

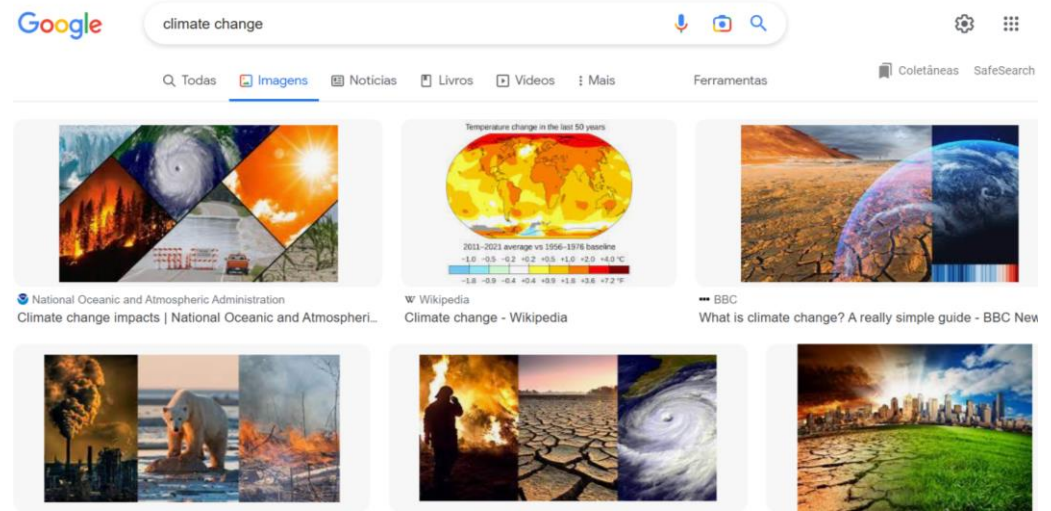
Mudanças climáticas

Humberto Ribeiro da Rocha

Professor

humberto.rocha@iag.usp.br

Mudanças climáticas
é um assunto muito exposto
na mídia, com toda razão



certas posições humanas

1. Ceticismo : duvidar; descrer.
2. Negacionismo: *negar* como verdadeiro um fato que pode ser verificado empiricamente (ex.: negacionismo científico, negacionismo histórico)
3. Alarmismo: disseminar notícias de conteúdo alarmante, causando medo e inquietação
4. Realismo científico: na percepção do objeto, independente de pontos de vista, aceitar a realidade do fato

O que é o clima terrestre?

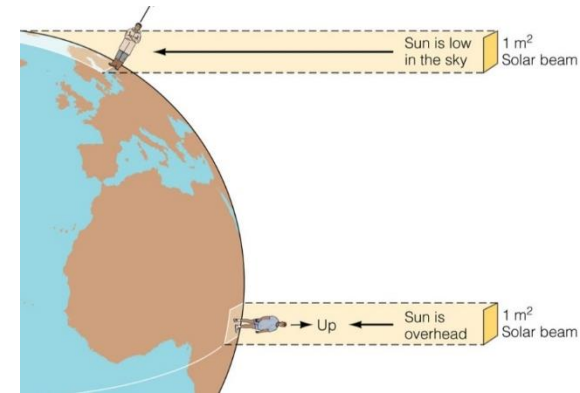
grego κλίμα ou *klima* (= inclinado)

Por que há diferentes climas na superfície da Terra ?

Aquecimento diferencial

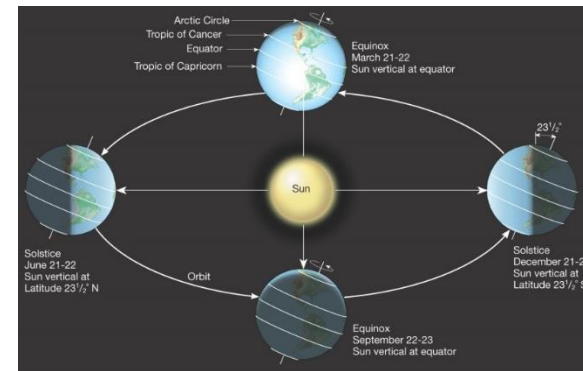
1. a esfericidade da Terra

No Equador se recebe mais radiação por m^2 , do que os pólos

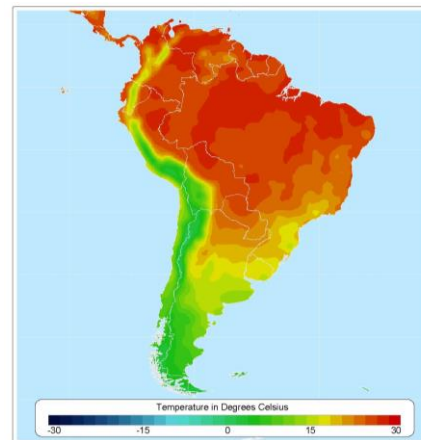


2. a inclinação da rotação

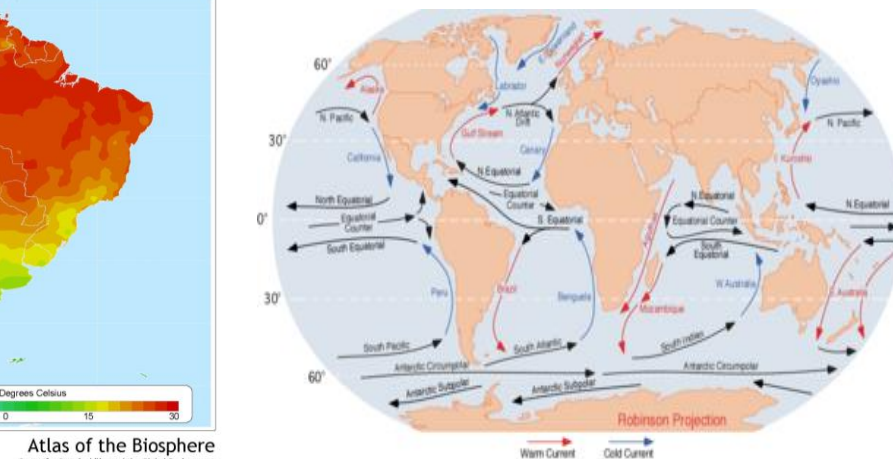
um hemisfério sempre recebe mais radiação que o outro (e v.v)



3. altitude vegetação correntes oceanicas



Data taken from: OII U.S. Degree Dataset (Beck, et al.)



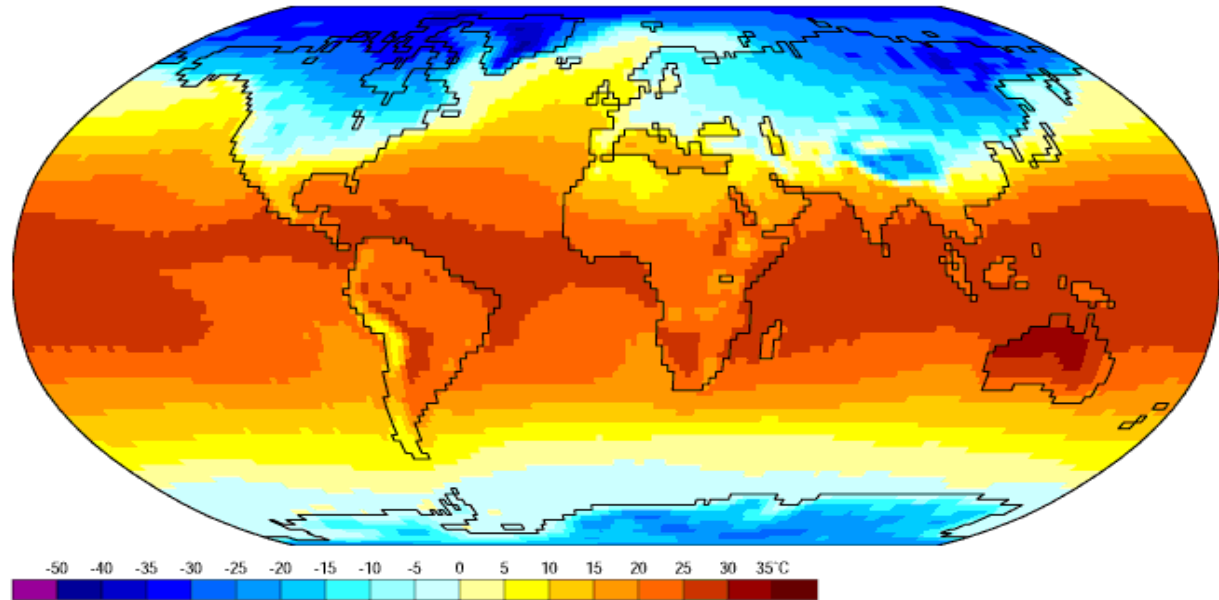
Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

Como é a dinâmica do clima na Terra ?

Temperatura do ar
mensal

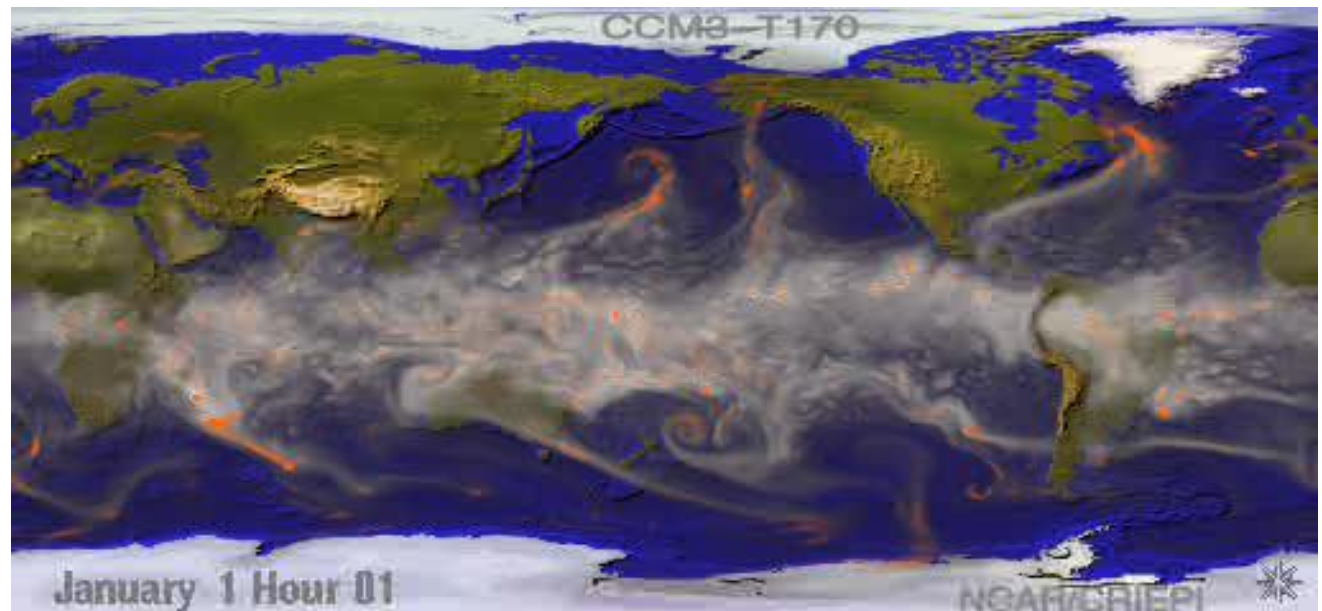
Air Temperature

Dec

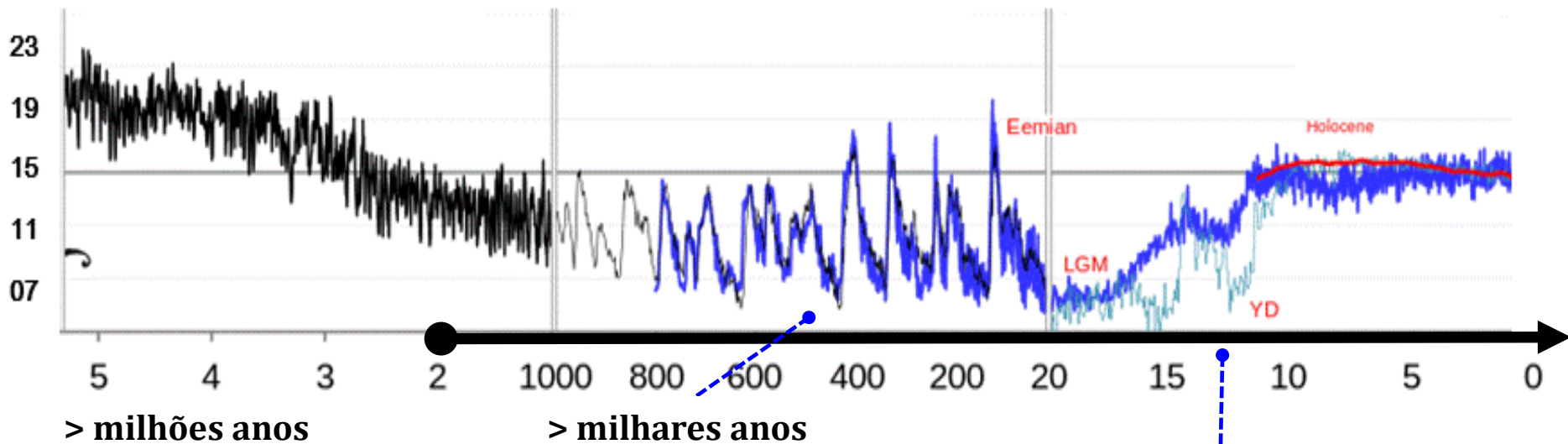


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies

Sistemas de
precipitação
(chuva)
e circulação (vento)



Temperatura da Terra e evolução humana



Homo habilis

Homo erectus

Homo sapiens

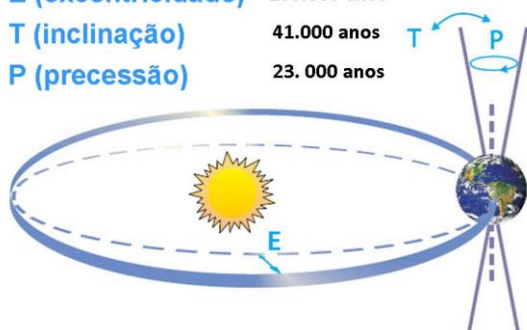
Agricultura
Irrigação

regime de Glaciais e Interglaciais
(ciclos de Croll-Milankovitch)

E (excentricidade) ~ 100.000 anos

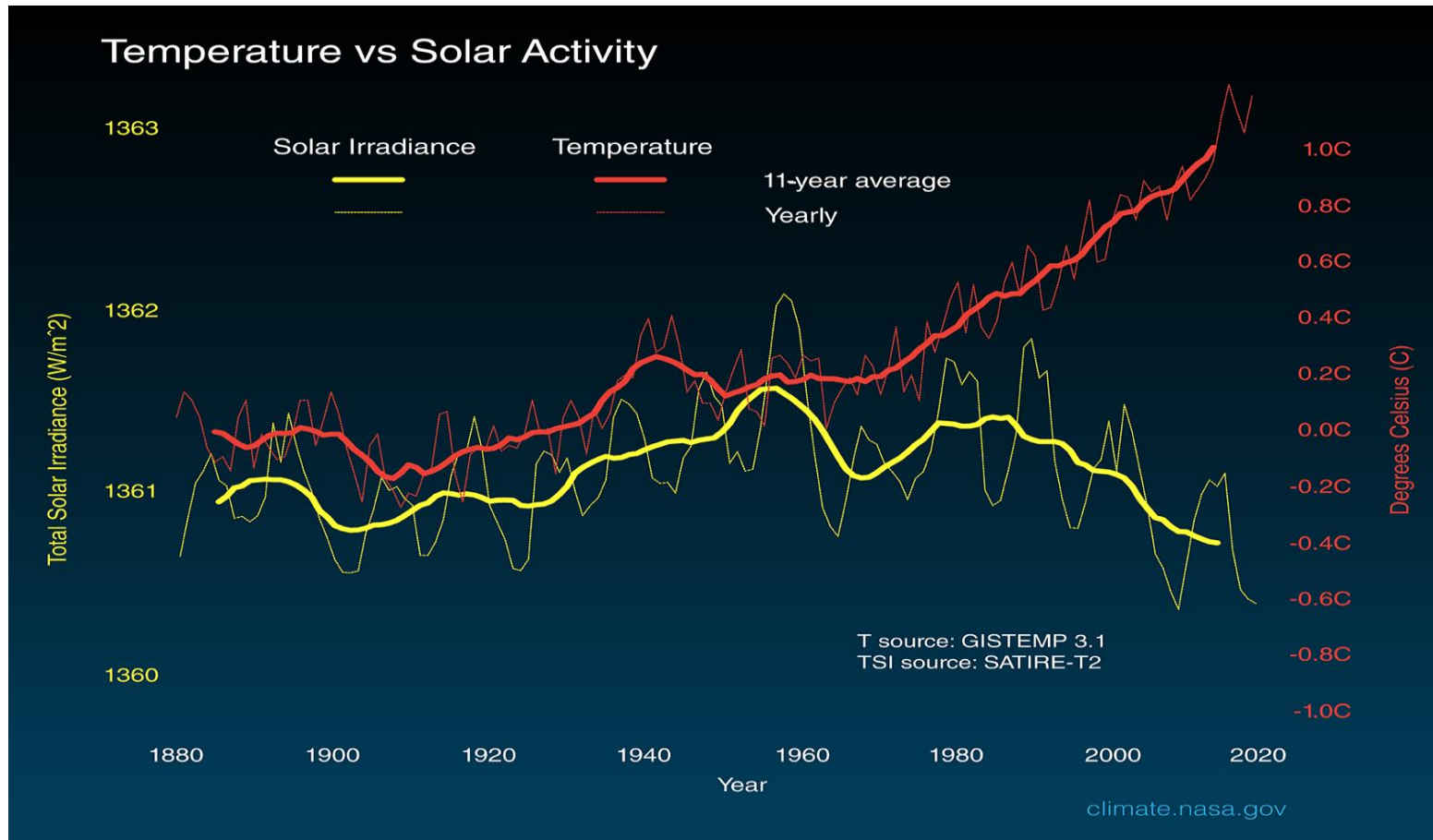
T (inclinação) 41.000 anos

P (precessão) 23.000 anos



Atlântida segundo
Platão (12.000 a)

Temperatura média nos últimos 140 anos (variação ao redor da média)



←-----●-----
Atividade solar (causa natural)
explicam a temperatura

●-----→

ruptura

●-----→
e aproximadamente
após 1970 ?

O experimento da prosperidade humana e suas intercorrências

1850

Revolução Industrial

1950

Revolução verde e de costumes
Antibióticos

1980

Globalização

2010

Revolução 4.0

Chuva ácida

Buraco do ozônio

Inverno nuclear + extinção de povos

Poluição do ar, águas e alimentos

Ilha de calor urbana

Criticidade hídrica

Depressão

11-15% hab países baixa/média a alta renda
cidade São Paulo : 30% da população afetada

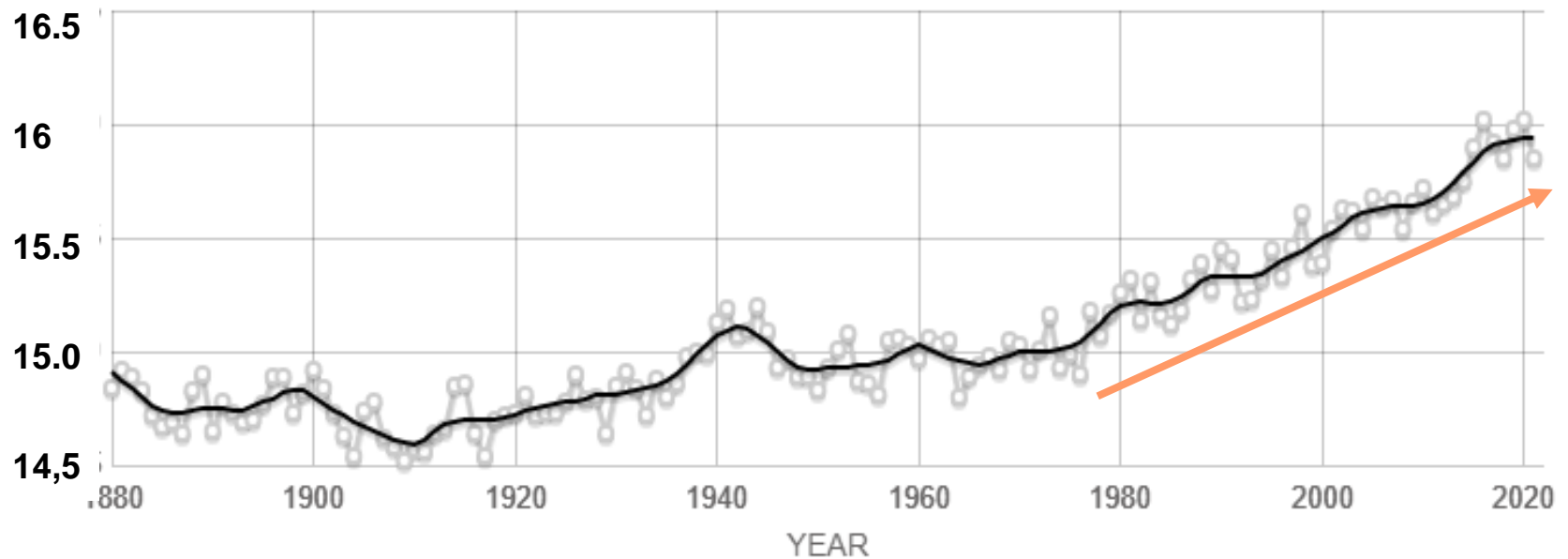
Fonte: Harvard Univ & 18 countries interviews with 89,000 people, *Kessler et al (2011) BMC Medicine, 9:90; Andrade LH et al. PLoS ONE 7(2)*

Aquecimento global

**O que são as mudanças
climáticas globais ?**

O aquecimento global

o sinal mais evidente das mudanças climáticas



Source: climate.nasa.gov



Tendência de aumento
consolidada !

aumento: $\approx 1,0$ °C

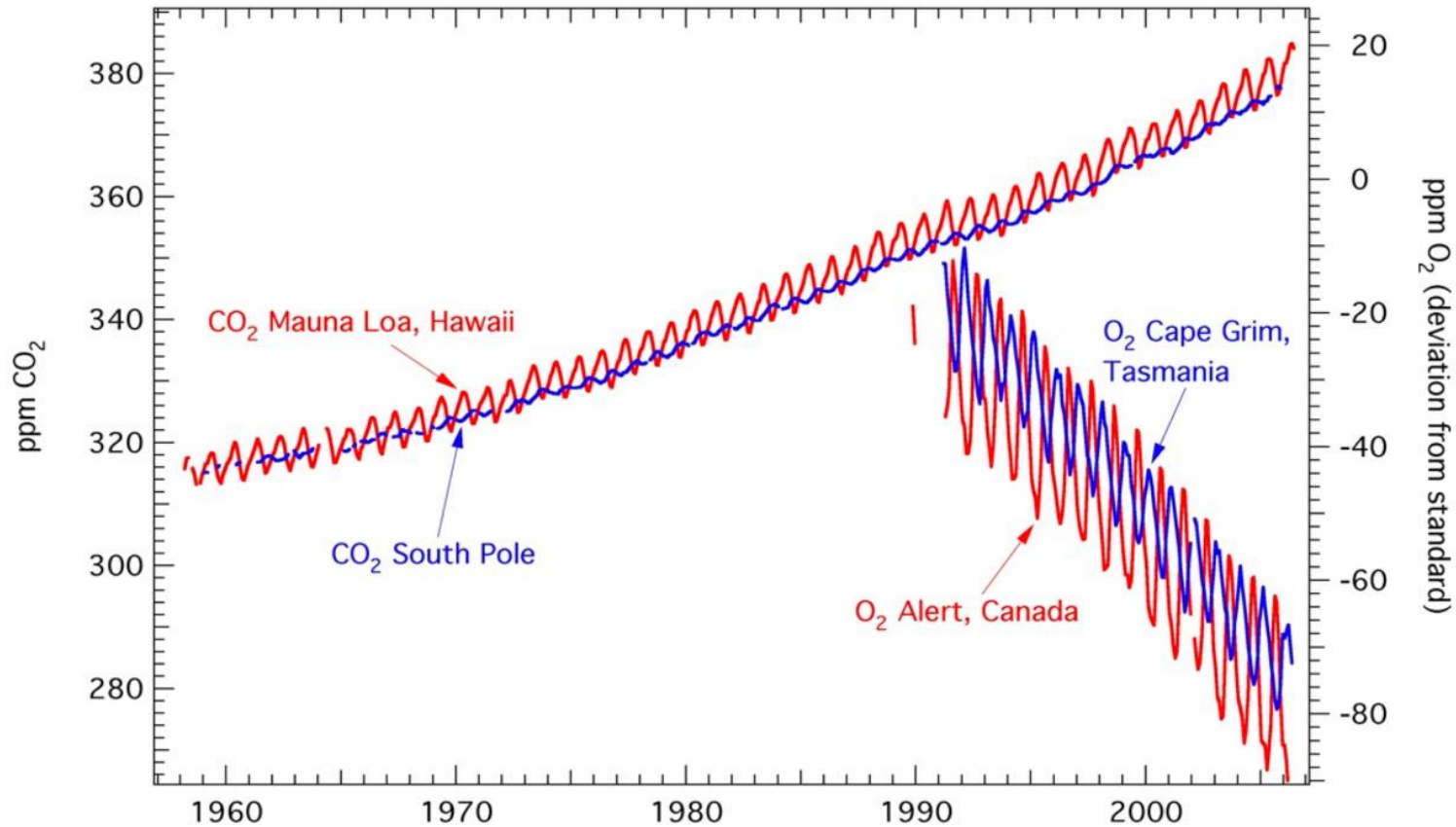
Temperatura na superfície média global anual (°C)

https://climate.nasa.gov/climate_resources/127/global-temperature/

O que acontece com o gelo do Ártico nos últimos 40 anos ?

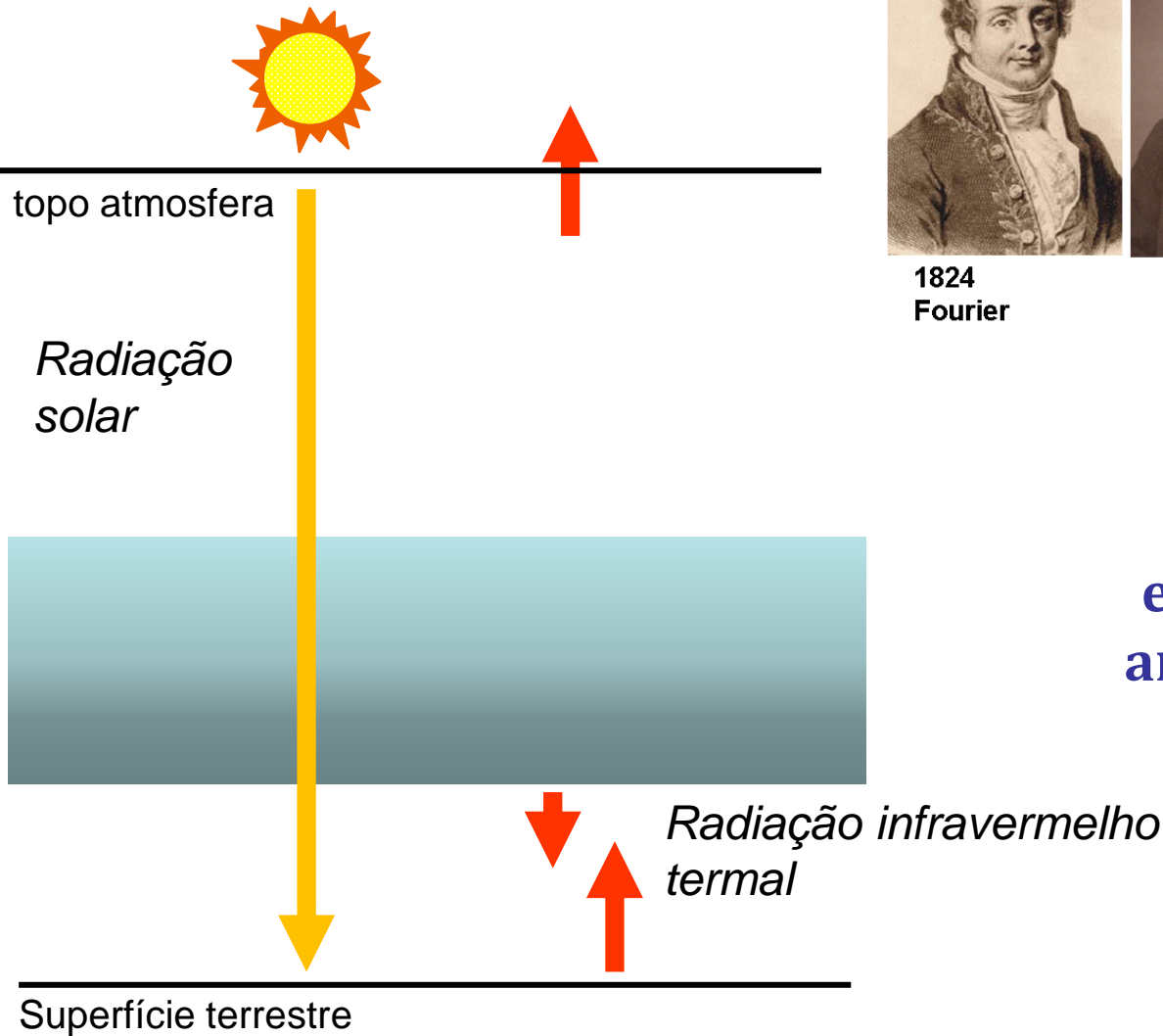


Atribuição de causas: aumento dos gases estufa

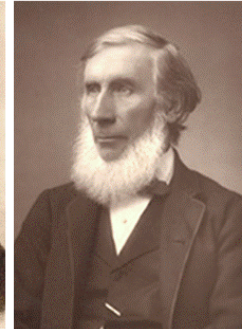


Concentração de CO₂ e O₂ (desvio de 21%). Fonte: Canadell (2007), PNAS

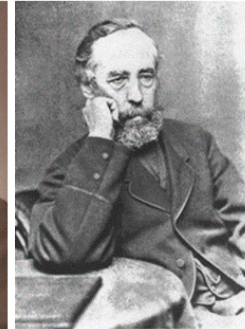
Atribuição de causas: o efeito estufa



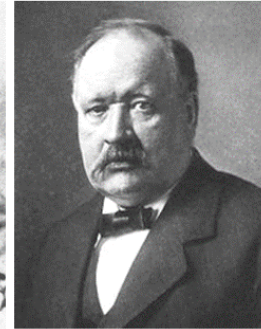
1824
Fourier



1854
Tyndall



1864
Croll



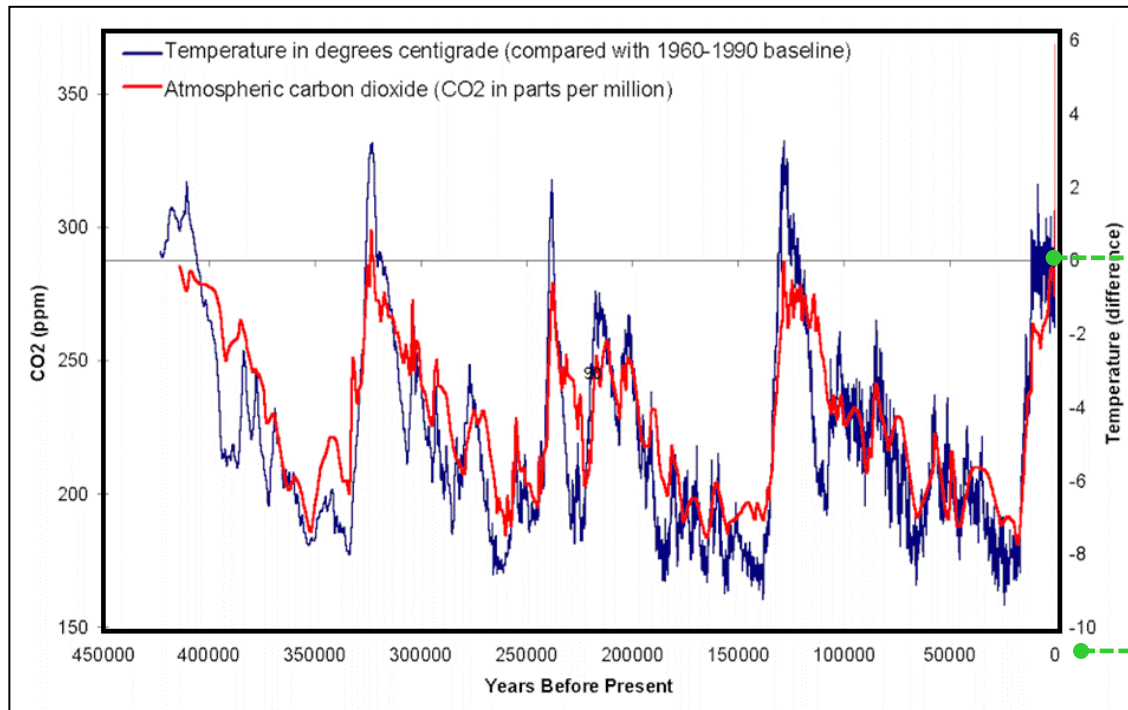
1896
Arrhenius

**efeito estufa natural e
antrópico: duas origens
diferentes**

**Que efeitos ocorreram
nas últimas décadas ?**

O clima da Terra caminha para um congelamento

Quando ?



estamos aqui !

para que regime climático vamos ?

tempo

Variabilidade natural do clima com regimes de glacial e interglacial

Incerteza devido ao início de um novo glacial ?! séculos

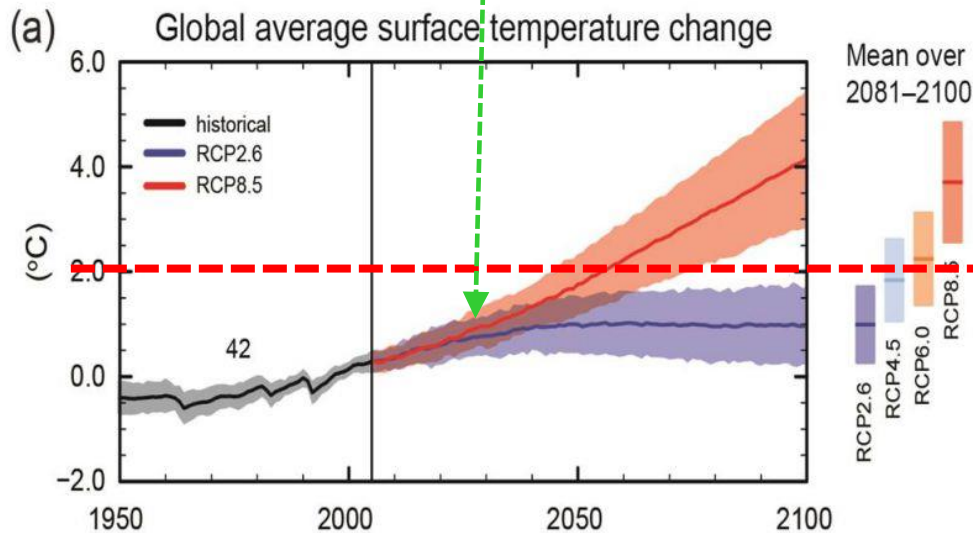
Fonte: Petit (1999) *Nature*; Shackleton (2000) *Science*

O clima da Terra caminha para um aquecimento nas próximas décadas

As projeções globais do clima no futuro próximo

estamos aqui !

Como serão os próximos 80 anos ?



cenários pessimista e otimista

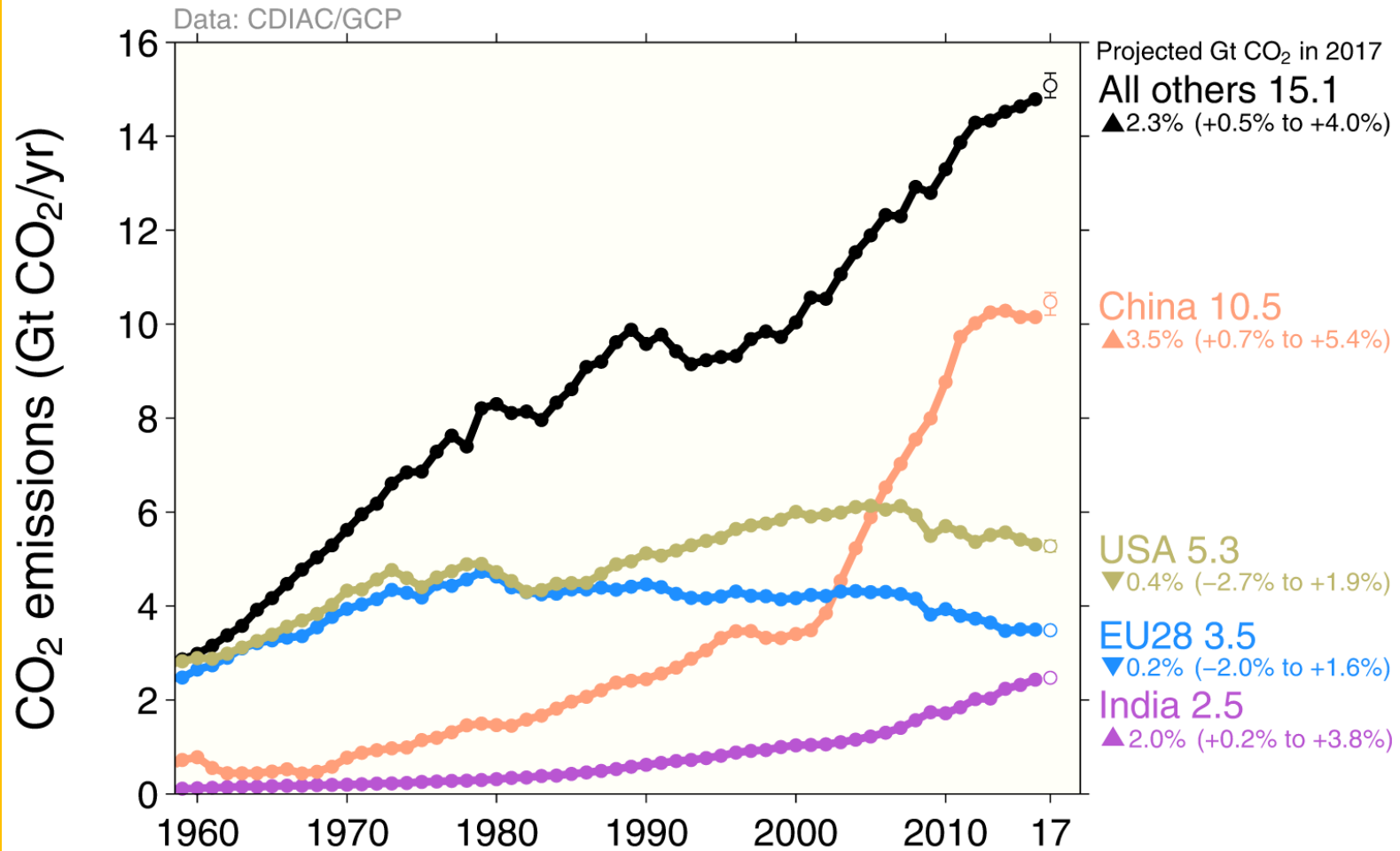
- conforme Baixa ou Alta emissão de carbono

Projeções indicam aquecimento

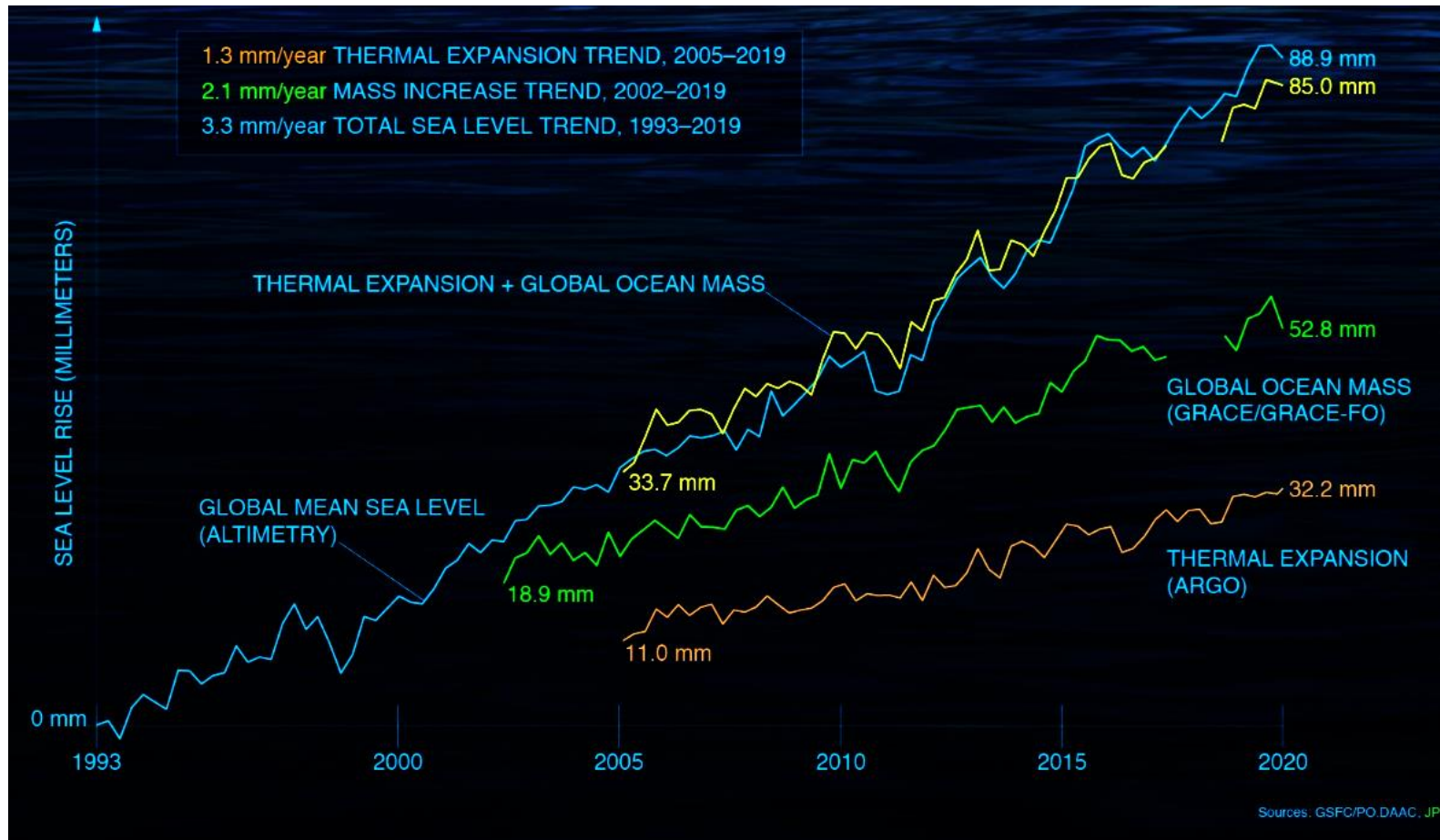
limiar *perigoso* de 2°C

Fonte: (RCP representative concentration pathway) do IPCC AR5

Emissões anuais de CO₂ por país



Consequências do aquecimento global : aumento do nível do mar



Medições históricas indicam aumento do nível do mar

Causas:

- derretimento do gelo
- expansão térmica da água

Fonte: <https://sealevel.nasa.gov/>

Saúde e atividade laboral

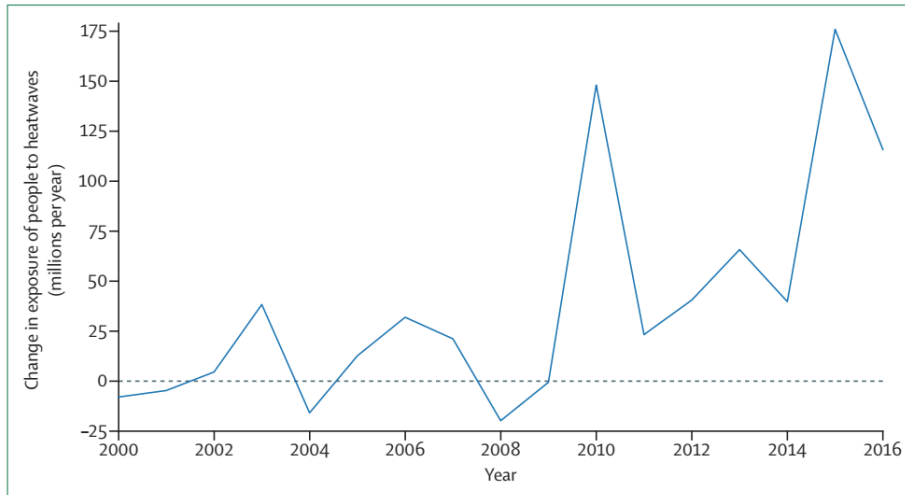


Figure 2: The change in heatwave exposure (in people older than 65 years), relative to the 1986–2008 average

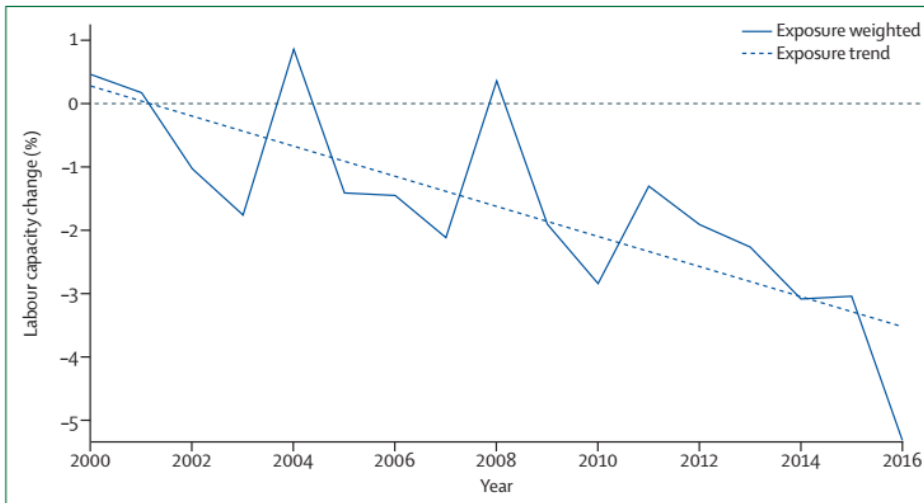


Figure 4: Labour capacity change worldwide, relative to the 1986–2008 average

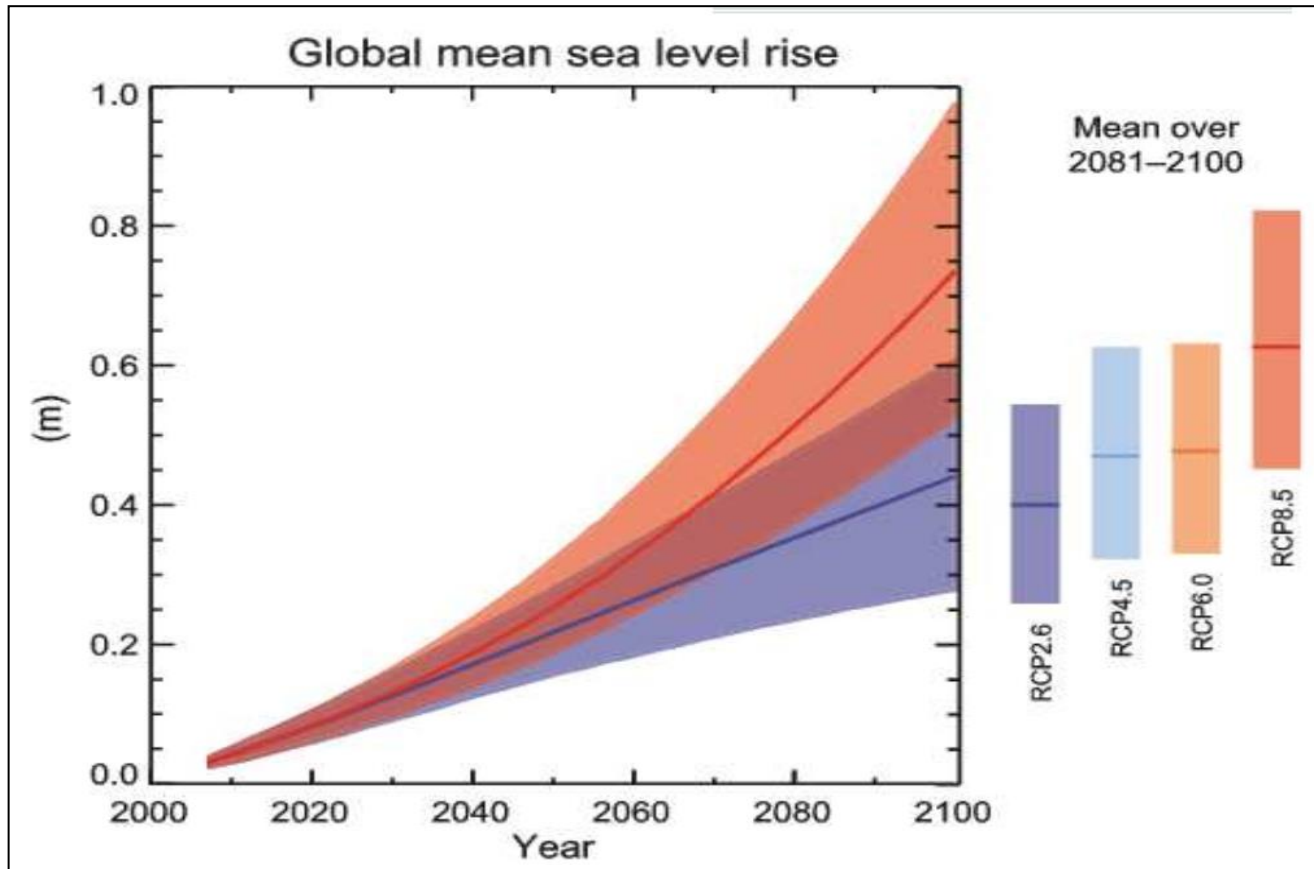
Aumento da exposição às ondas de calor (pessoas acima 65 anos)

Queda da capacidade laboral (média global)

The *Lancet* Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health

**Que efeitos se
projetam
no futuro ?**

Consequências do aquecimento global : aumento do nível do mar



Projeções são de aumento do nível do mar médio global no sec. 21, relativo a 1986-2005. Fonte: IPCC AR5

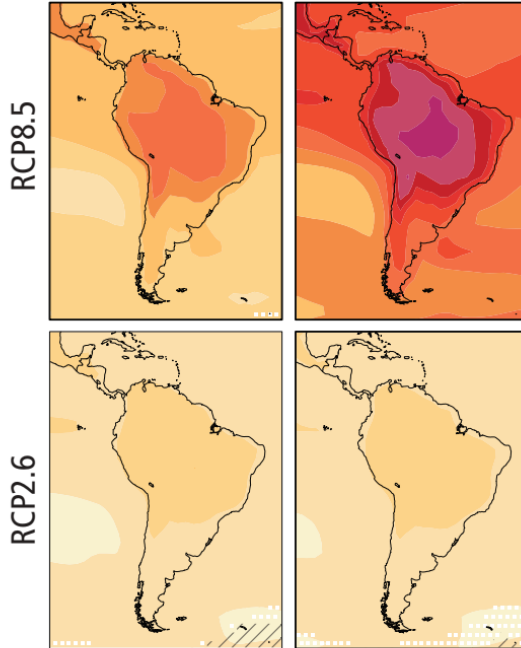
Projeção de mudança da temperatura e chuva na América do Sul no sec. 21 (CMIP5)

Annual Temperature Change

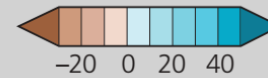


Difference from 1986–2005 mean (°C)

mid 21st century late 21st century

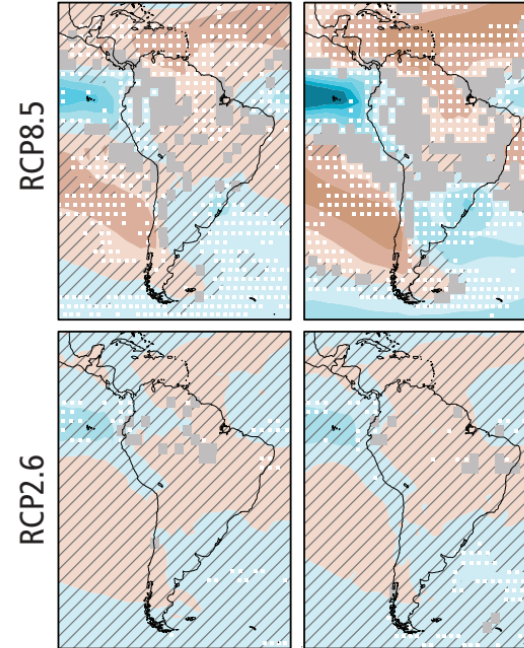


Annual Precipitation Change



Difference from 1986–2005 mean (%)

mid 21st century late 21st century



Solid Color

Very strong agreement

White Dots

Strong agreement

Gray

Divergent changes

Diagonal Lines

Little or no change

Eventos extremos recentes

Secas

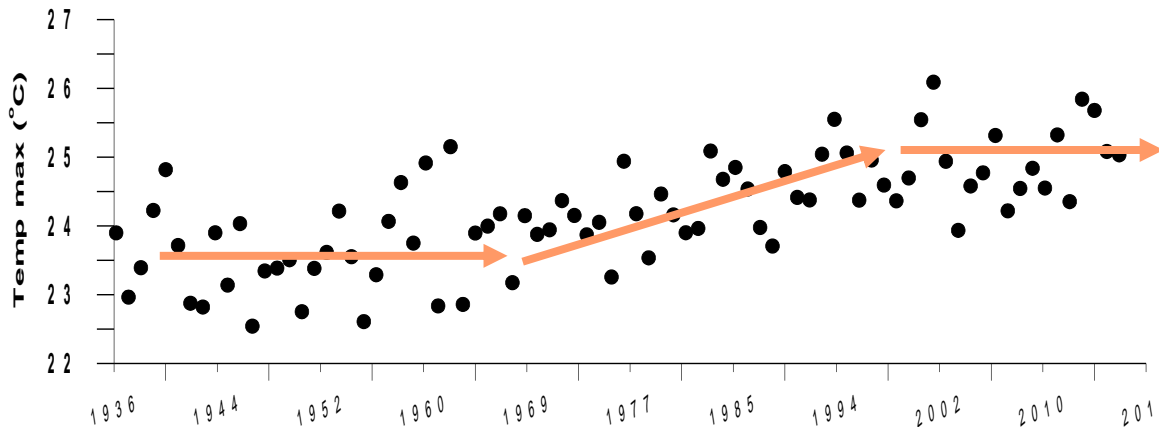
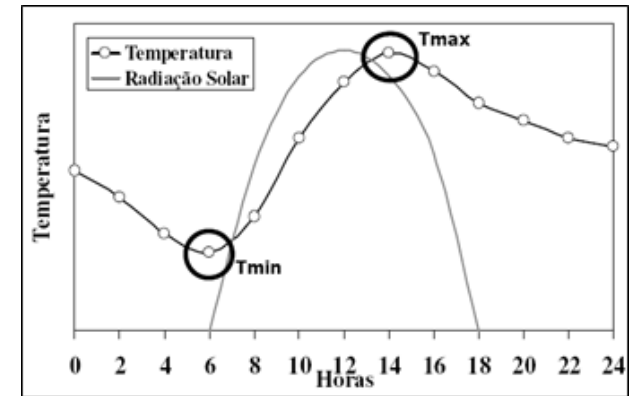
Enchentes

➤ Efeitos da combinação de fenômenos naturais, alterações da natureza, e das mudanças climáticas globais

Aumento da temperatura do ar em São Paulo

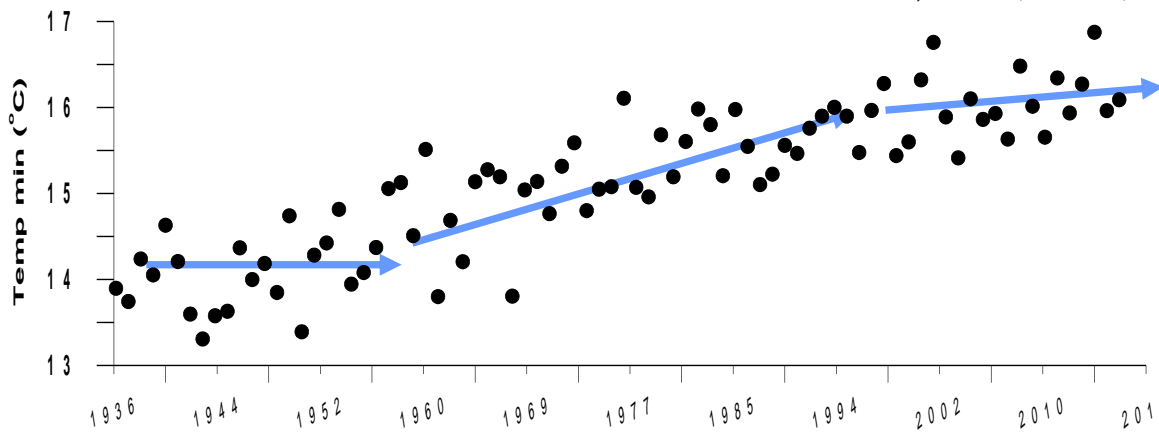


Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo



Temp max
aumento: $\approx 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

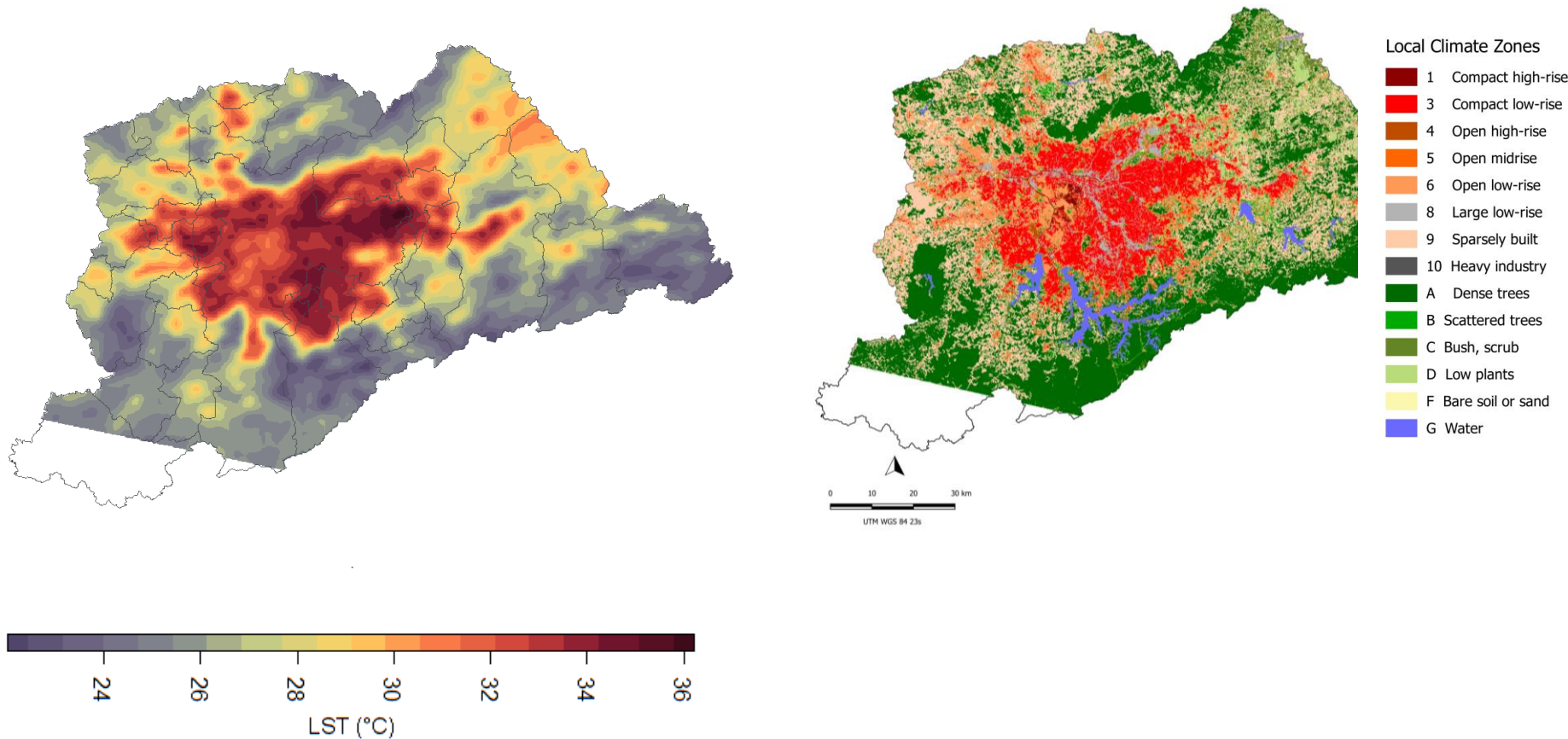
de $23,5$ a $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$



Temp min
aumento: $\approx 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

de $14,0$ a $16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ilha de calor urbana de superfície em São Paulo

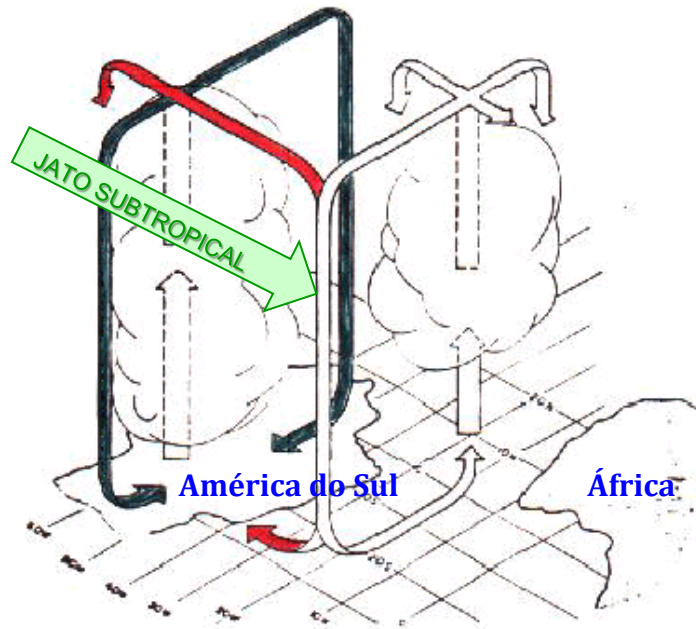


Temperatura de superfície (satelite MODIS (at 13h30 local time) (esq)
e zonas climaticas locais (dir).

fonte: FERREIRA, Luciana Schwandner; DUARTE, Denise Helena Silva . Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. URBAN CLIMATE, v. 27, p. 105-123, 2019.

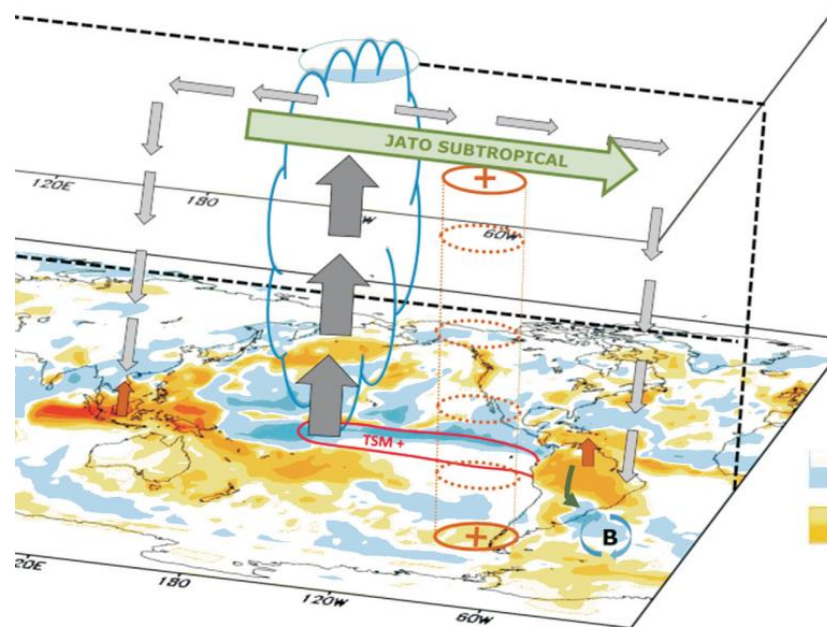
Secas e enchentes regionais

Padrão circulação da atmosfera em condições normais



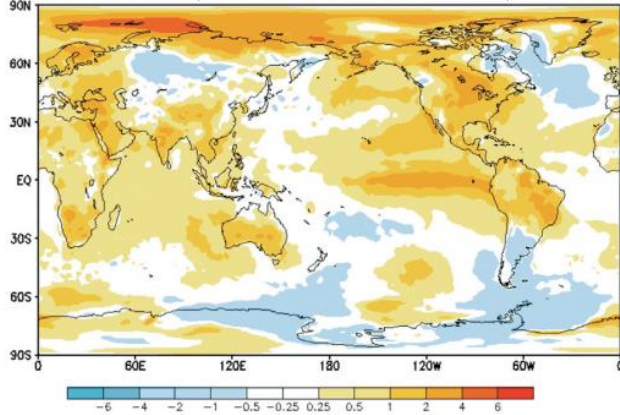
Eventos El Niño

1982/83
1997/98
2015/16
2023/24



■ Anomalias positivas de precipitação
■ Anomalias negativas de precipitação

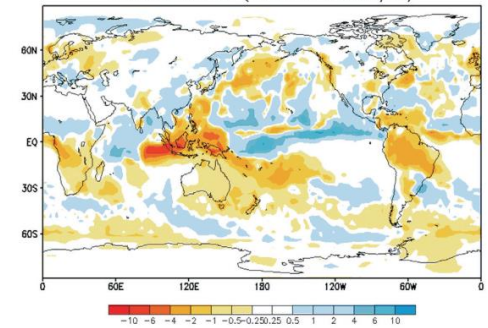
(c) Anom. Temperatura 2m SON2015–SON1980/2015



- EFEITOS DO EL NiÑO
- Aquece/Seca > Amazonia Nordeste (eventualmente Sudeste)
- Figura: anomalia de temperatura
- Chuva > Sul
- Figura: anomalia de precipitação

(FIGURAS - Fonte: Pereira et al 2017)

Anomalia de Prec (SON2015–MSO80/15)



(f)

Anomalia de Prec (SON/1982/1997–MSO80/15)

