

- **United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC):** mudança no clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana e que altera a composição da atmosfera, somando-se à variabilidade climática natural observada em períodos comparáveis.
- **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** refere-se a uma mudança no estado do clima que pode ser identificada (por exemplo, utilizando testes estatísticos) por alterações na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por um período prolongado, normalmente décadas ou mais. As mudanças climáticas podem ser devidas a processos internos naturais ou forçantes externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e modificações antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo.



**O clima está mesmo mudando?  
(Detecção da Mudança Climática)**

# Concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> - Aumento acentuado desde 1750

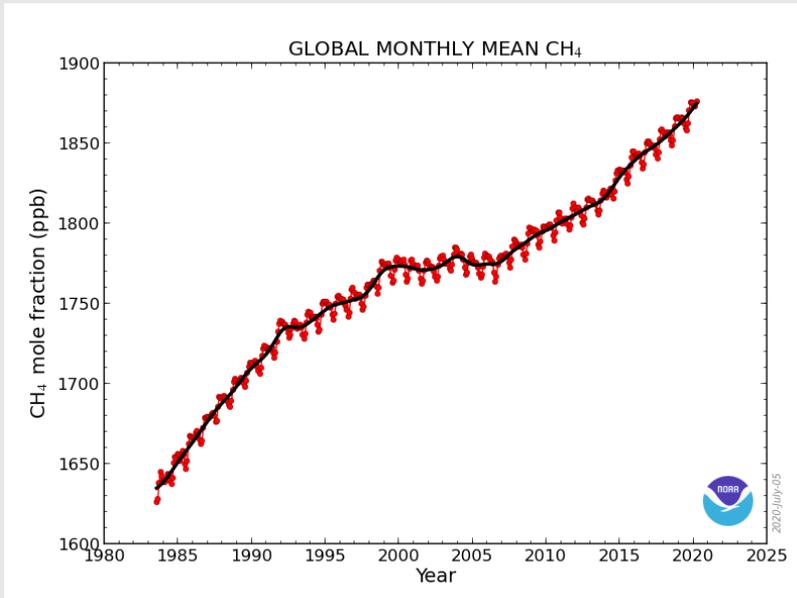


CO<sub>2</sub>

1750	2020
278 ppm	412 ppm

48% maior do que em 1750.

- Fontes: combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra.



CH<sub>4</sub>

1750	2020
722 ppb	1892 ppb

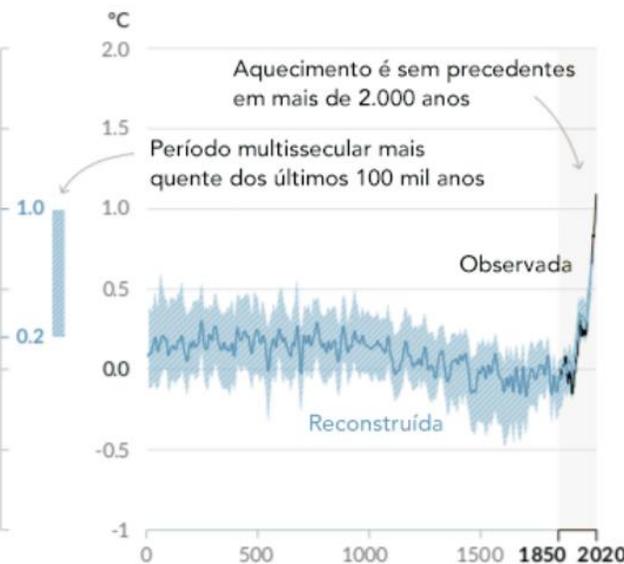
162% maior do que em 1750.

- Fontes: combustíveis fósseis, agricultura, digestão entérica de animais.

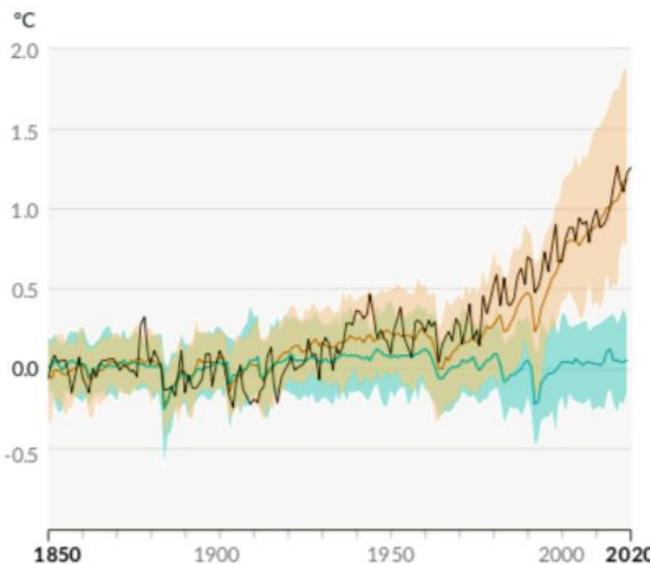
# A influência humana esquentou o clima de forma de forma sem precedentes nos últimos 2.000 anos (e possivelmente nos últimos 100 mil)

## Mudanças na temperatura da superfície global em relação a 1850-1900

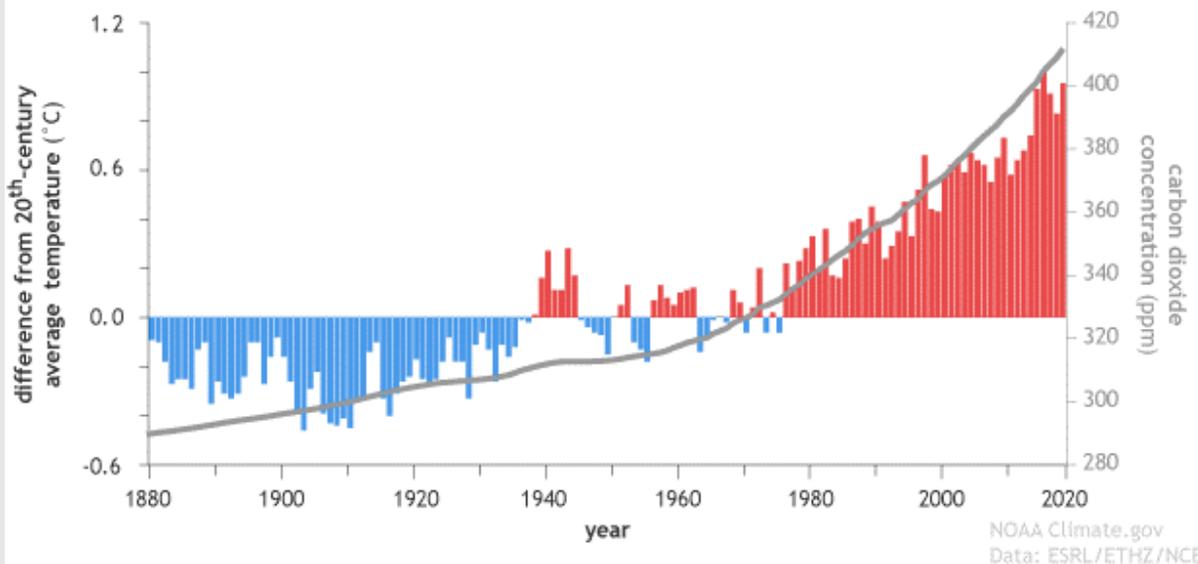
a) Mudança na temperatura



b) Aquecimento global observado nos últimos 170 anos, considerando causas naturais e humanas e simulação considerando apenas causas naturais



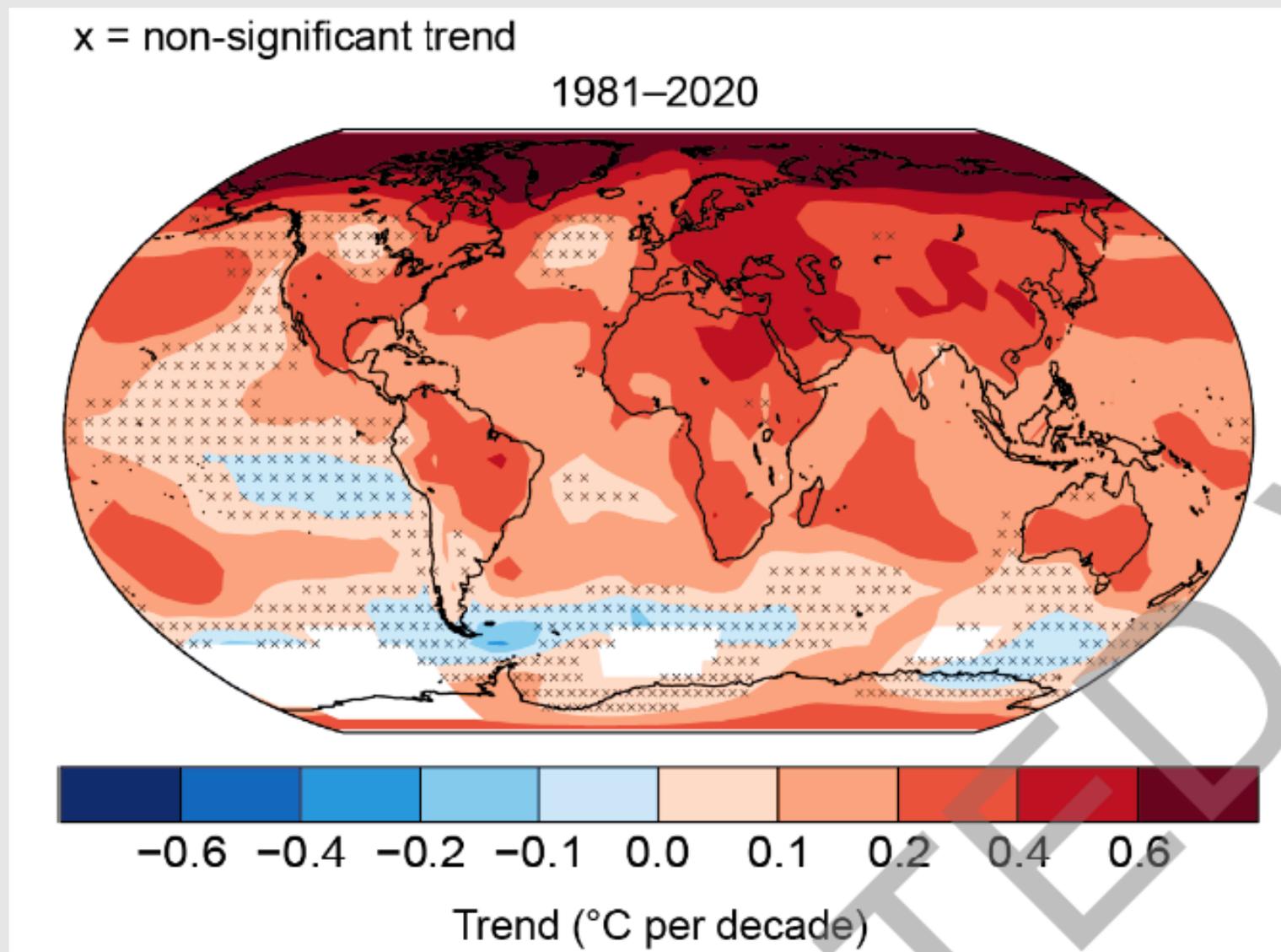
Atmospheric carbon dioxide and Earth's surface temperature (1880-2019)



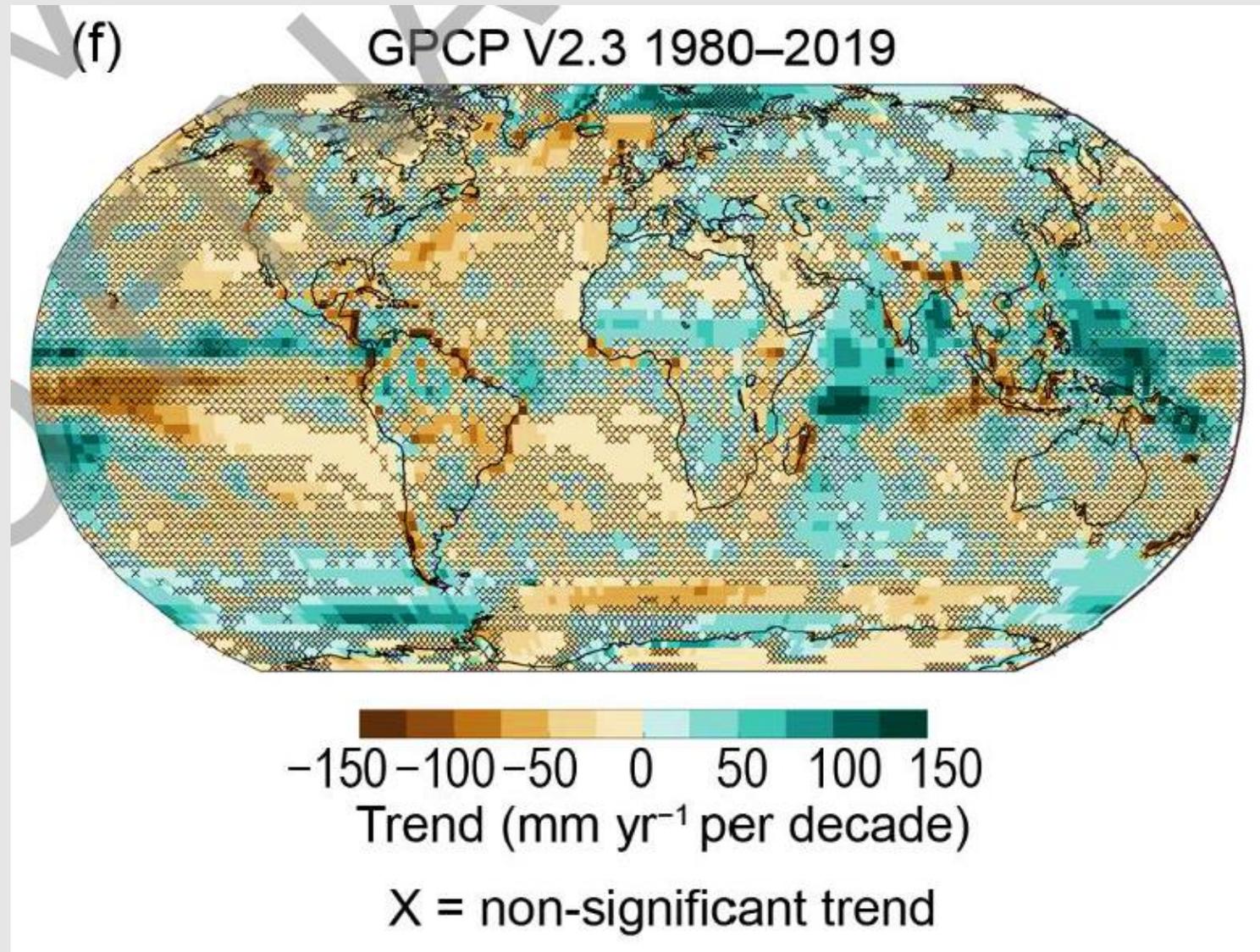
NOAA Climate.gov  
Data: ESRL/ETHZ/NCEI

Aquecimento de 1,1°C no período de 1880 a 2020 – IPCC (2021)

# Tendência da temperatura do ar média global de 1981 a 2020

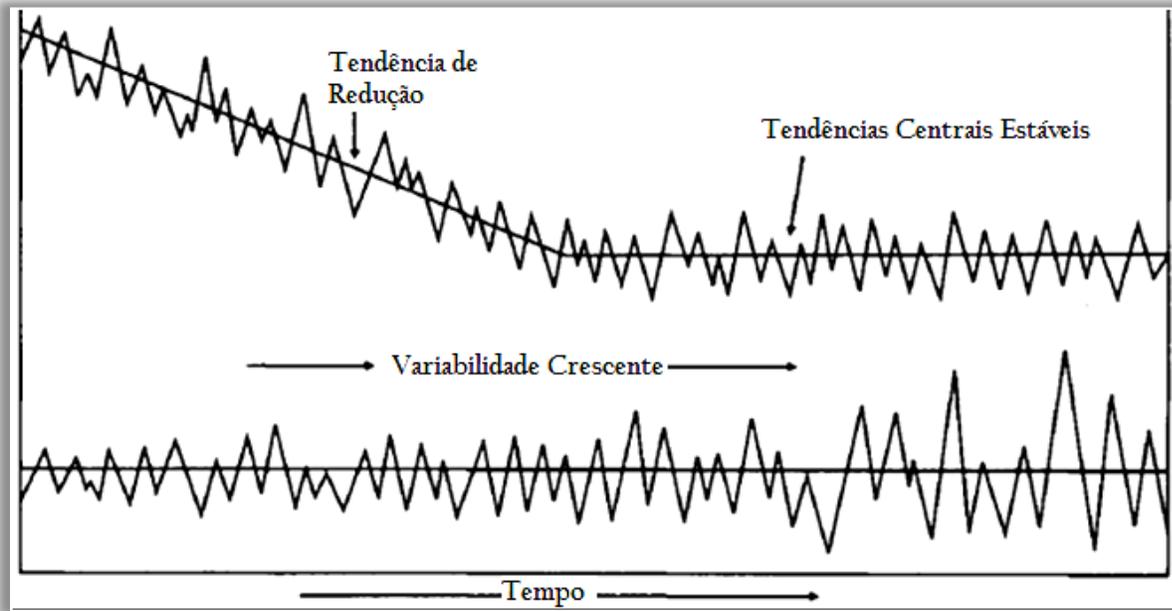


# Tendência dos acumulados pluviométricos anuais de 1980 a 2019

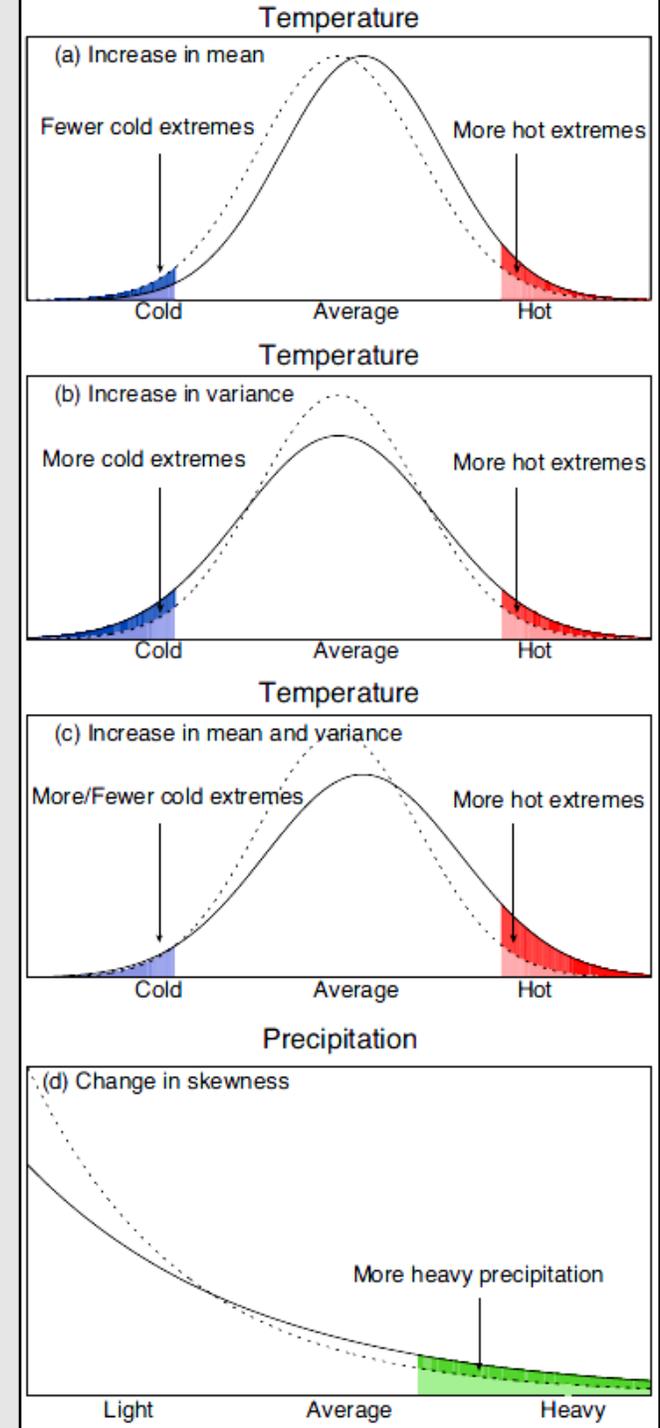


Atmosfera mais quente →  
maior quantidade de vapor d'água na atmosfera →  
aumento na frequência de ocorrência de eventos extremos





Exemplos de modos de **variações climáticas**.  
 (Fonte: adaptado de Peixoto e Oort, 1993).



- É consenso na comunidade científica que qualquer modificação na frequência e/ou intensidade de **eventos climáticos extremos** tem impactos profundos na natureza e na sociedade.
- Assim, a Equipe de Especialistas em Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI) da Comissão de Climatologia (CCI) da Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um conjunto de indicadores de extremos climáticos baseados em dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação para identificar tendências.

- Os indicadores de extremos climáticos podem ser divididos em 5 diferentes categorias:

1) Índices baseados em **percentis**: ocorrência anual de noites frias (TN10p), noites quentes (TN90p), dias frios (TX10p), dias quentes (TX90p), chuvas fortes (R95p) e chuvas extremas (R99p).

<b>Temperatura Mínima</b>	<b>Nome</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>TN10p</b>	<b>Noites frias</b>	<b>Porcentagem anual de dias em que TN &lt; percentil 10</b>	<b>%</b>
<b>TN90p</b>	<b>Noites quentes</b>	<b>Porcentagem anual de dias em que TN &gt; percentil 90</b>	<b>%</b>

<b>Temperatura Máxima</b>	<b>Nome</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>TX10p</b>	<b>Dias frios</b>	<b>Porcentagem anual de dias em que TX &lt; percentil 10</b>	<b>%</b>
<b>TX90p</b>	<b>Dias quentes</b>	<b>Porcentagem anual de dias em que TX &gt; percentil 90</b>	<b>%</b>

<b>Precipitação</b>	<b>Nome</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>R95p</b>	<b>Chuvas fortes</b>	<b>Precipitação anual total dos dias em que PRCP &gt; percentil 95</b>	<b>mm</b>
<b>R99p</b>	<b>Chuvas extremas</b>	<b>Precipitação anual total dos dias em que PRCP &gt; percentil 99</b>	<b>mm</b>

2) Índices **absolutos** que representam os **valores máximo e mínimo anuais**: menor temperatura mínima anual (TNn), maior temperatura mínima anual (TNx), maior temperatura máxima anual (TXx), menor temperatura máxima anual (TXn), máxima precipitação anual em 1 dia (RX1day) e máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (RX5day);

Temperatura Mínima	Definição	Unidade
TNn	Menor temperatura mínima anual	°C
TNx	Maior temperatura mínima anual	°C

Temperatura Máxima	Definição	Unidade
TXn	Menor temperatura máxima anual	°C
TXx	Maior temperatura máxima anual	°C

Precipitação	Definição	Unidade
RX1day	Máxima precipitação anual em 1 dia	mm
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos	mm

3) Índices em que os limiares são definidos pelo **número de dias em que a temperatura ou a precipitação ficaram abaixo ou acima de um valor fixo**: ocorrência anual de dias com temperatura mínima acima de 20°C (TR20), com temperatura máxima acima de 25°C e 30°C (SU25 e SU30) e número de dias no ano com precipitação acima de 30 mm (R30mm).

<b>Temperatura Mínima</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>TR20</b>	<b>Número de dias no ano em que <math>TN &gt; 20^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>dias</b>

<b>Temperatura Máxima</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>SU25</b>	<b>Número de dias no ano em que <math>TX &gt; 25^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>dias</b>
<b>SU30</b>	<b>Número de dias no ano em que <math>TX &gt; 30^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>dias</b>

<b>Precipitação</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
<b>R30mm</b>	<b>Número de dias no ano com <math>\text{PRCP} \geq 30 \text{ mm}</math></b>	<b>dias</b>

4) Índices com **duração definida** por **períodos excessivos de calor, frio, chuva ou seca**: ondas de frio (CSDI), ondas de calor (WSDI), períodos úmidos (CDW) e secos (CDD);

Temperatura Mínima	Definição	Unidade
<b>CSDI</b> Cold Spell Duration Indicator	<b>Número máximo de dias consecutivos no ano com TN &lt; percentil 10</b>	<b>dias</b>

Temperatura Máxima	Definição	Unidade
<b>WSDI</b> Warm Spell Duration Indicator	<b>Número máximo de dias consecutivos no ano com TX &gt; percentil 90</b>	<b>dias</b>

Precipitação	Definição	Unidade
<b>CDD</b> Consecutive Dry Days	<b>Número máximo de dias secos consecutivos no ano (PRCP &lt; 1 mm)</b>	<b>dias</b>
<b>CWD</b> Consecutive Wet Days	<b>Número máximo de dias úmidos consecutivos no ano (PRCP &gt;= 1 mm)</b>	<b>dias</b>

5) **Outros** índices incluem: temperaturas mínima (TMINmean) e máxima (TMAXmean) anuais médias, média anual da amplitude térmica diária (DTR), precipitação anual total (PRCPTOT) e índice de intensidade diária de precipitação (SDII).

Temperatura Mínima	Definição	Unidade
TMINmean	Temperatura mínima anual média	°C

Temperatura Máxima	Definição	Unidade
TMAXmean	Temperatura máxima anual média	°C

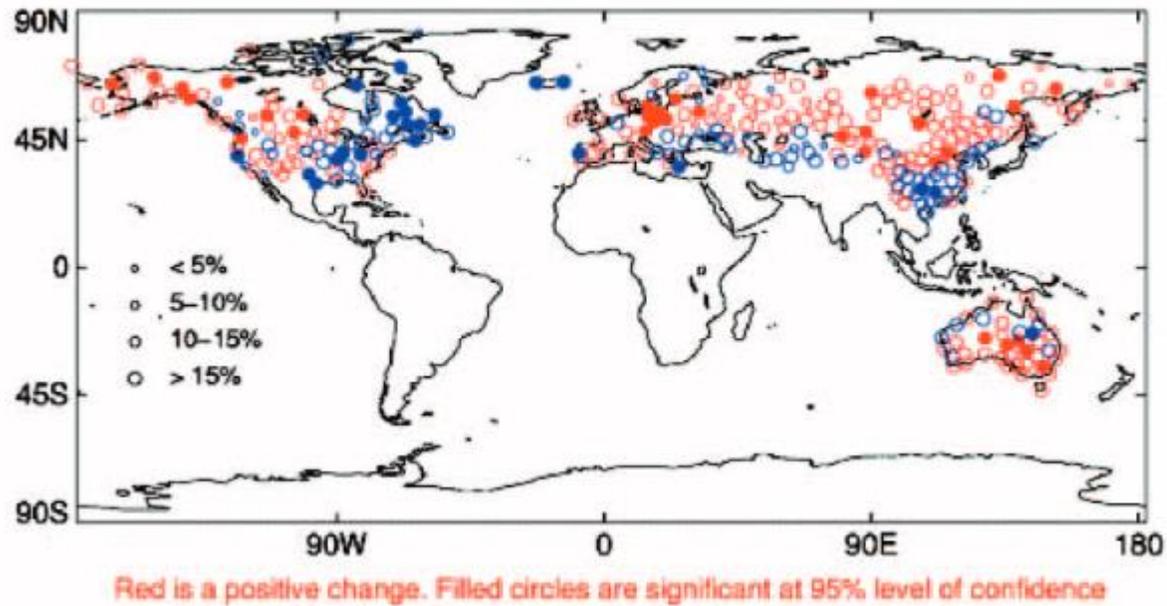
Temperatura	Definição	Unidade
<b>DTR</b> Diurnal Temperature Range	Média anual da amplitude térmica diária (T <sub>máx</sub> -T <sub>mín</sub> )	°C

Precipitação	Definição	Unidade
<b>PRCPTOT</b>	Precipitação anual total dos dias úmidos (PRCP ≥ 1 mm)	mm
<b>SDII</b> Simple Daily Intensity Index	PRCPTOT/número de dias úmidos no ano	mm/dia

# Tendências Observadas no Brasil

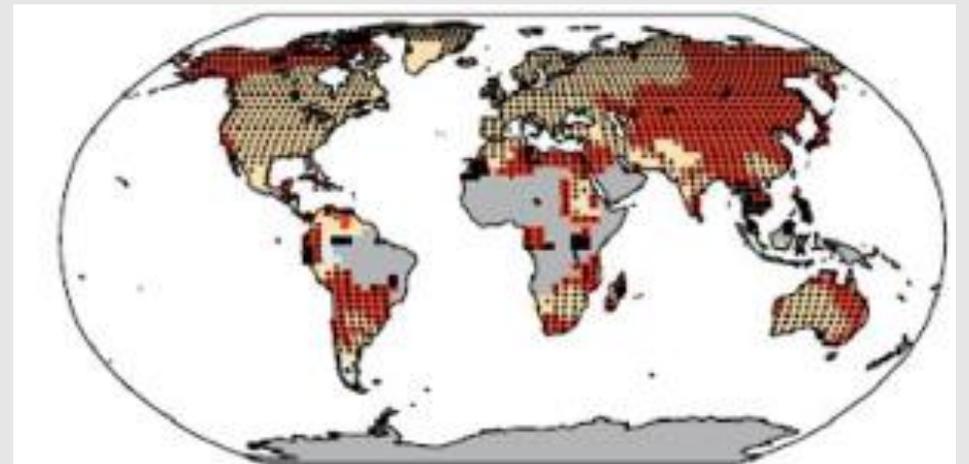
## Heat Wave Duration Index (144 HWDI)

Change (%) between two multi-decadal averages during 2<sup>nd</sup> half of 20<sup>th</sup> Century



Frich et al. (2002)

**A evolução da abrangência dos dados no Hemisfério Sul é mais lenta...**



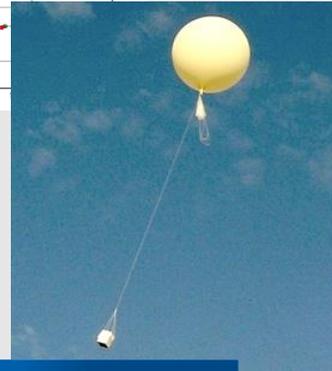
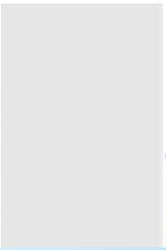
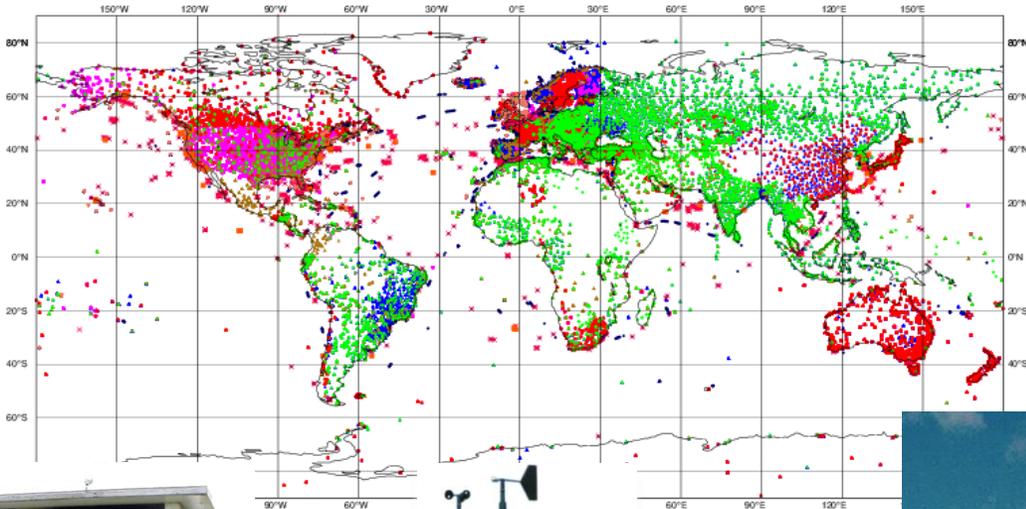
Donat et al. (2013)

# ECMWF data coverage (all observations) - SYNOP-SHIP-METAR

2021040509 to 2021040515

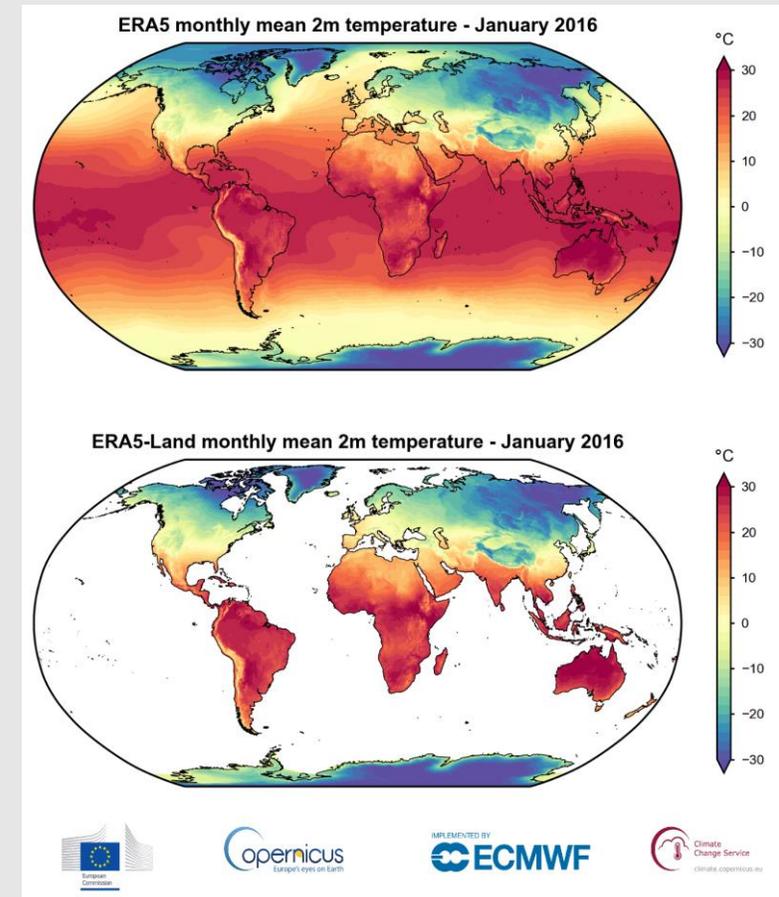
Total number of obs = 128463

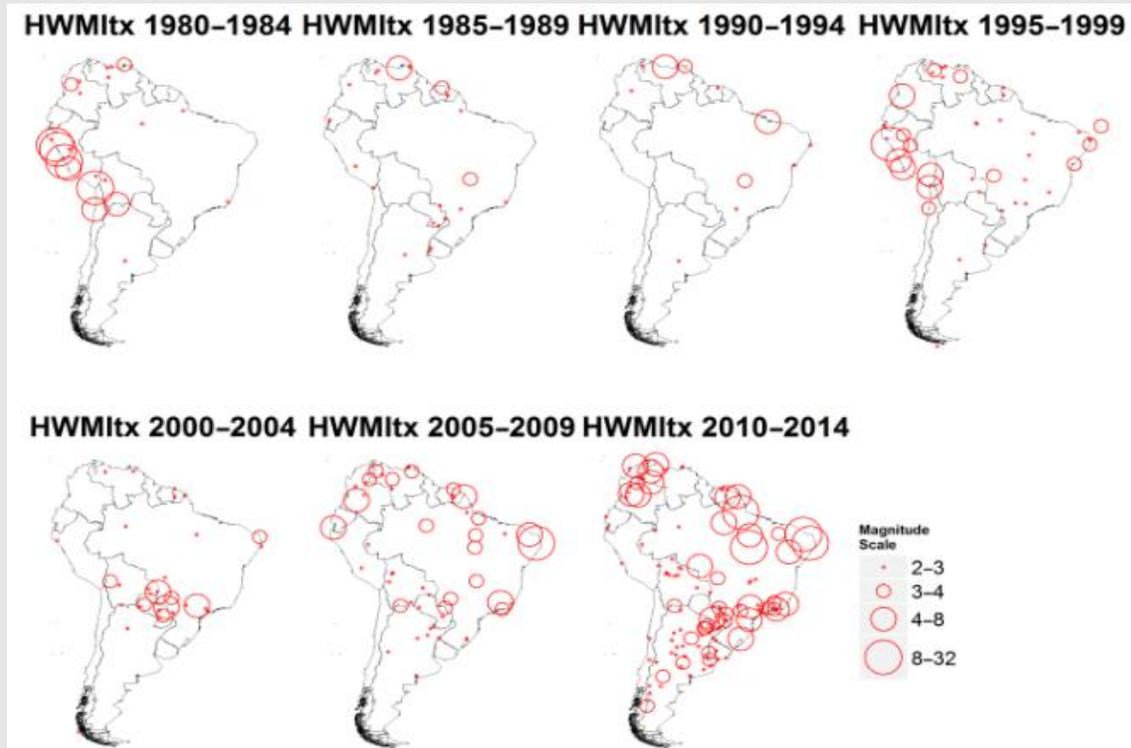
- Automatic Land SYNOP (14080)
- Manual Land SYNOP (9551)
- ▲ METAR (20980)
- ▼ Automatic SHIP (2580)
- × SHIP (809)
- Abbreviated SHIP (127)
- Automatic METAR (36019)
- ◆ BUFR SHIP SYNOP (4261)
- ▲ BUFR LAND SYNOP (40056)



- Dados meteorológicos (vento, temperatura, pressão, umidade, etc.), **observados de todo o globo**, oriundos de estações meteorológicas de superfície, navios, boias oceânicas, aviões, balões atmosféricos e dados de satélite **“alimentam” os modelos**.
- Essas informações são coordenadas pela chamada **Vigilância Meteorológica Mundial (VMM)**, que por sua vez é gerenciada pela **Organização Meteorológica Mundial (OMM)**.
- A VMM possui 3 componentes: **Sistema Mundial de Observações (SMO)**, **Sistema Mundial de Preparação de Dados (SMPD)** e **Sistema Mundial de Telecomunicações (SMT)**.

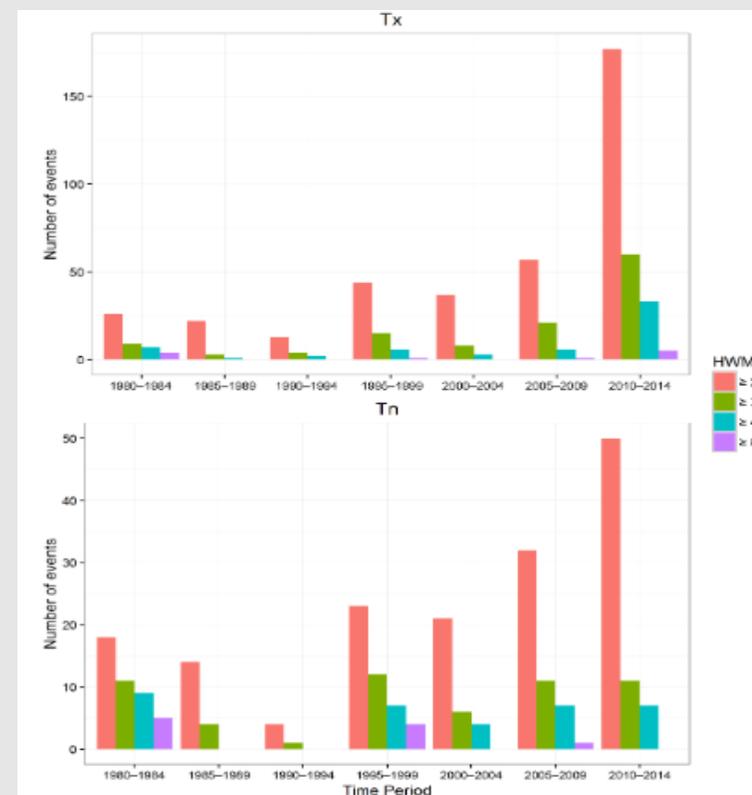
- **Os dados de reanálise fornecem um registro multivariado, espacialmente completo e coerente da circulação atmosférica global.**
- Diferentemente das análises meteorológicas arquivadas dos sistemas operacionais de previsão, uma reanálise é produzida com uma única versão de um sistema de assimilação de dados – incluindo o modelo de previsão usado – e, portanto, não é afetado por mudanças no método.
- Desse modo, através da combinação da assimilação de dados com um modelo numérico para períodos pretéritos, pode-se diagnosticar o comportamento passado da atmosfera por meio de variáveis convencionais e de outras variáveis não observadas diretamente (como geopotencial, vorticidade, entre outras).
- Apesar dessas origens híbridas, os profissionais frequentemente se referem aos dados de reanálise como "observações" e os usam para os mesmos fins que as observações tradicionais.
- **Elas têm sido usadas para estudar a dinâmica atmosférica, investigar a variabilidade climática, avaliar modelos climáticos, assim como dados para procurar a presença de gases de efeito estufa e para muitos outros fins.**



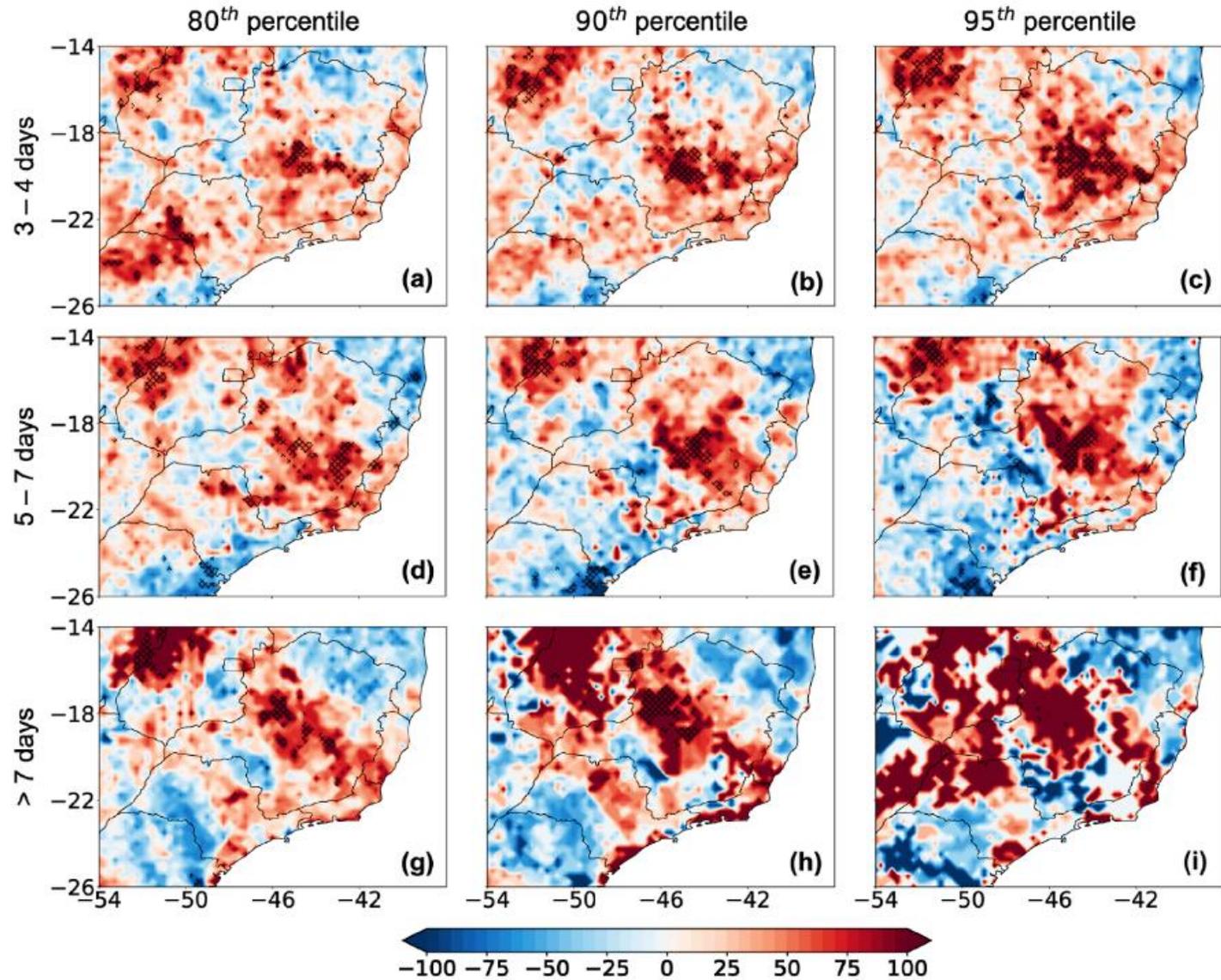


**Aumento na frequência e na intensidade de ondas de calor.**

Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America (Ceccherini et al., 2016)

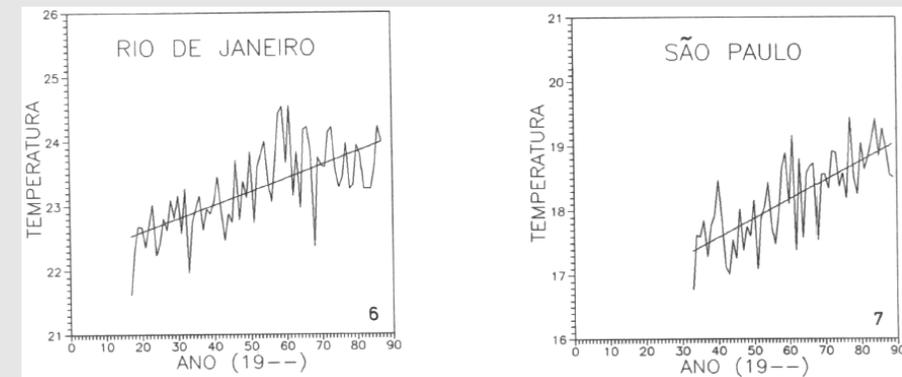


**Figure 3.** Histogram of heat waves for 5-year periods during 1980–2014 for maximum temperature ( $T_x$ , upper panel) and minimum temperature ( $T_n$ , bottom panel).



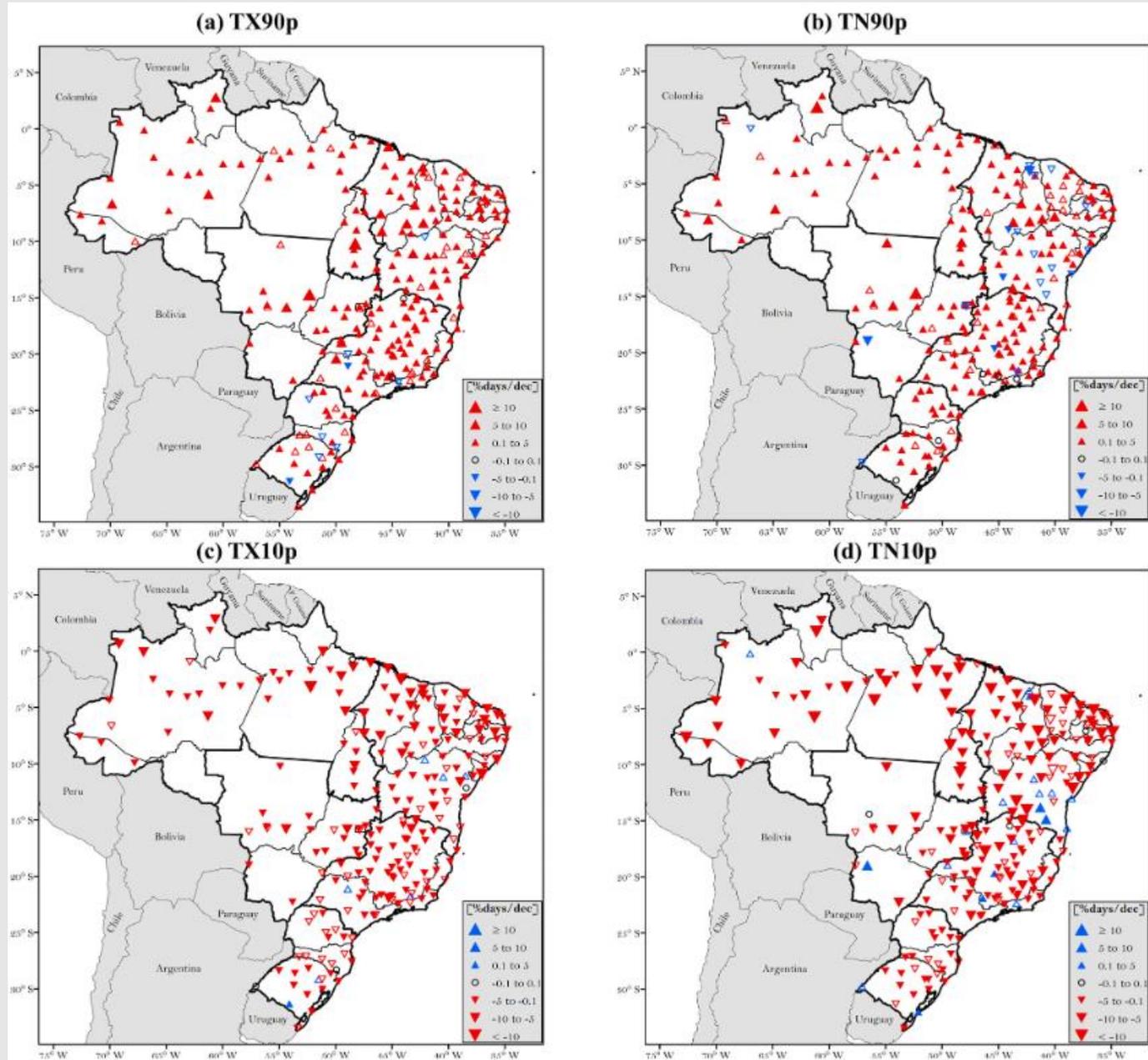
**Figure 2.** Percent change (%) in the occurrence of summer (DJF) CDH events during 1999/00–2017/18 relative to 1980/81–1998/99. The rows correspond to different heatwave durations (3–4, 5–6, >7 days). The columns show different heatwave severities (80th, 90th and 95th percentiles). Statistical significant ( $p < 0.05$ ) percentage changes are identified by black crosses.

Recent increasing frequency of  
compound summer drought and  
heatwaves in Southeast Brazil  
(Geirinhas et al., 2021)

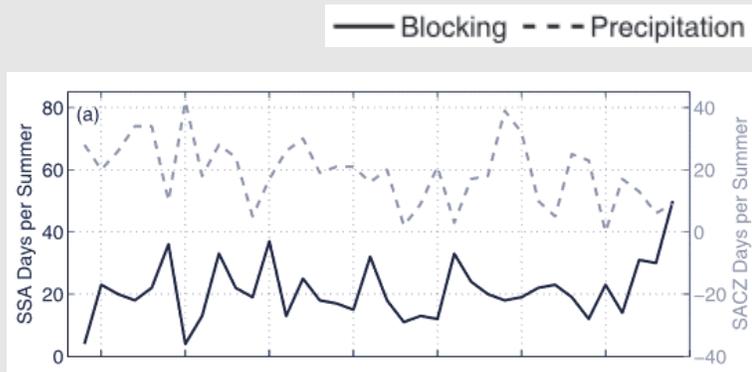


Tendência de Temperatura  
(Sansigolo et al., 1992)

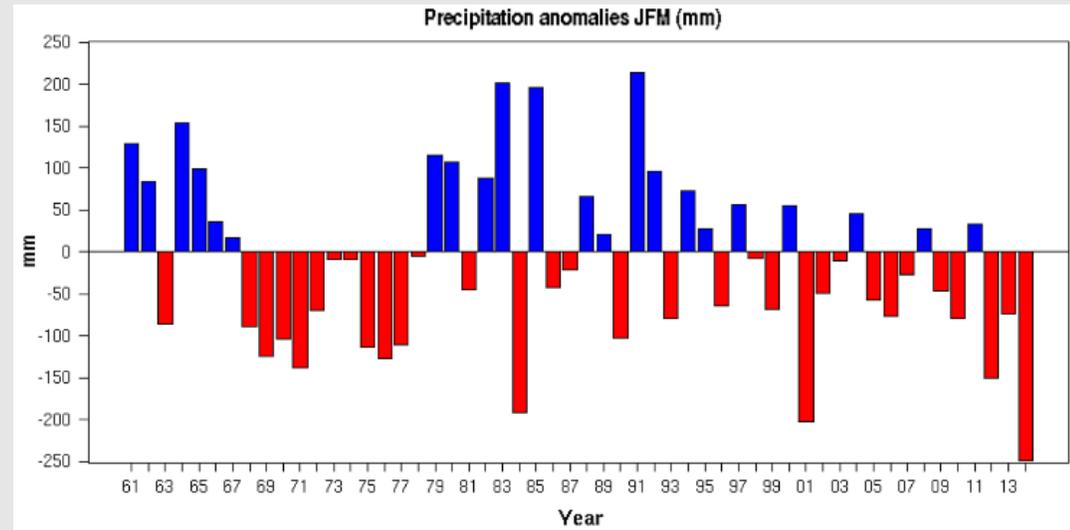
# Tendências nos Extremos de Temperatura



Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil (Regoto et al., 2021)



Impact of atmospheric blocking on South America in austral summer (Rodrigues and Woollings, 2017)



The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections (Coelho et al., 2016)

Atmospheric blocking in the South Atlantic during the summer 2014: a synoptic analysis of the phenomenon (Luiz-Silva et al., 2015)

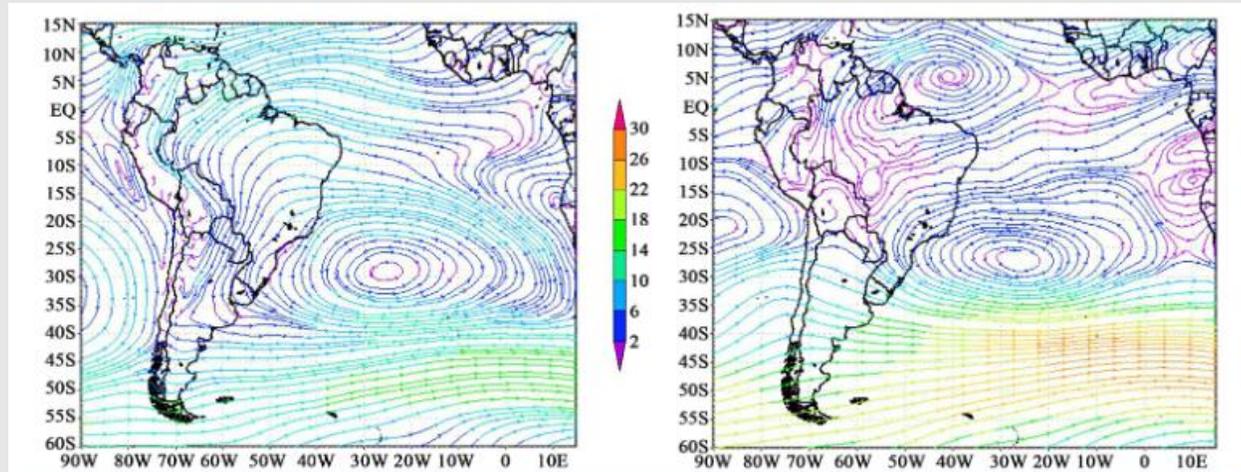
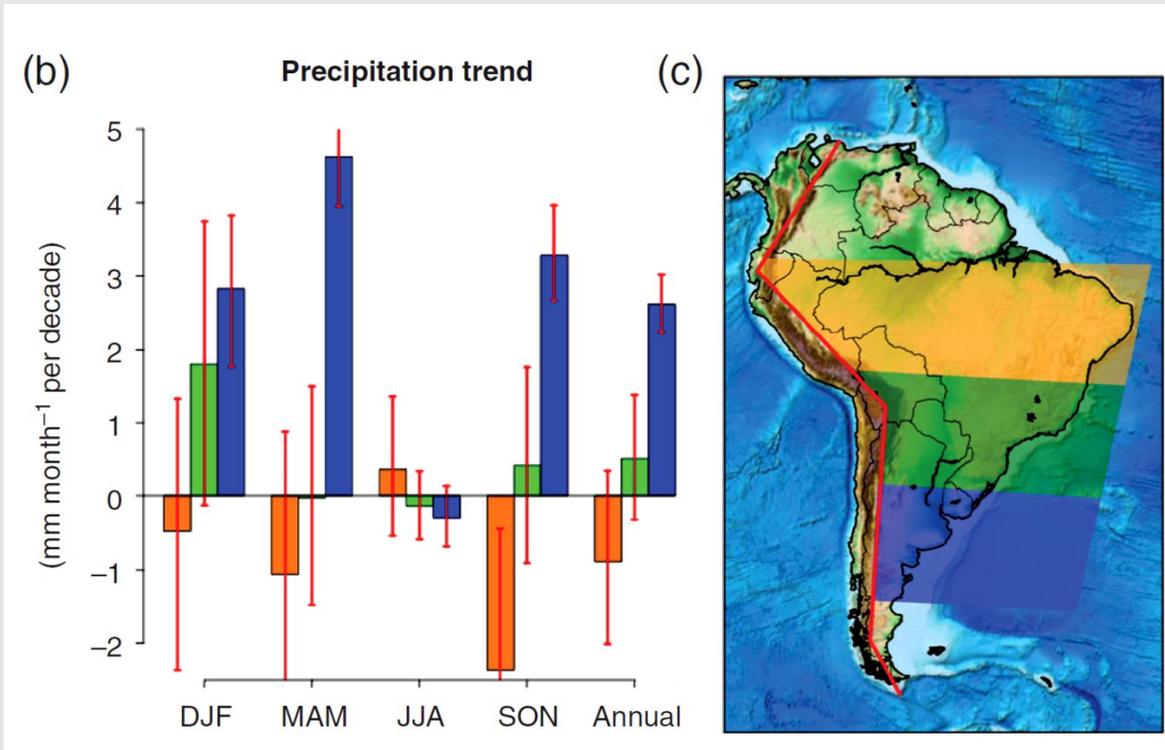


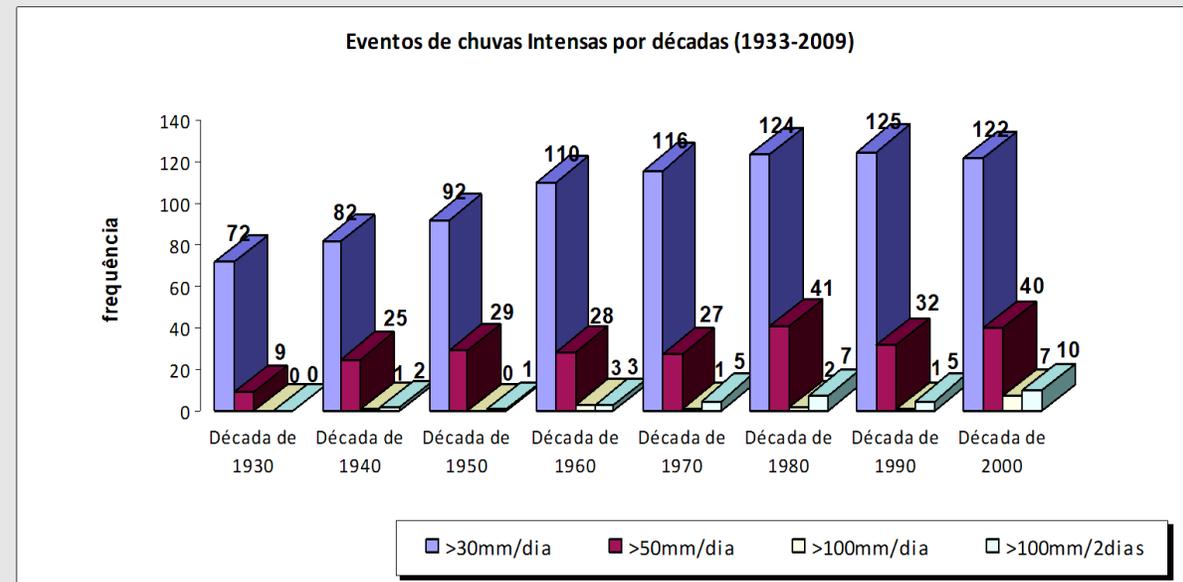
Figure 5. Mean fields of streamlines (m/s) at 850 hPa (left) and 500 hPa (right) for January and February 2014.

# 1955 – 2004

Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades? (Soares et al., 2017)



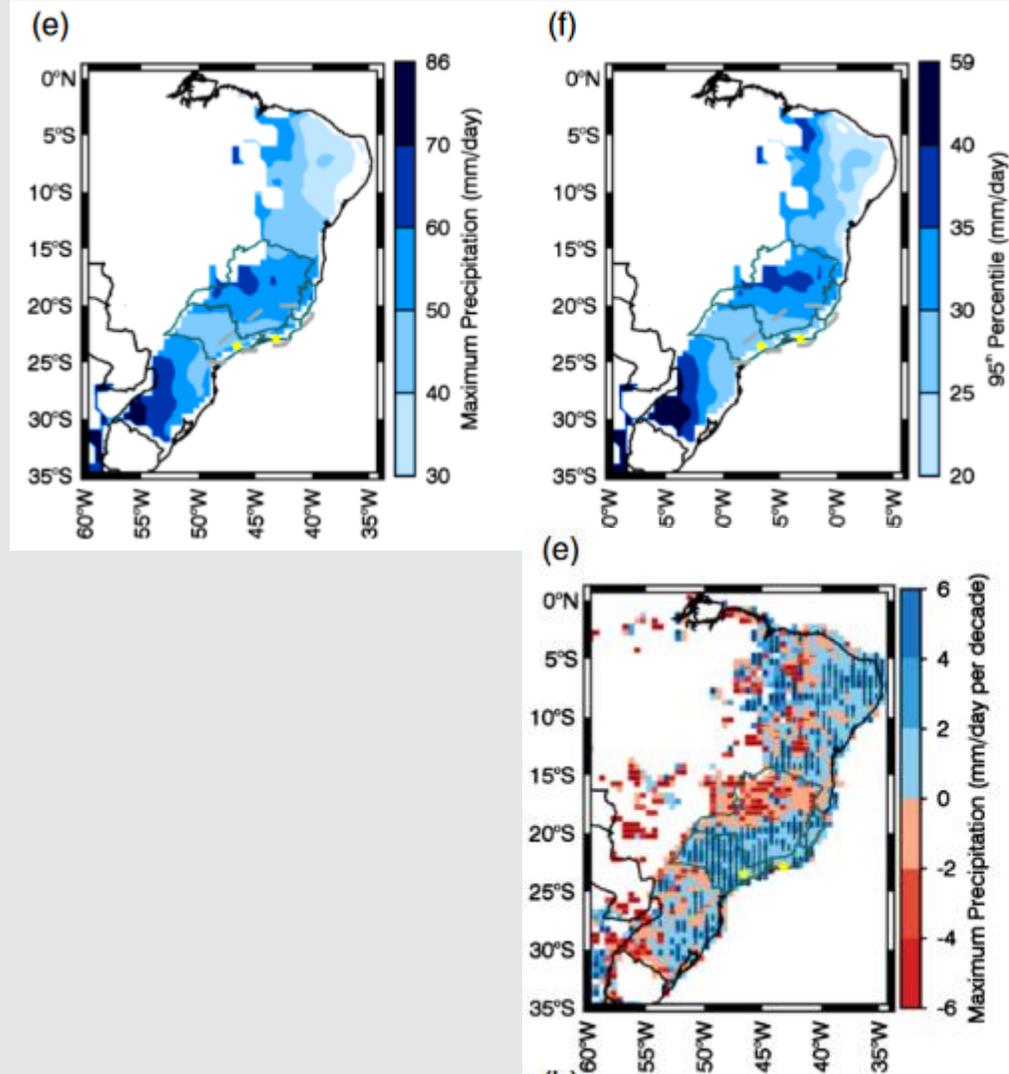
## Tendência de Precipitação em São Paulo (Nobre et al., 2010)



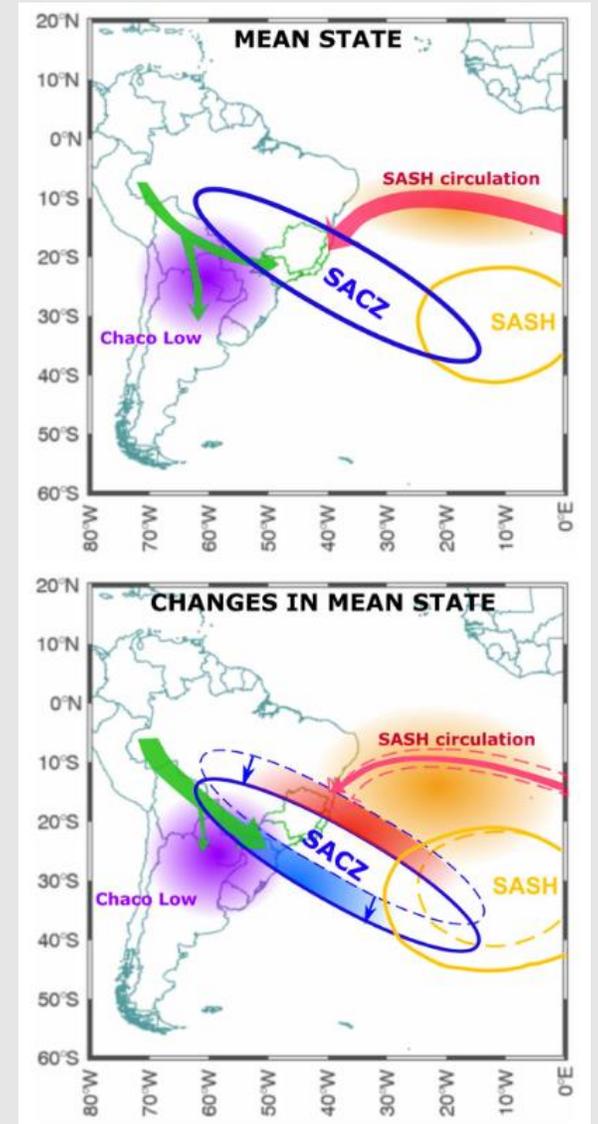
# A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil

(Zilli et al., 2016)

Wet season climatology for gridded data (1938-2012).

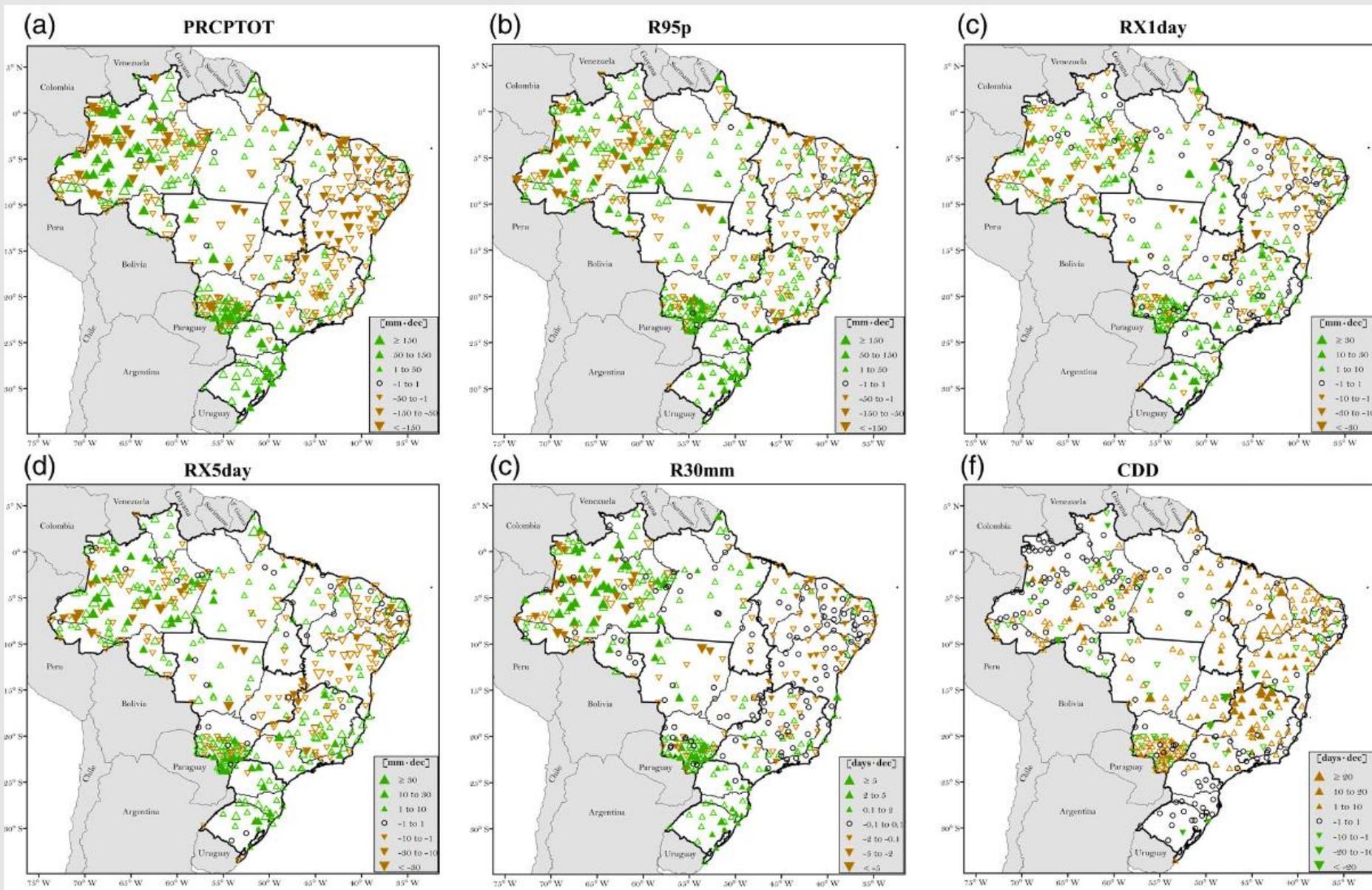


Trends in gridded dataset for wet season.

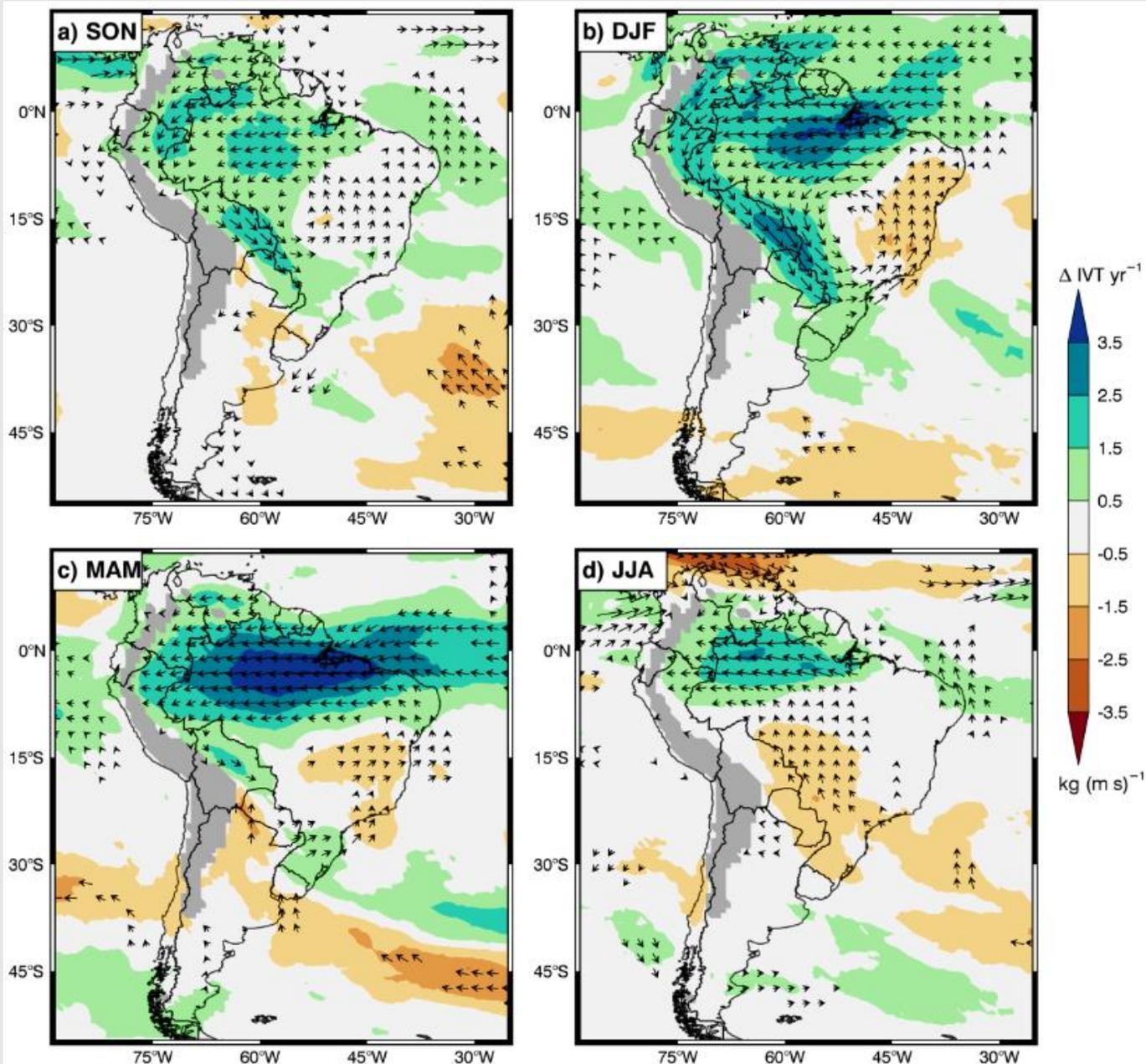


The poleward shift of South Atlantic Convergence Zone in recent decades (Zilli et al., 2019)

# Tendências nos Extremos de Precipitação



Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil (Regoto et al., 2021)



The South American Low-Level Jet:  
a new climatology, variability, and  
changes (Montini et al., 2019)

Tendências no transporte de umidade verticalmente integrado durante os dias de SALLJ revelam **aumentos significativos no fluxo de umidade de noroeste associado ao jato** em direção ao sul do Brasil na primavera, verão e outono.

Essas mudanças provavelmente contribuem para o **aumento da precipitação e eventos extremos de precipitação** observados no sudeste da América do Sul nas últimas décadas.



# Sustainable future and water resources: a synthesis of the Brazilian hydroelectricity sector in face of climate change

Wanderson Luiz-Silva<sup>1</sup> · Katia Cristina Garcia<sup>2</sup>

## PRECIPITAÇÃO

## VAZÃO

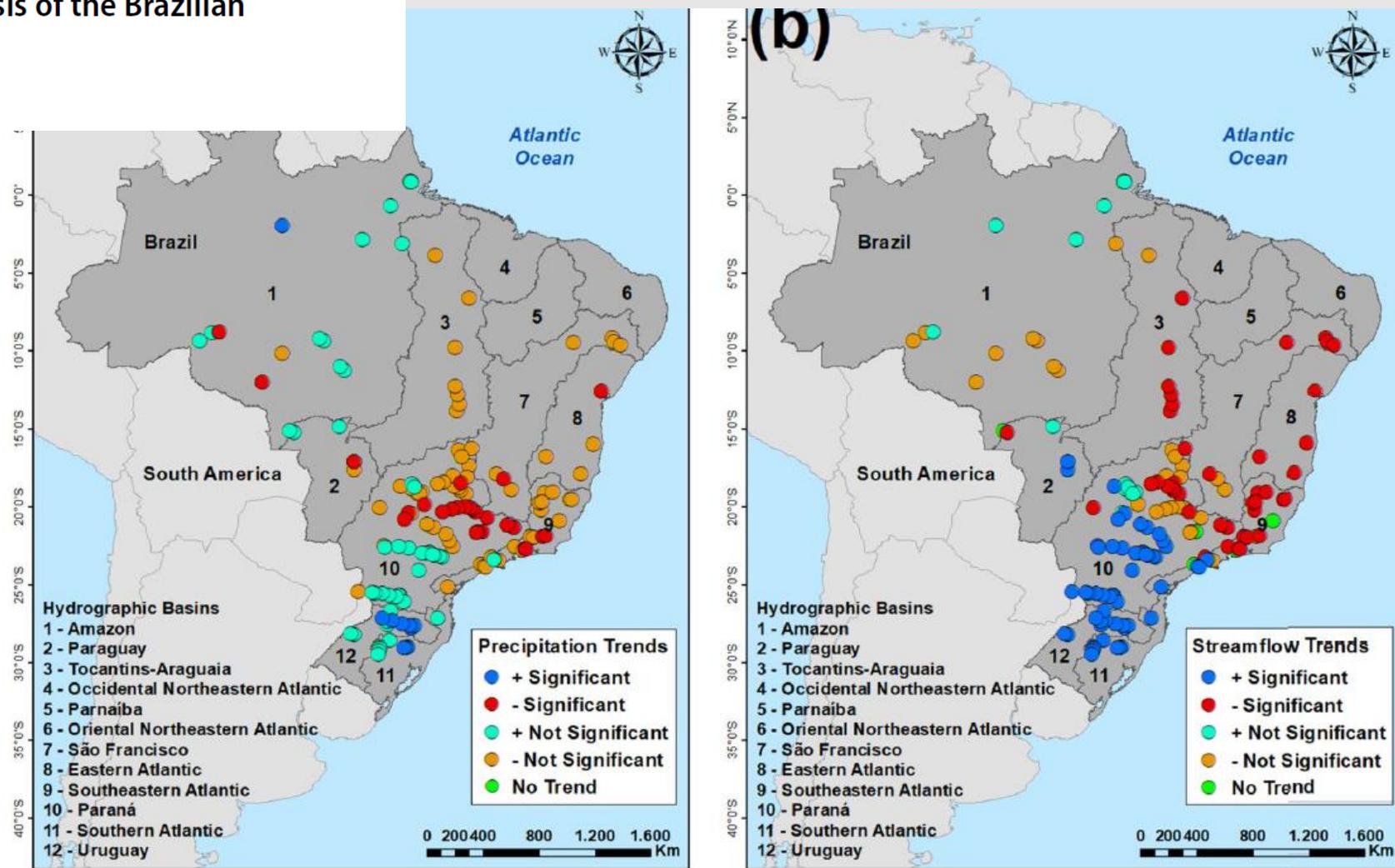
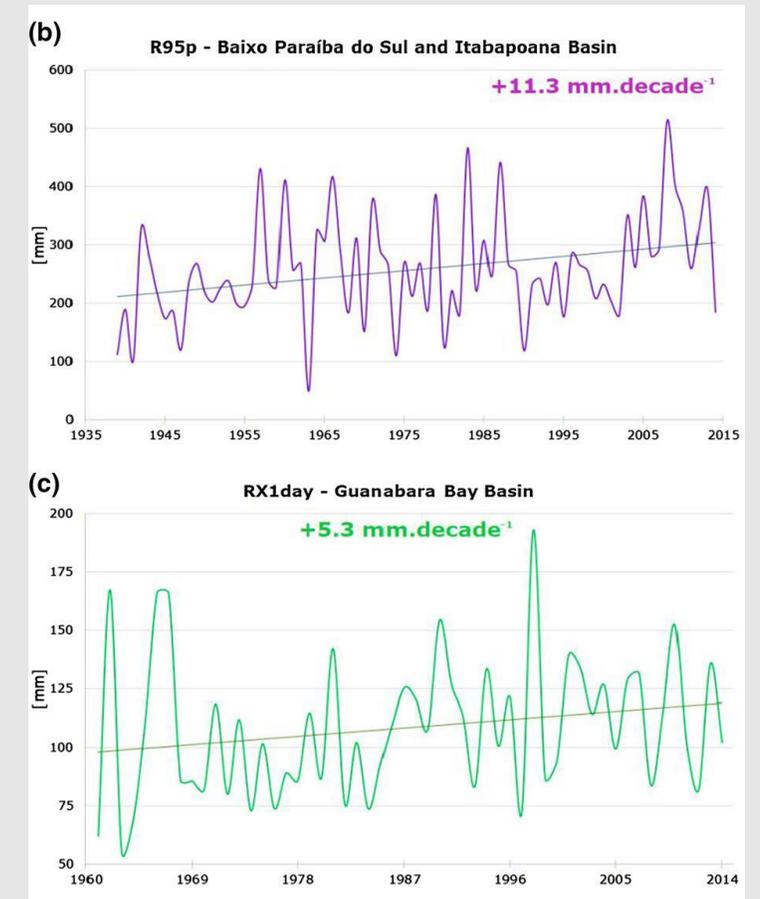
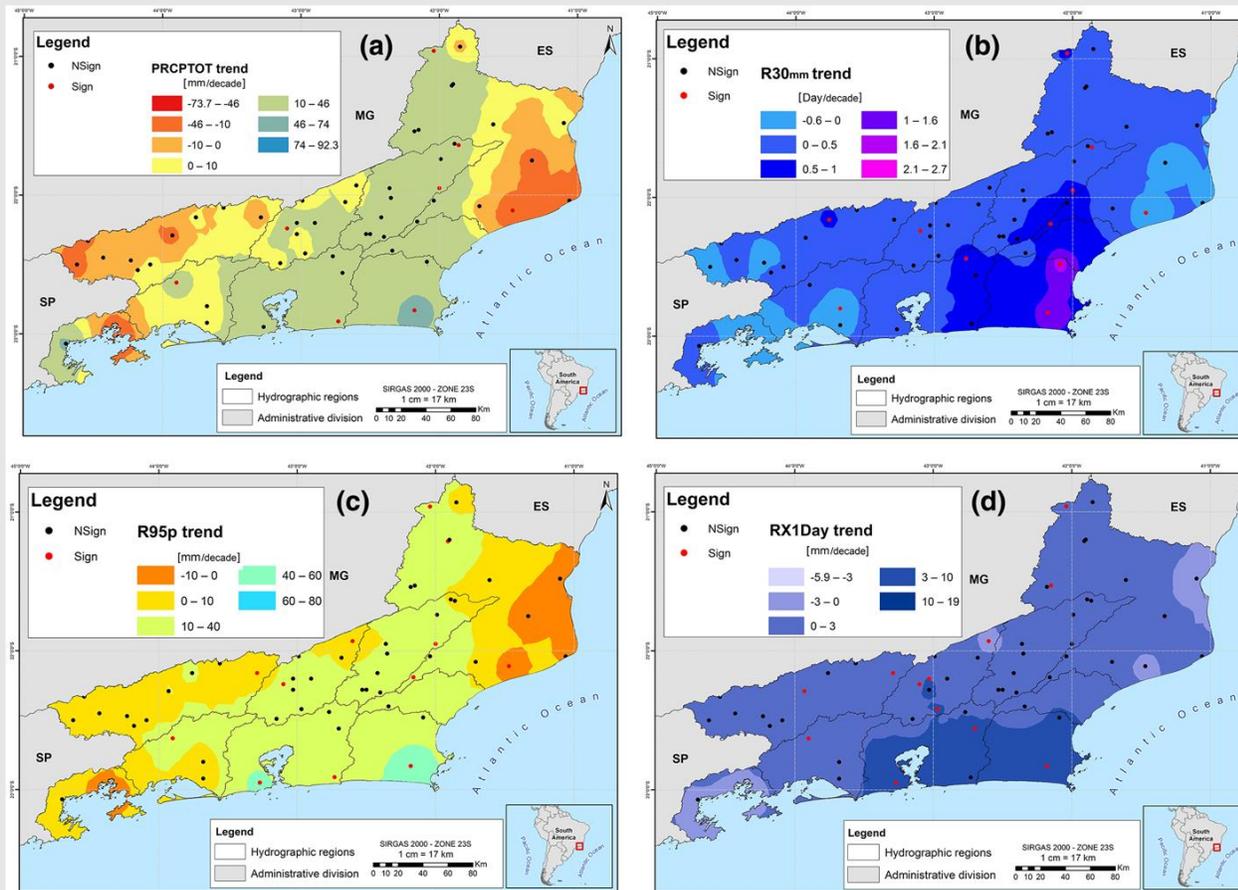


Fig. 6 Observed trends in the a total annual precipitation for the period 1975–2016 and b average annual streamflow for the period 1931–2018 over the 152 HPPs situated by the eight watersheds in

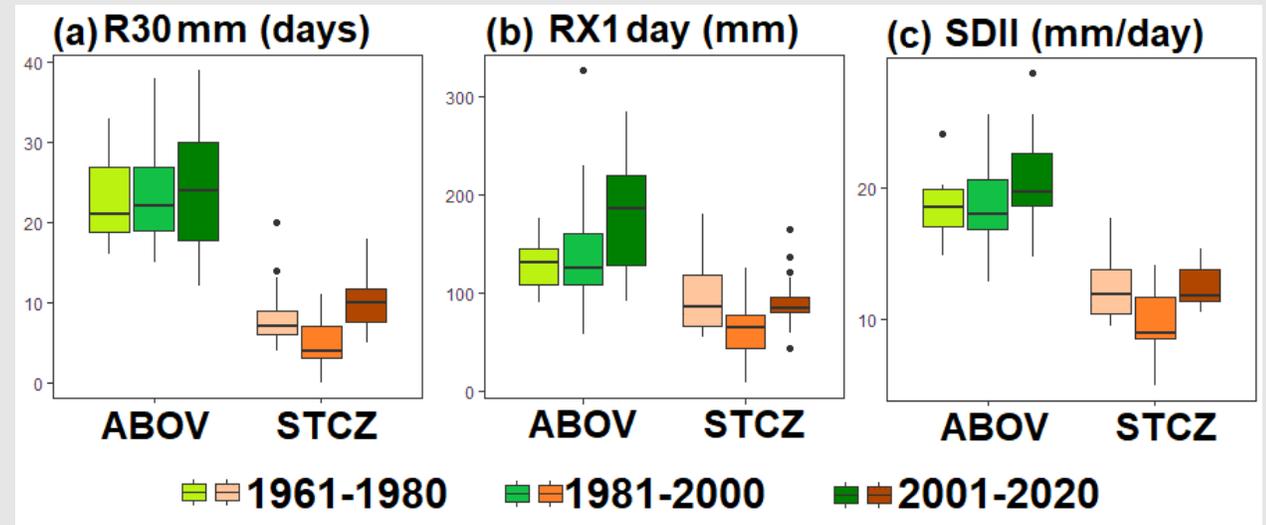
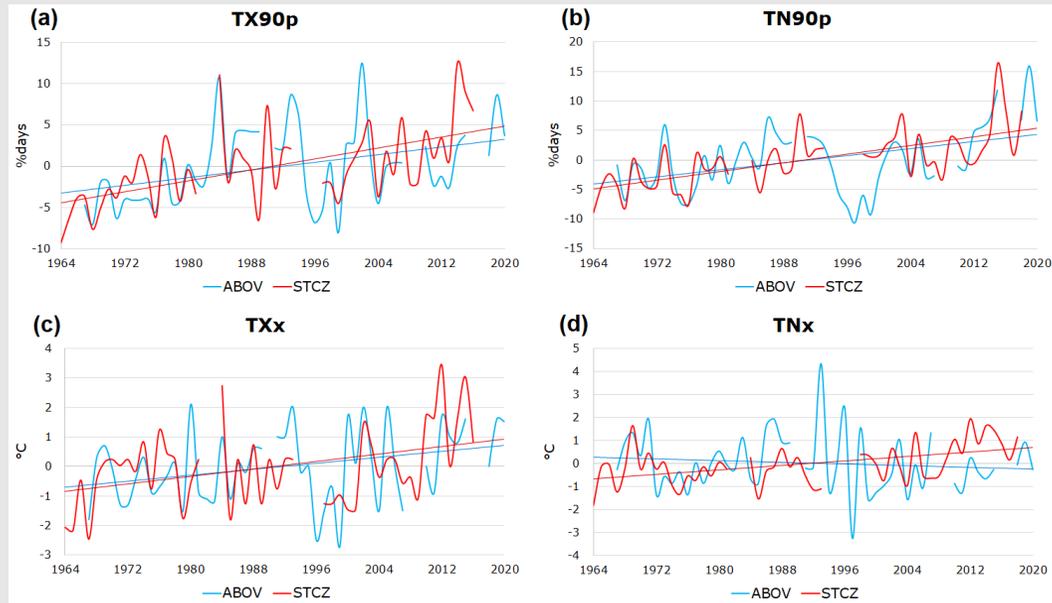
Brazil. Statistically significant trends consider a 95% confidence level by the Mann–Kendall test

# Tendências Observadas em Extremos de Precipitação no Estado do Rio de Janeiro



**Climate Extremes related with Rainfall in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a Review of Climatological Characteristics and Recorded Trends – Luiz-Silva and Oscar-Júnior (2022) / Natural Hazards**

## Tendências Observadas em Extremos Climáticos na Cidade do Rio de Janeiro



Em Avaliação

**Towards a link between Climate Extremes and Thermodynamic Patterns in the City of Rio de Janeiro – Brazil: Climatological Aspects and Identified Changes –**  
*Luiz-Silva et al. (2023) / Advances in Atmospheric Sciences*



**O que pode  
acontecer no futuro?**

- A habilidade em **prever o tempo e o clima** se elevou muito nas últimas décadas:
  - ✓ progresso no **entendimento dos processos** que dominam a evolução do estado da atmosfera e dos componentes do sistema climático;
  - ✓ métodos de **solução numérica** das equações que representam cada parte do sistema climático;
  - ✓ acentuado crescimento da capacidade de processamento dos computadores.
- Os modelos de circulação geral da atmosfera (MCGAs) permitem prever as **condições de tempo** para vários dias, dependendo da região e do estado da atmosfera, com considerável nível de confiança até **7 a 10 dias**.
- Além disso, tais modelos também podem ser empregados para prever o **clima da próxima estação** ou para projetar os aspectos gerais do **clima futuro**, na escala de **décadas ou séculos**, considerando as alterações antrópicas.

## Equações de Navier Stokes

*Vento Horizontal*

$$\frac{DV_H}{Dt} = -2\Omega_z \times V_H - \frac{1}{\rho} \nabla_H P + F_H$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad \text{Hidrostática}$$

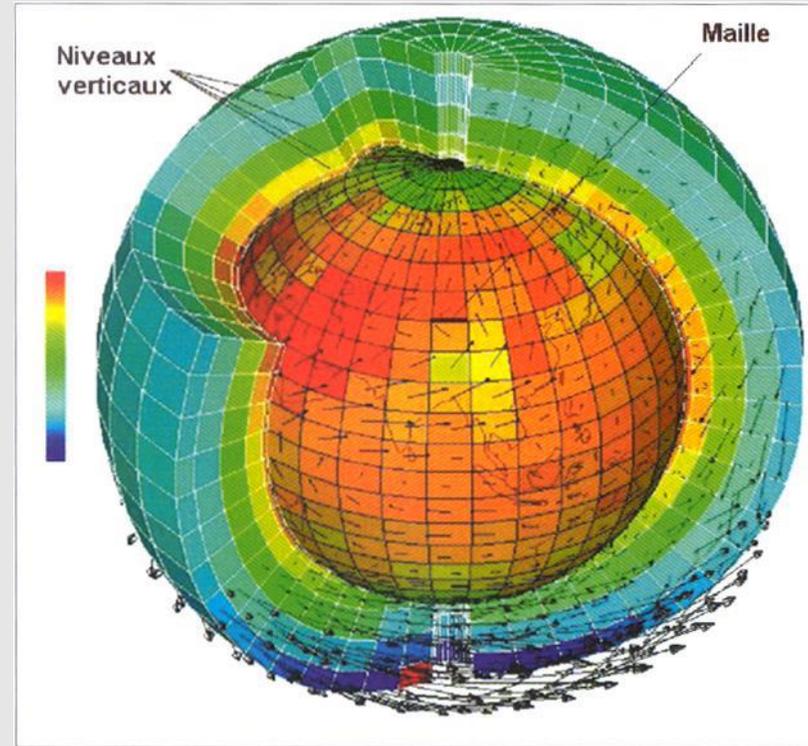
$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho \nabla \cdot V \quad \text{Continuidade}$$

$$c_v \frac{DT}{Dt} = -p \frac{D\alpha}{Dt} + Q \quad \text{Termodinâmica}$$

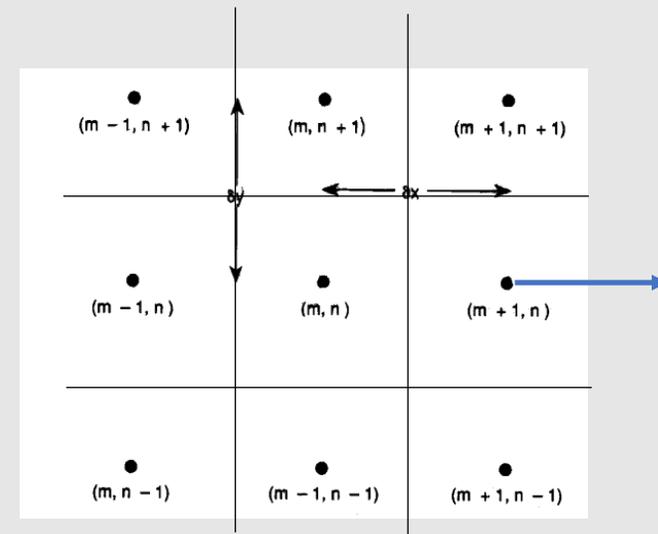
$$p = \rho RT \quad \text{Gás Ideal}$$

$$\frac{Dq}{Dt} = Q' \quad \text{Vapor d'água}$$

- Um MCGA moderno é um código computacional que retrata **aproximações numéricas** de equações matemáticas representativas das leis físicas que governam os **movimentos da atmosfera** e as interações não-lineares com os componentes do sistema climático.
- As equações do MCGA são resolvidas por **métodos numéricos** e demandam computadores de altíssimo desempenho para produzir um **resultado determinístico**.
- O sistema de equações do MCGA pode ser discretizado nas quatro dimensões: **latitude, longitude, altitude** (pontos de grade) e **tempo**.
- Os **Modelos do Sistema Terrestre** são o atual estado da arte em modelagem climática.

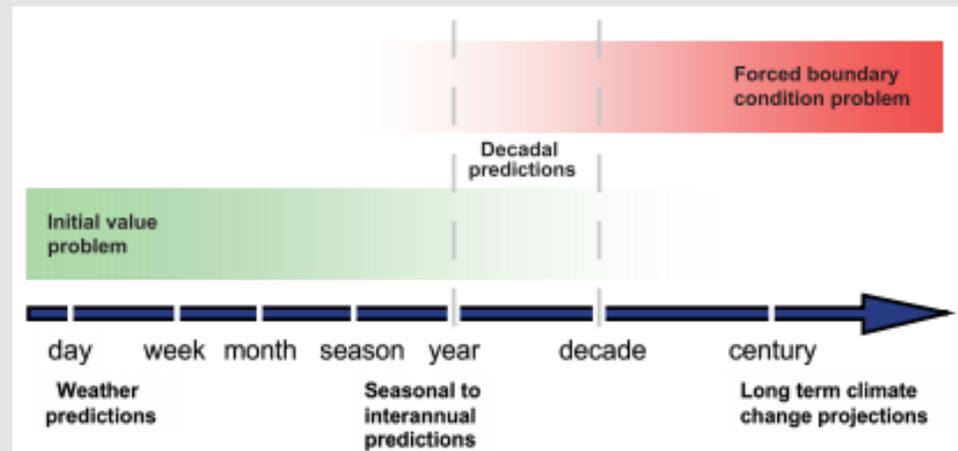


Fonte: Laurent Fairhead (Laboratório de Meteorologia Dinâmica, Paris, França).

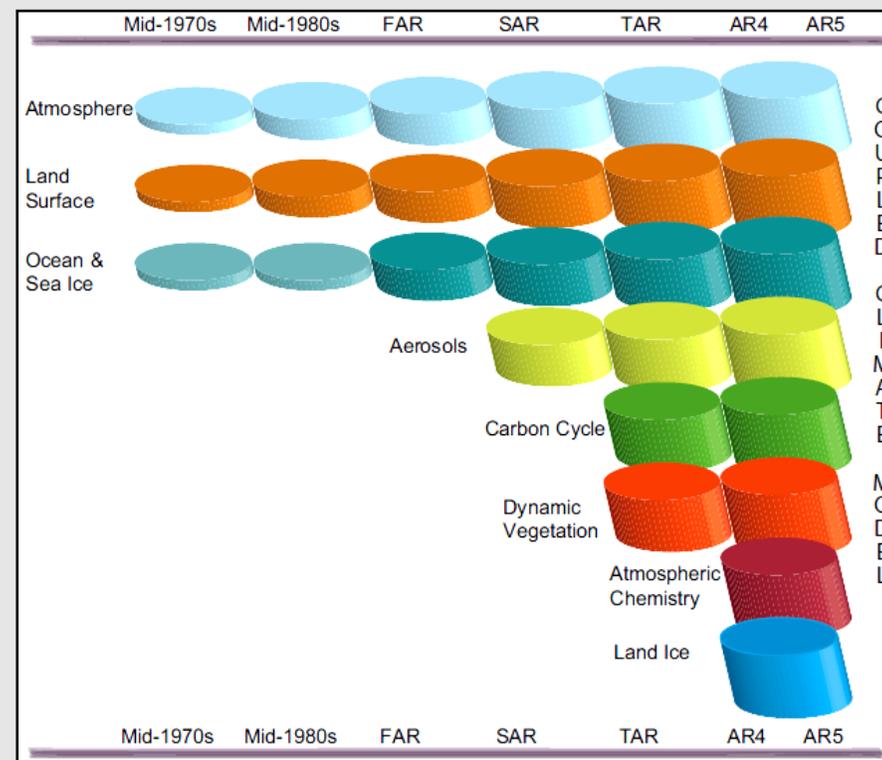
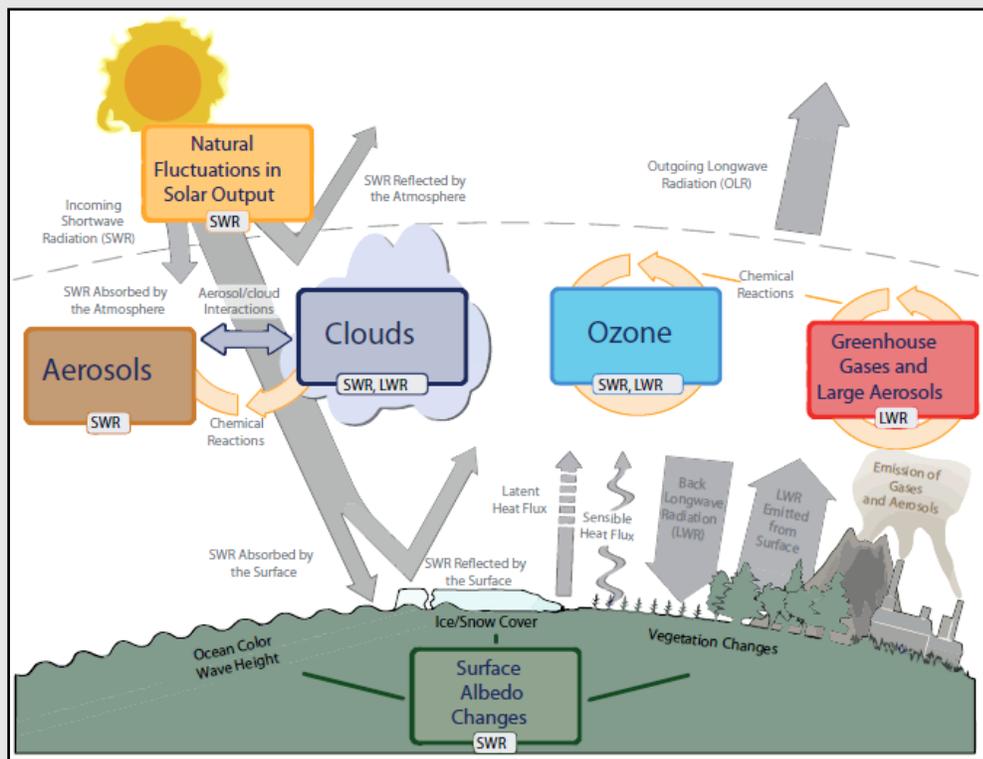


Precipitação, Umidade, Temperatura, Vento, Pressão, etc.

- Vale destacar que **incertezas** quanto ao estado futuro da atmosfera podem ser geradas pelos modelos numéricos que representam uma **aproximação da complexidade dinâmica do escoamento atmosférico** e das características fisiográficas.
- Além disso, as **observações meteorológicas estão sujeitas a erros** que podem estar relacionados aos instrumentos de medida ou ao processamento e à transmissão dos dados.
- A própria **assimilação de dados** pode expressar incerteza em virtude do método matemático adotado ou em função das áreas onde **não há observação**.
- Em termos de projeções futuras, é difícil saber qual o exato **futuro cenário socioeconômico** do planeta.

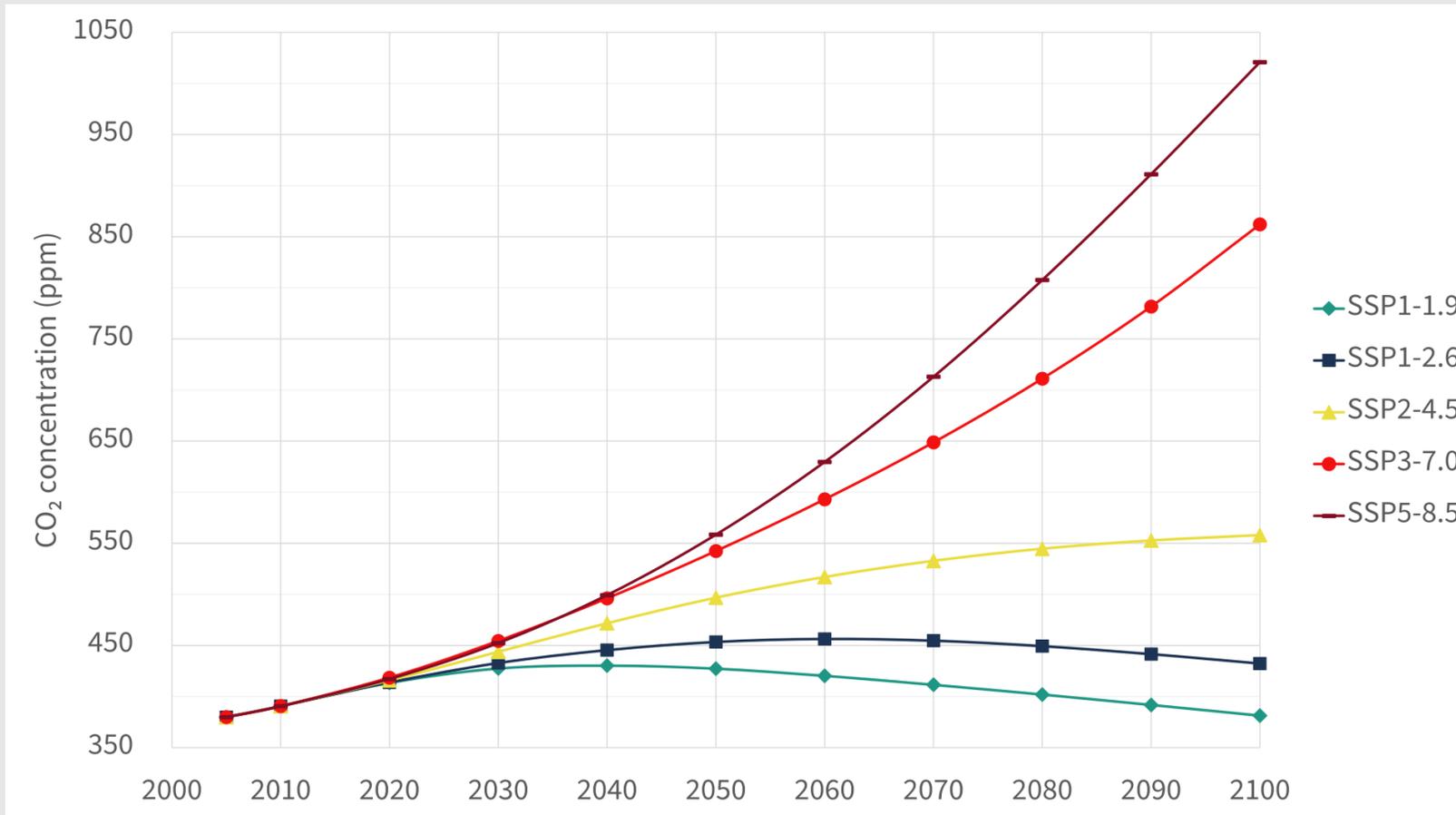


# Cenários e Projeções Climáticas



# IPCC – AR6 (2021)

## SSP – Shared Socioeconomic Pathways



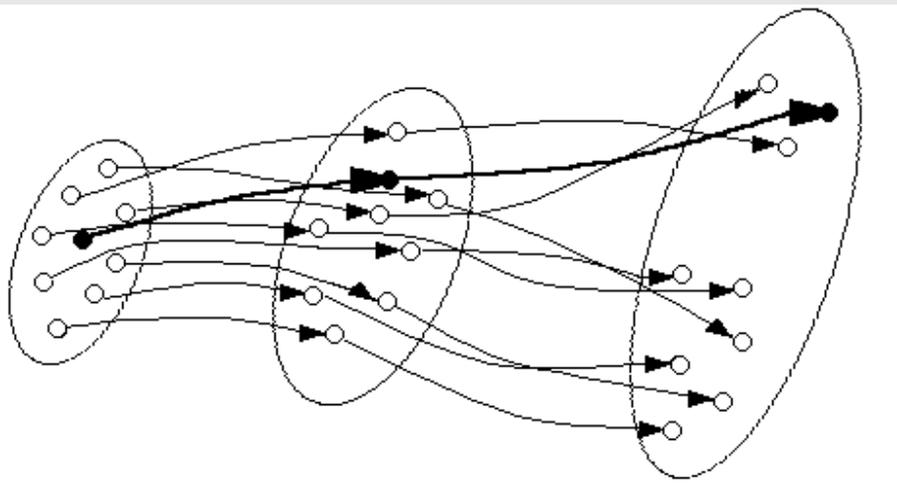
## O AQUECIMENTO GLOBAL ULTRAPASSARÁ 1,5°C ANTES DO MEIO DO SÉCULO, MAS PODE SER REDUZIDO ABAIXO DISSO NO FIM DO SÉCULO COM AÇÃO AMBICIOSA IMEDIATA.

- O AR6 tem uma nova série de cenários de emissões, o **CMIP6** (sigla em inglês para “Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Versão 6”).
- São cinco cenários, dois de baixas emissões (**SSP1-1.9** e **SSP1-2.6**), um de médias emissões (**SSP2-4.5**) e dois de altas emissões (**SSP3-7** e **SSP5-8.5**).
- A temperatura global em 2081-2100 **muito provavelmente** será **1°C a 1,8°C mais alta** do que entre 1850 e 1900 no melhor cenário de emissões e de **3,3°C a 5,7°C mais alta** no pior cenário.

### Projeções de temperatura de acordo com o cenário, em graus Celsius

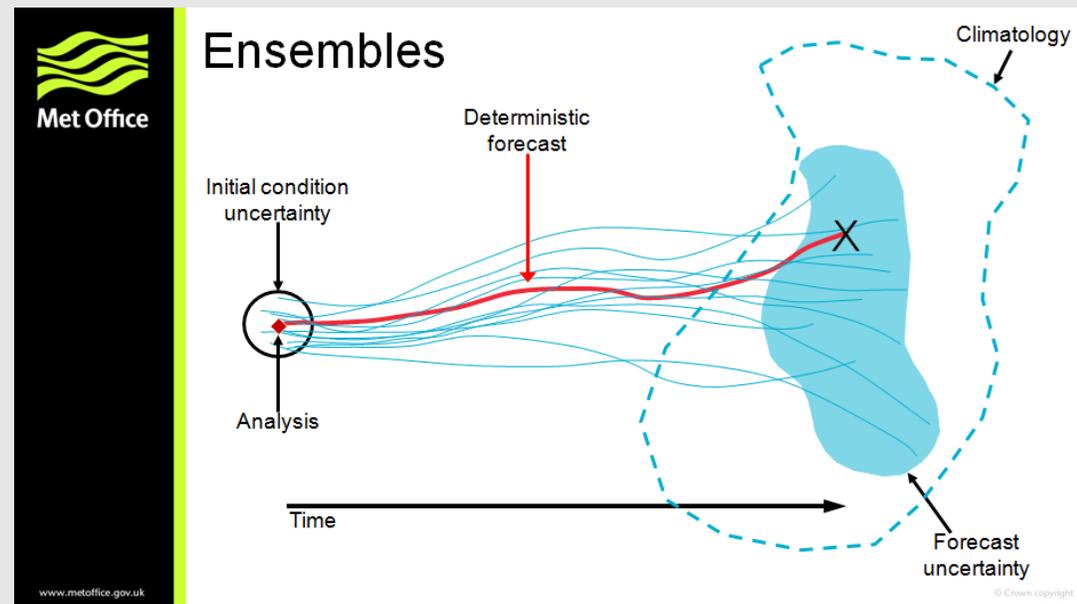
Cenário	Curto prazo (2021-2040)		Médio prazo (2041-2060)		Longo prazo (2081-2100)	
	Estimativa central	Variação muito provável	Estimativa central	Variação muito provável	Estimativa central	Variação muito provável
SSP1-1.9	1,5	1,2 a 1,7	1,6	1,2 a 2	1,4	1 a 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 a 1,8	1,7	1,3 a 2,2	1,8	1,3 a 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 a 1,8	2	1,6 a 2,5	2,7	2,1 a 3,5
SSP3-7	1,5	1,2 a 1,8	2,1	1,7 a 2,6	3,6	2,8 a 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 a 1,9	2,4	1,9 a 3	4,4	3,3 a 5,7

Fonte: Wilks (2011)  
*Statistical Methods in the  
Atmospheric Sciences.*

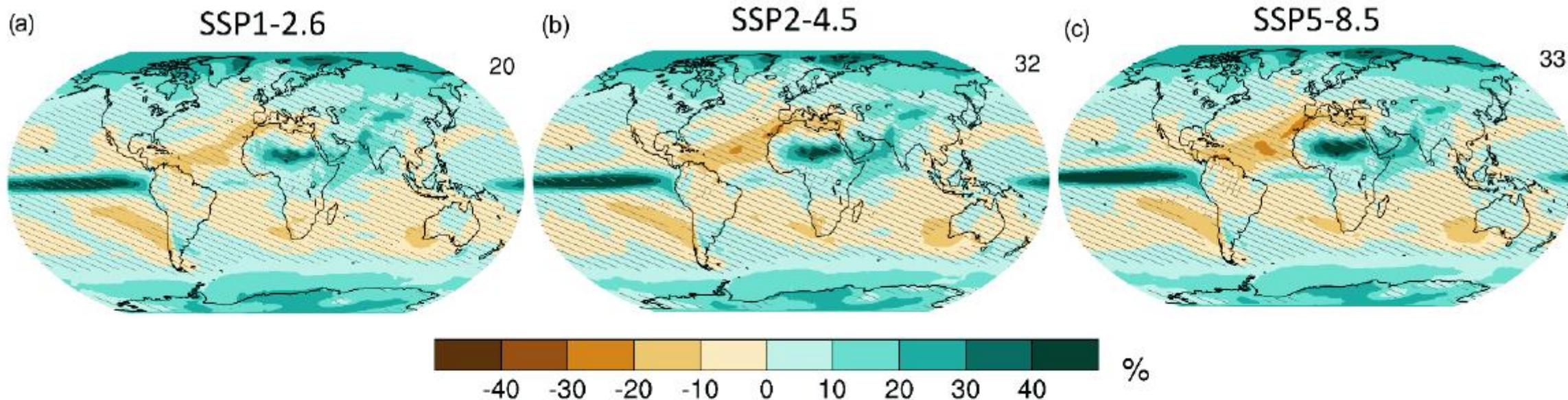


- Uma maneira de **reduzir a influência do caos** e tentar estruturar uma previsão de tempo ou de clima um pouco mais realista é utilizar a técnica de **previsão por conjunto** (*ensemble forecasting*).

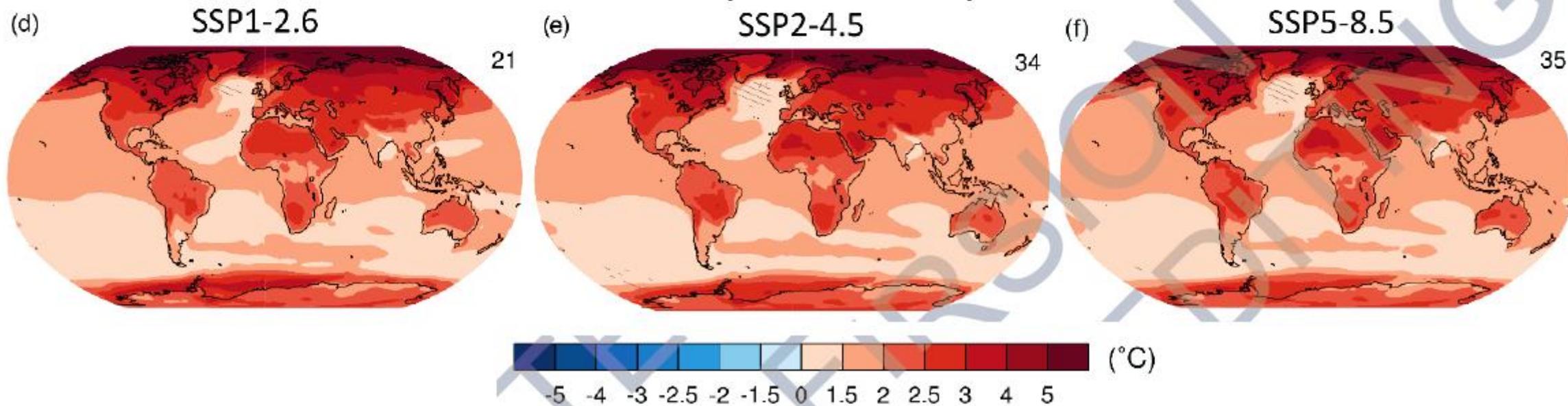
- A **dispersão das previsões** indica que quando a divergência das previsões for relativamente menor, a média do conjunto (*ensemble mean*) será relativamente mais fidedigna.



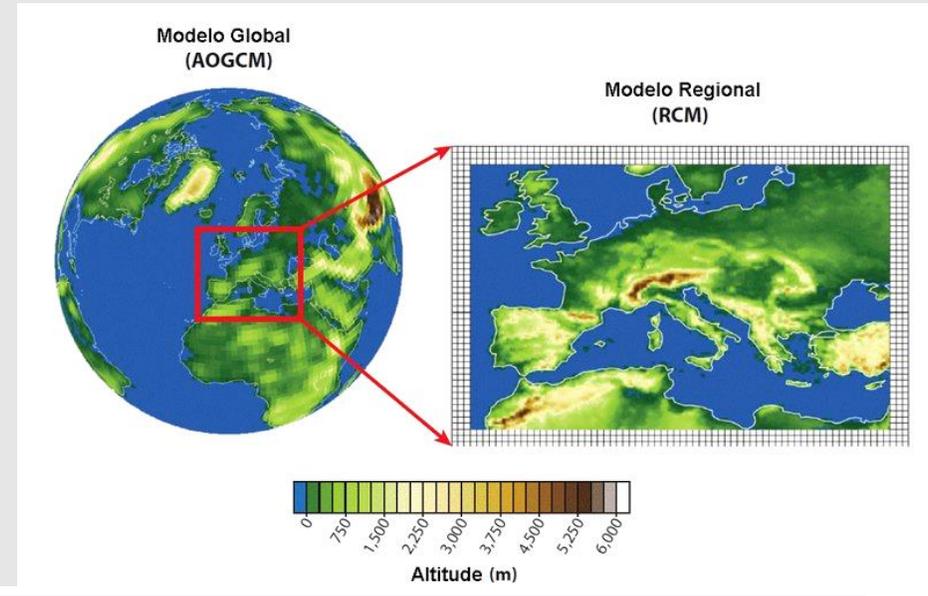
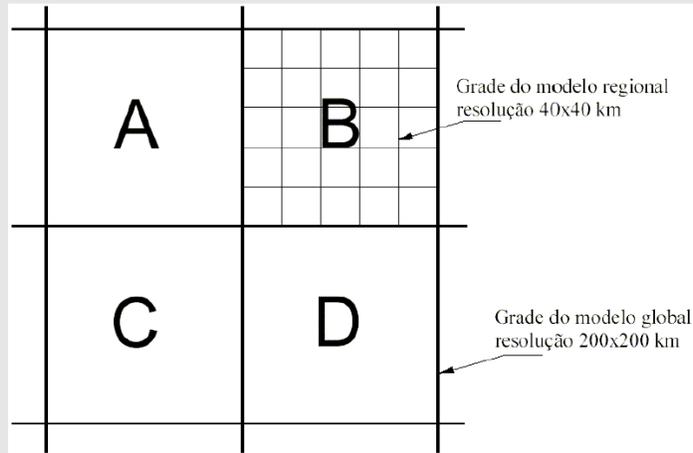
# Annual mean precipitation response at 2°C



# Annual mean temperature response at 2°C



# Downscaling Dinâmico



## Regionalização no CPTEC/INPE

### Modelo Global

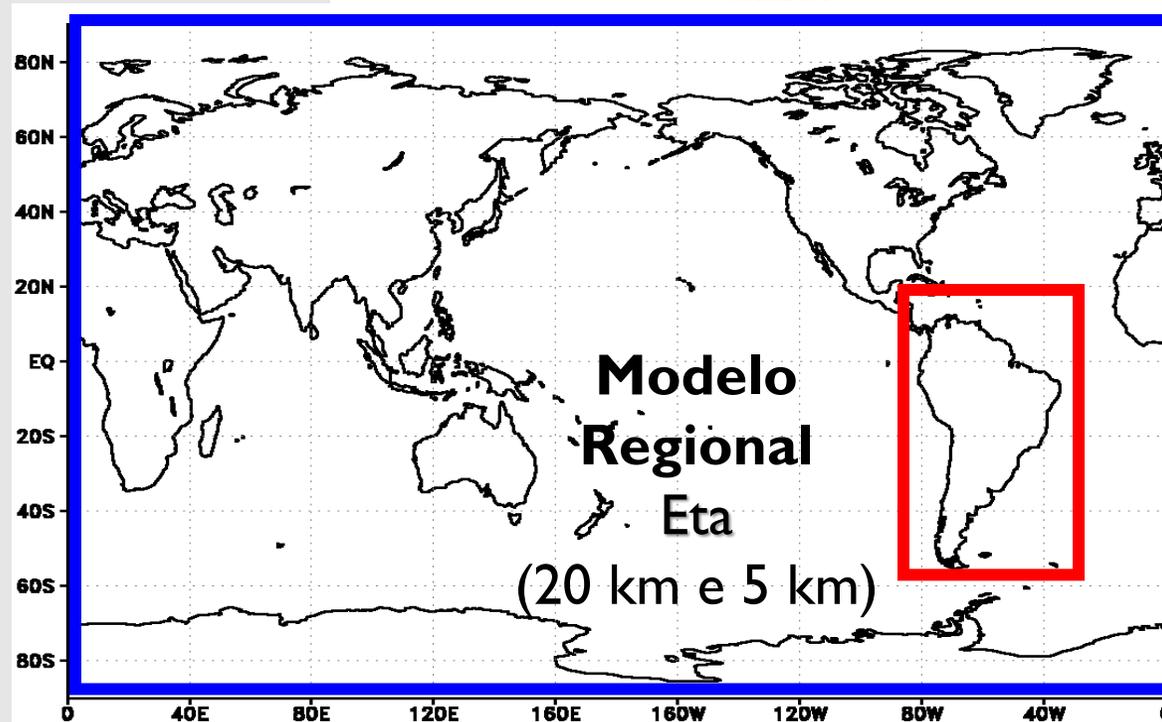
BESM

CANESM

HadGEM2-ES

MIROC5

(~200 km)



# Projeções Futuras Temperatura

Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios (Chou et al., 2014)

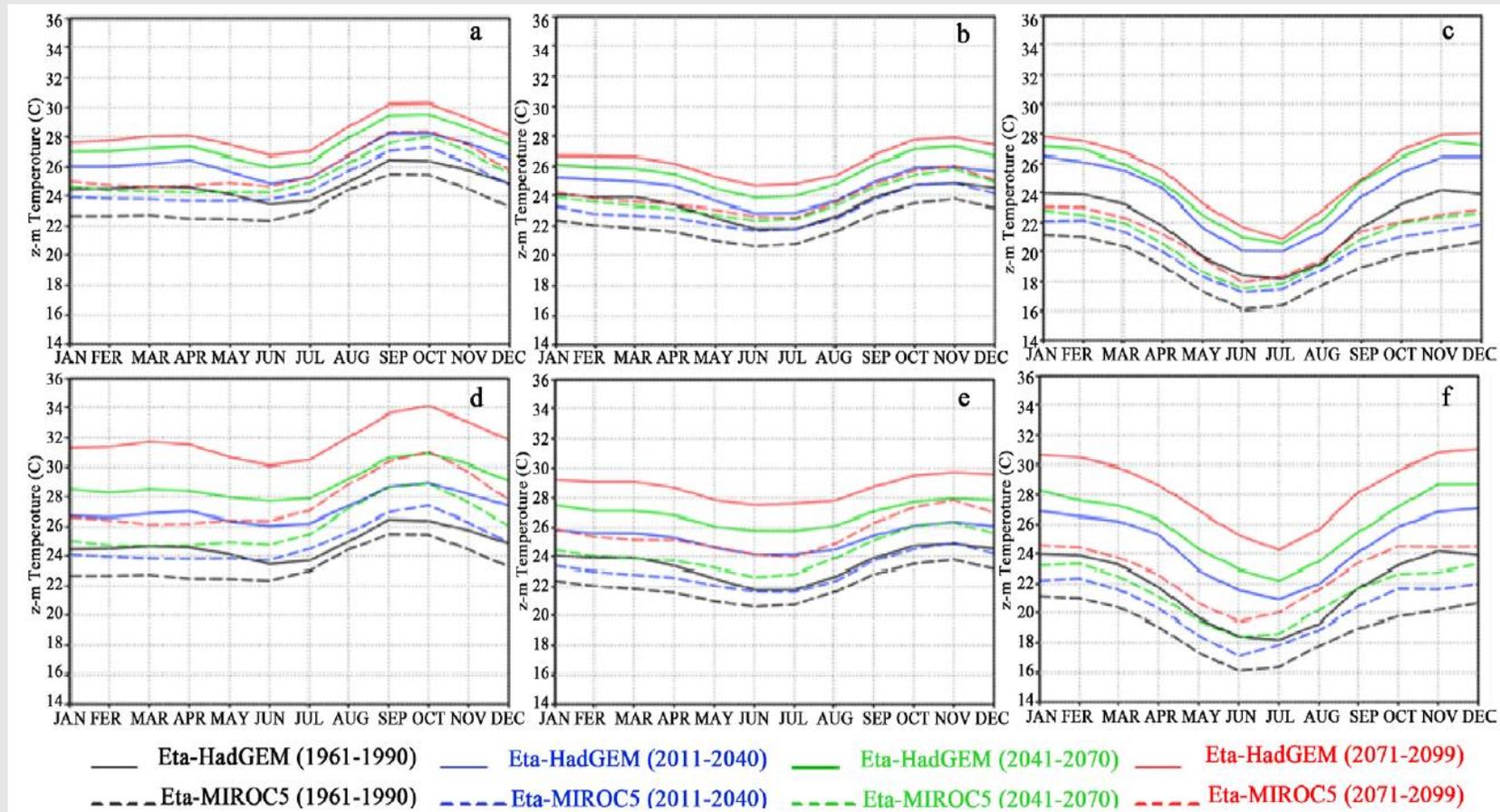
Norte

Nordeste

Centro-Sul

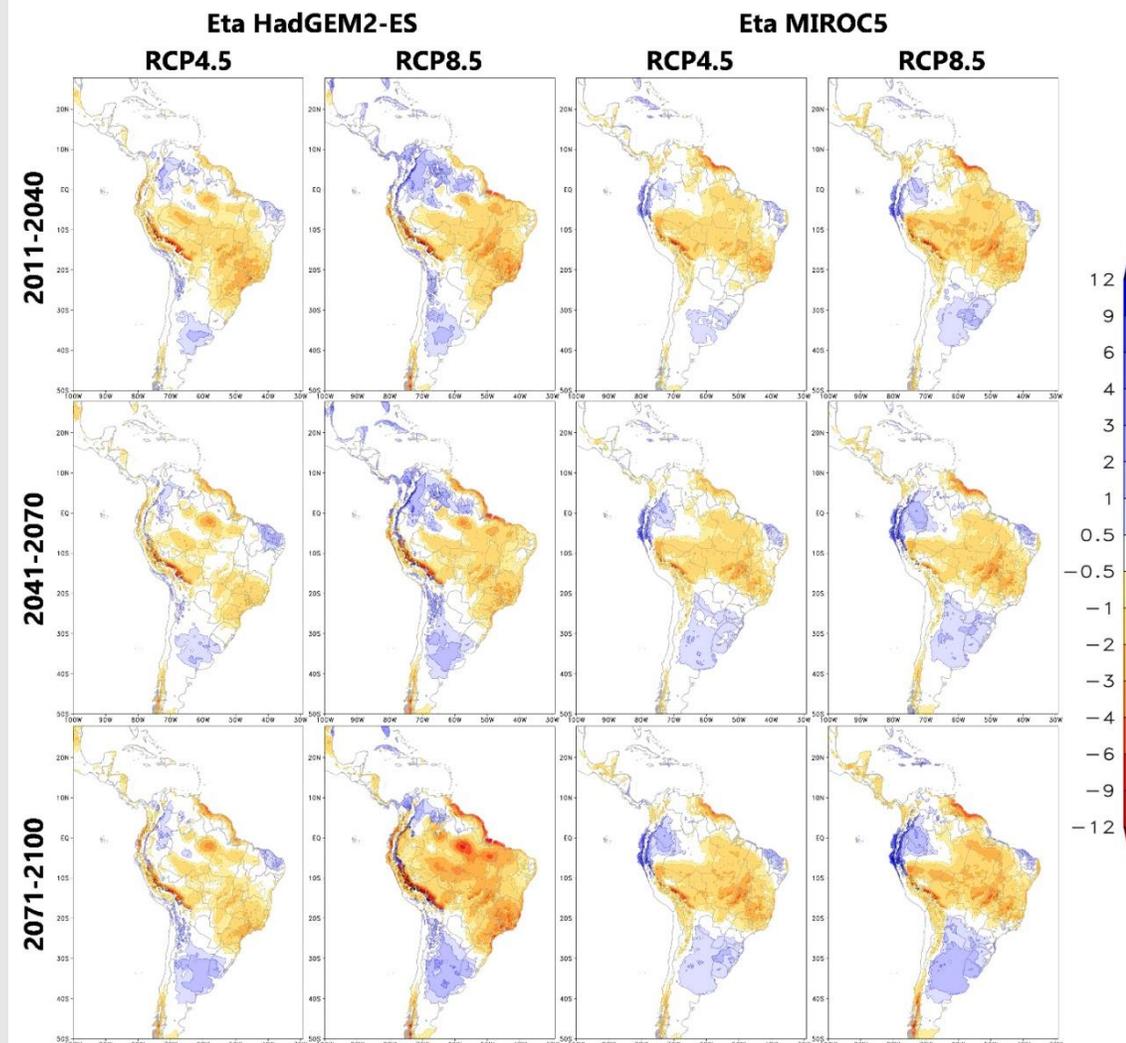
RCP4.5

RCP8.5



**1961-1990**   **2011-2040**   **2041-2070**   **2071-2100**

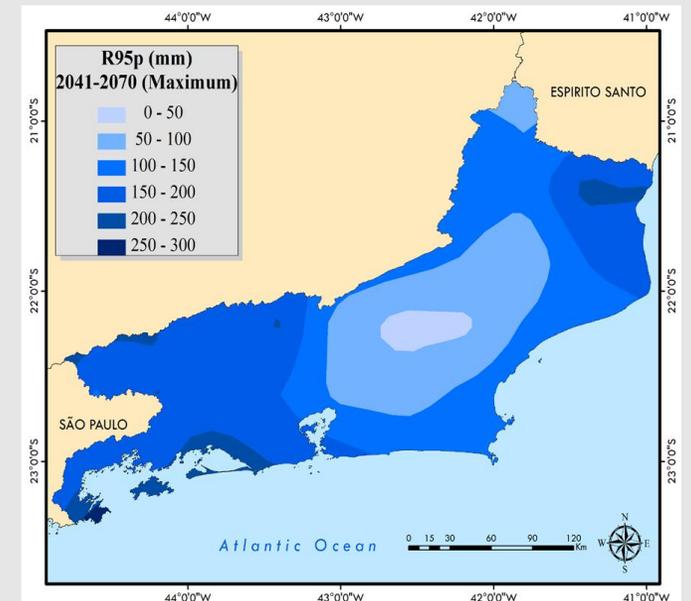
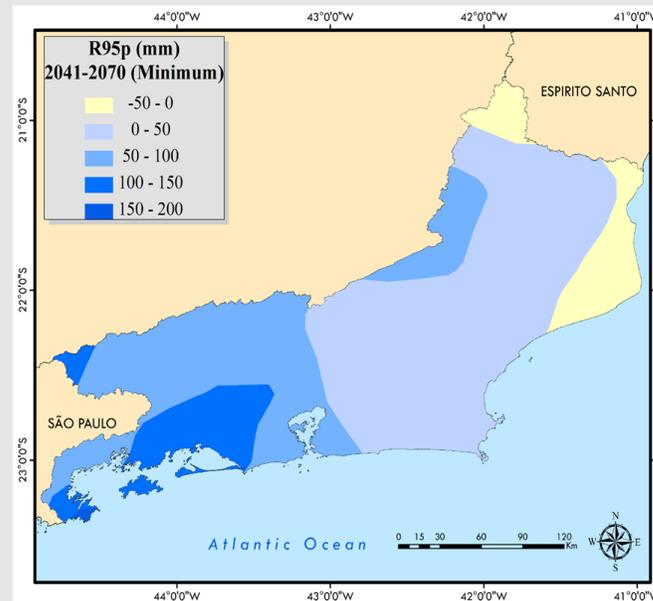
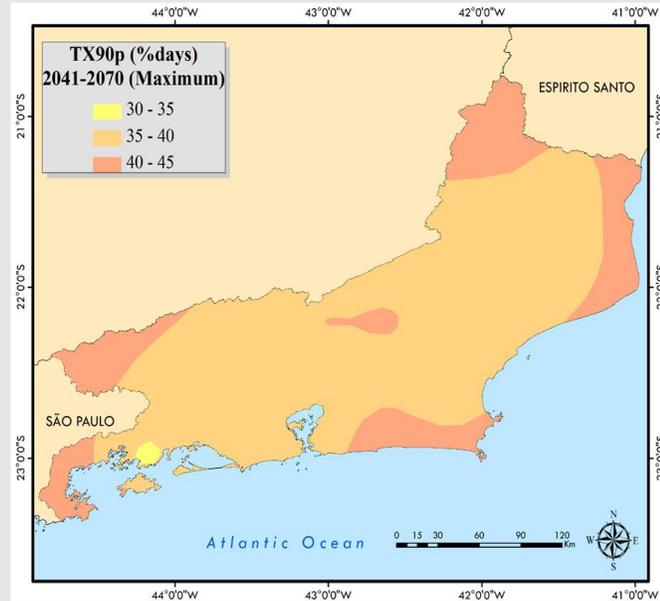
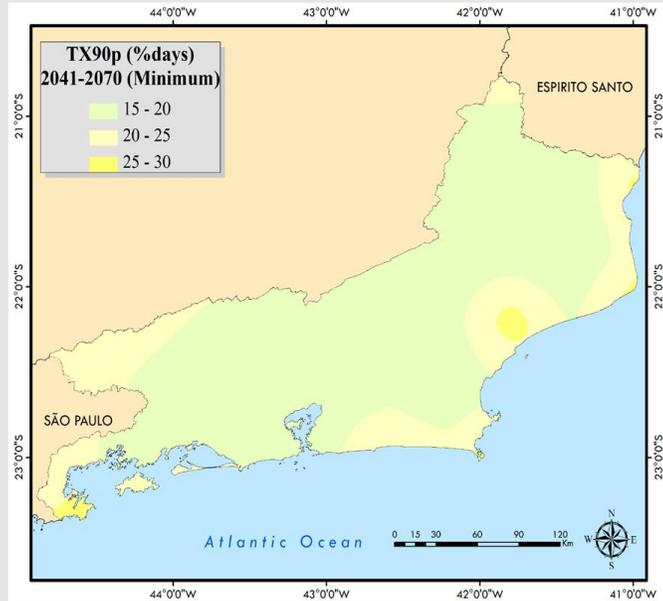
# Projeções Futuras Precipitação



Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios (Chou et al., 2014)

Diferença da precipitação média (mm/dia) no verão, entre os períodos do futuro e do presente (1961-1990). As colunas da esquerda para direita referem-se às seguintes simulações, respectivamente: Eta-HadGEM2-ES RCP4.5; Eta-HadGEM2-ES RCP8.5; Eta-MIROC5 RCP4.5; e Eta-MIROC5 RCP8.5. Os períodos futuros são 2011-2040 (linha superior), 2041-2070 (linha intermediária) e 2071-2100 (linha inferior).

# Projeções Futuras de Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro



**Future Changes in Temperature and Precipitation  
Extremes in the State of Rio de Janeiro (Brazil) –  
*Luiz-Silva et al. (2014) / American Journal of Climate Change***



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Applied Computing and Geosciences

journal homepage: [www.sciencedirect.com/journal/applied-computing-and-geosciences](http://www.sciencedirect.com/journal/applied-computing-and-geosciences)



Forecast of convective events via hybrid model: WRF and machine learning algorithms

Yasmin Uchôa da Silva<sup>a,\*</sup>, Gutemberg Borges França<sup>a</sup>, Heloisa Musetti Ruivo<sup>b</sup>, Haroldo Fraga de Campos Velho<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Meteorologia Aplicada, Departamento de Meteorologia-IGEO-CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio De Janeiro, Brazil

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, Brazil

- O trabalho apresenta um modelo híbrido de previsão de 24 horas de eventos convectivos com base em simulação numérica e algoritmos de aprendizado de máquina.
- Para caracterizar os eventos convectivos, são investigados dados de precipitação de 13 anos (2008 a 2020) das principais estações aeroportuárias do Rio de Janeiro e descargas atmosféricas do entorno em cerca de 150 km.
- O modelo Weather Research and Forecasting (WRF) foi utilizado para simular numericamente as condições atmosféricas para todos os dias de fevereiro, por ser o mês com maior taxa diária de descarga atmosférica para o período de dados.
- **36 atributos (preditores) do modelo WRF foram identificados para o treinamento do algoritmos de aprendizagem de máquina.**



# Mudanças Climáticas: Tendências Observadas e Cenários Futuros de Extremos Climáticos

**Wanderson Luiz Silva**  
Professor e Pesquisador – UFRJ  
wanderson@igeo.ufrj.br

Algumas imagens e informações  
utilizadas nessa apresentação podem  
conter direitos autorais.