



# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE

Lincoln Muniz Alves

[lincoln.alves@inpe.br](mailto:lincoln.alves@inpe.br)

São José dos Campos, 17 de julho de 2019

# CIÊNCIA EM BENEFÍCIO DA SOCIEDADE

---

O Centro de Ciência do Sistema Terrestre é um órgão de pesquisa, desenvolvimento e inovação do INPE e teve início em agosto de 2008, após o instituto identificar a necessidade de priorizar temas relacionados às mudanças ambientais globais e climáticas que ora se colocam como desafios para o futuro.

## MISSÃO

---

Gerar conhecimentos interdisciplinares para o desenvolvimento nacional com igualdade, simetria, retidão, imparcialidade, conformidade e para redução dos impactos ambientais no Sistema Terrestre. Fornecer informações técnico-científicas de qualidade para orientar políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças ambientais globais.

# NOVO CONCEITO

*Organização do CCST em componentes integradas através de projetos transversais, visando à construção de cenários de sustentabilidade para o Brasil.*

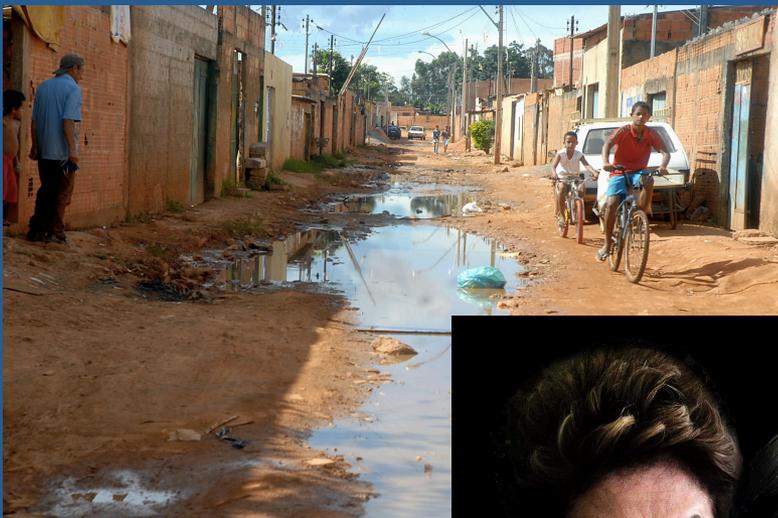


## O CCST CONTRIBUI:

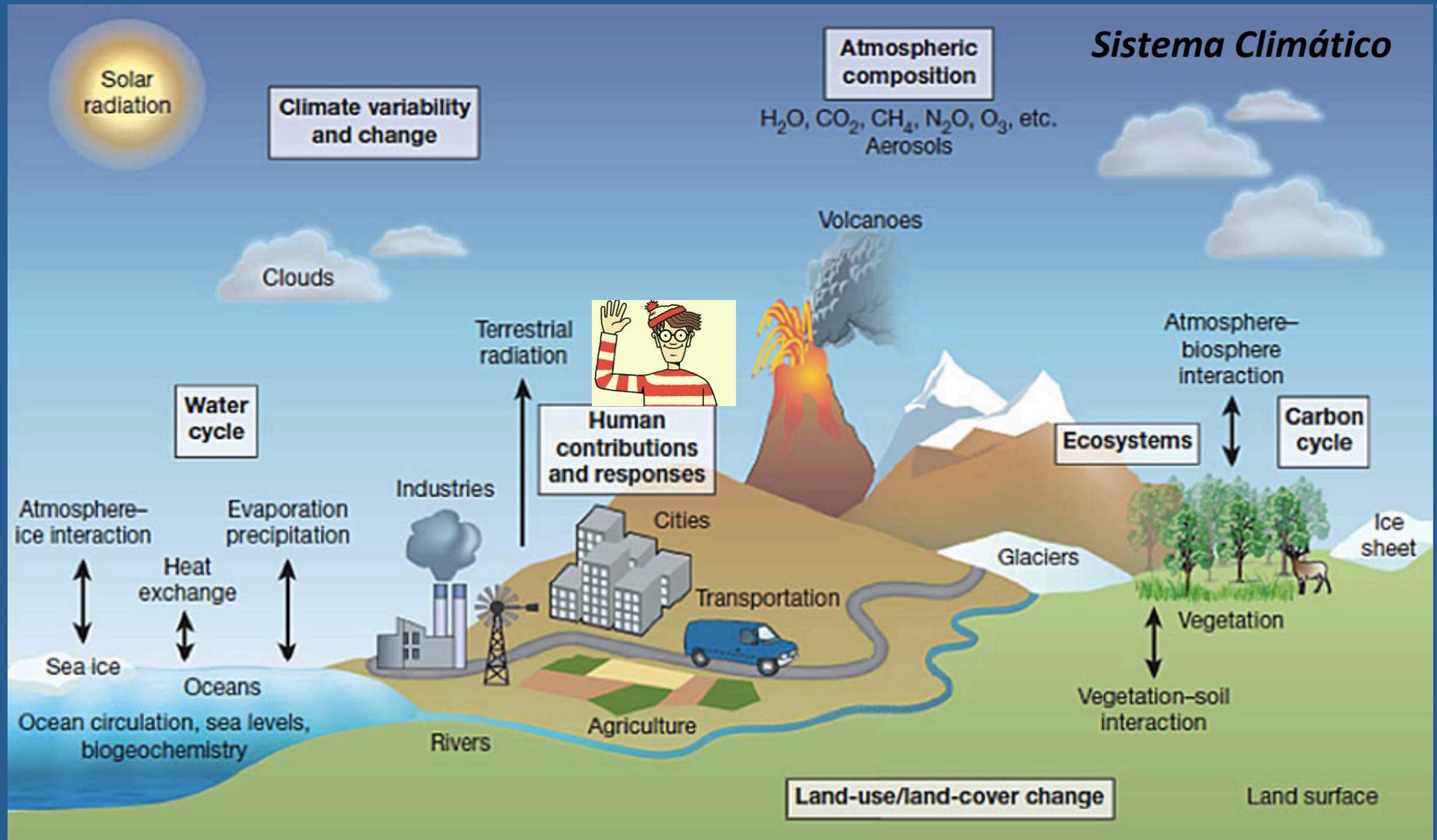
---

- ✓ Na elaboração da Política e do Plano Nacional de Mudanças Climáticas.
- ✓ Na coordenação executiva do Programa Fapesp de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais.
- ✓ No exercício da Secretaria Executiva da Rede Brasileira de Pesquisas de Mudanças Climáticas e do INCT para Mudanças Climáticas.
- ✓ Na implantação de competências para gerar cenários de mudanças ambientais globais e seus efeitos no país e na América Latina.
- ✓ No apoio integral ao Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e aos trabalhos do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.
- ✓ Na democratização e divulgação da ciência das mudanças climáticas globais, através da difusão do conhecimento para os diferentes públicos – área educacional em todos os níveis, meios de comunicação e responsáveis por políticas públicas nas esferas municipal, estadual e federal.
- ✓ No fornecimento de subsídios científicos e tecnológicos ao governo para participar ativamente dos grandes fóruns de negociação ambiental internacional.

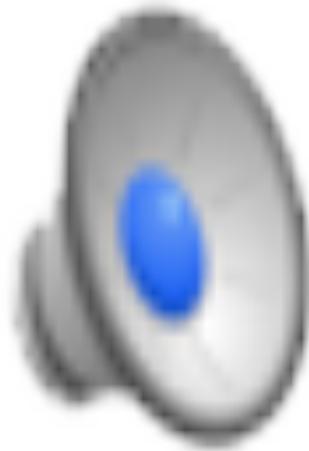
# PORQUE FALAR DE TEMAS AMBIENTAIS?



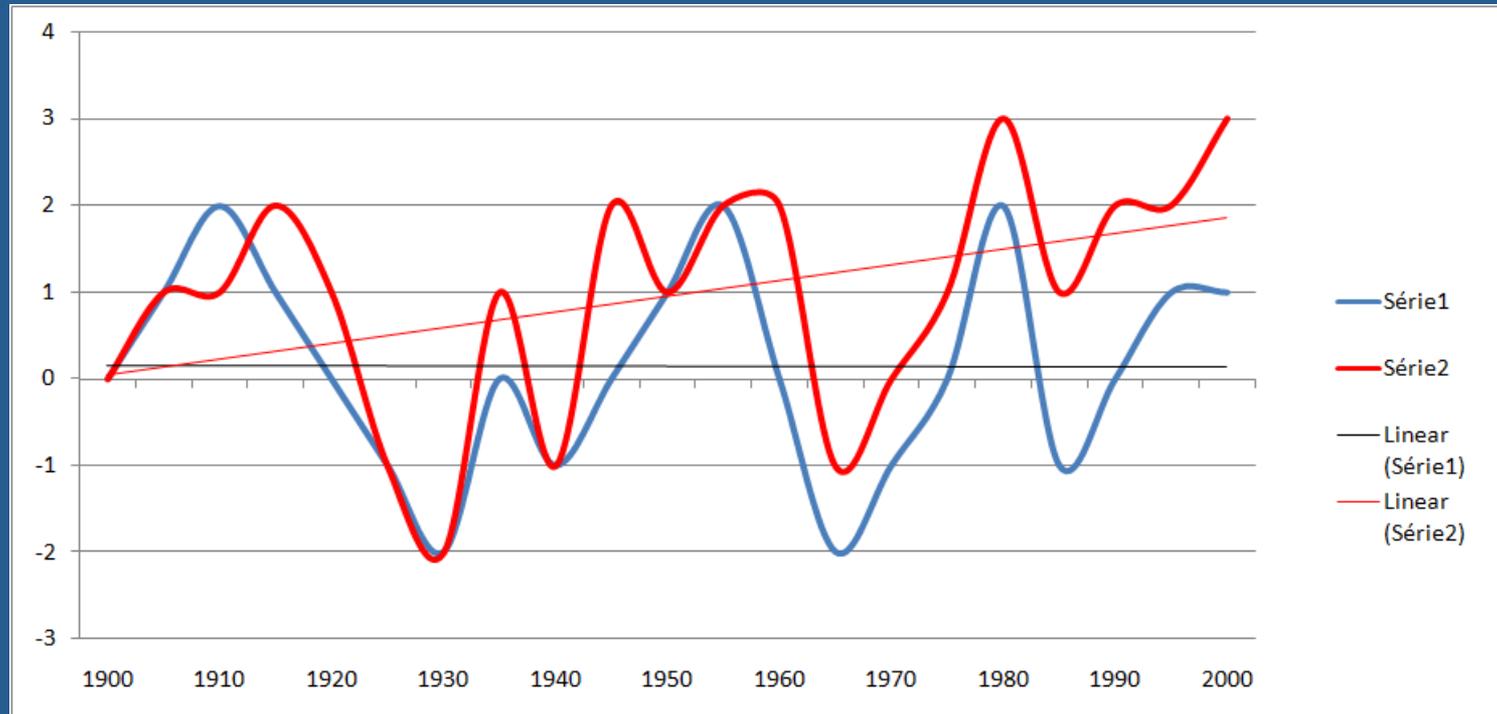
# POR ONDE COMEÇAR?



# PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL



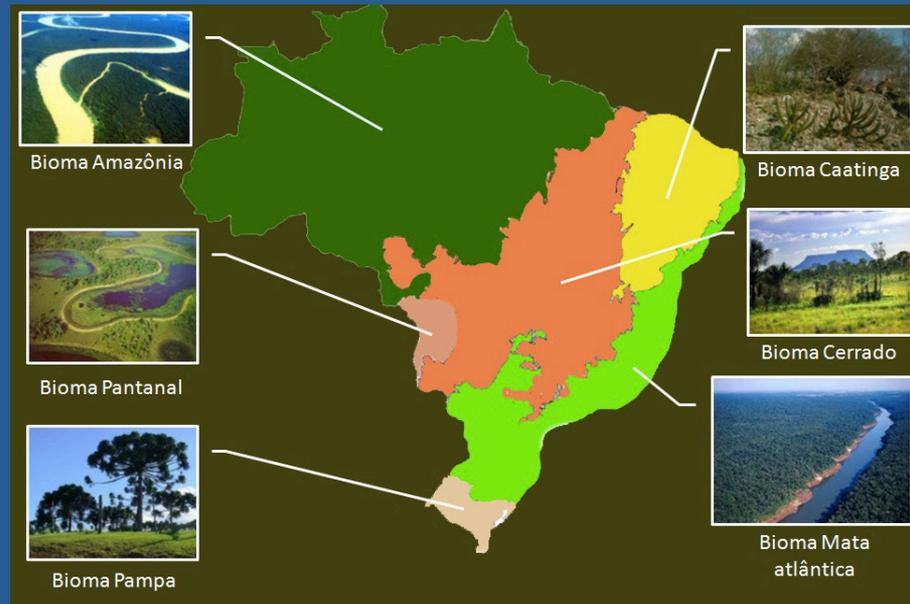
# Variabilidade Climática versus Mudanças Climáticas

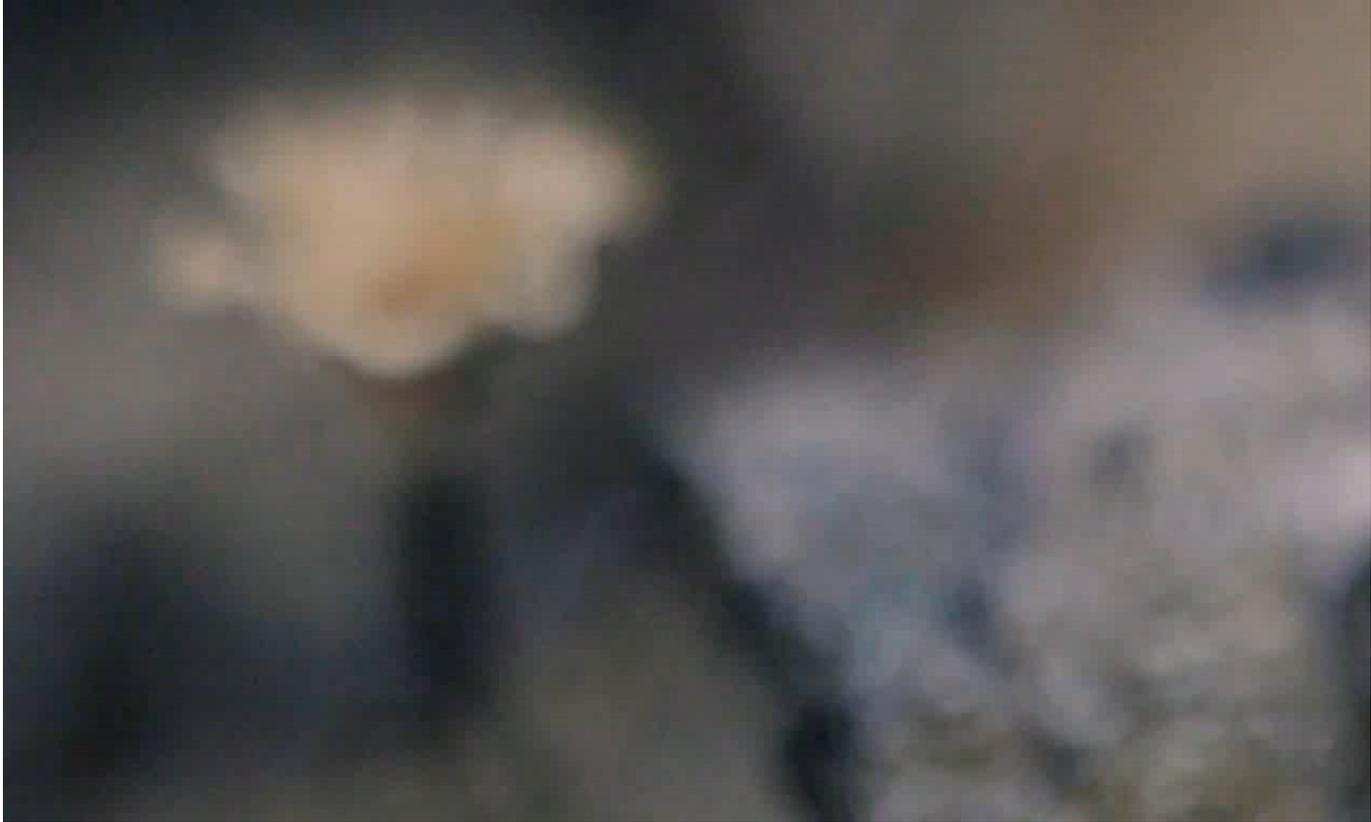


# O BRASIL POSSUI:



- O maior aquífero subterrâneo do mundo
- Uma das maiores florestas tropicais do mundo
- Rico em Biodiversidade

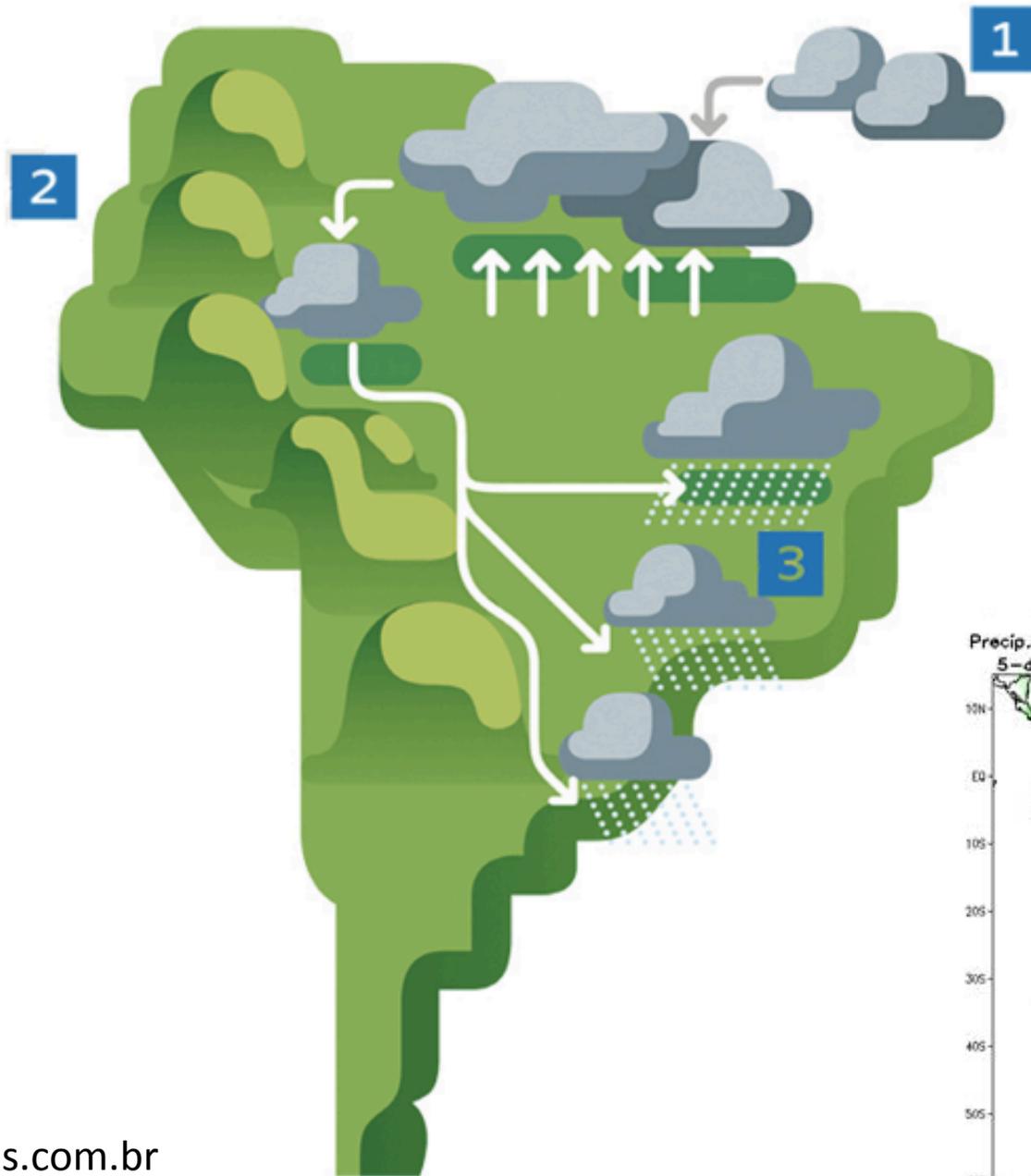




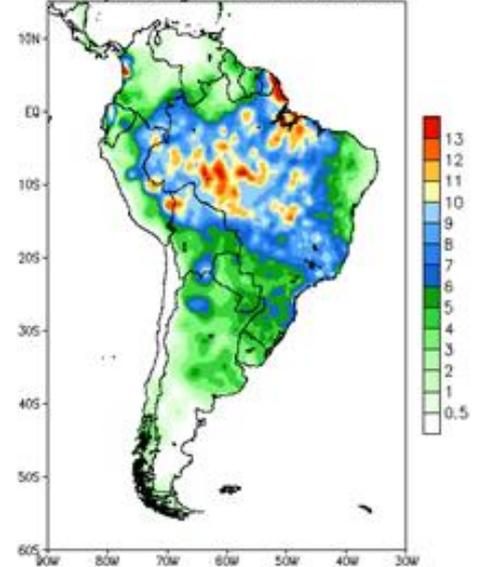
## AMAZÔNIA

- . Maior bacia hidrográfica (20% da água doce terrestre)
- . Maior descarga de água doce nos oceanos (~20%)
- . Evapotranspiração ~35% dos 3000mm que chove na amazônia
- . Produção de biomassa ~120PgC (10 a 15% do total global)

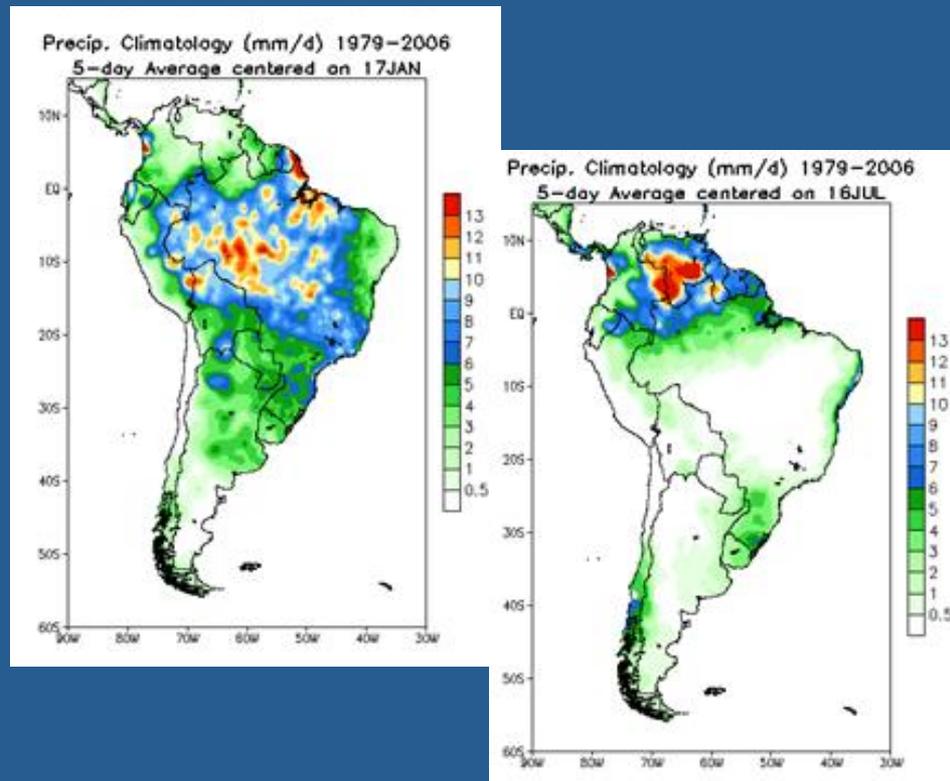
# RIOS VOADORES



Precip. Climatology (mm/d) 1979–2006  
5-day Average centered on 17JAN



# Brasil: Um País laboratório



- O Brasil é susceptível a vários riscos dependendo da sua posição geográfica e condições climáticas (ex.: El Niño)
- Extremos climáticos são frequentes
- Perdas econômicas e sociais para cada um desses eventos tem sido enormes

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS

---



- Vulnerabilidade aos Extremos Climáticos (secas e enchentes) e ações antrópicas (uso do solo)
- Mudança na variabilidade do ciclo sazonal da precipitação poderá gerar impactos de grande relevância social e ambiental

Água [D+ ou D-] = Problema

***VISÃO INTEGRADA***

# ALGUNS EXEMPLOS

Amazônia



Northeast

Southeast



## O olhar no retrovisor

---

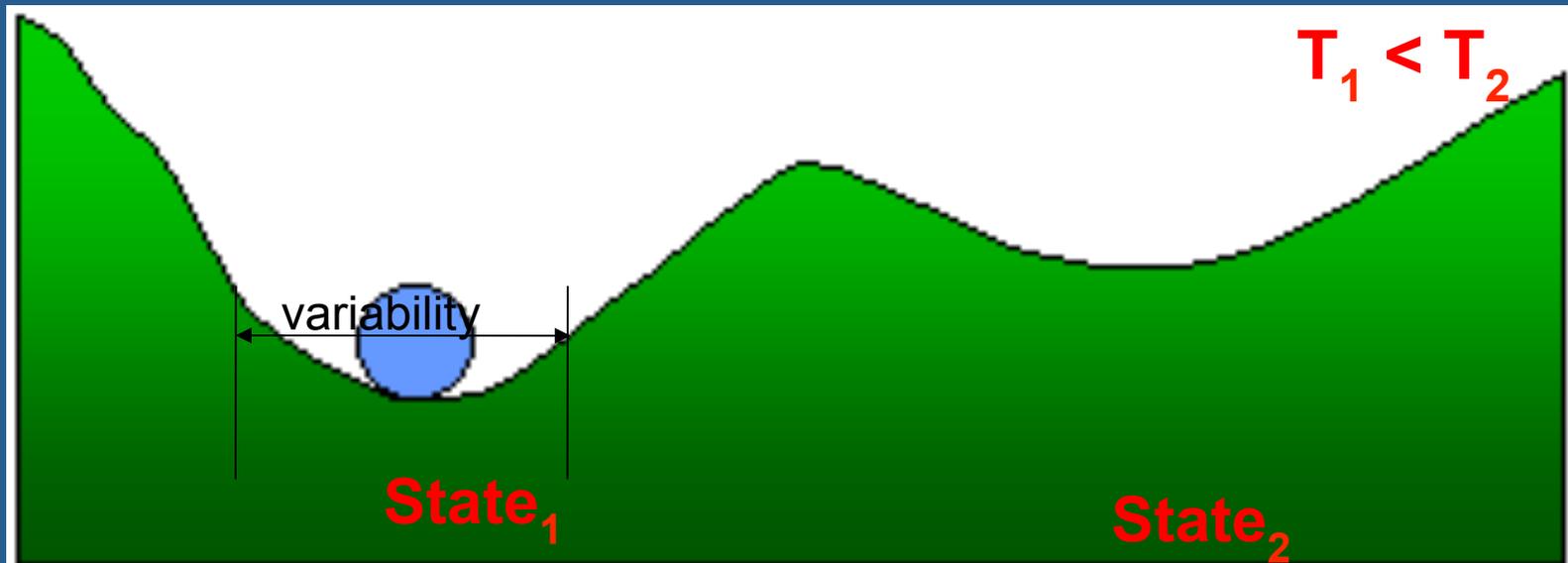


- Futuro será igual ao passado?

Rumo a um novo regime climático?

# CLIMA: Variabilidade x Mudança

---

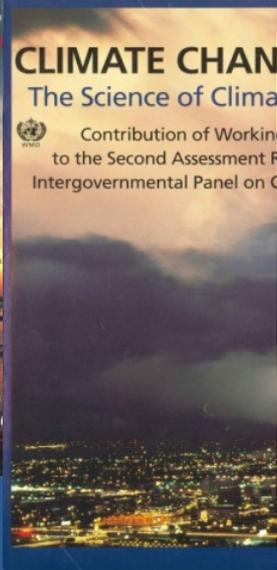


- ✓ Em regiões vulneráveis, eventos de tempo e clima ainda que não sejam extremos podem ter **impactos extremos**
- ✓ Talvez a maior dificuldade em convencer as pessoas sobre os problemas climáticos é a velocidade com que eles acontecem

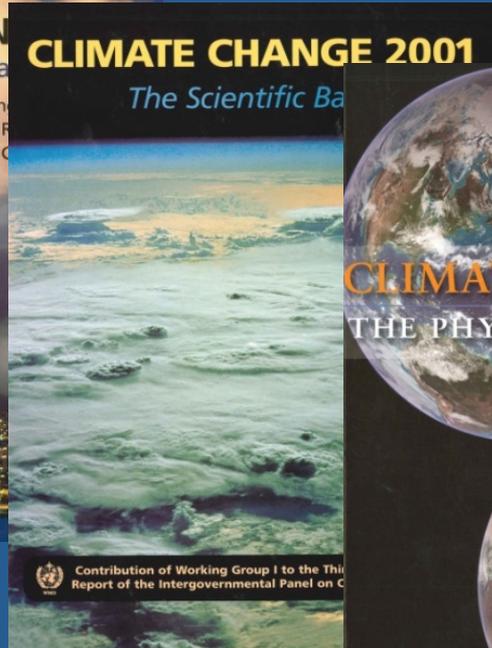
# PRINCIPAL FONTE DE INFORMAÇÃO



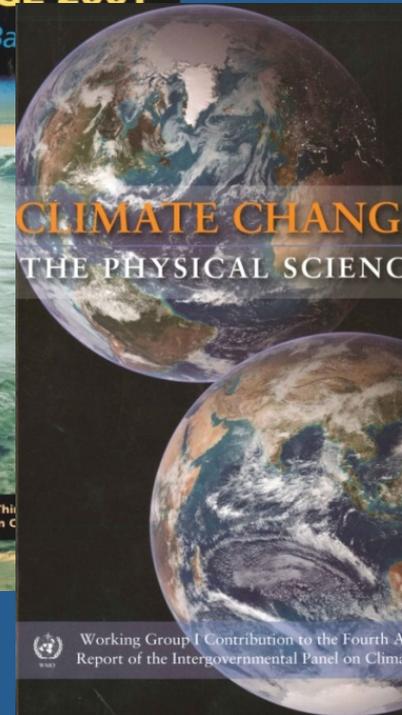
1990



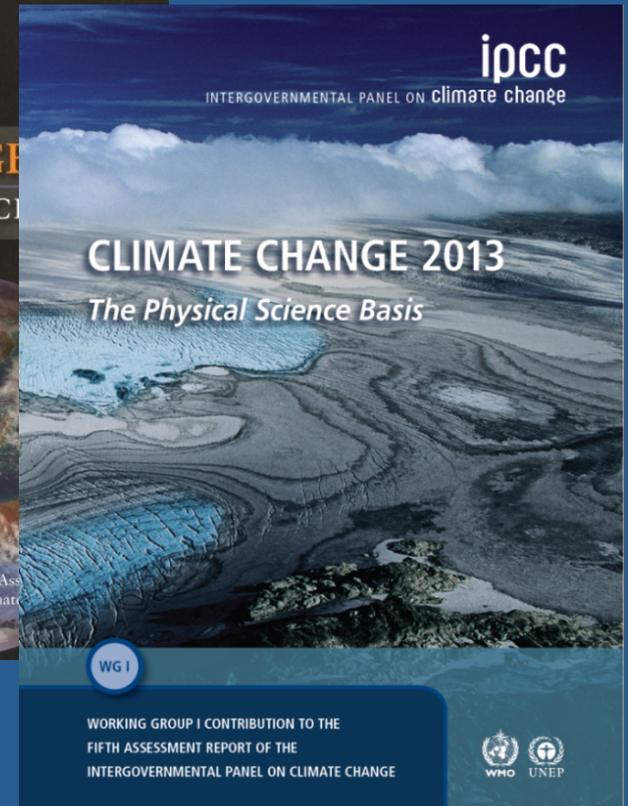
1995



2001



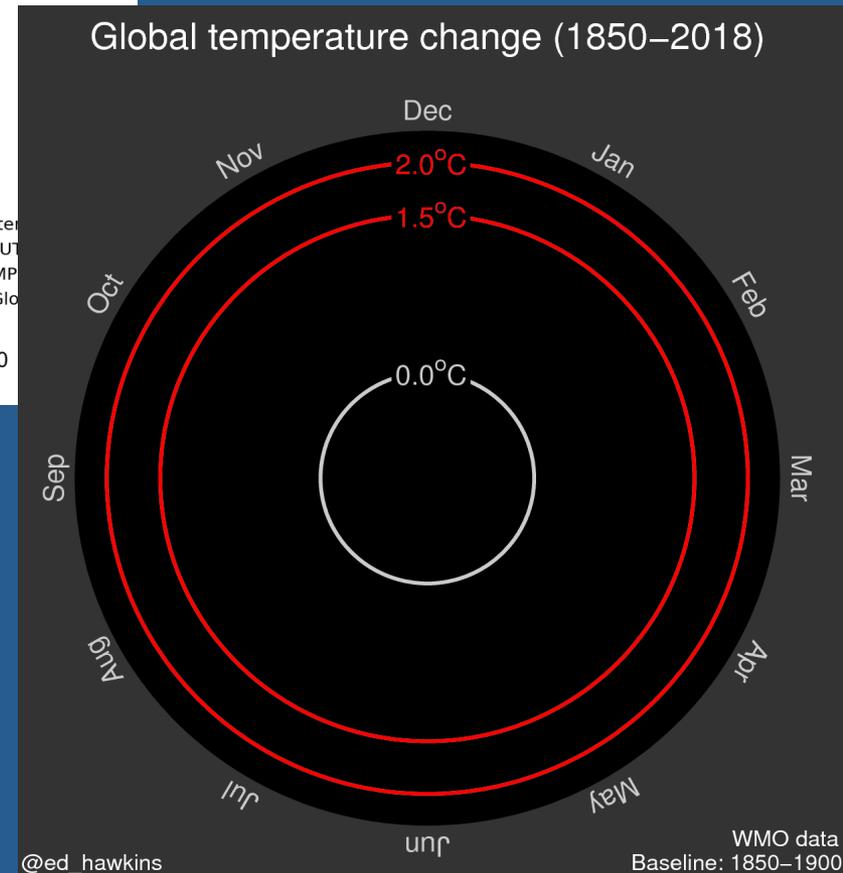
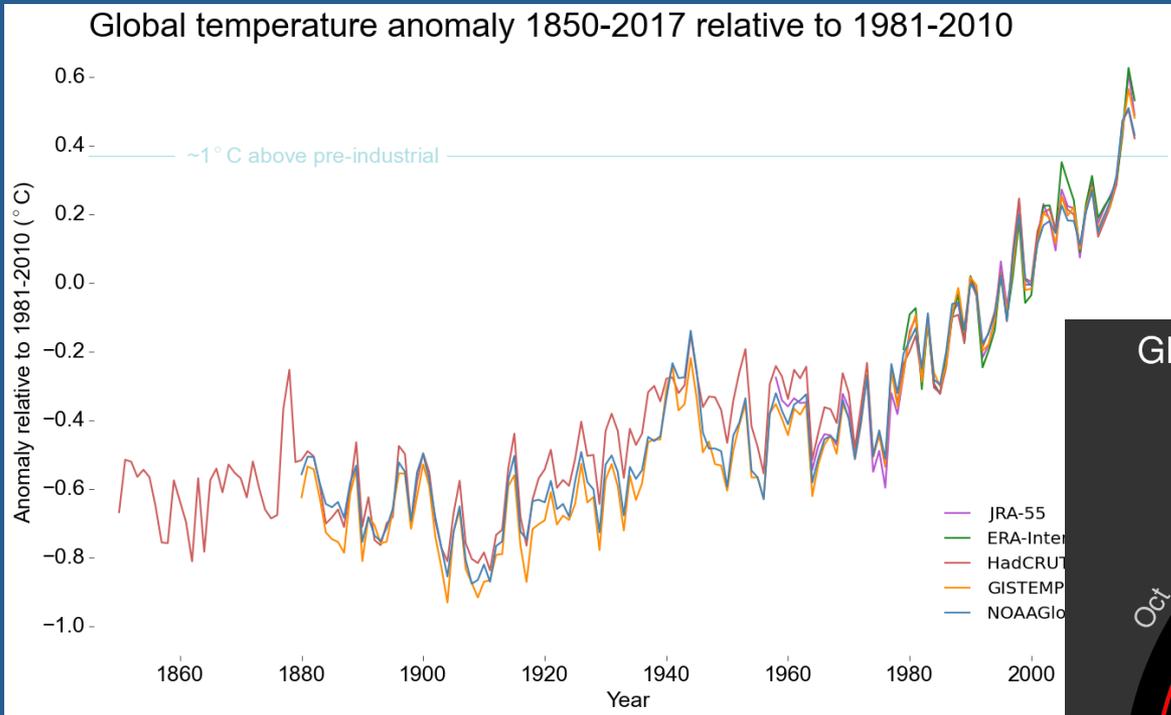
2007



2013

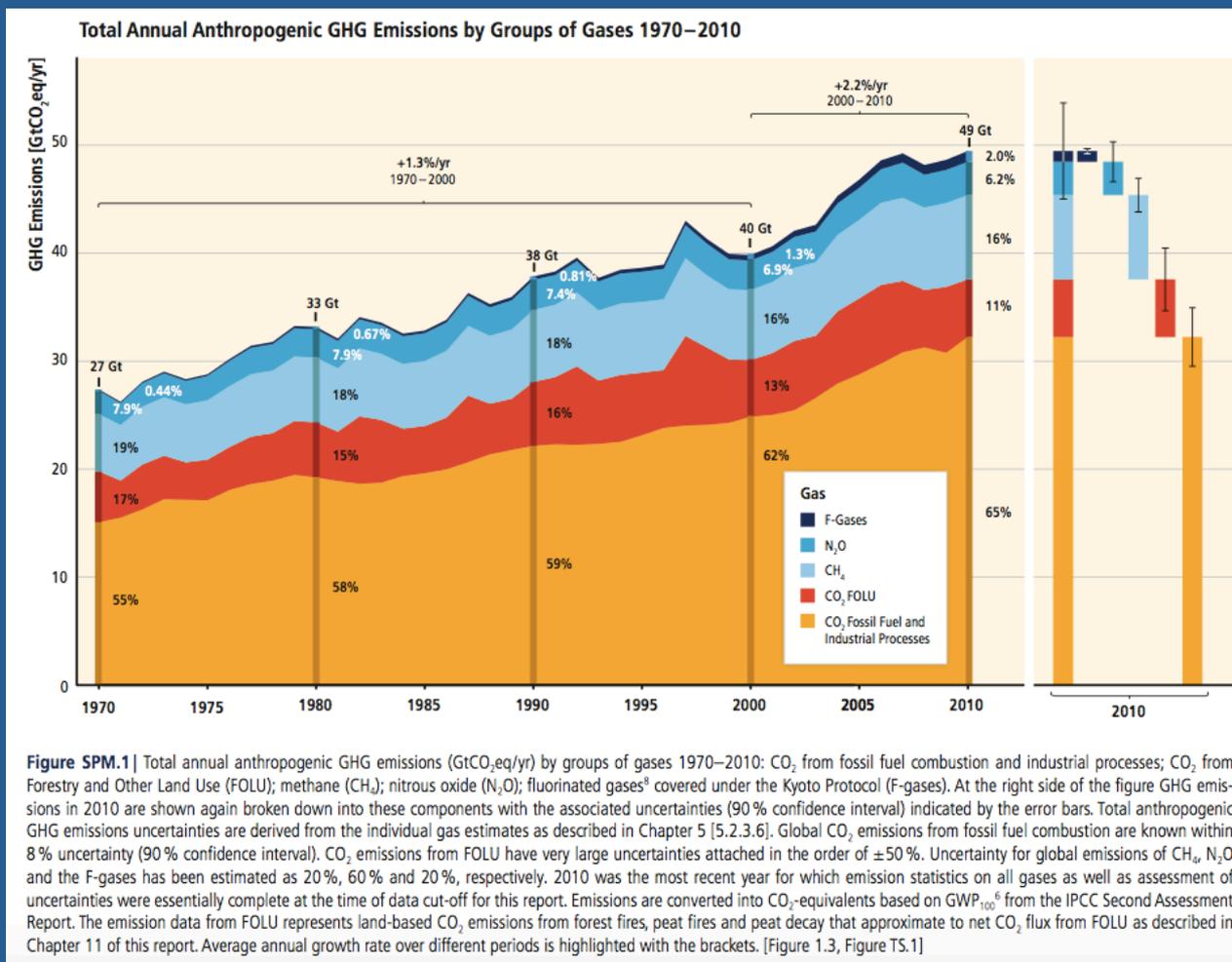
Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC

# Aumento da **TEMPERATURA** média global próxima à superfície está se intensificando



# GHG emissions growth between 2000 and 2010 has been larger than in the previous three decades

GHG Emissions [GtCO<sub>2</sub> eq/yr]

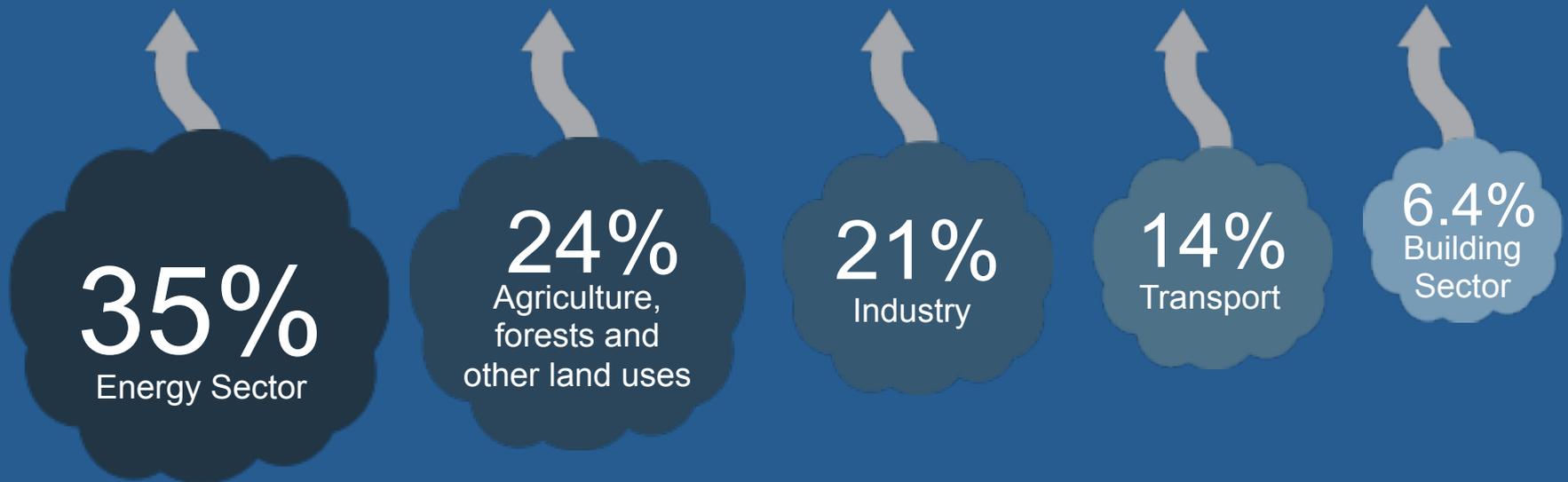


AR5 WGI SPM

# Sources of emissions

---

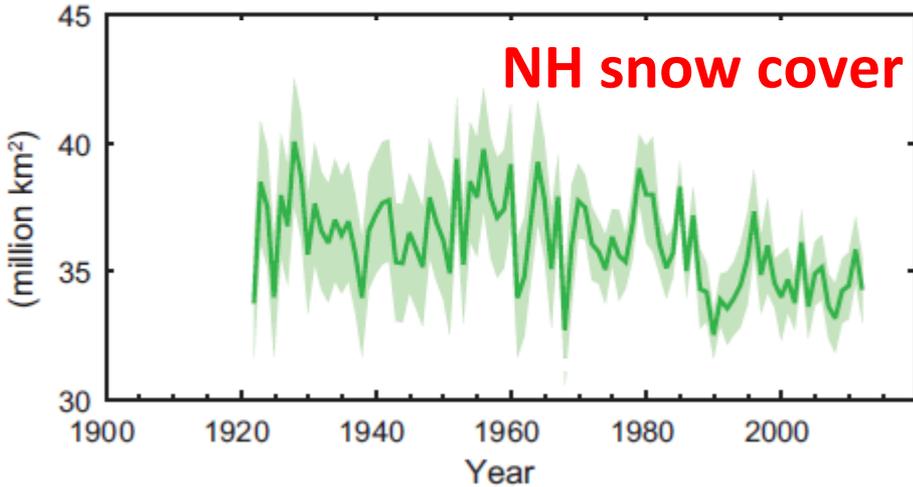
Energy production remains the primary driver of GHG emissions



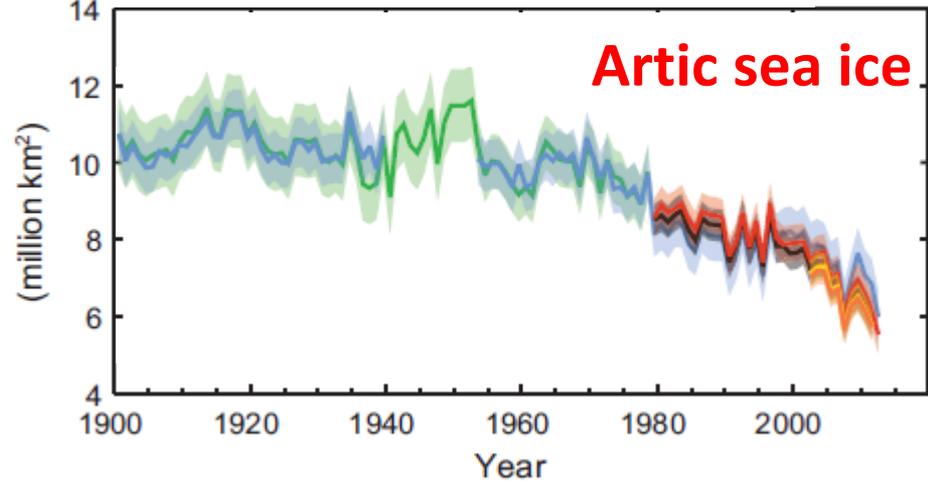
2010 GHG emissions

# OUTRAS EVIDÊNCIAS

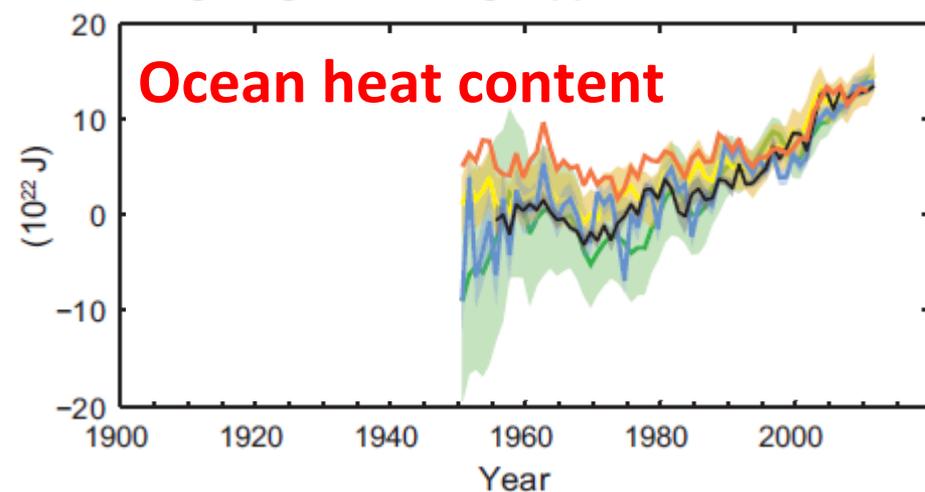
Extent of Northern Hemisphere March-April (spring)  
average snow cover



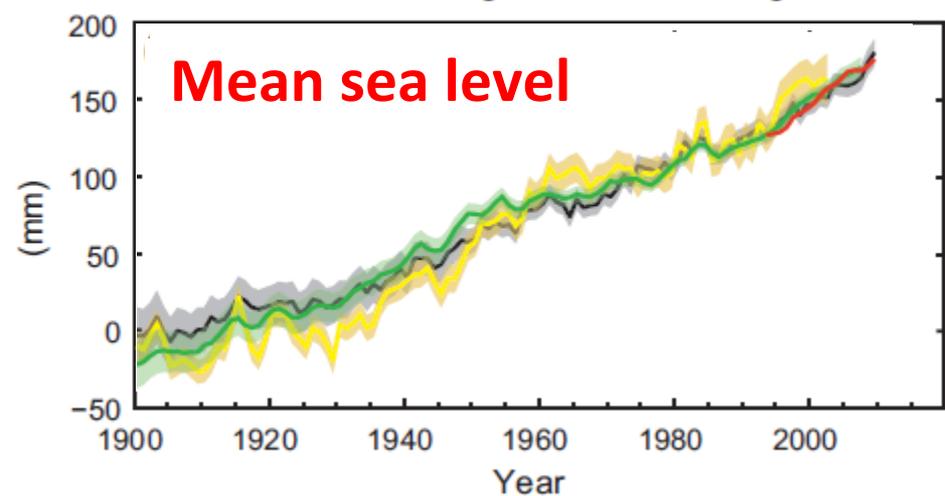
Extent of Arctic July-August-September (summer)  
average sea ice



Change in global average upper ocean heat content



Global average sea level change



Change in global mean upper ocean (0–700 m) heat content  
aligned to 2006–2010, and relative to the mean of all  
datasets for 1970

Global mean sea level relative to the 1900–1905 mean of  
the longest running dataset

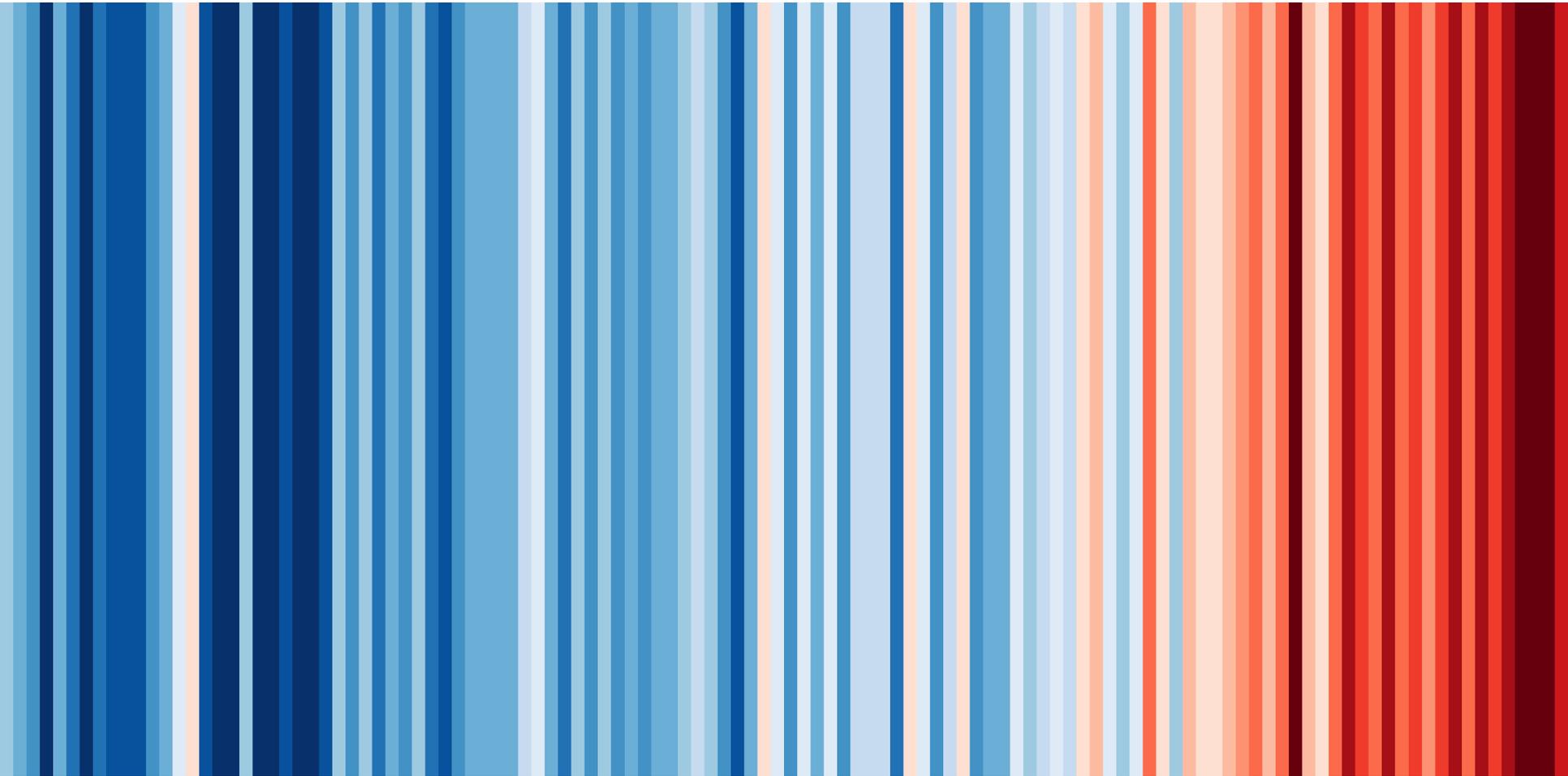
# PRINCIPAIS CONCLUSÕES DO IPCC

---

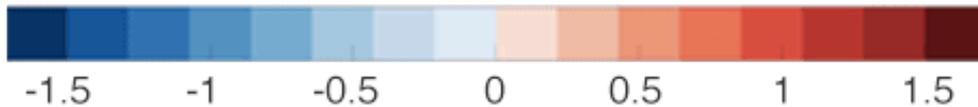
Human influence on the climate system is clear, and recent anthropogenic emissions of greenhouse gases are the highest in history. Recent climate changes have had widespread impacts on human and natural systems. *{1}*

Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, and sea level has risen. *{1.1}*

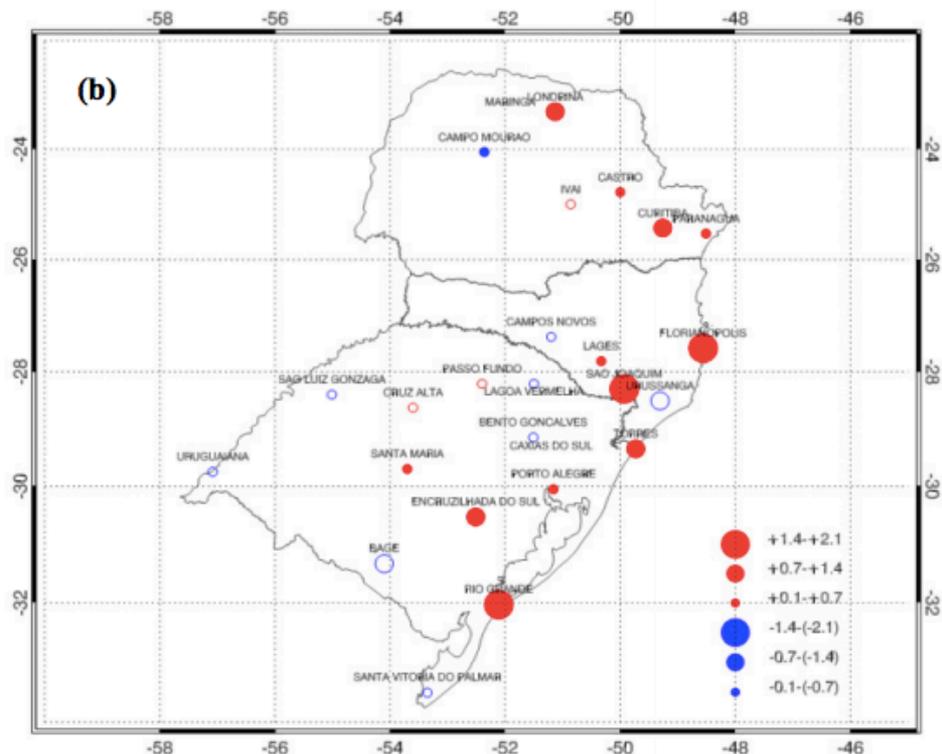
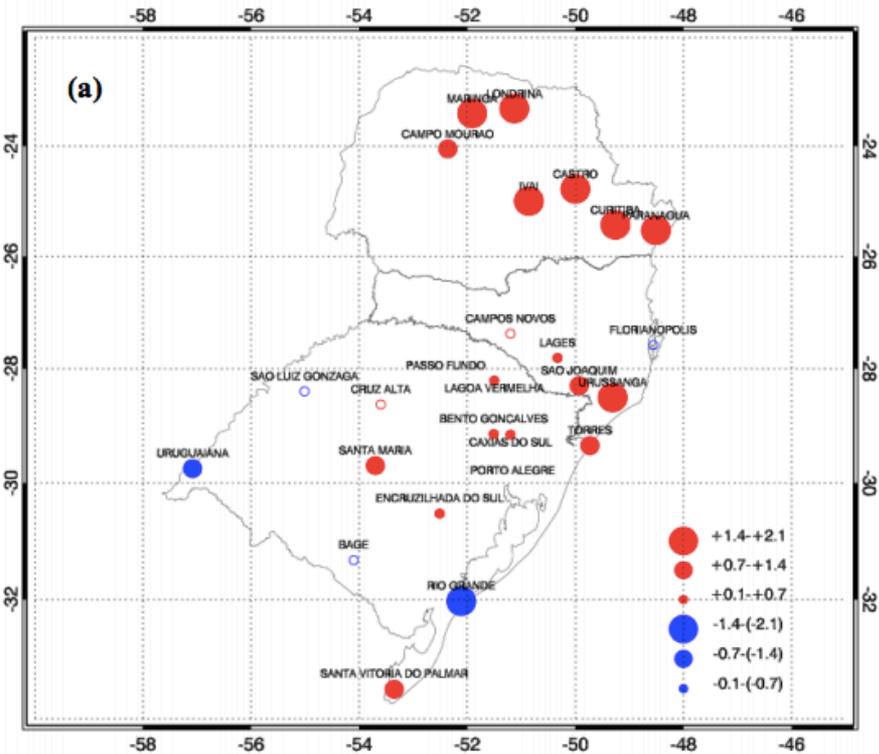
# WARMING STRIPES FOR BRAZIL FROM 1901-2018



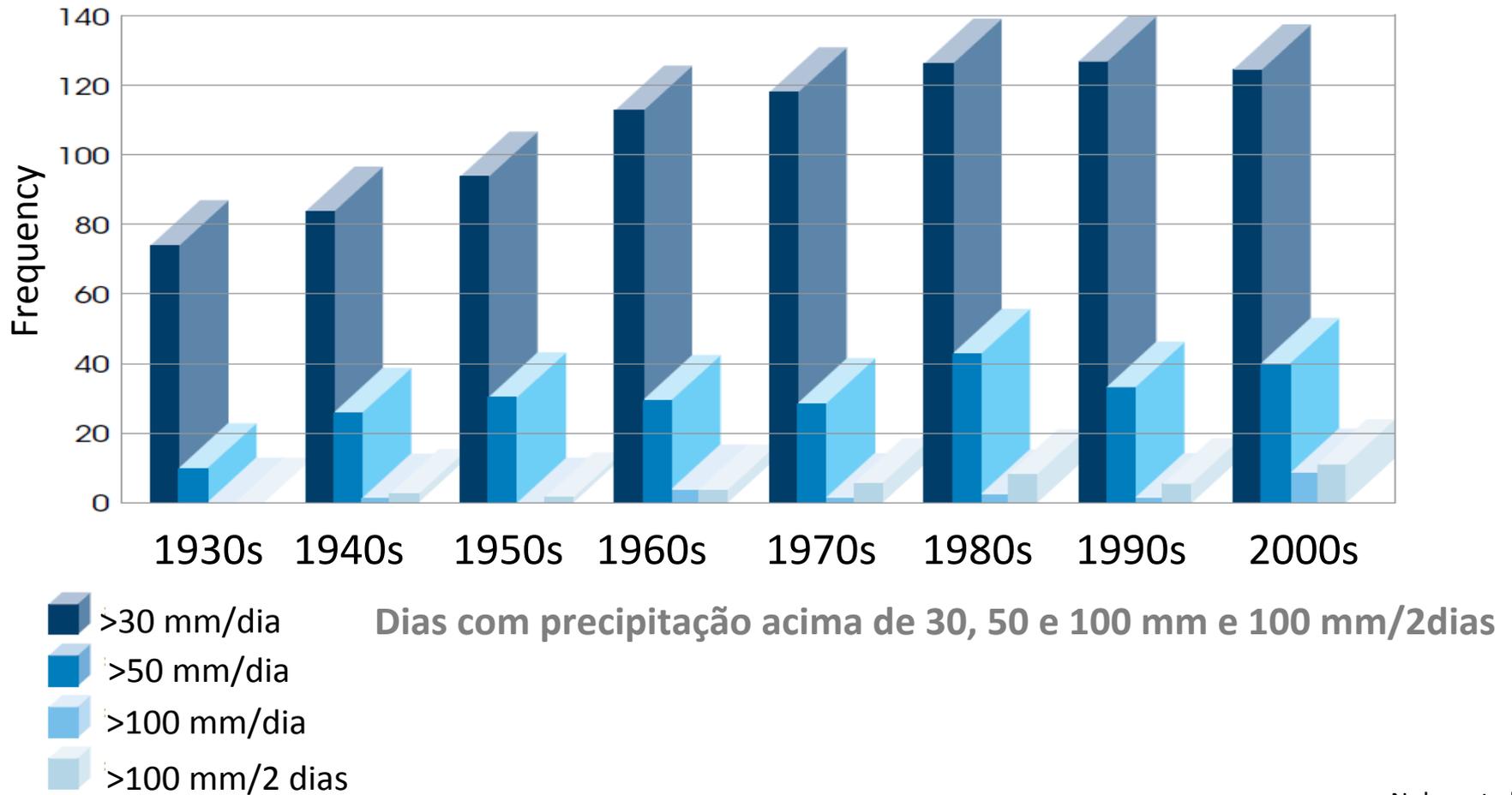
Temperature relative to average for whole period  
(degrees Celsius)



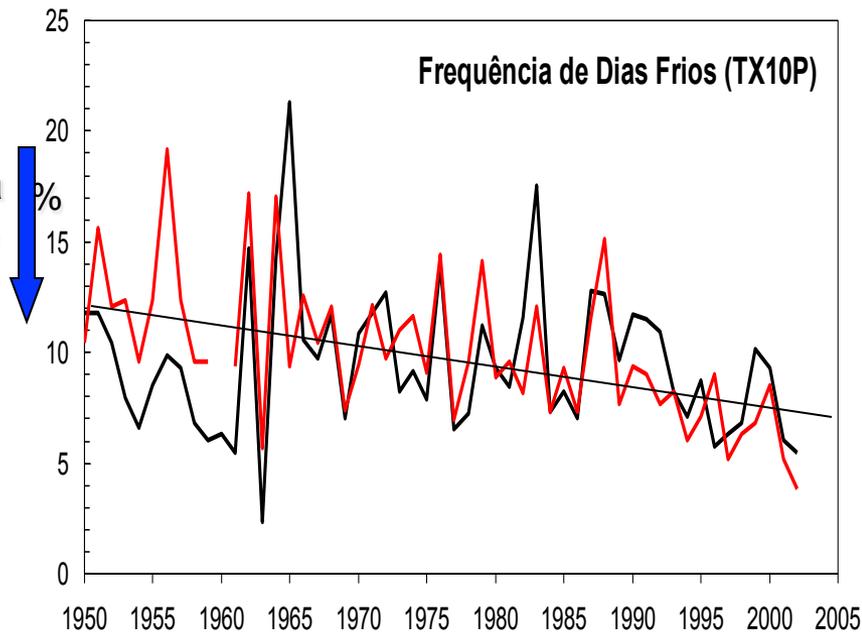
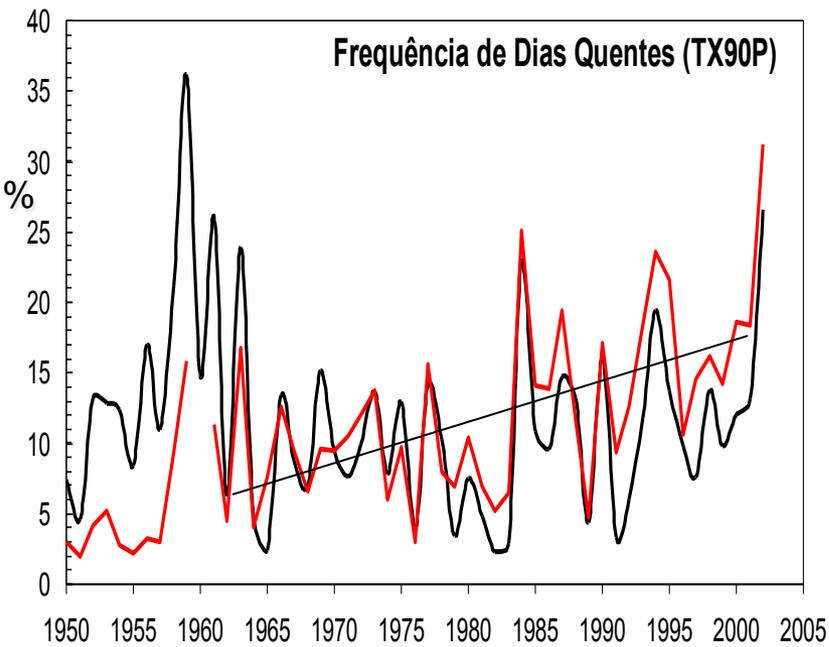
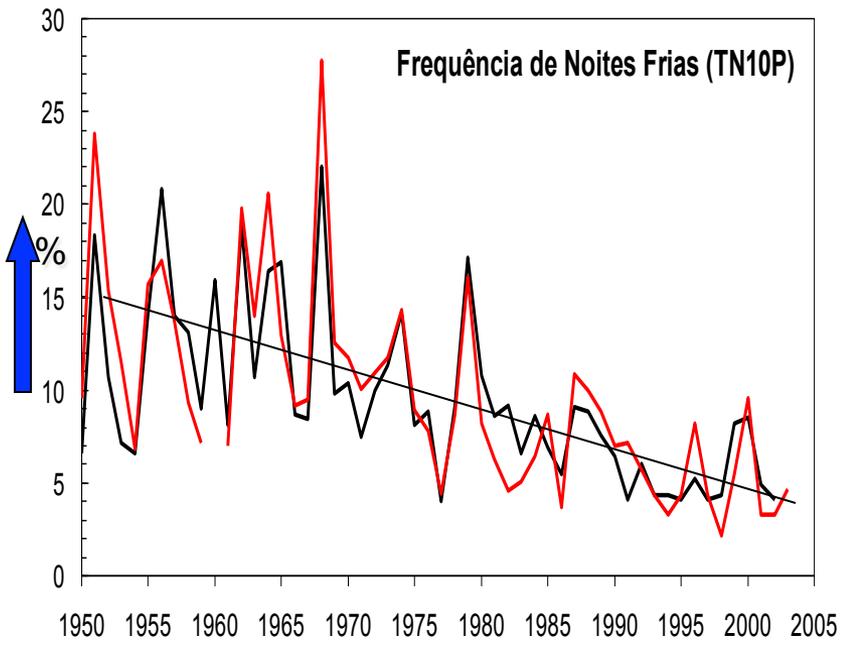
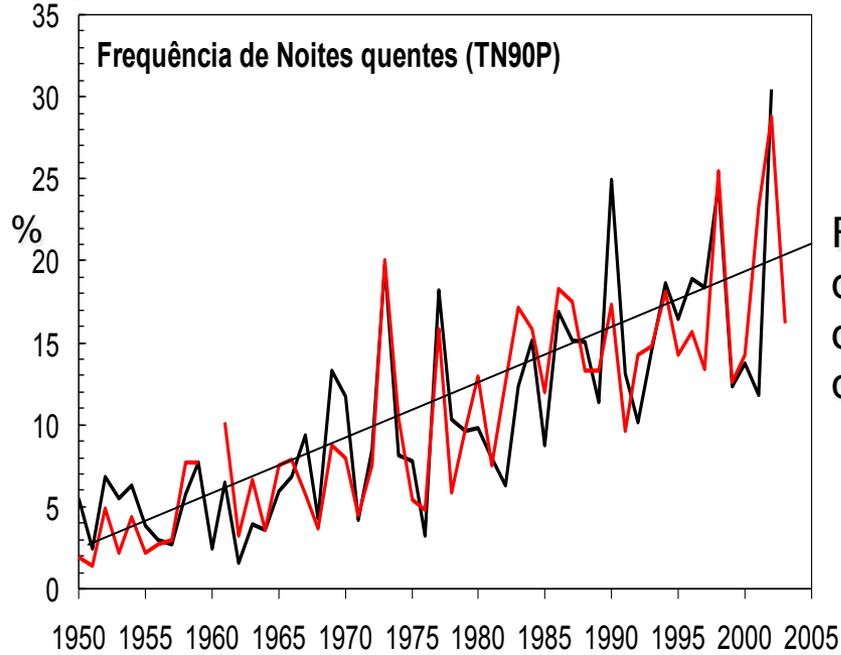
# Trends in Tmin (a), Tmax (b) over southern Brazil for 1961-2011 (°C/ 51 years).



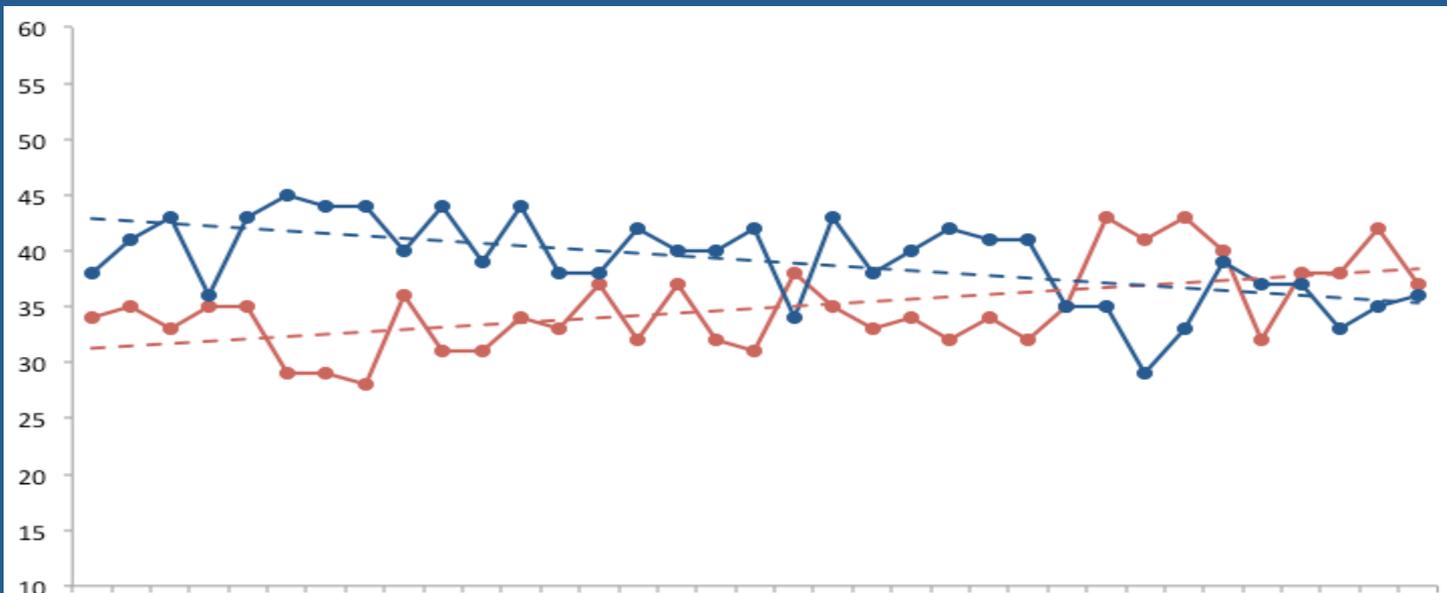
## Tendências dos extremos pluviométricos na cidade de São Paulo 1930-2010



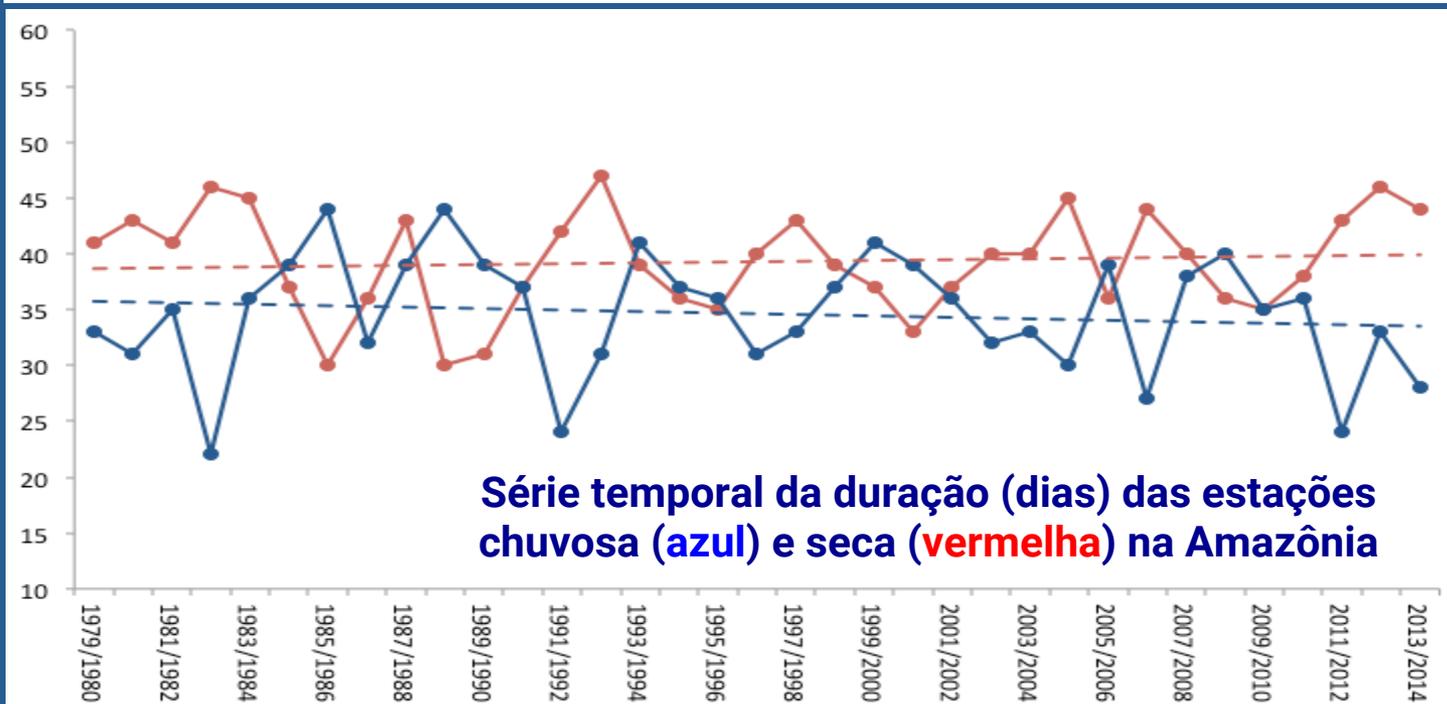
Agua Funda — Campinas



## Sul da Amazônia



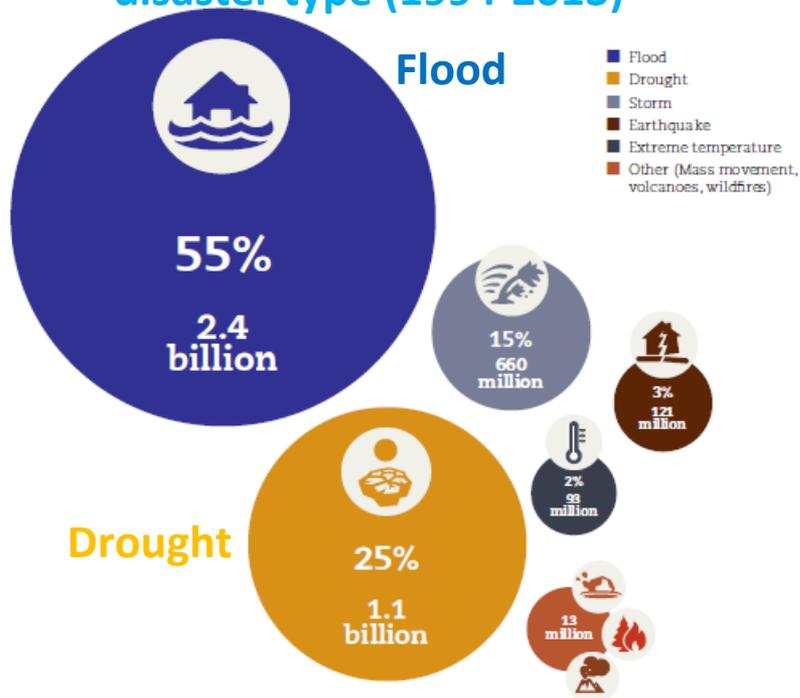
## Nordeste da Amazônia



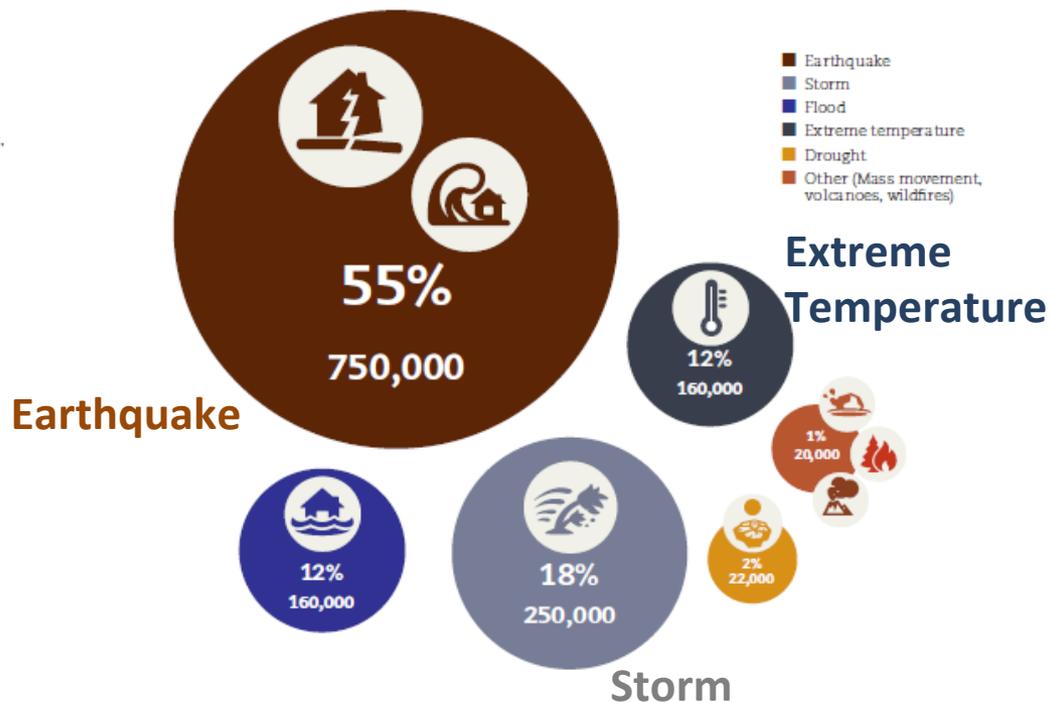
# O CLIMA ESTA MUDANDO



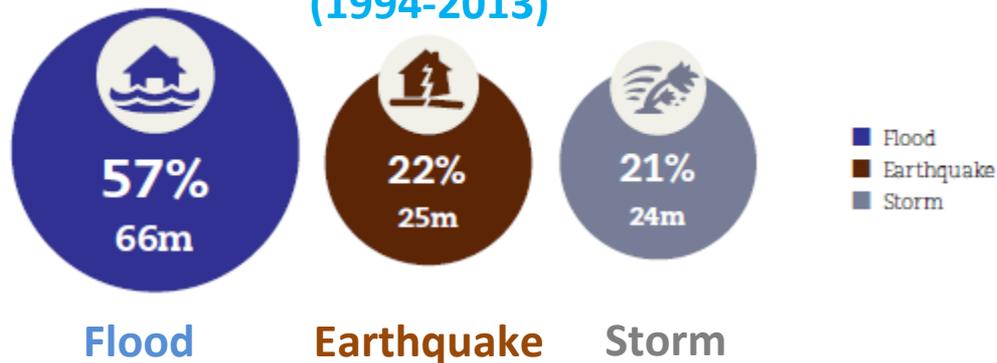
## Number of People Affected by disaster type (1994-2013)



## Number of Deaths by disaster type (1994-2013)

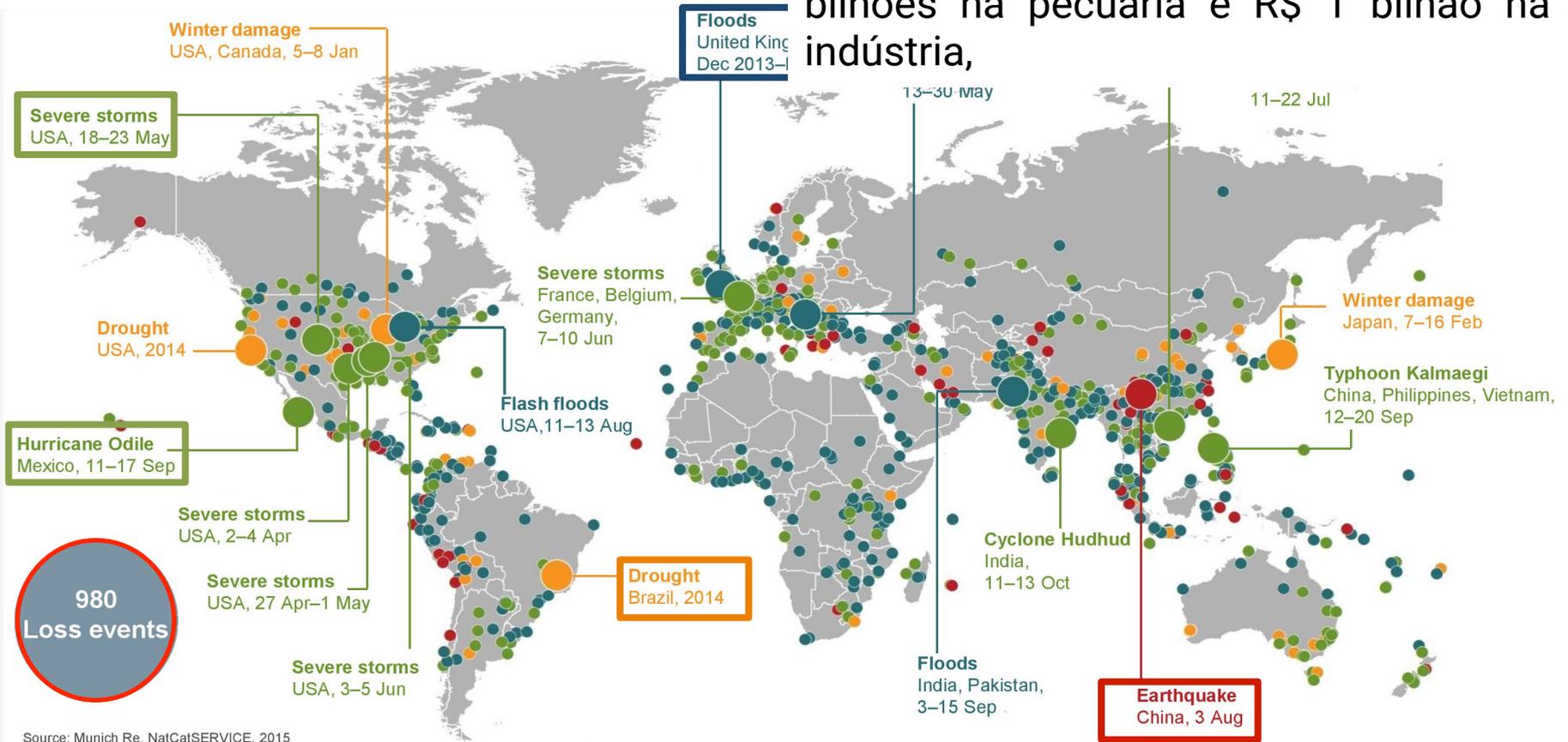


## Houses damaged per disaster type (1994-2013)



Entre 2012 e 2015, o Nordeste teve prejuízos de R\$ 104 bilhões por causa da falta d'água. Desse total, R\$ 74,6 bilhões foram na agricultura, R\$ 20,6 bilhões na pecuária e R\$ 1 bilhão na indústria,

## Economic loss events worldwide 2014 Geographical overview



○ Loss events

○ Selection of catastrophes  
Overall losses ≥ US\$ 1,500m

● Geophysical events  
(Earthquake, tsunami, volcanic activity)

● Meteorological events  
(Tropical storm, extratropical storm,  
convective storm, local storm)

● Hydrological events  
(Flood, mass movement)

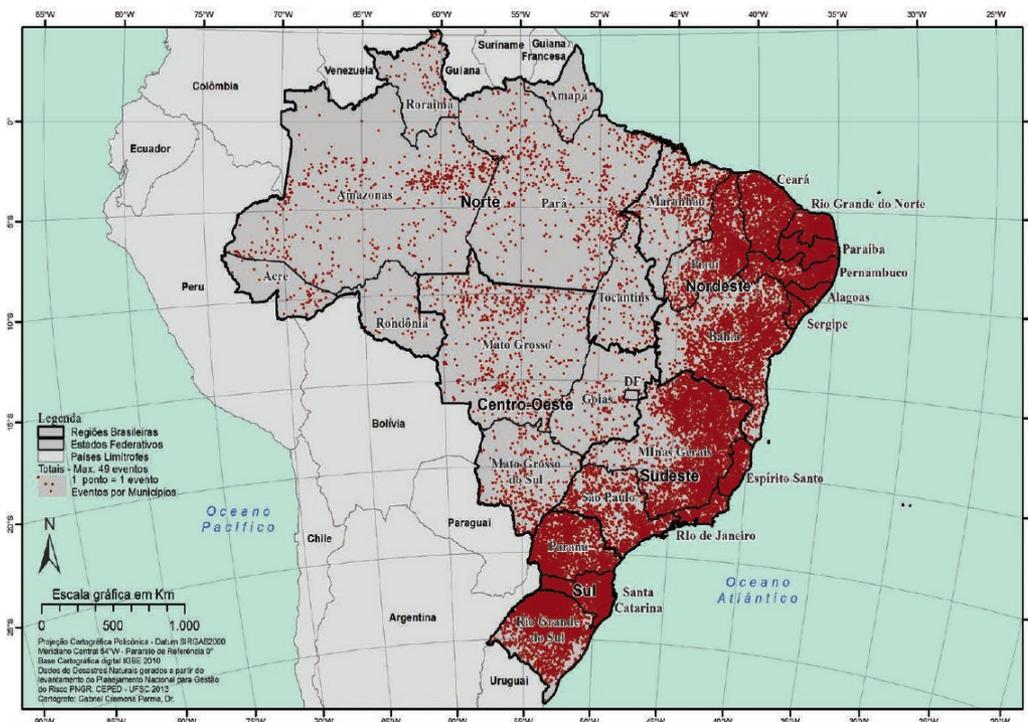
● Climatological events  
(Extreme temperature, drought, wildfire)

(a) Registro total de eventos de desastres no Brasil de 1991 a 2012;

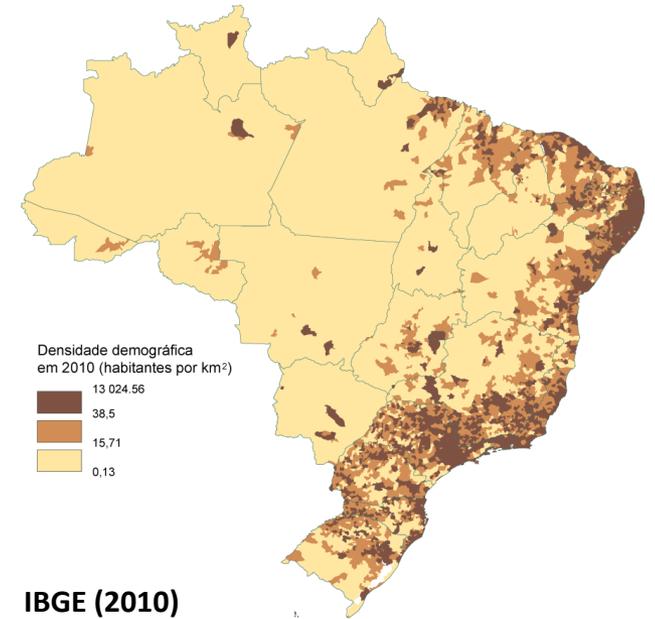
(b) Densidade populacional (habitantes/km<sup>2</sup>) no Brasil (IBGE);

(c) Densidade populacional (habitantes/km<sup>2</sup>) e número de fatalidades como consequência de desastres naturais (UFSC-CEPED 2013)

a) Registro total de eventos de desastres naturais no Brasil (UFSC-CEPED 2013)

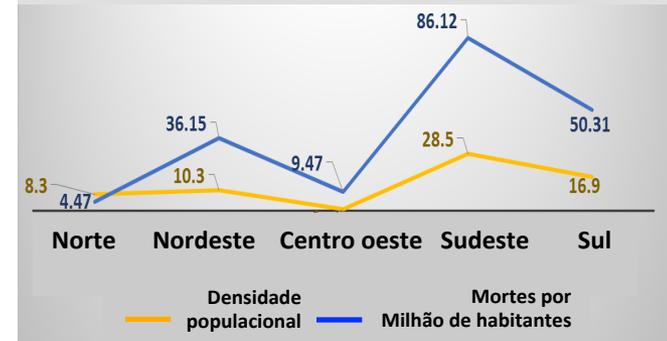


b) Densidade demográfica (habitantes por km<sup>2</sup>-IBGE)

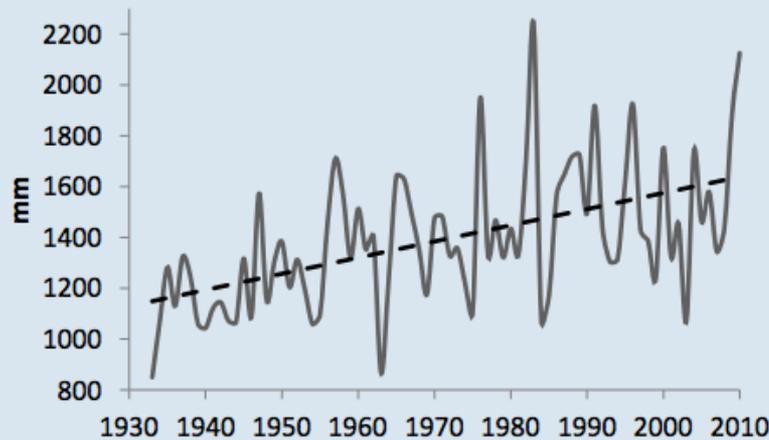
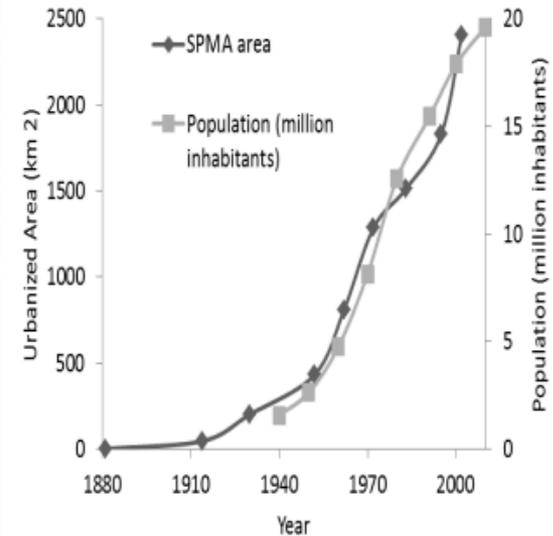
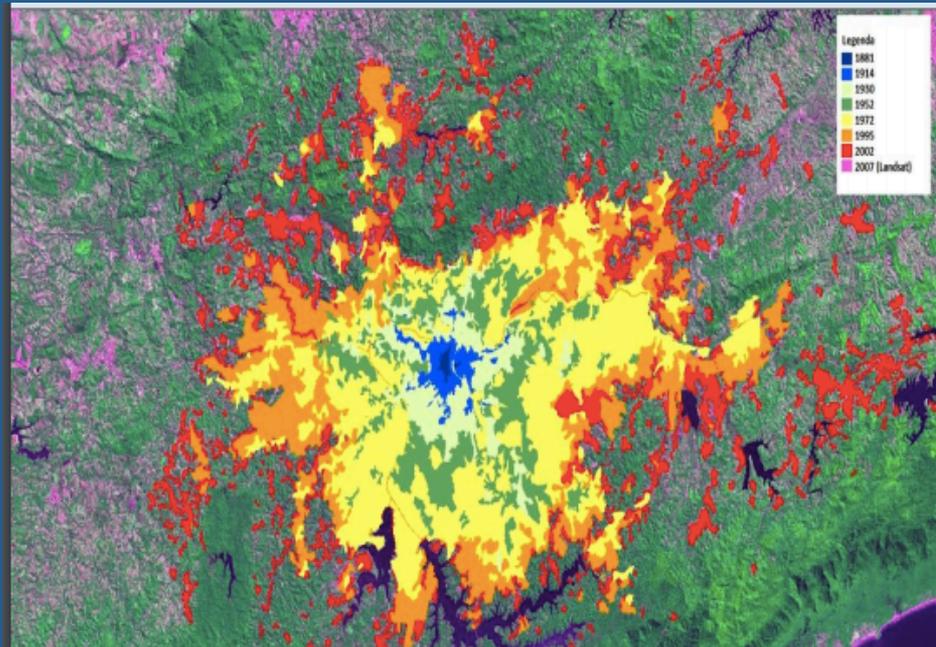


IBGE (2010)

c) Densidade demográfica (habitantes por km<sup>2</sup>) vs mortes por desastres naturais (UFSC-CEPED 2013)



# Metropolitan Region of São Paulo (MRSP)



**Climate of São Paulo has changed:**

- Heating (approx. 3°C)
- Average monthly precipitation increase
- Increase in frequency and intensity of precipitation extremes!

Silva Dias, M.A.F., Dias, J., Carvalho, L., Freitas, E. e Silva Dias, P.L., 2011

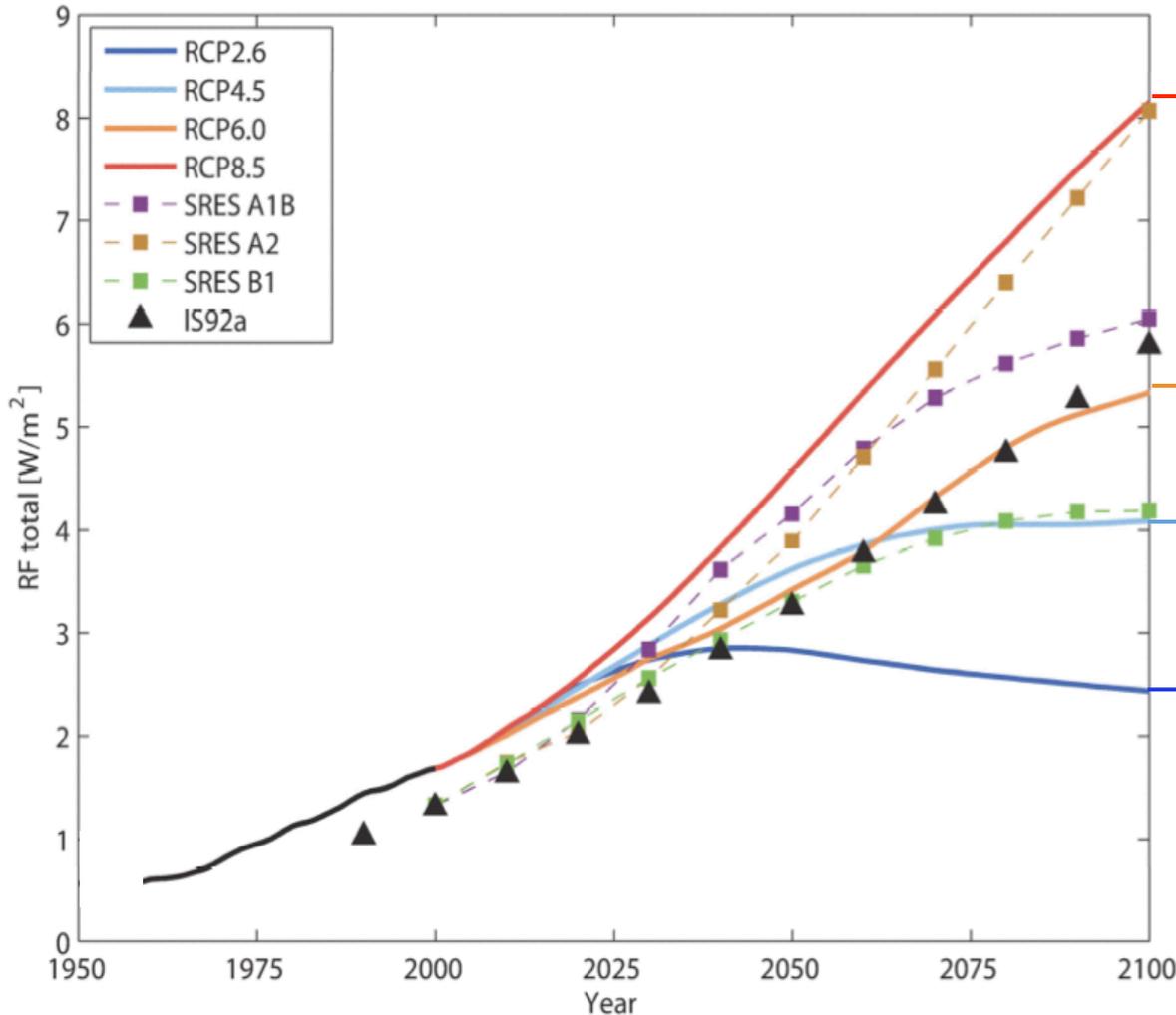
# Futuro



# Total anthropogenic radiative forcing

IS92a (SAR), SRES (TAR/AR4), RCP (AR5)

RCP – “Representative Concentration Pathway”



## RCP 8.5

Rising radiative forcing pathway leading to 8.5  $W/m^2$  in 2100. (Riahi et al. (2007), Rao & Riahi (2006))

## RCP 6.0

Stabilization without overshoot pathway to 6  $W/m^2$  at stabilization after 2100. (Fujino et al. (2006), Hijioaka et al. (2008))

## RCP 4.5

Stabilization without overshoot pathway to 4.5  $W/m^2$  at stabilization after 2100. (Smith and Wigley (2006), Clarke et al. (2007), Wise et al. (2009))

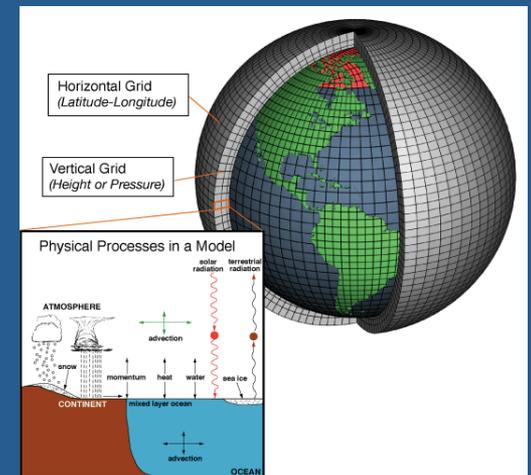
## RCP 2.6

Peak in radiative forcing at ~3  $W/m^2$  before 2100 and decline. (van Vuuren et al. (2006; 2007))

# Como quantificar a resposta do clima?

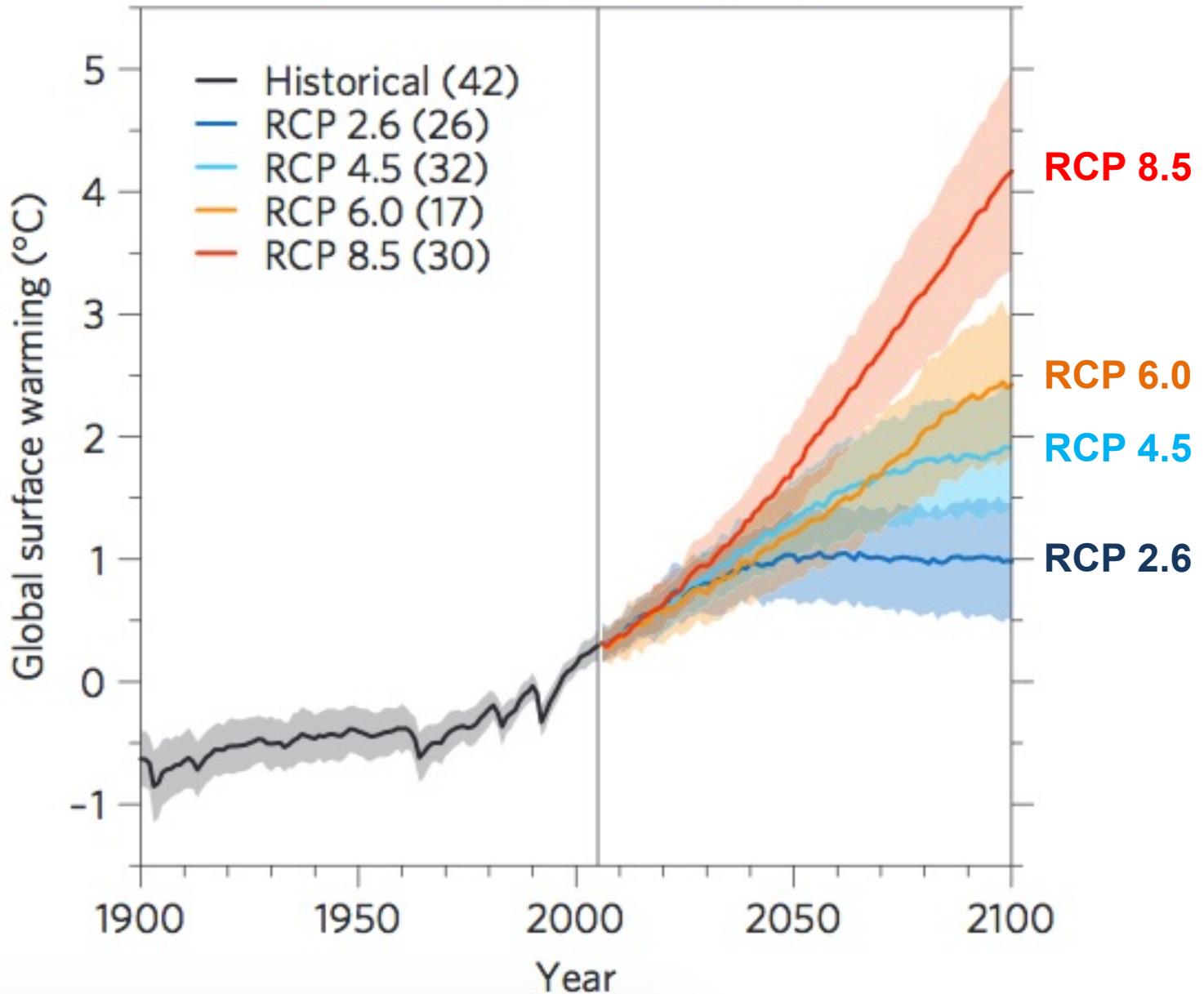
---

- ✓ A resposta do sistema climático para esta agentes forçando é complicada por:
  - Retroalimentação
  - Não-linearidade de muitos processos
  - Diferentes tempos de resposta dos diferentes componentes para uma dada perturbação
  
- ✓ A melhor ferramenta para quantificar a resposta é usando modelos numéricos do sistema climático.



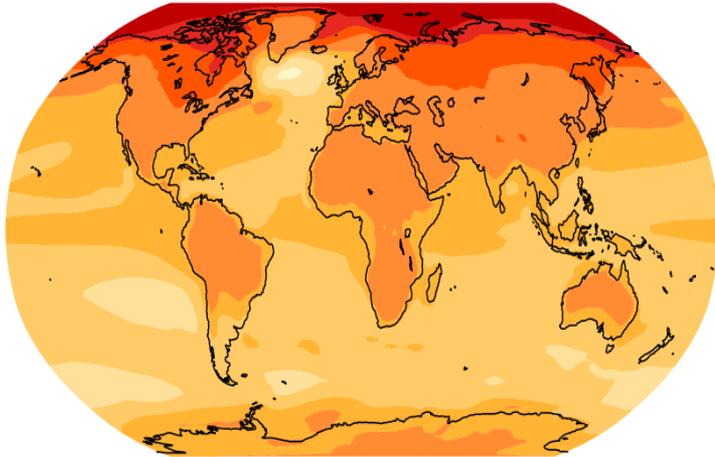
# IPCC AR5 Projections (temperature)

CMIP5 models, RCP scenarios

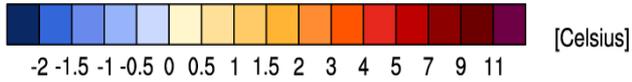


# IPCC AR5 Projections (2081-2100) minus (1986-2005)

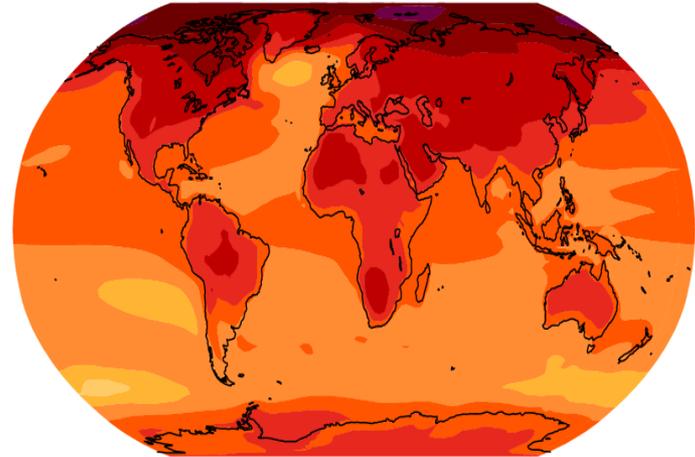
mean rcp45 temperature 2081-2100 minus 1986-2005 Jan-Dec AR5 CMIP5 subset



**Temp. (RCP 4.5)**



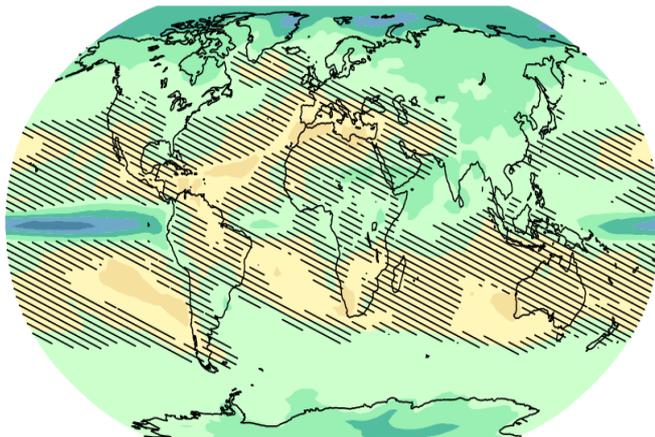
mean rcp85 temperature 2081-2100 minus 1986-2005 Jan-Dec AR5 CMIP5 subset



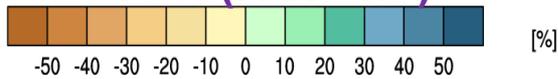
**Temp. (RCP 8.5)**



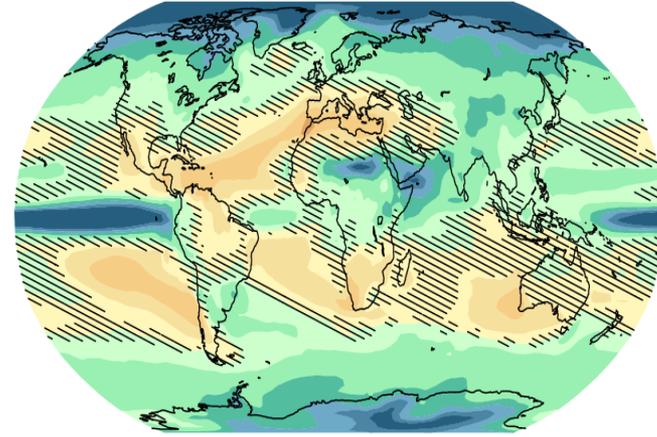
mean rcp45 relative precipitation 2081-2100 minus 1986-2005 Jan-Dec AR5 CMIP5 subset



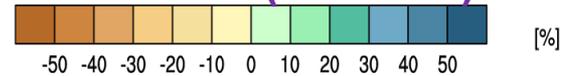
**Prec. (RCP 4.5)**



mean rcp85 relative precipitation 2081-2100 minus 1986-2005 Jan-Dec AR5 CMIP5 subset



**Prec. (RCP 8.5)**



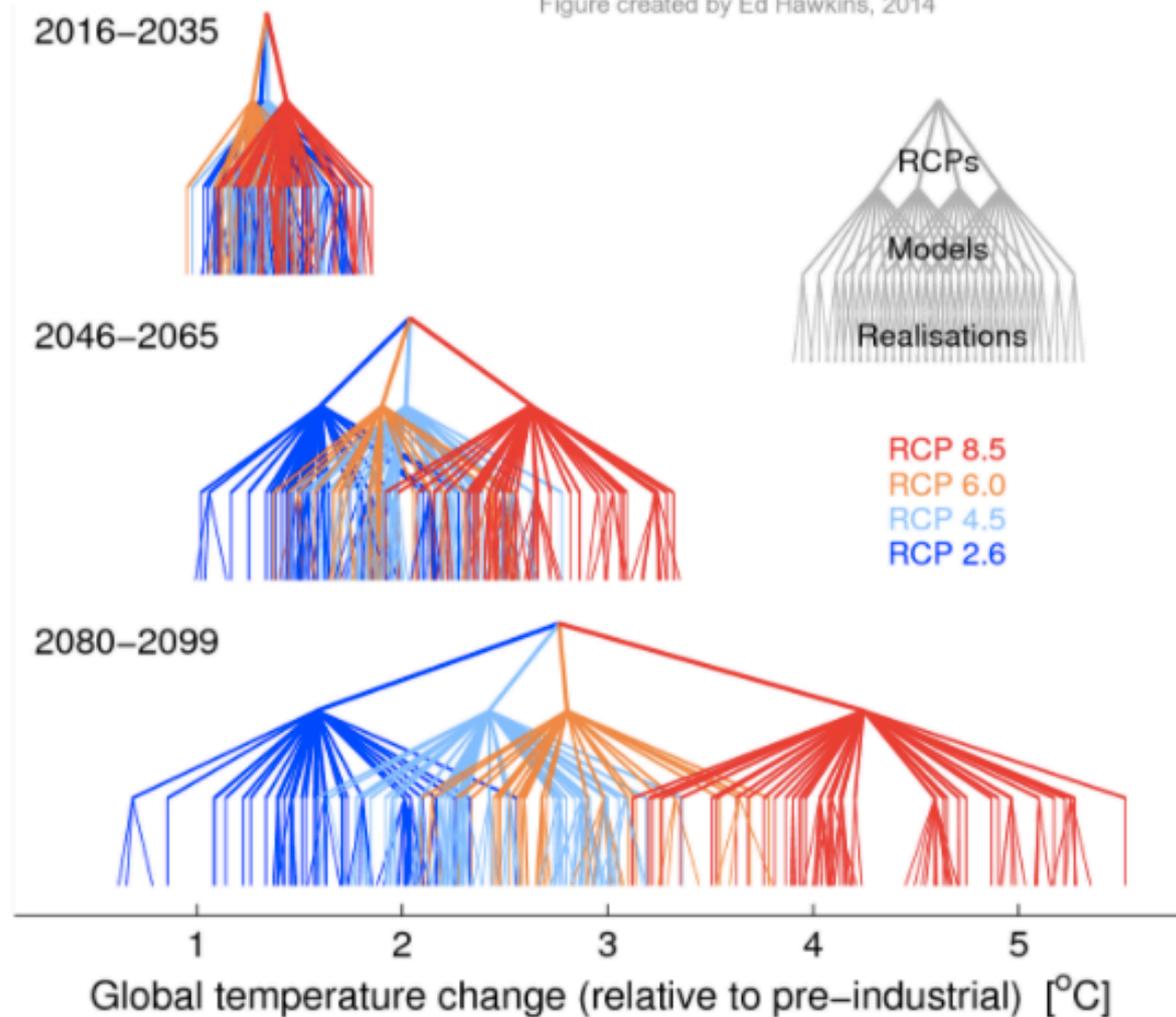
# Uma certa dose de incerteza



**Figure 1:** The cascade of uncertainty from Wilby & Dessai (2010, *Weather*), illustrating the growth of the envelope of uncertainty from various sources going from future society to adaptation response.

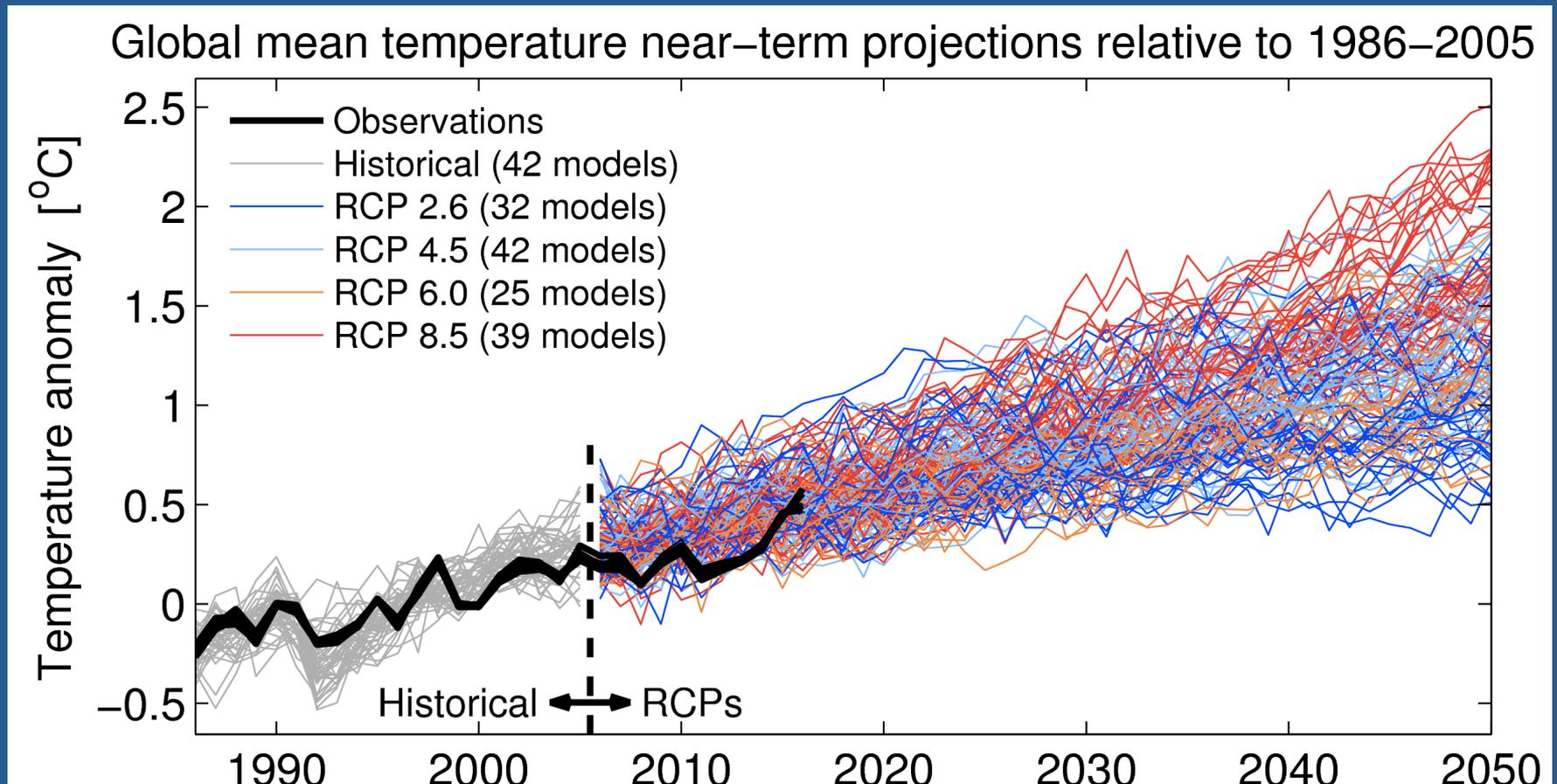
# Cascade of Uncertainty in CMIP5

Figure created by Ed Hawkins, 2014



**Figure 2:** The 'cascade of uncertainty' in global mean surface temperature from the CMIP5 simulations for different time periods as labelled. The three levels of the pyramid highlight the uncertainty due to the choice of RCP, GCMs and realisation of climate variability. Unfortunately not all the simulations have multiple realisations, resulting in a vertical line in the lowest layer. The intersection on the top row for each time period is the multi-scenario, multi-model, multi-realisation mean.

# COMPARING CMIP5 & OBSERVATIONS



Observations and the CMIP5 model projections relative to 1986-2005. The black lines represent observational datasets (HadCRUT4.5, Cowtan & Way, NASA GISTEMP, NOAA GlobalTemp, BEST

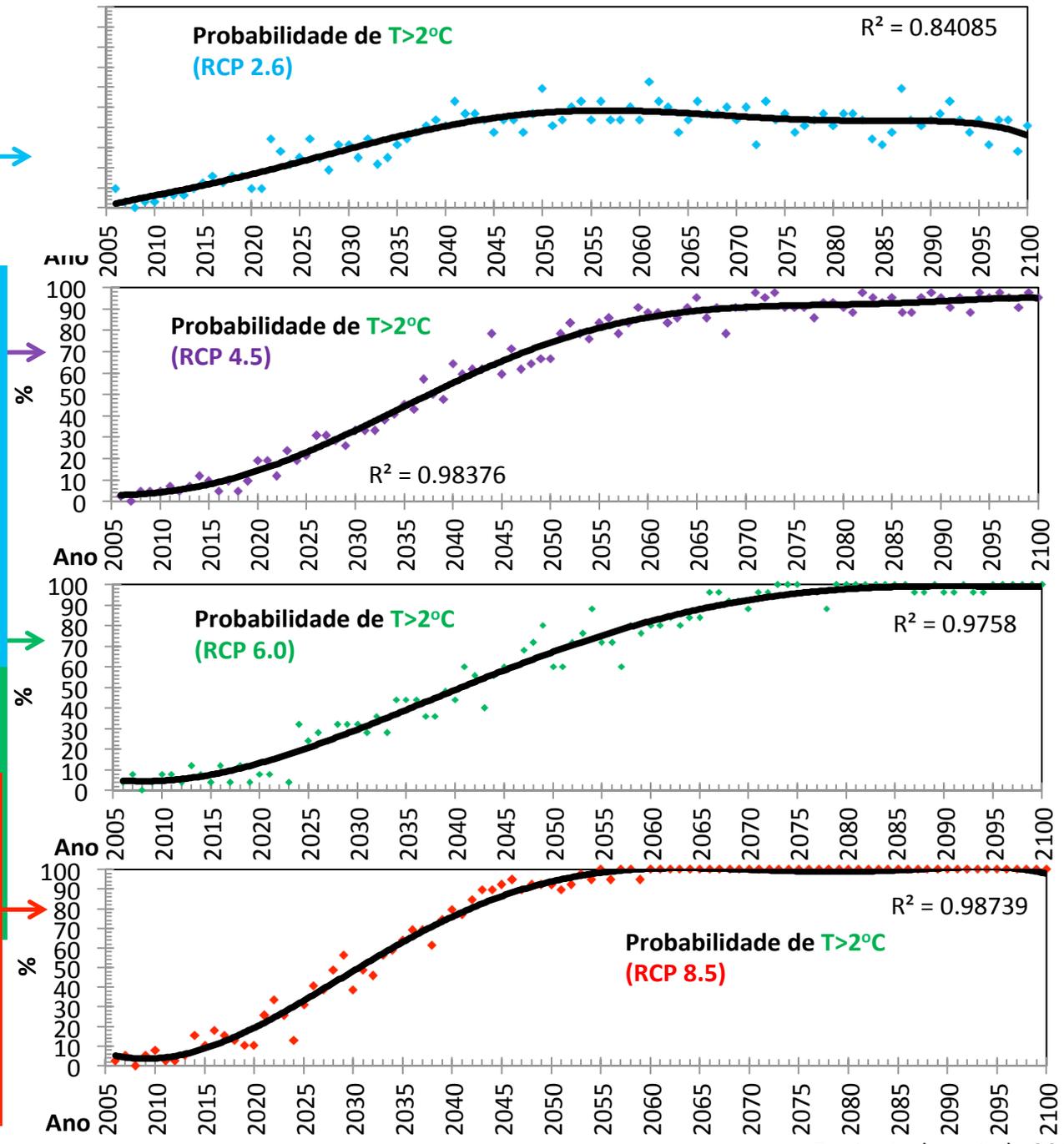
Source: Climate Lab book

# Probabilidades do aquecimento exceder até 2100 o limite de 2°C

Mesmo o cenário mais otimista apresenta probabilidade de aquecimento, mesmo que baixa, para a temperatura média anual exceder 2°C em relação ao período Pré-industrial.

O RCP 6.0 atinge valores maiores que 50% após 2040, um pouco depois do RCP 4.5

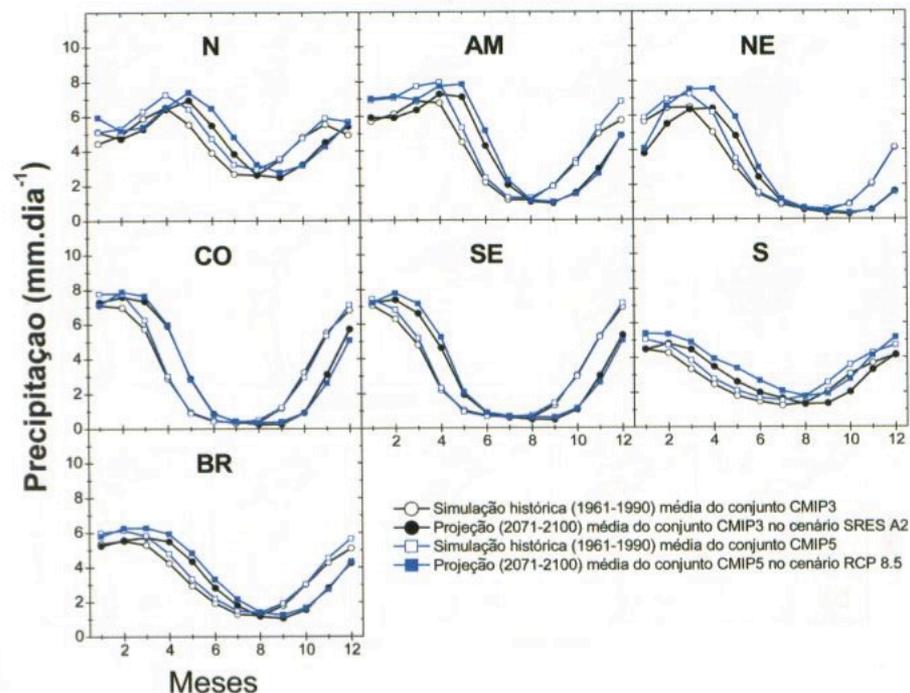
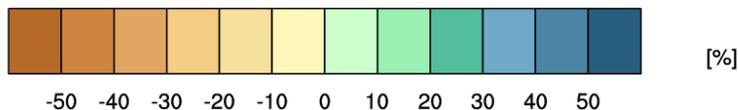
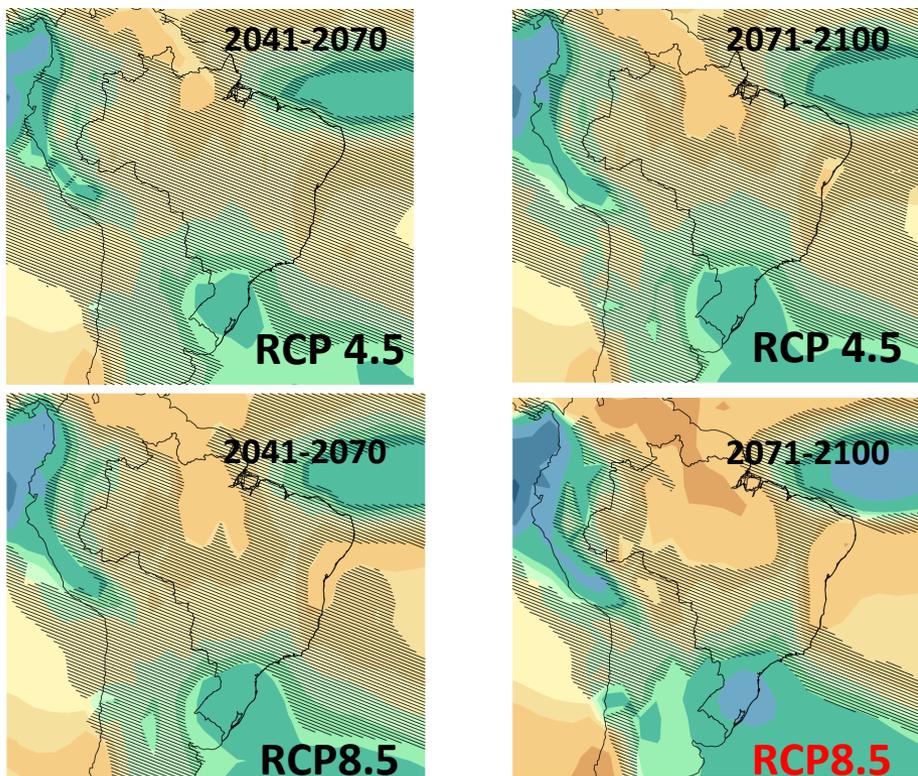
O RCP 8.5 mostra probabilidade maior que 50% a partir de 2030 e atinge 100% de probabilidade de a temperatura média anual exceder 2°C em 2055.



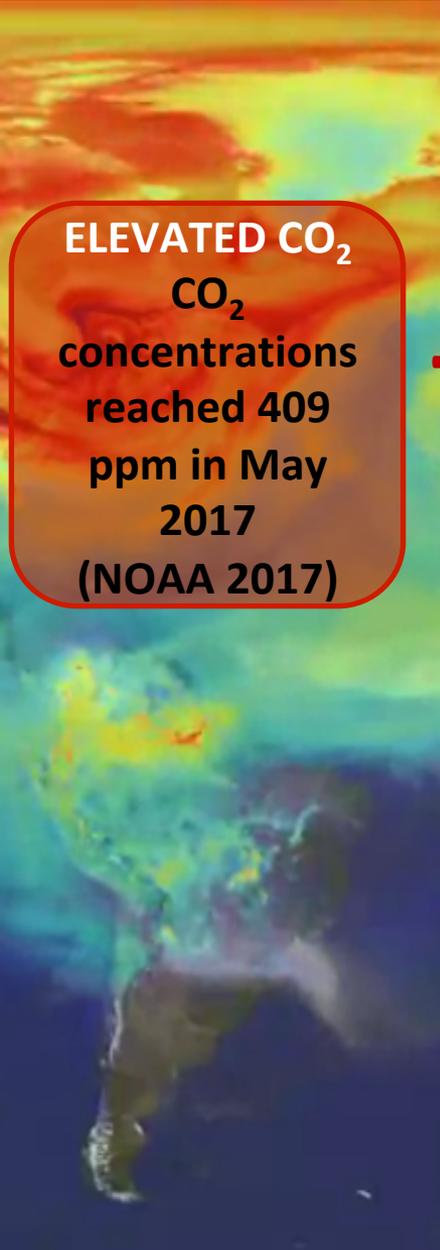
# Projeções de precipitação para o Brasil em 2041-2070 e 2071-2100. Cenários **RCP 4.5** (Média emissão) e **RCP 8.5** (Alta emissão)

Diferenças em relação ao período base 1986-2005

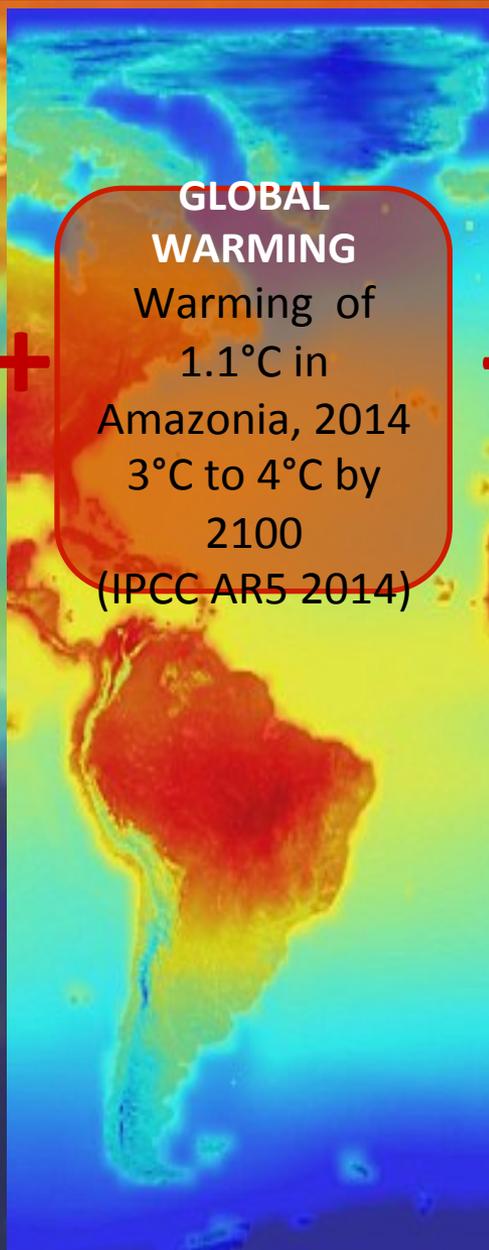
## Variação de Precipitação (%)



# WHAT ARE THE SYNERGISTIC EFFECTS OF ANTHROPOGENIC DRIVERS OF ENVIRONMENTAL CHANGE IN THE AMAZON?



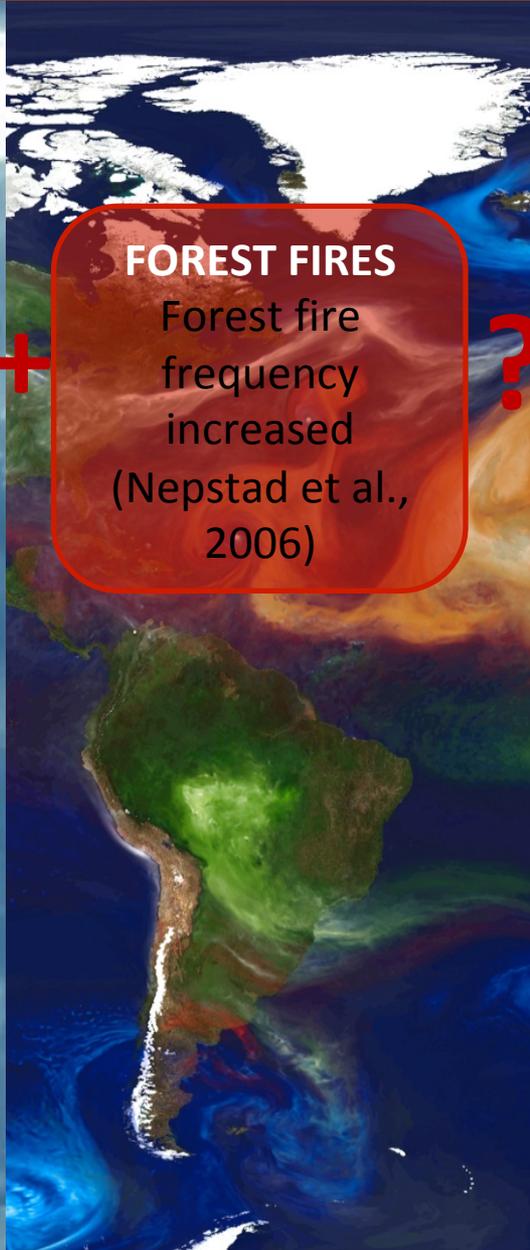
**ELEVATED CO<sub>2</sub>**  
CO<sub>2</sub>  
concentrations  
reached 409  
ppm in May  
2017  
(NOAA 2017)



**GLOBAL WARMING**  
Warming of  
1.1°C in  
Amazonia, 2014  
3°C to 4°C by  
2100  
(IPCC AR5 2014)

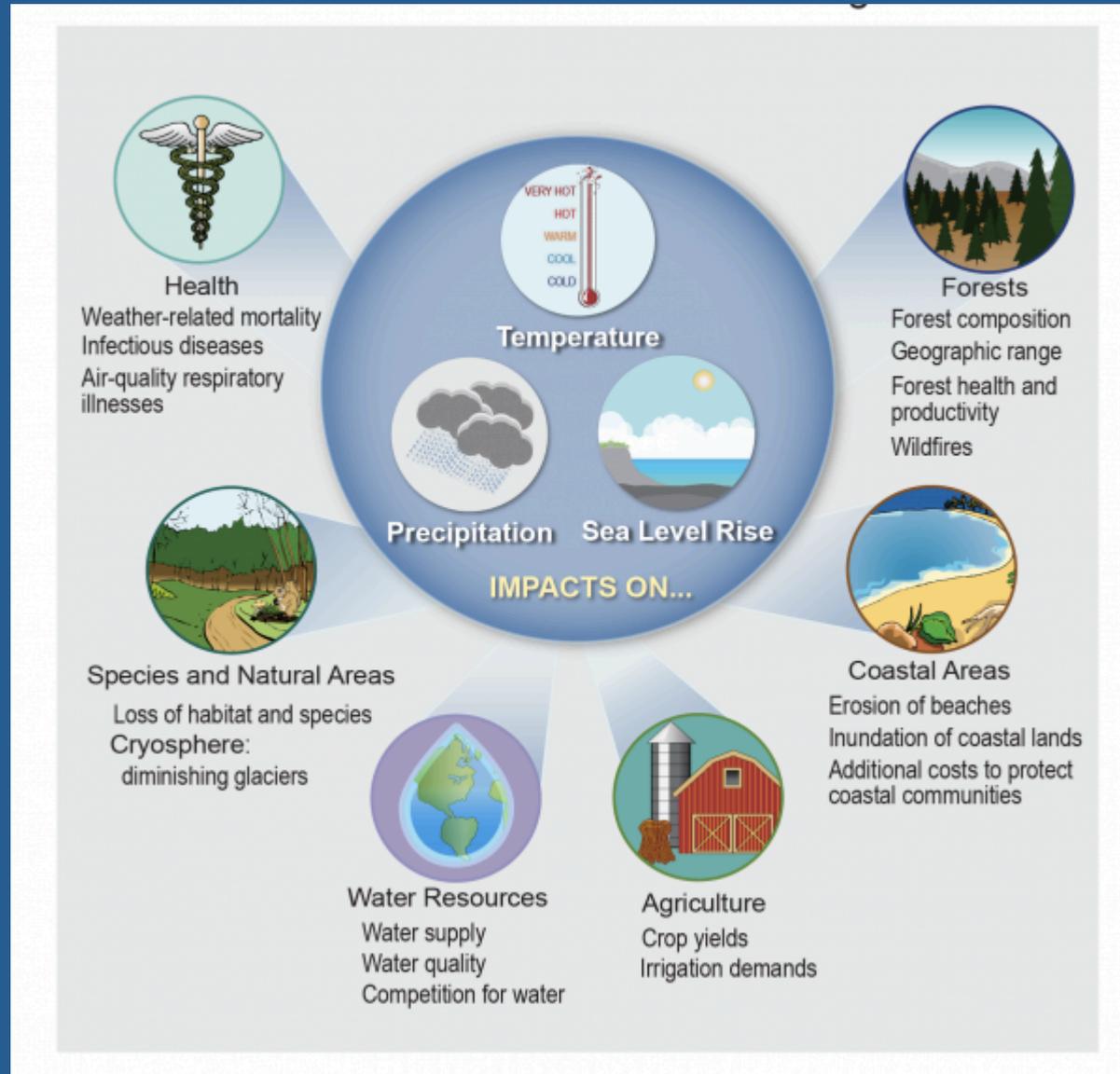


**DEFORESTATION**  
Total  
deforested area  
(clear-cutting) is  
780,000 km<sup>2</sup> in  
Brazilian  
Amazon (20%)  
(INPE, 2016)



**FOREST FIRES**  
Forest fire  
frequency  
increased  
(Nepstad et al.,  
2006)

# Potenciais impactos das mudanças climáticas



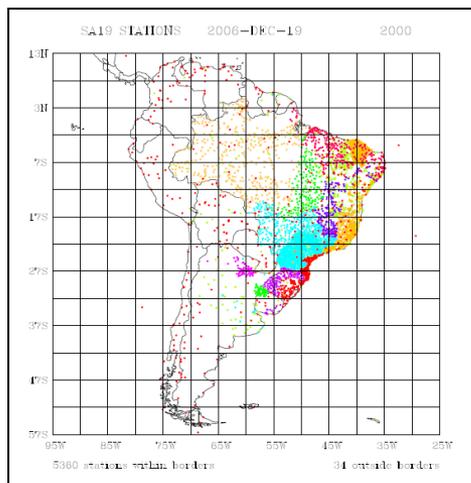
# Impactos sobre a Mobilidade Urbana



# GENERATING ENSEMBLES OF HIGH-RESOLUTION SIMULATIONS WITH REGIONAL CLIMATE MODEL

**Motivation:** droughts 2005 e 2010

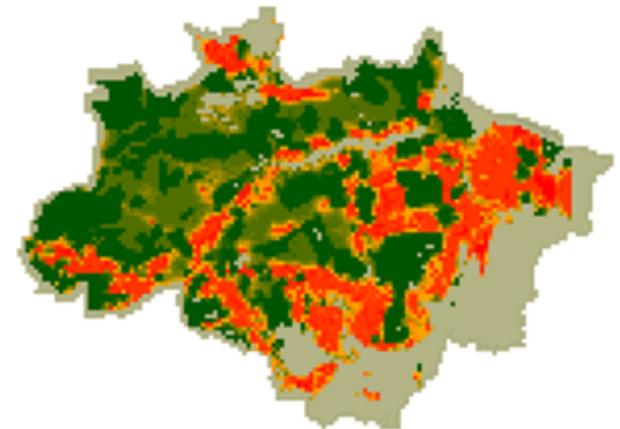
**Topic:** Spatial and temporal variability of the dry season, trends and future projections on Amazon and impacts of deforestation



Liebmann and Dallured (2005)

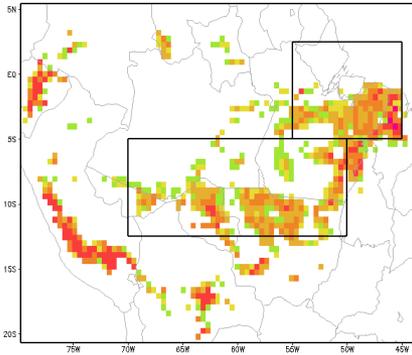


## LuccME/BRAmazonia Cenário C

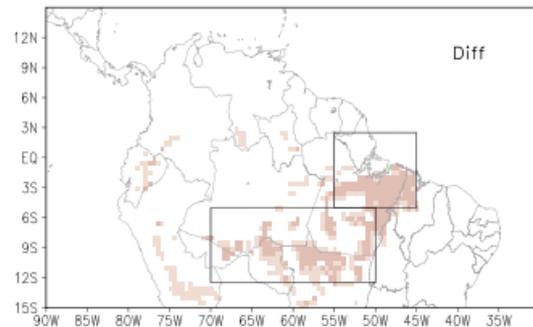
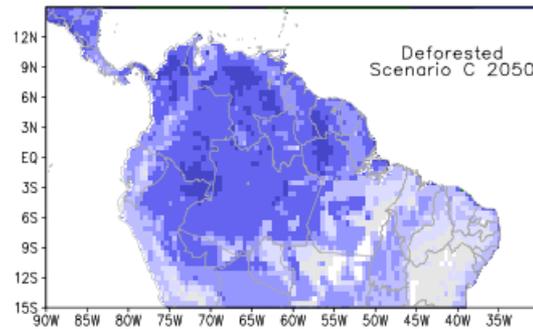
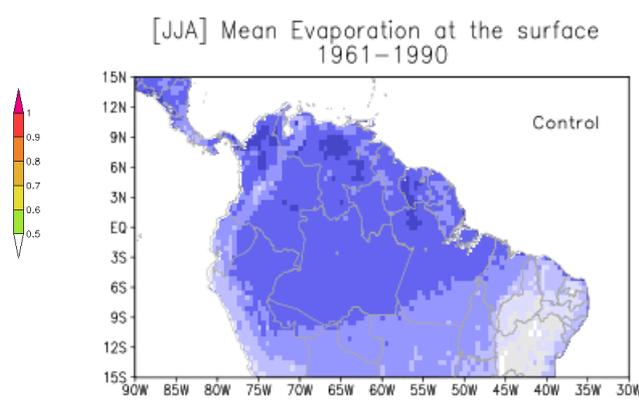


2050

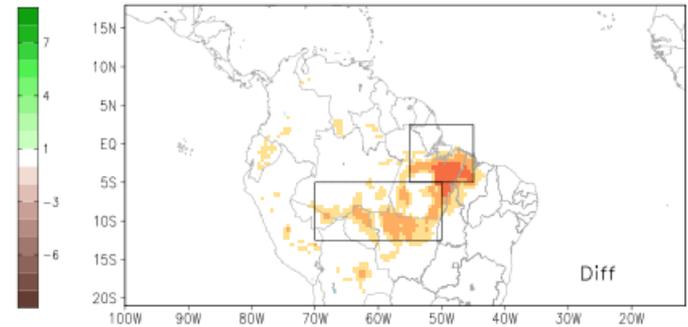
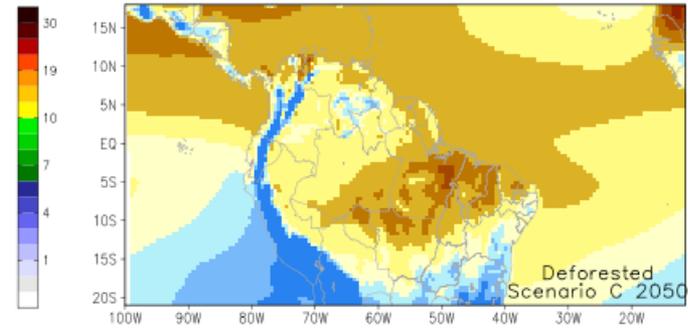
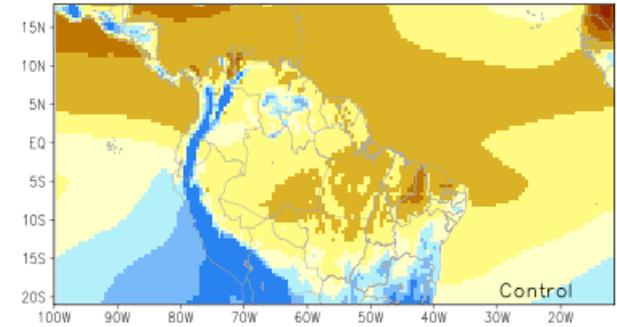
# Modeling the impacts of land cover change in Amazonia



**LuccME/BRAmazonia scenarios**  
**Percentage of deforestation:**  
**Scenario C – 2050**  
**(Aguiar et al., 2015)**

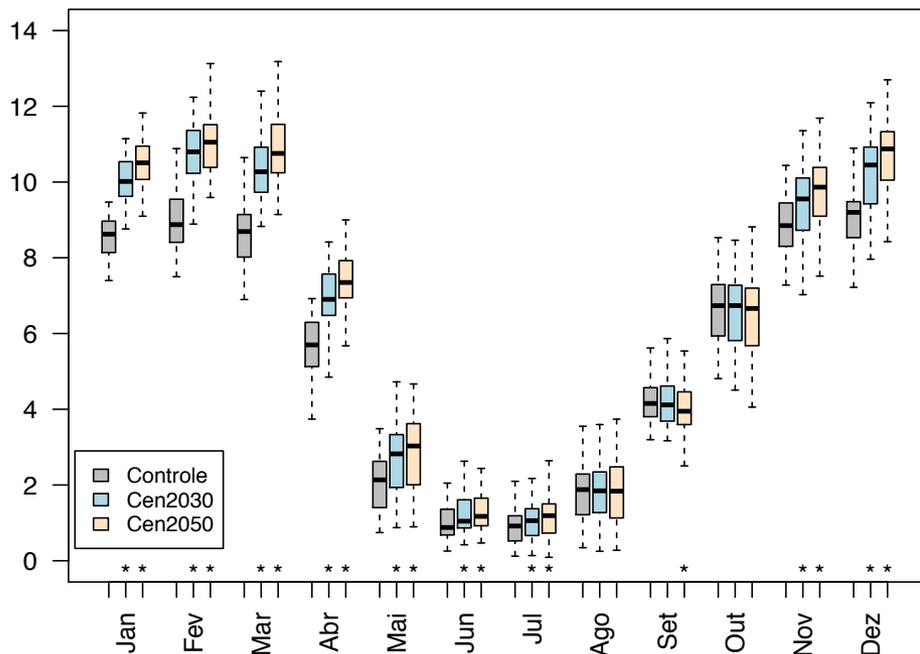


[JJA] Mean Temperature 1961–1990

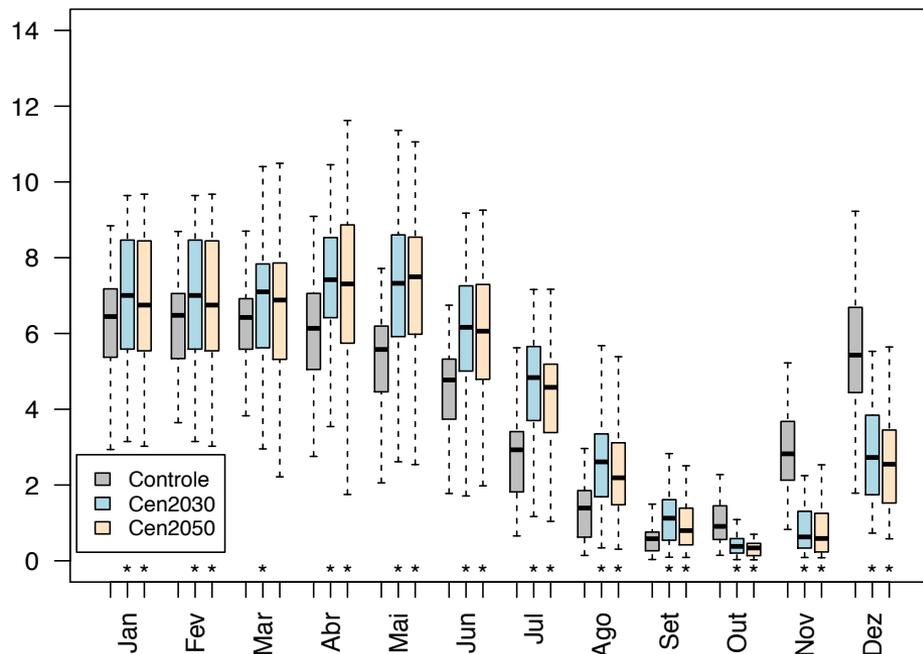


# Boxplot da precipitação média mensal (mm/dia)

Controle  
CEN2030  
CEN2050



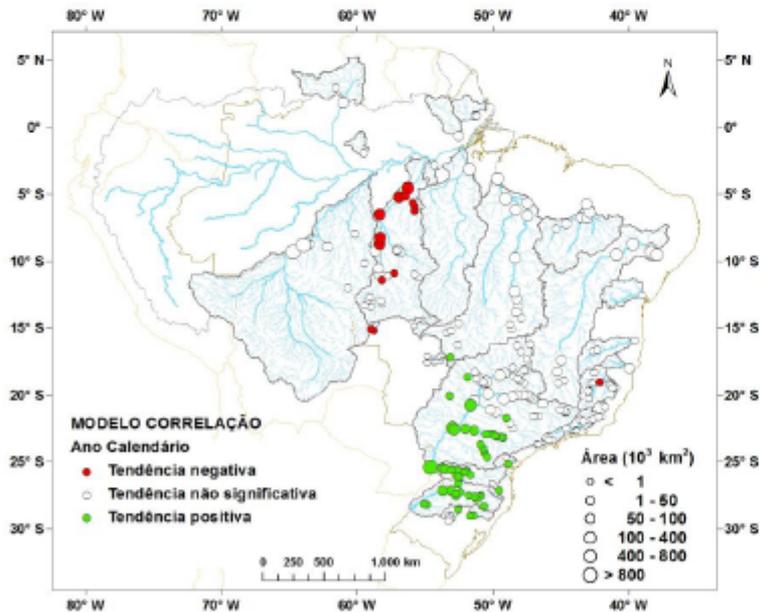
SAMZ



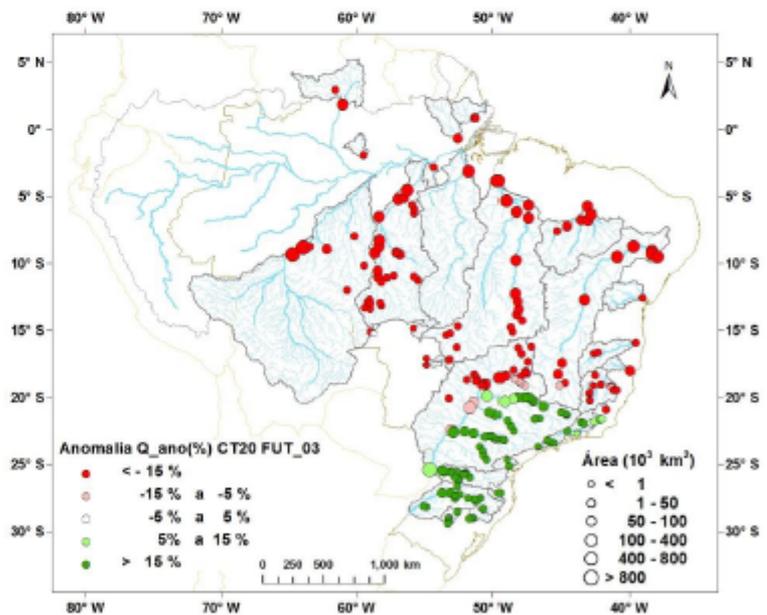
NEAMZ

# IMPACTOS NAS VAZÕES

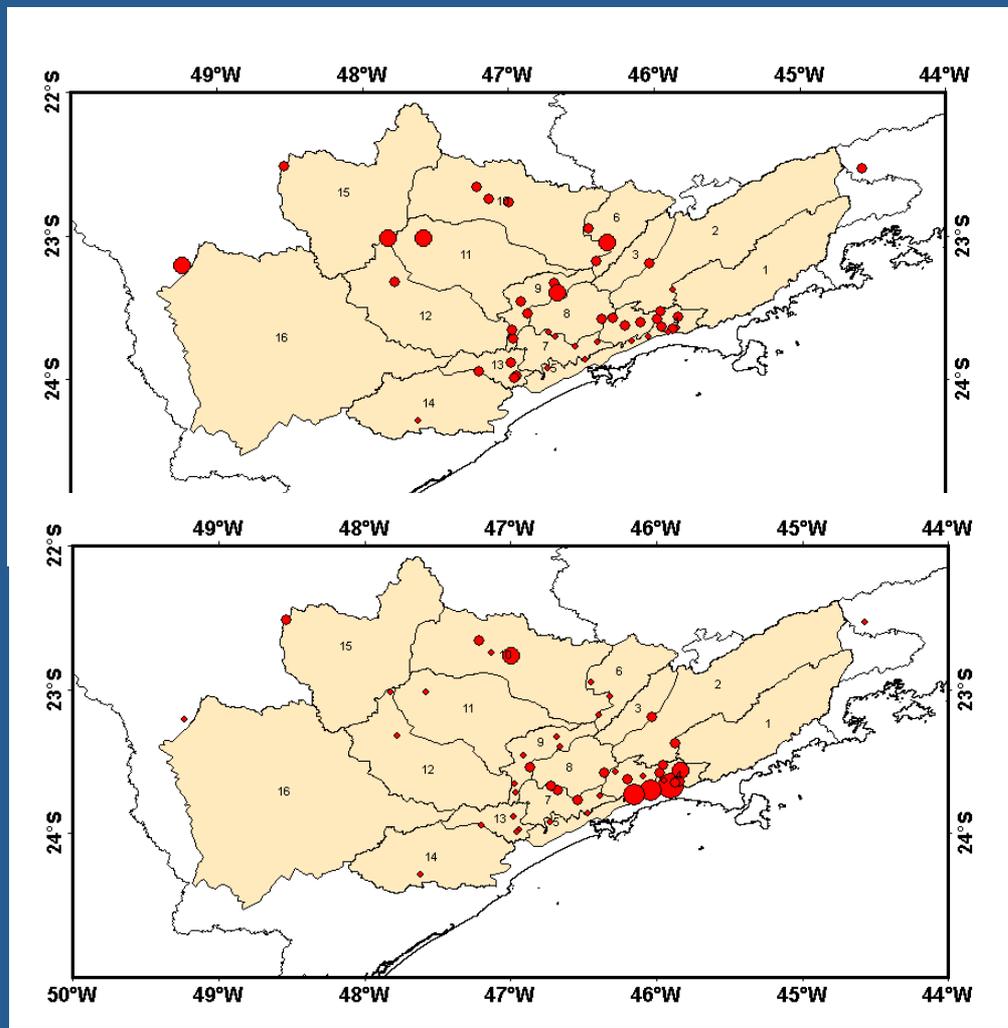
Tendências identificadas  
nas vazões naturais de 1930 a 2010



Projeções de alteração das vazões naturais  
No final do século XXI em relação a 1960-1990



# Mudança nas Vazões Médias Anuais em 2015-2040

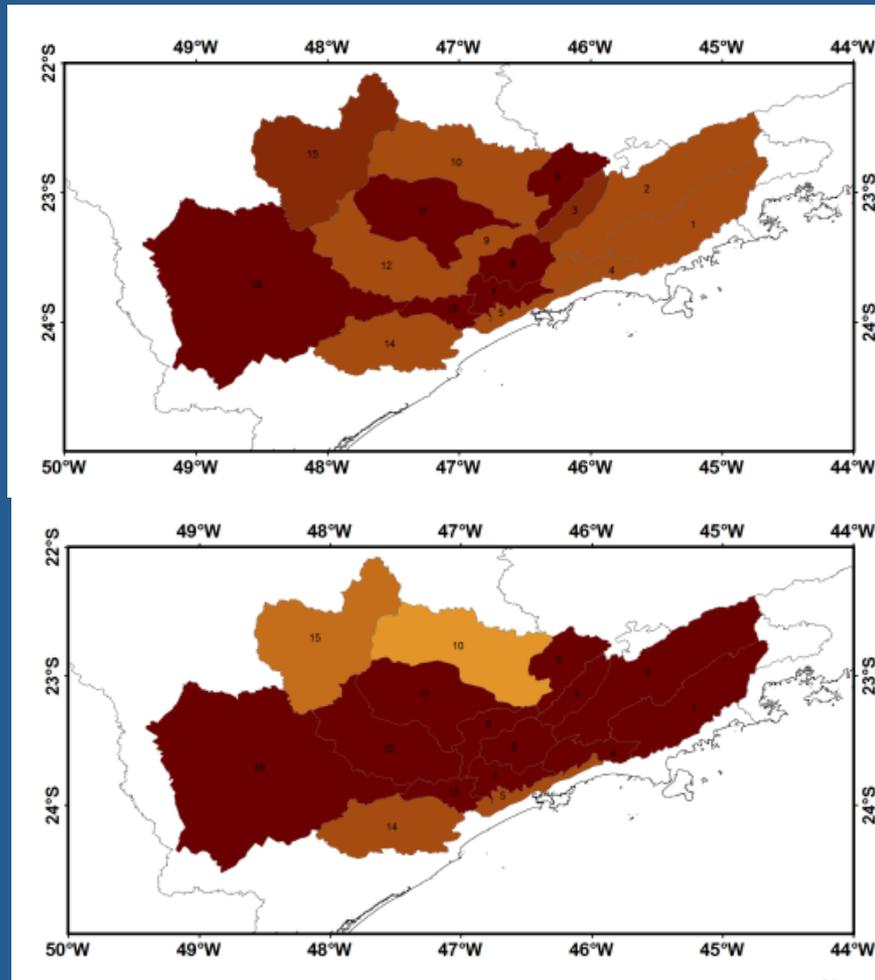


RCP 4.5

RCP 8.5

Fonte: ENCIBRA (2015)

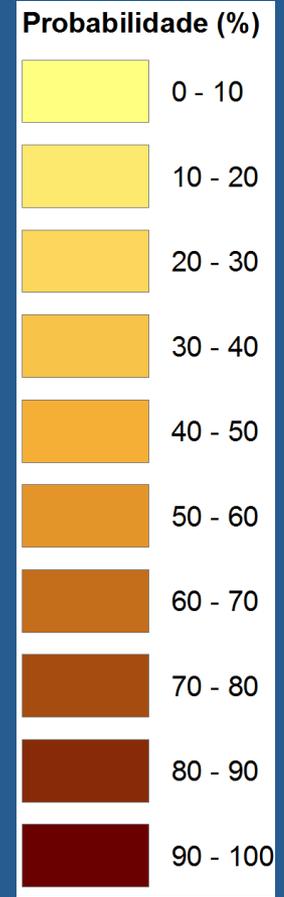
# Probabilidade de Ocorrência de Vazões Iguais ou Menores que as de 2014 em 5 anos consecutivos



RCP 4.5

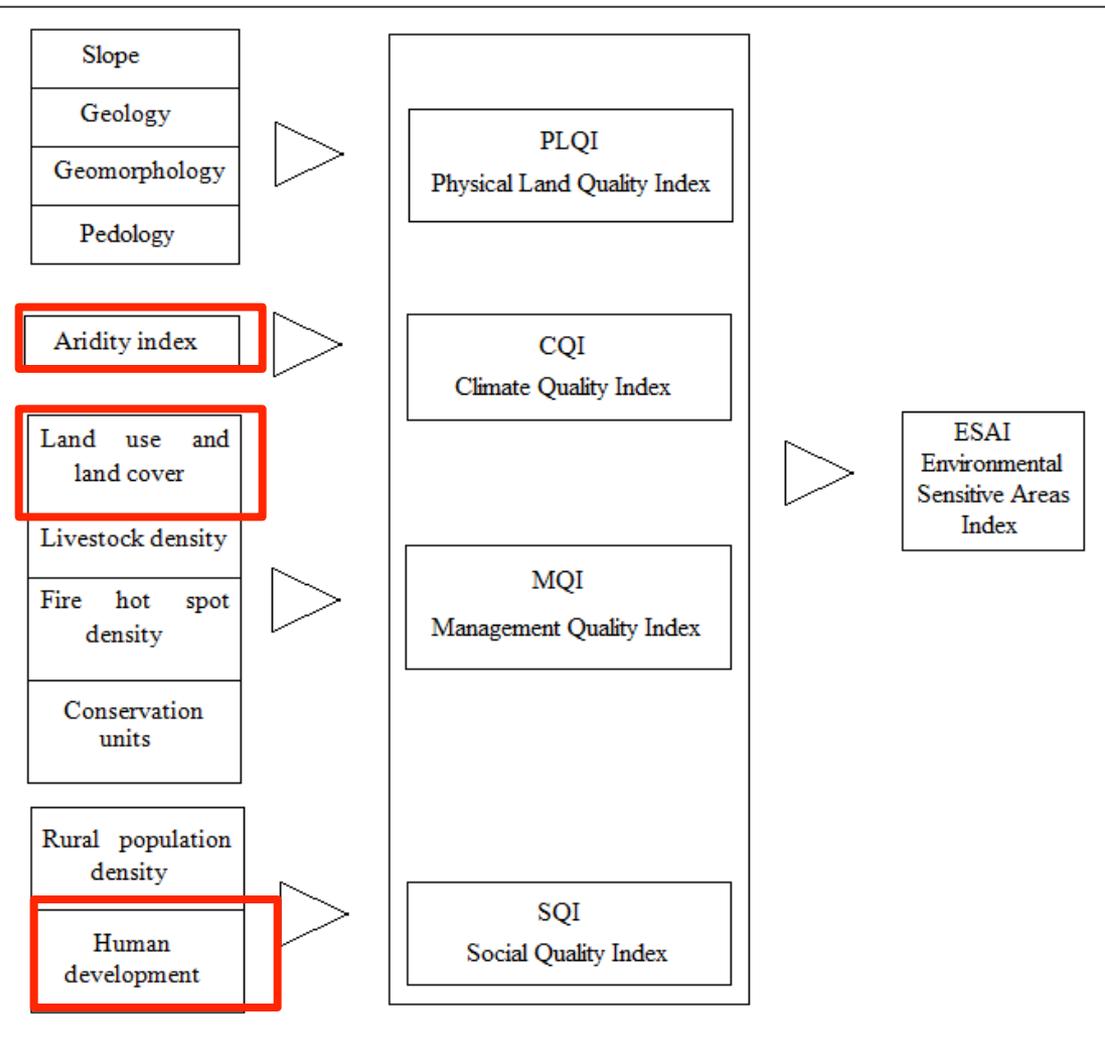
RCP 8.5

2015 - 2040



Fonte: ENCIBRA (2015)

# Methods



- Physical Land quality index (PLQI):  

$$PLQI = (I_s * I_g * I_{gm} * I_d)^{1/4}$$
- Management quality index (MQI):  

$$MQI = (I_{uc} * I_p * I_{fq} * I_{ucob})^{1/4}$$
- Climate quality index (CQI):  

$$CQI = I_a$$
- Social quality index (SQI):  

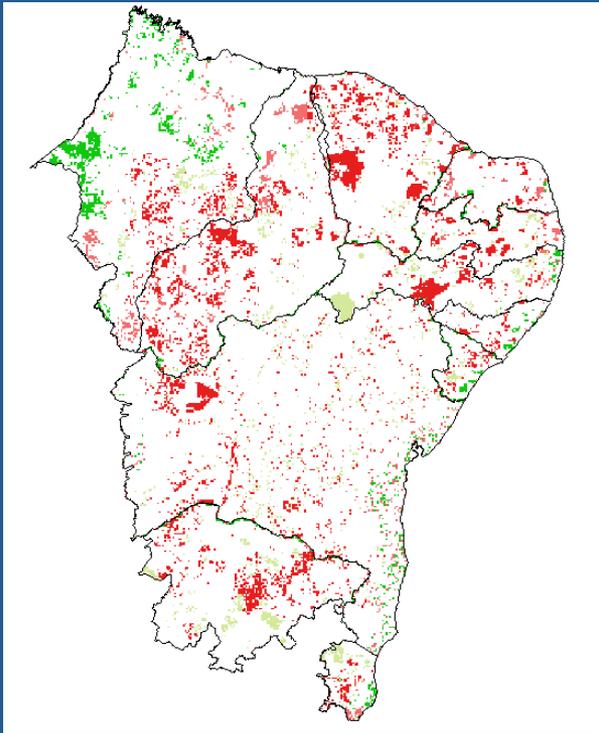
$$SQI = (IHDI * I_{Pop})^{1/2}$$

$$ESAI = (PLQI * MQI * CQI * SQI)^{1/4}$$

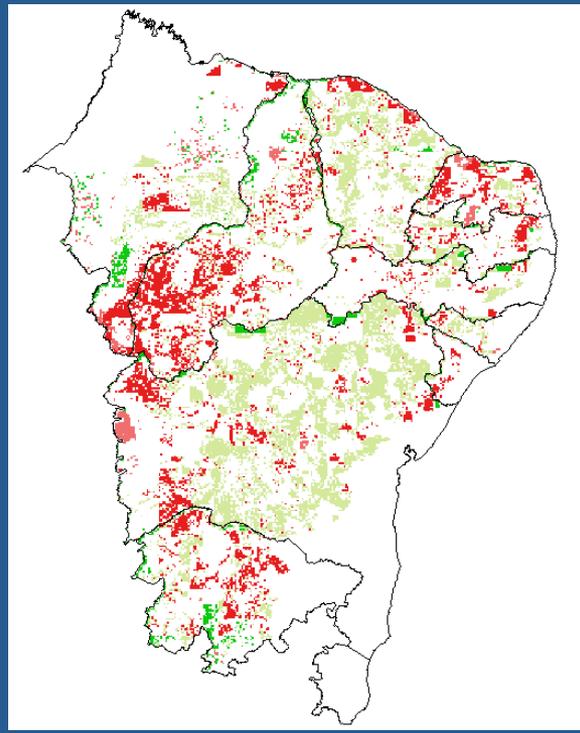
Based on **Medalus method** on these calculations, three types of ESAs were assigned: (a) **low-susceptibility** areas (ESAI  $1.00 \geq 1.25$ ), (b) **moderate-susceptibility** areas (ESAI  $1.25 \geq 1.50$ ), and (c) **high-susceptibility** areas (ESAI  $> 1.50$ )

# Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra

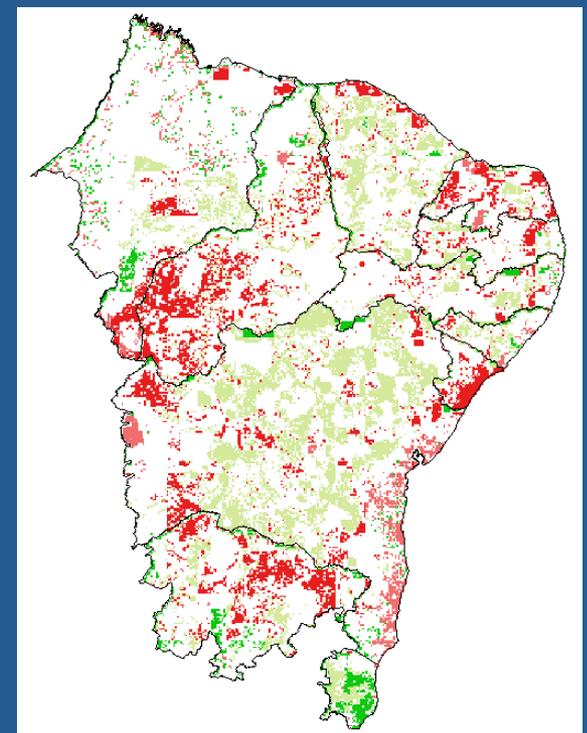
2000-2010



Optimisc scenario

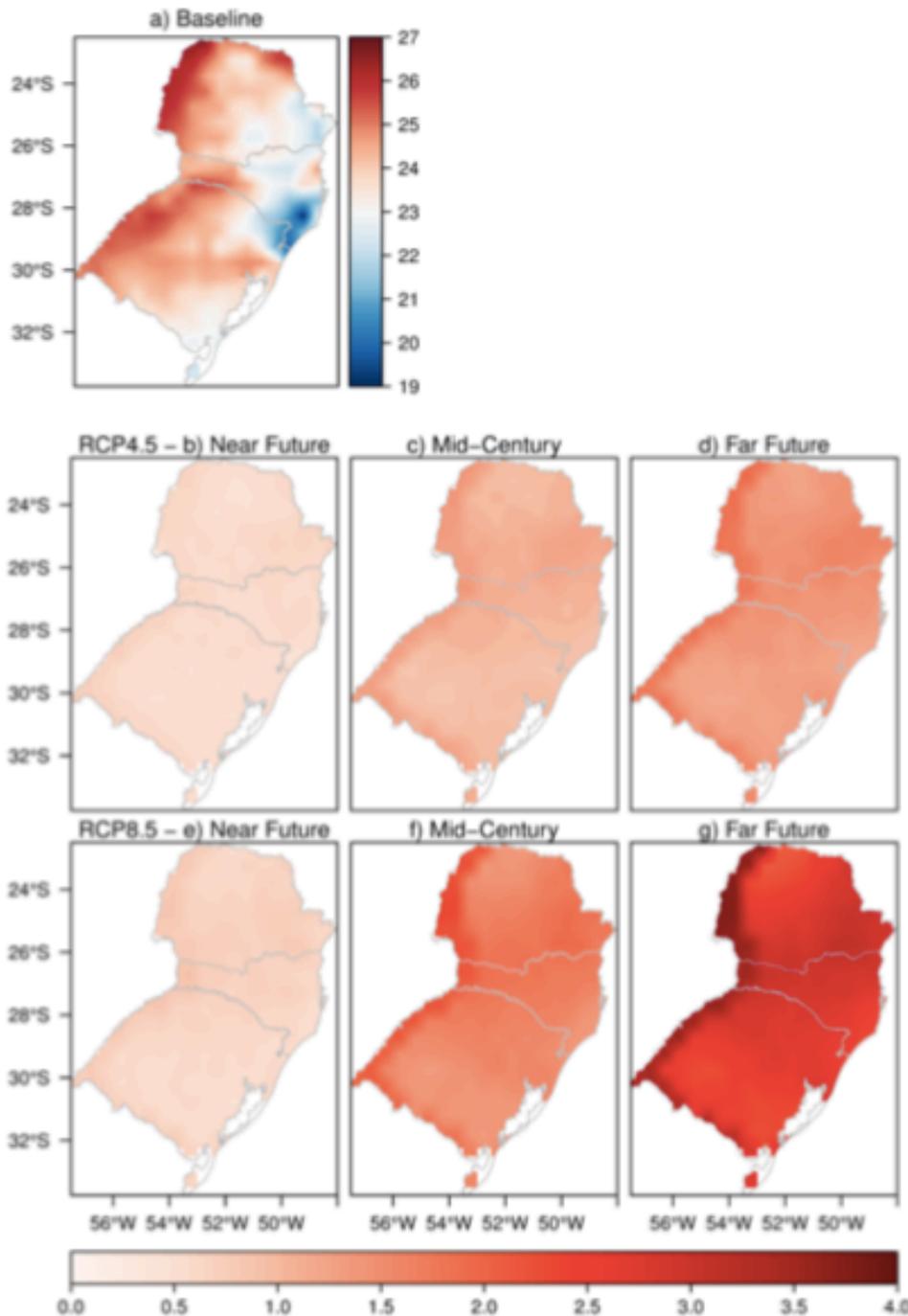


Pessimistic scenario



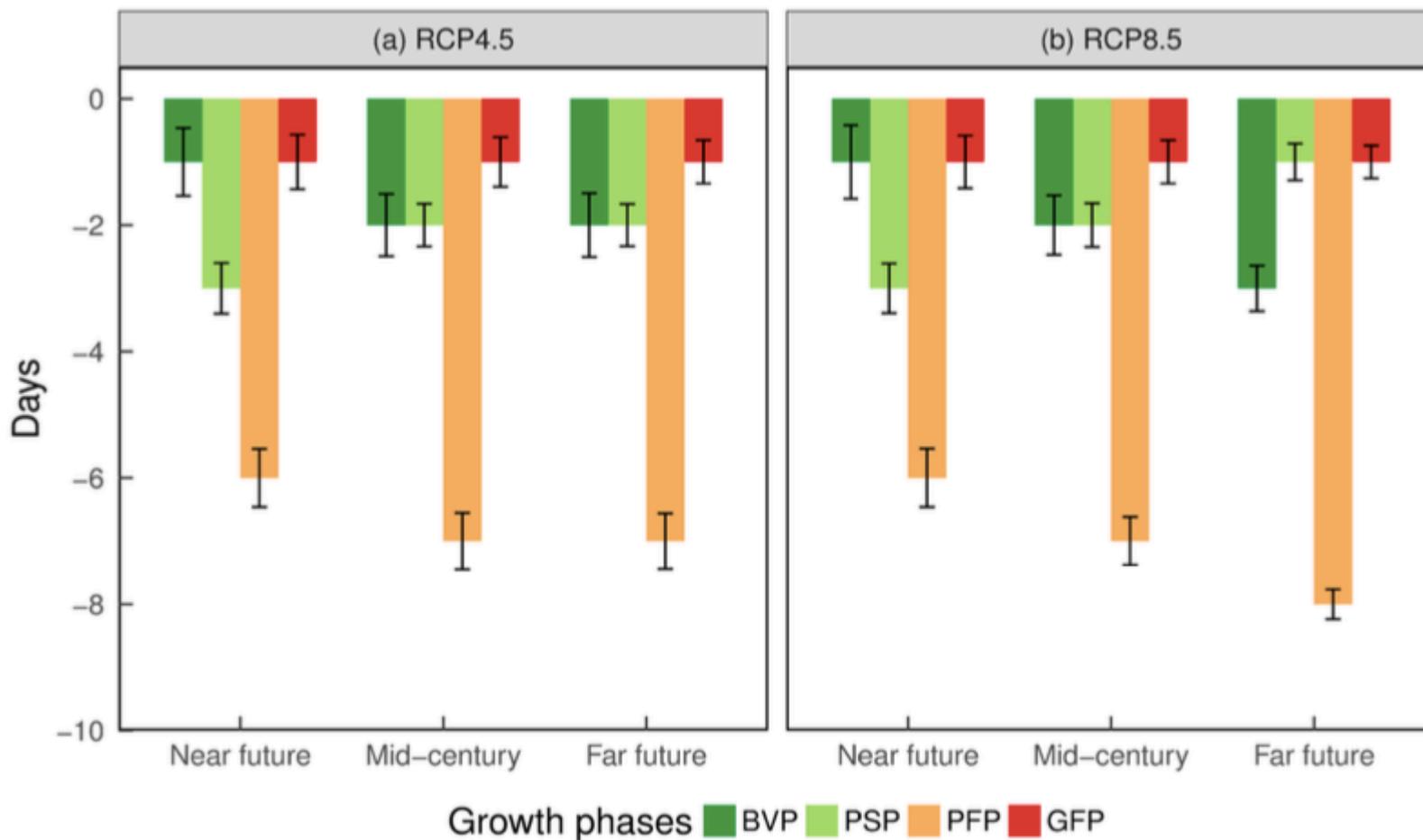
Fonte: Rita Vieira

# Projected changes in temperature (oC) during the growing season (Nov-Mar)



1981-2010 (Baseline)  
2011-2040 (near future)  
2041-2070 (mid-century)  
2071-2100 (far future)

# Projected changes in the Agro-IBIS rice growth phases under the future climate scenarios (a) RCP4.5 and (b) RCP8.5.



basic vegetative phase (BVP)  
 photoperiod-sensitive phase (PSP)  
 panicle formation phase (PFP)  
 grain-filling phase (GFP)

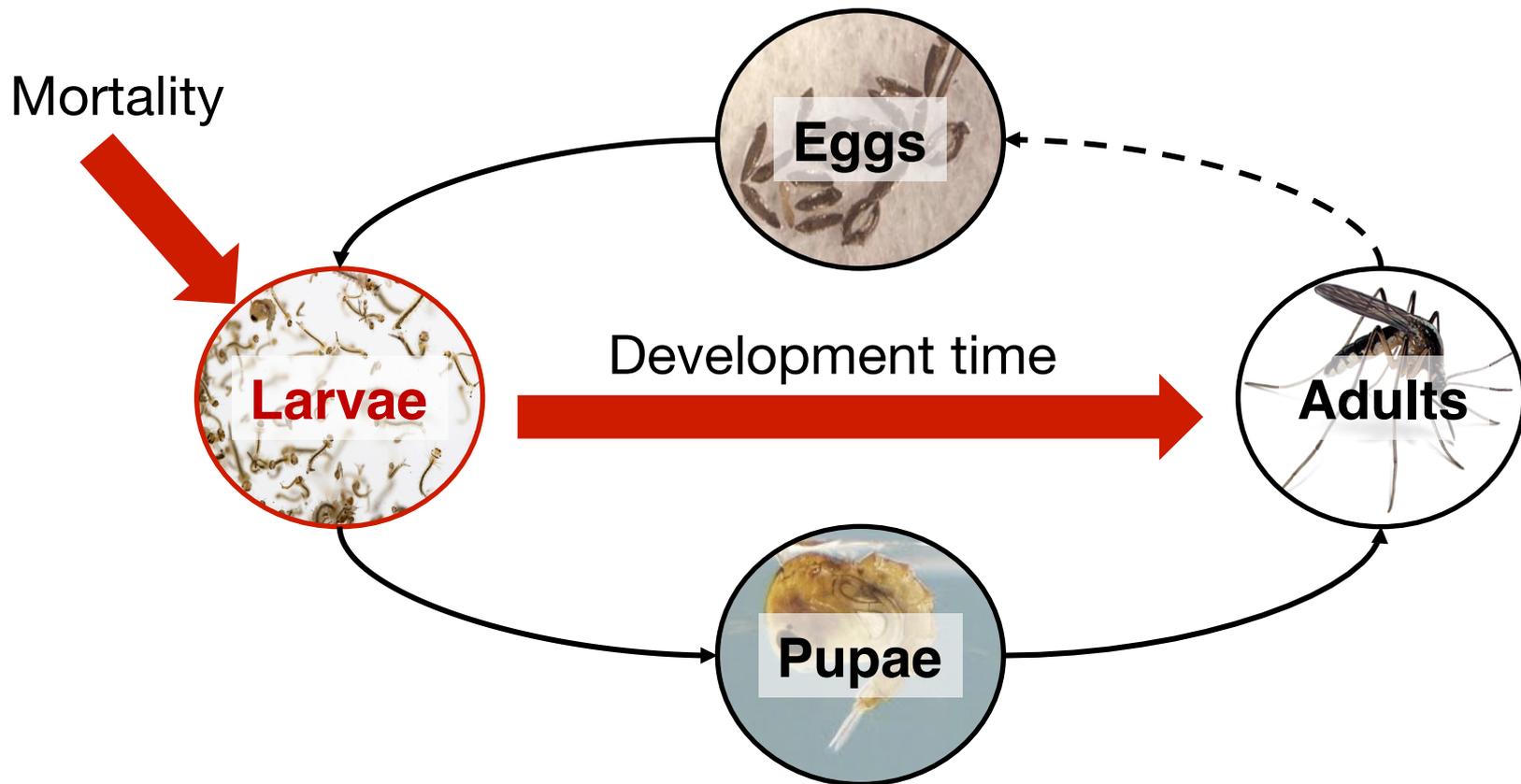
# Mudanças Climáticas é um problema de SEGURANÇA ALIMENTAR

	Cenário RCP 8.5					
	2025 (ha)	Δ (%)	2055 (ha)	Δ (%)	2085 (ha)	Δ (%)
Arroz	2.238.483	-7,2	2.232.870	-7,5	2.077.094	-13,9
Milho safrinha	1.751.641	-76,5	1.128.835	-84,9	204.339	-97,3
Milho safra 1	6.661.951	-12,3	6.646.863	-12,5	5.908.882	-22,2
Feijão safra 1	1.124.132	-42,6	1.064.133	-45,6	838.874	-57,1
Feijão safra 2	423.463	-58,5	396.056	-61,2	286.938	-71,9
Soja	8.901.284	-64,4	8.556.636	-65,7	4.693.604	-81,2
Trigo	1.501.642	-21,5	1.596.339	-16,5	1.457.725	-23,8

Impactos na Agricultura Brasileira

# *Aedes aegypti* mosquito life cycle

Temperature can affect different parts of mosquito life cycle

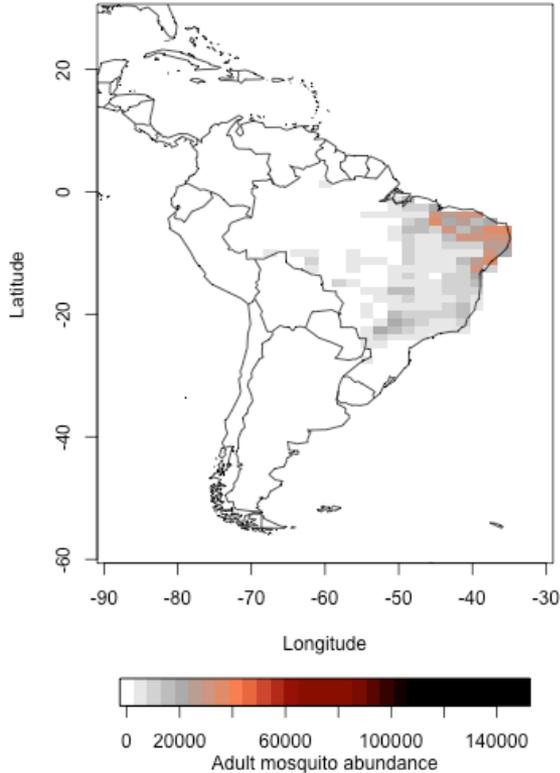


# Results

## Future climate projections

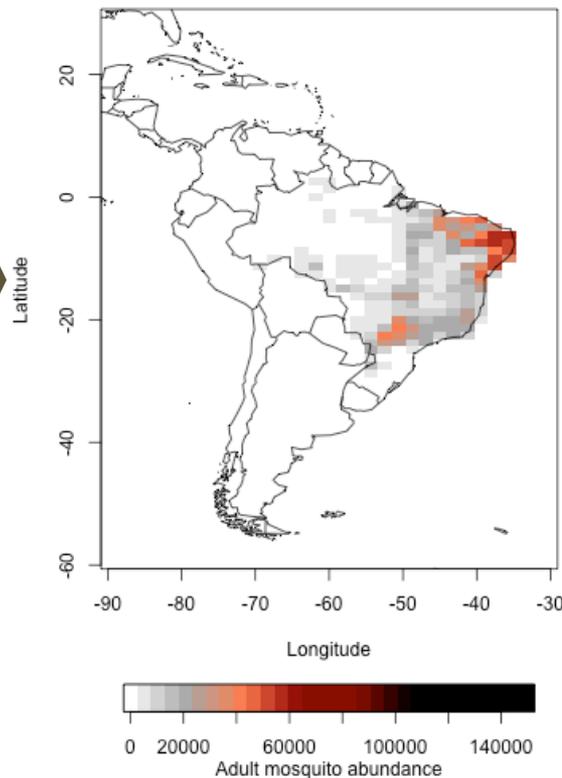
More global warming means more mosquitoes

Mosquito abundance in 2005.07.01



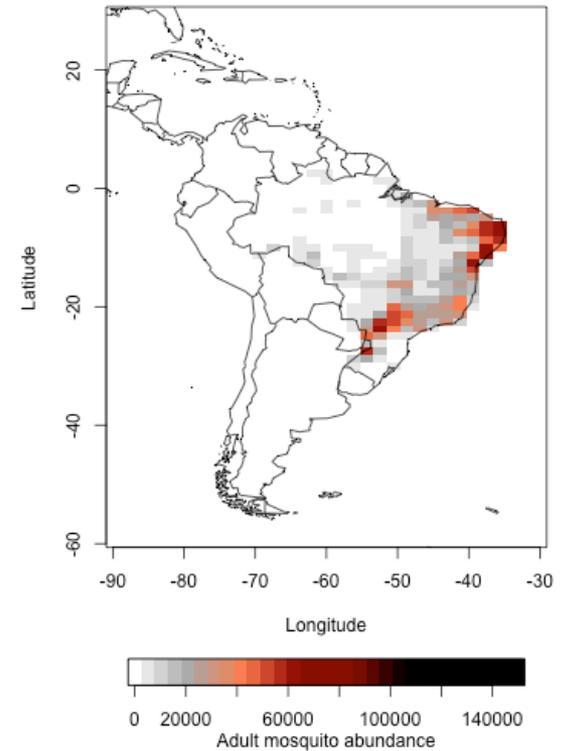
2005

Mosquito abundance in 2093.07.01 - RCP45



RCP 45 in 2093

Mosquito abundance in 2093.01.01 - RCP85



RCP 85 in 2093

# Mudanças Climáticas é um problema de INFRAESTRUTURA

SE ZONE, NO  
ACTION



Damages - 100-year Storm  
- 2050 with Low (0.18 m) SLR -

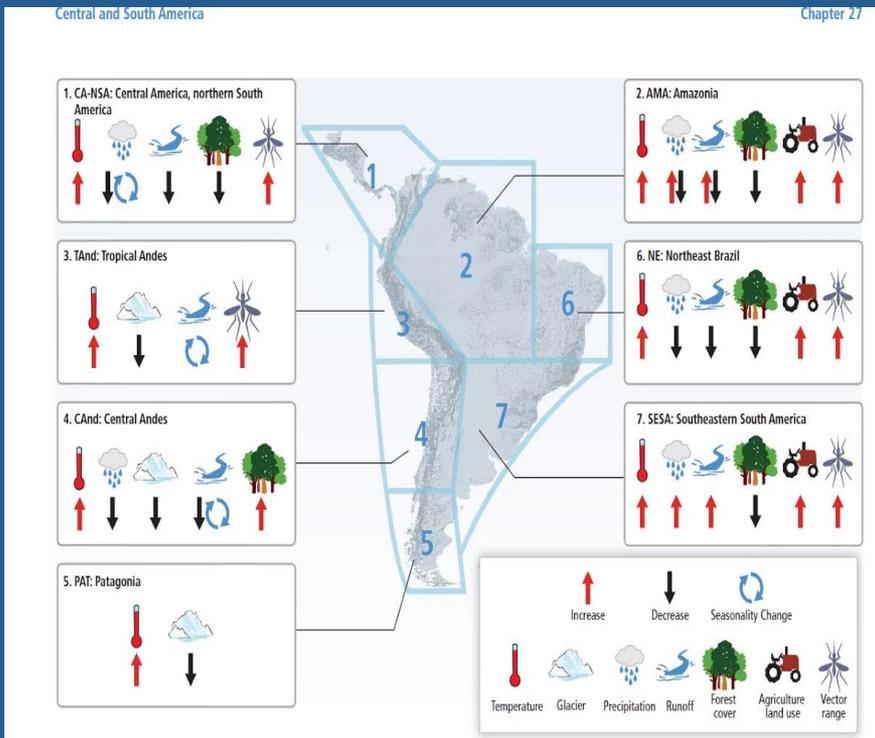
**Building Damage**  
Lost asset value for scenario: Year 2050, Low SLR, 100 Storm  
Total Storm Damage = \$26.1M  
■ Damages from Storm Surge  
*For general planning purposes only*

# UM CONVITE A REFLEXÃO

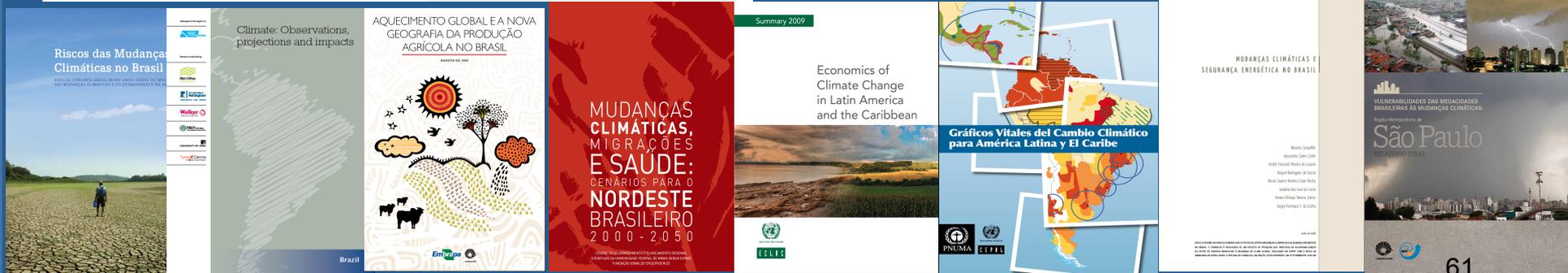
---



# DESAFIOS

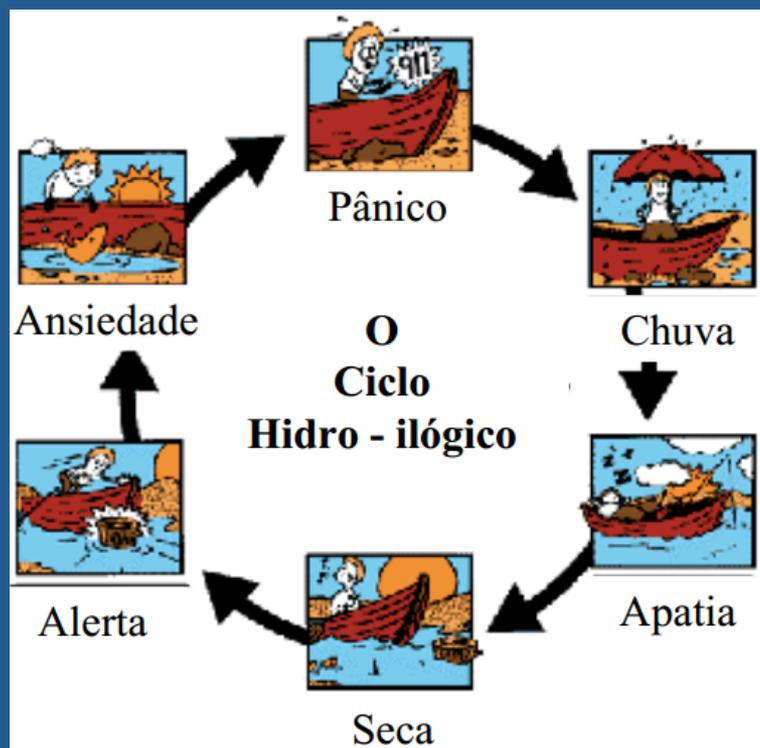


- ✓ Observação e Monitoramento
- ✓ Comunicação
- ✓ Integração: ciência – tomadores de decisão – sociedade
- ✓ Oportunidades

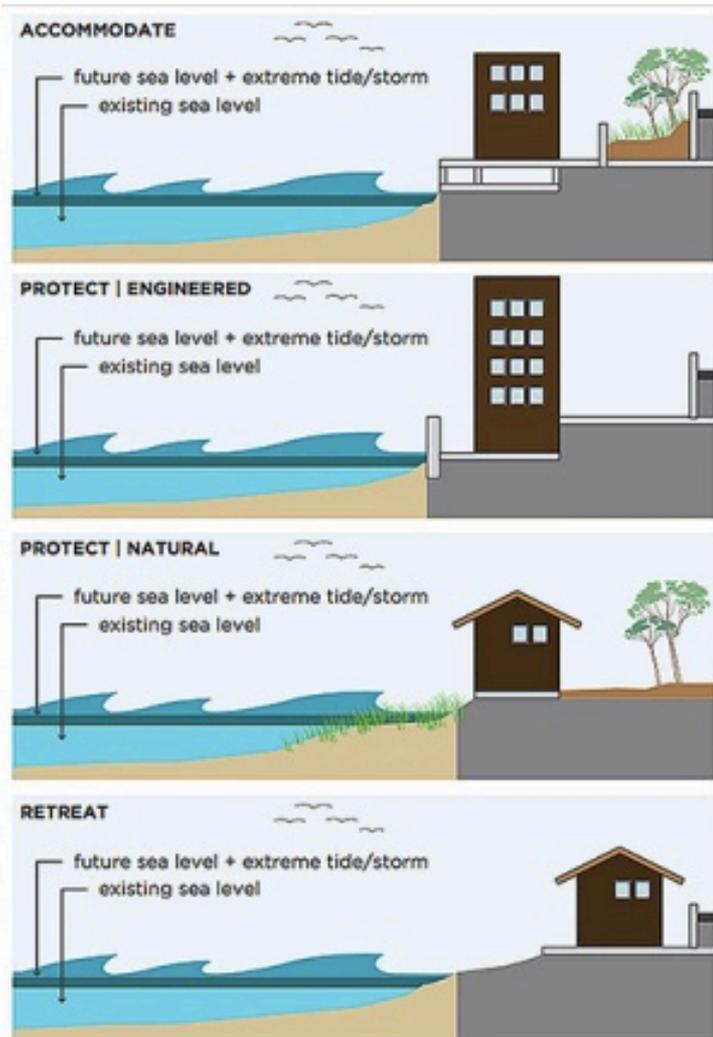


# NOVOS OLHARES PARA VELHOS DESAFIOS

- Percepção do CICLO HIDRO-ILÓGICO



# VOCÊ COMO PARTE DO PROBLEMA



## Escolas vulneráveis nos municípios monitorados



(A) **125.321** escolas registradas pelo INEP/Ministério da Educação

(B) **721** escolas em área de risco hidrológico, 525 são escolas públicas

(C) **1714** escolas em área de risco geológico, 1265 são escolas públicas

Mais de **3 milhões** de pessoas vinculadas a essas áreas de risco.

Fonte: Viviana Muñoz / Cemaden





Petelet-Giraud et al. 2017

Projeto COQUEIRAL



## Conteúdo

Exemplos práticos/cases/soluções/mapa de experiências em adaptação nacionais e globais

Relatórios com Políticas Públicas em andamento para cada cenário em risco

Plataformas já existentes

Materiais de base: glossário e manuais

Base de dados sobre legislações relacionadas a adaptação

Artigos, relatórios (conceituais) sobre o tema

Informações sobre financiamento (fundos, editais, abertos, planejamento, opções, oportunidades)

Eventos e seminários realizados sobre o tema (e seus conteúdos)

Dados e informações territoriais

Cenários de alterações e riscos

Séries históricas de dados

Dados provenientes de empresas

Projeções regionais (e como se traduzem em impactos)

Lista de instituições que trabalham com o tema

Sugestões de contato: lista de profissionais que trabalham com o tema e seus CVs (não só 'gurus')

Relação de especialistas e consultorias por área/temas

Caminhos para treinamentos e capacitações

Medidas de adaptação ajustadas a realidade local

Lista de metodologias em adaptação

Ferramentas de gestão

Rota para planos/medidas de adaptação

Identificação Vulnerabilidades

Temas prioritários

Modelos e instrumentos para diagnóstico, análise, planejamento e monitoramento

Ferramentas de análise de custo (Banco Mundial)

Manuais/ Guias/ Cartilhas

Indicadores

## Organização

Por região

Por bioma

Por tema do PNA

Por temas prioritários



[educaclima.mma.gov.br](http://educaclima.mma.gov.br)

## Tudo sobre mudança do clima:

LEGISLAÇÃO

AÇÕES DE EDUCAÇÃO

PUBLICAÇÕES

FILMES E VÍDEOS

GRÁFICOS

SITES

APPS

INSTITUIÇÕES

FÓRUNS DE DISCUSSÃO

NOTÍCIAS

NEGOCIAÇÃO INTERNACIONAL

CURSOS E EVENTOS

## Considerações Finais

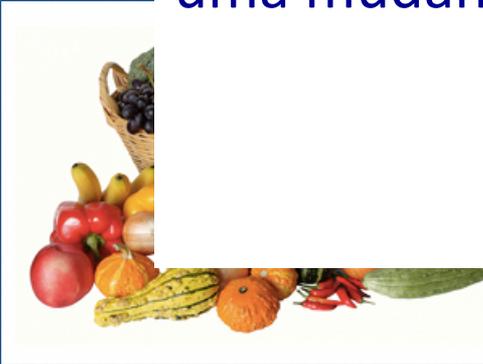
---

- Vários cenários de mudanças climáticas indicam que as várias regiões do Brasil são vulneráveis à variabilidade climática e, em particular, aos seus extremos (maiores impactos em setores estratégicos);
- Desenvolvimento de uma base de dados com informações físicas, ambientais e socioeconômicas, permitindo a interação dos indicadores - planejamento sustentável para os tomadores de decisão;
- Todos os Estados precisam reavaliar sua vulnerabilidade e exposição, para gerenciar melhor o risco. Essa reavaliação precisa ser plenamente integrada no processo de planejamento – não setorial;
- Não se deve usar a incerteza como motivo para inação no que se refere a investir e reduzir a vulnerabilidade e a exposição;
- Formação de Recursos Humanos;
- Institucionalizar e implementar a agenda das Mudanças Climáticas
- Elaborar dados e análises sobre evidências econômicas

# Quebra-cabeça do século 21



O termo **Antropoceno** aumentou a consciência de que os humanos são responsáveis pelo planeta como um todo. A questão permanece se um senso emergente de responsabilidade crescerá rápido o suficiente para induzir uma mudança no comportamento humano.



# Obrigado

---

**Lincoln Muniz Alves**  
CCST/INPE

E-mail: [lincoln.alves@inpe.br](mailto:lincoln.alves@inpe.br)



[@lincolnalves](https://twitter.com/lincolnalves)

