

Ministério da Ciência e Tecnologia



CCST

Centro de Ciência do Sistema Terrestre



Mudanças Climáticas

Bases Conceituais



Wagner Soares

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Centro de Ciência do Sistema Terrestre

XII ENCOB - WWF – FNCBH

Fortaleza 11/2010



INTRODUÇÃO

Mudança Climática Global

“Mudanças no meio ambiente global que possam alterar a capacidade da Terra para sustentar a Vida”

Modificações:

Produtividade do solo

Oceanos

Recursos hídricos

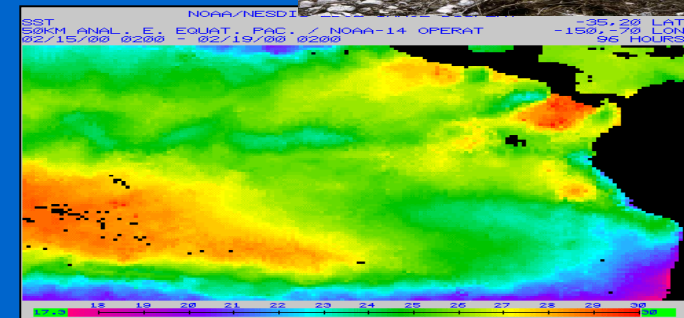
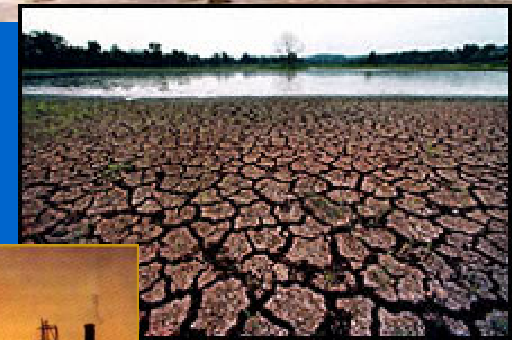
Química da atmosfera

Sistemas ecológicos

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

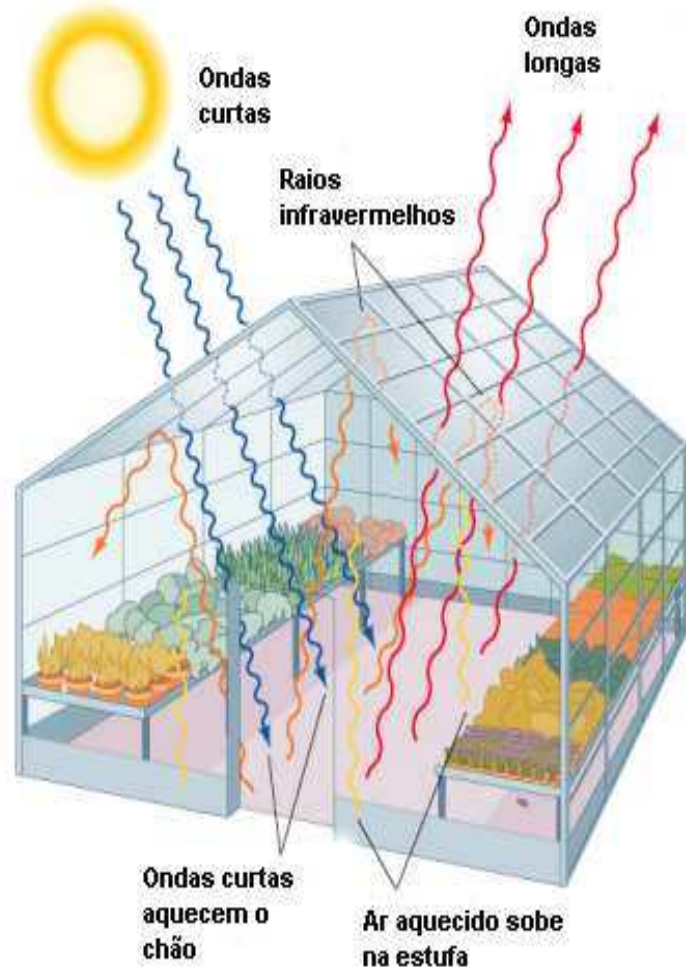
Gera relatórios a partir de estudos científicos.

Composto por centenas de cientistas de diversas áreas do conhecimento.



INTRODUÇÃO

Efeito estufa



Efeito estufa natural



The diagram illustrates the two Milankovitch cycles. At the top, the text 'Obliquidade (~40 000 anos)' is shown next to a diagram of Earth's axial tilt. The Earth is depicted with its axis tilted, and a circular arrow labeled 'P' indicates the precession of the axis. Below this, the text 'Excentricidade (~100 000 anos)' is shown next to a diagram of Earth's elliptical orbit around the Sun. The Sun is represented by a yellow star, and the Earth is shown at one point on the elliptical orbit. A blue arrow labeled 'E' points to the orbit, indicating its eccentricity.

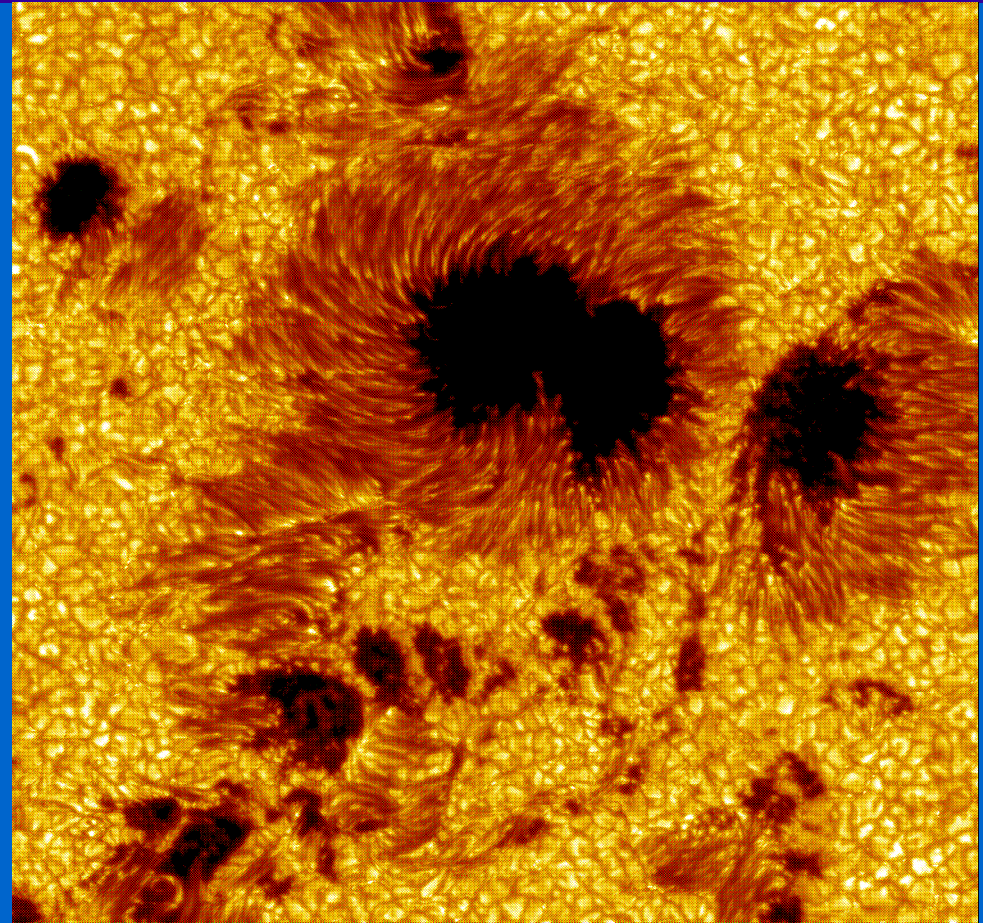
INTRODUÇÃO

-

Por que o clima pode mudar ?

Manchas Solares
-tempestade magnética solar

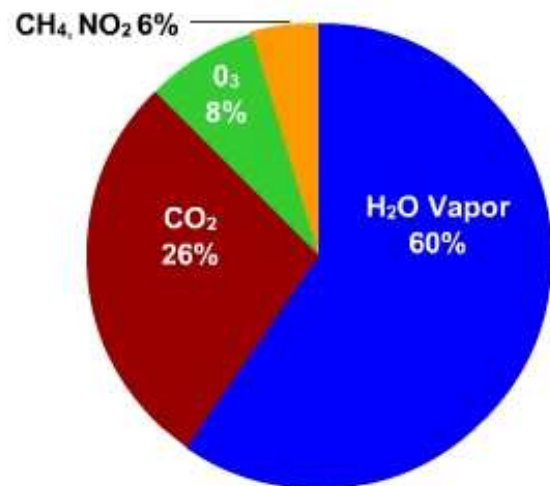
EFEITO
intensidade da
radiação emitida
aumenta



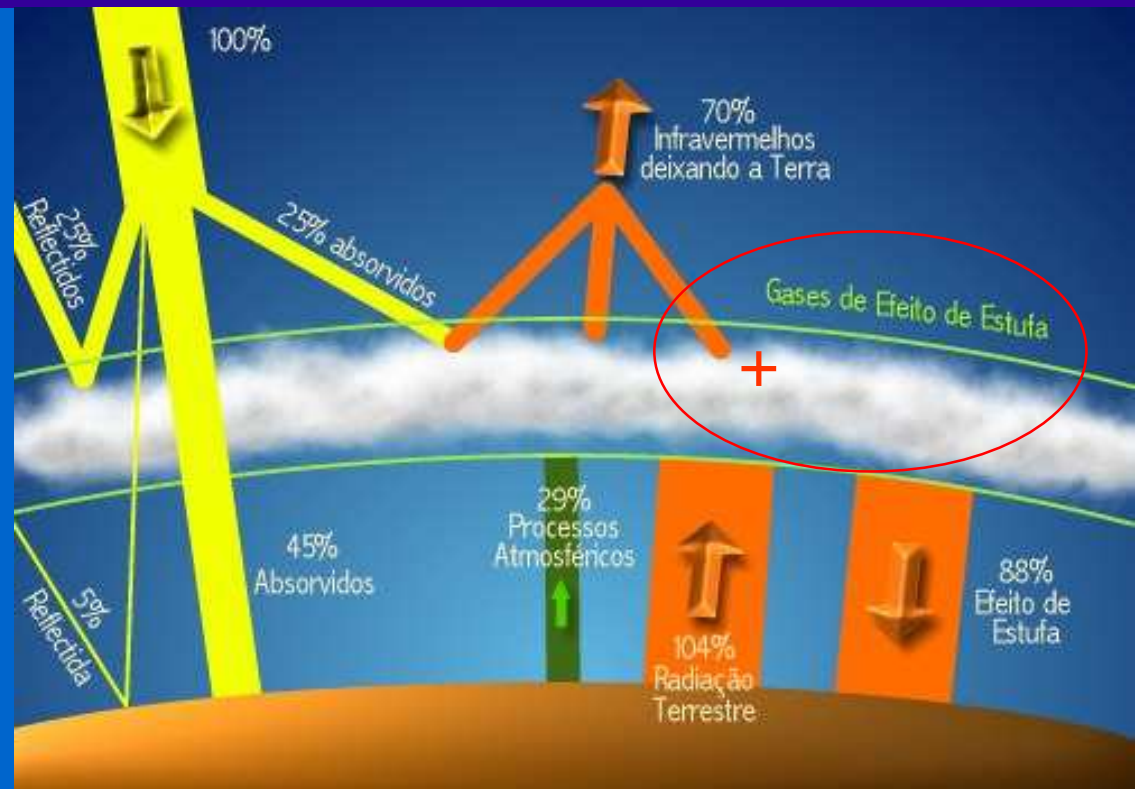
INTRODUÇÃO

Por que o clima pode mudar ?

Mudança na composição da atmosfera



Kiehl and Trenberth 1997

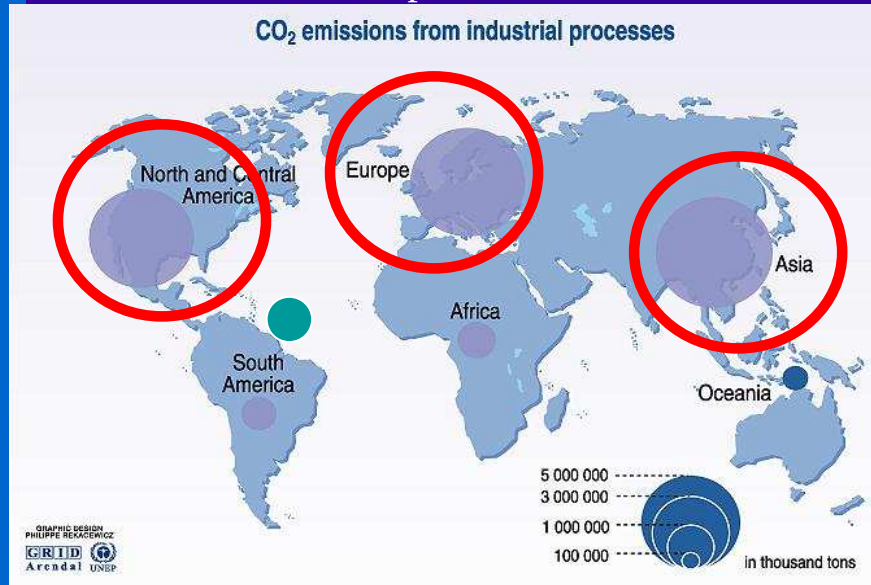


Fonte: D.Schiel, USP

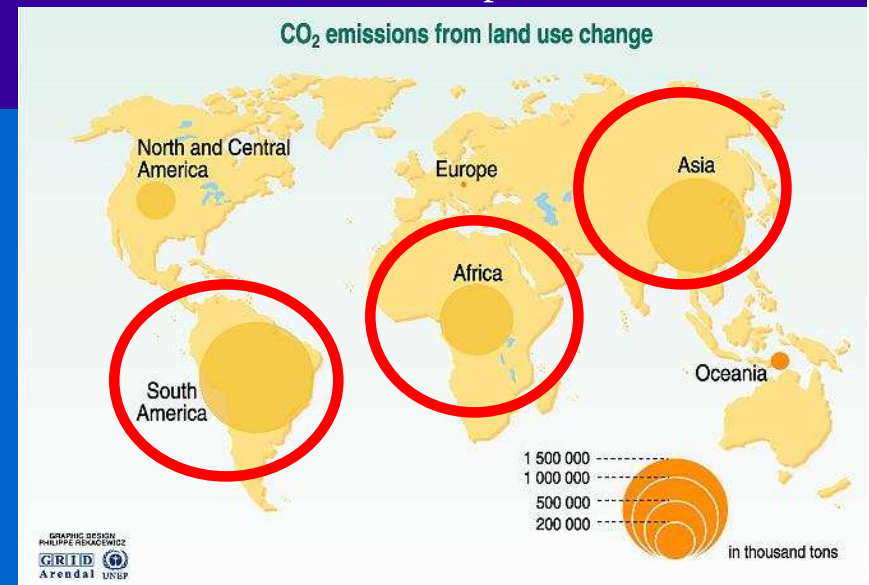
INTRODUÇÃO

Como o ser humano pode alterar o clima?

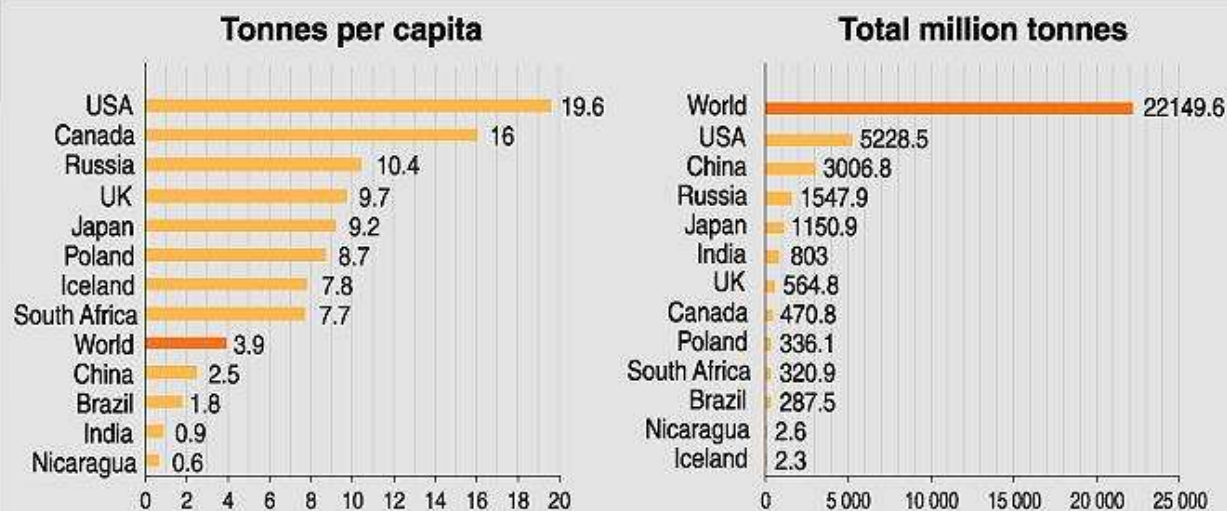
Emissões de CO₂ por **Processos Industriais**



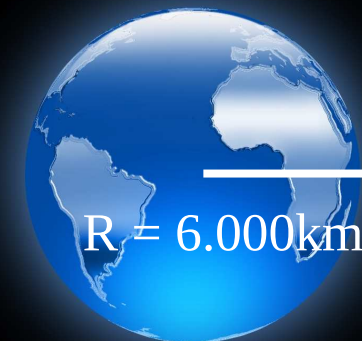
Emissões de CO₂ por **Uso da Terra**



Emissions of CO₂ - selected countries (1995)



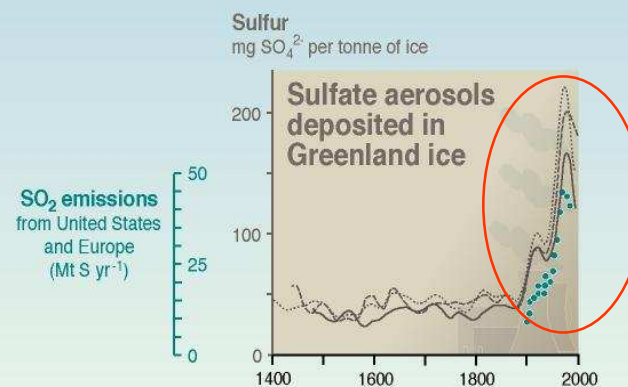
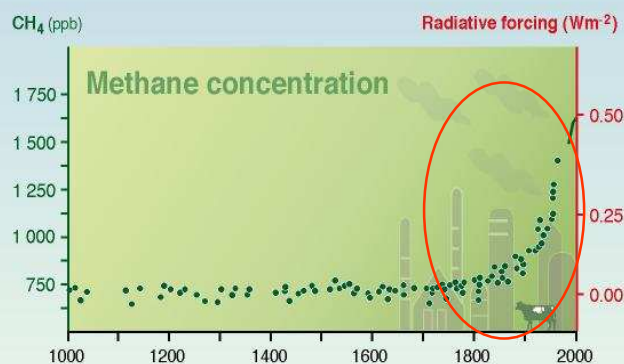
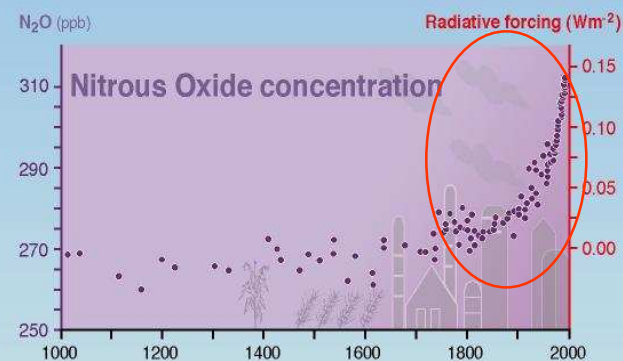
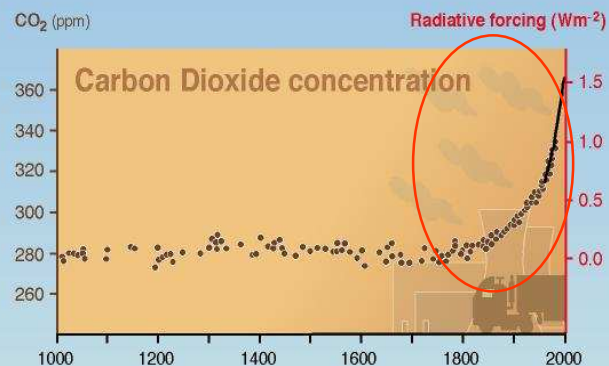
Atmosfera = 10Km



Fatos

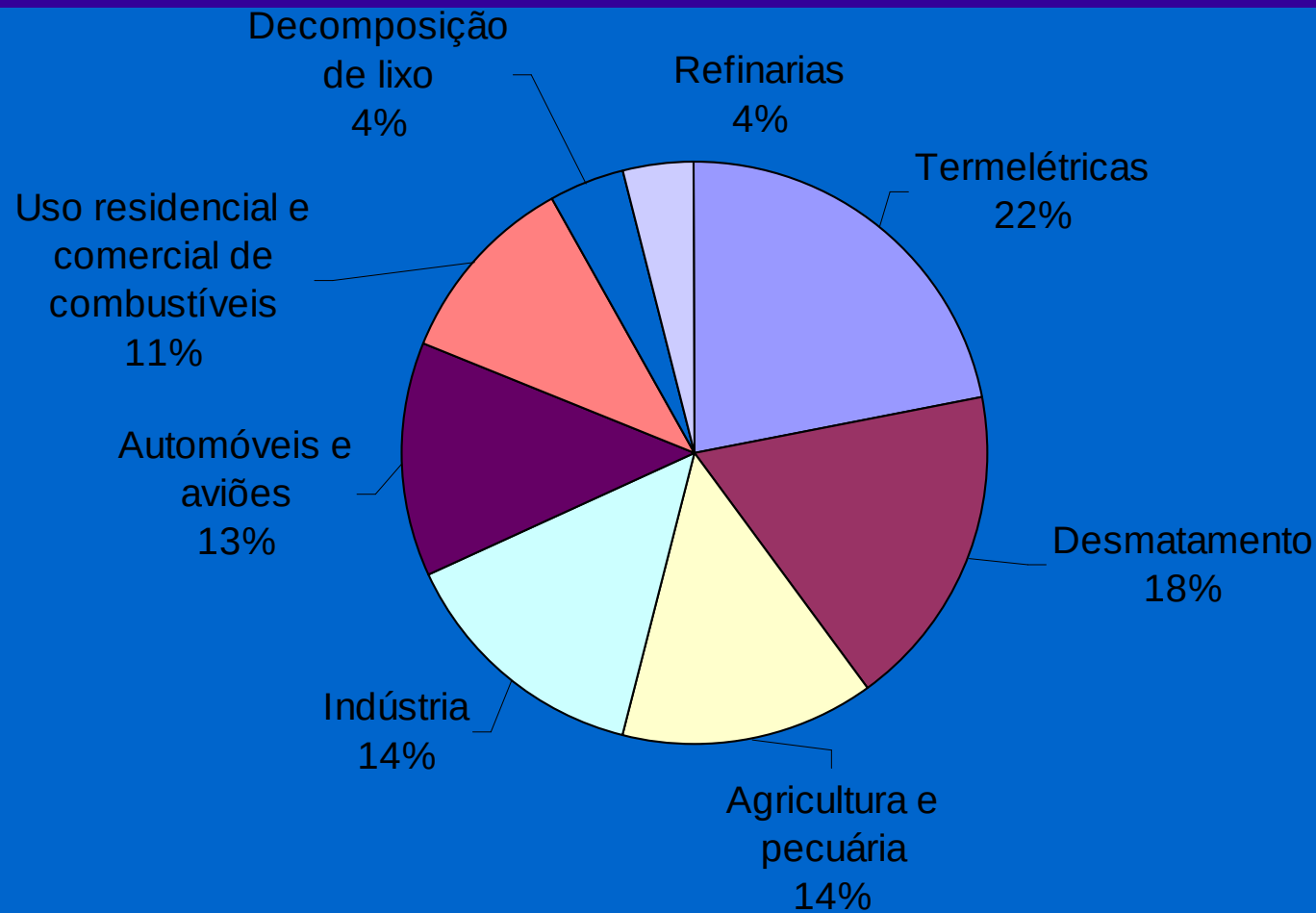
Aumento nas concentrações

Indicators of the human influence
on the atmosphere during the Industrial era



SYR - FIGURE 2-1
WG1 FIGURE SPM-2

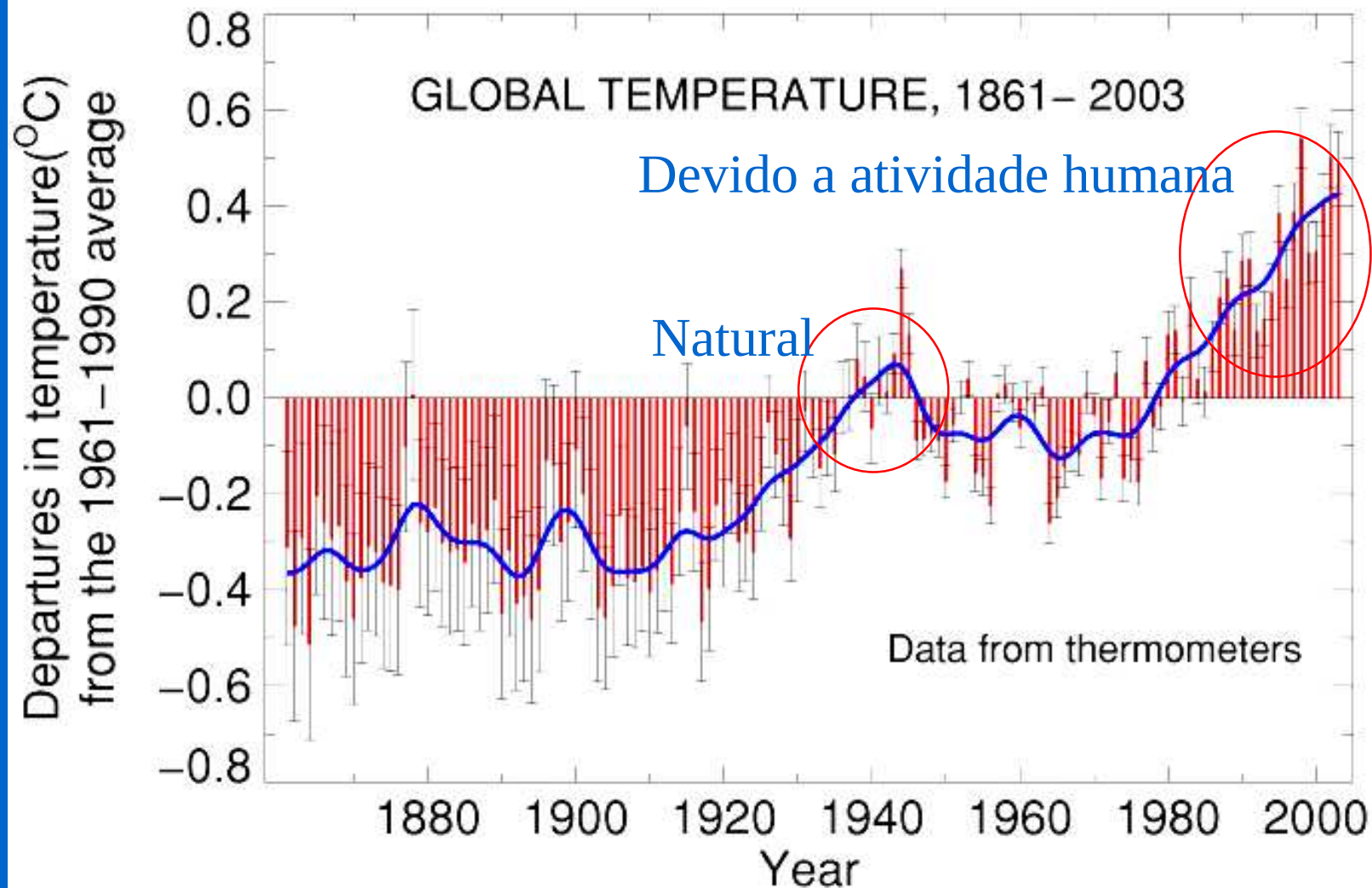
Contribuições às emissões



Adaptado de: Pew Center on Global Climate Change

Fatos

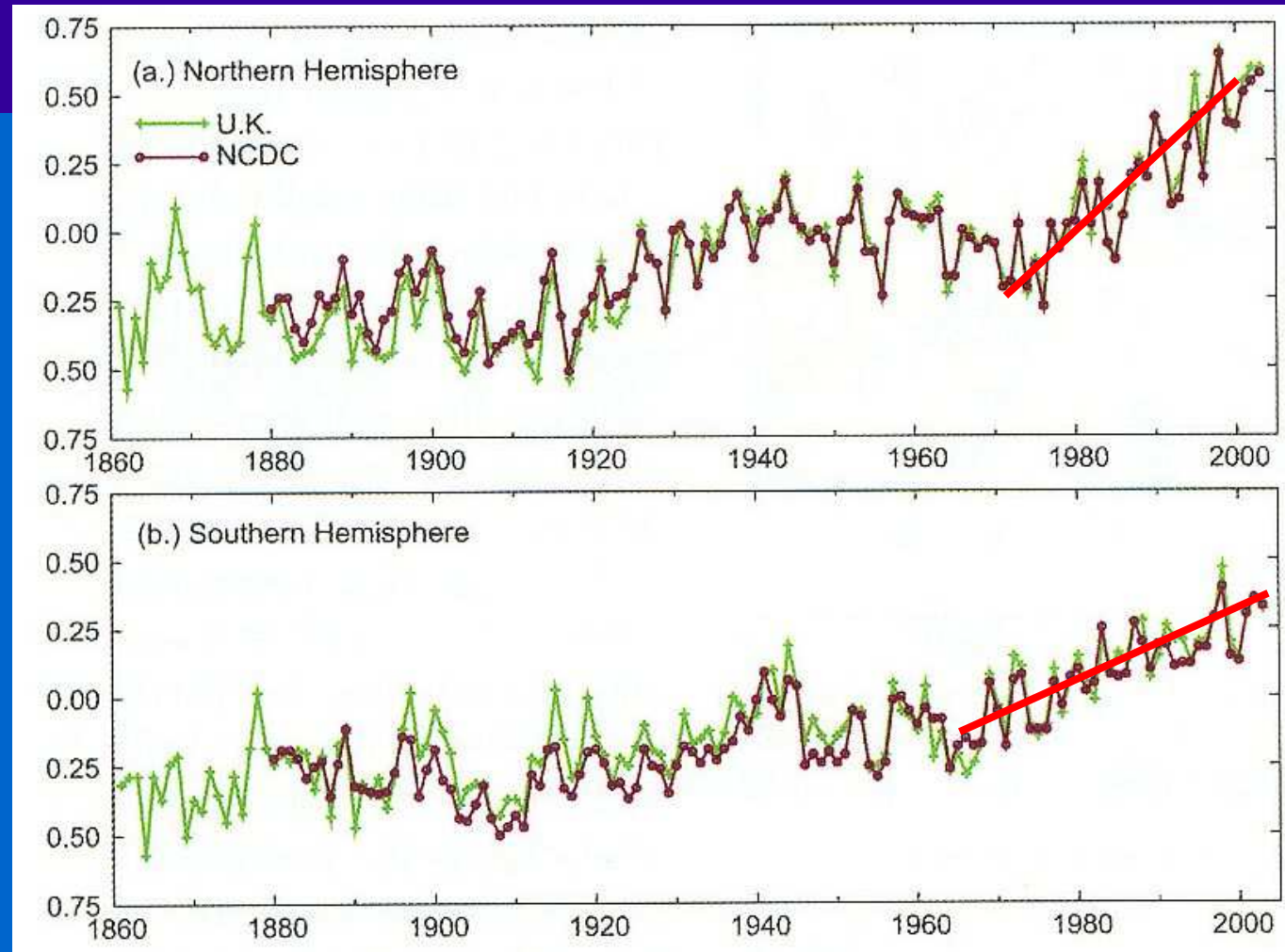
Anomalias anuais combinadas entre a temperatura do ar na superfície terrestre e na superfície do mar (°C) de 1861 a 2003, relativas a 1961 - 1990. Os desvios padrões são indicados como barras.



Fonte: Hadley Centre

Fatos

Anomalias anuais globais da temperatura na superfície



Anomalias anuais globais da temperatura na superfície no hemisfério: a) HN , b) HS. Ambas foram calculadas com respeito ao período 1961-1990.

BAMS, Vol. 85, N° 6, Junho 2004

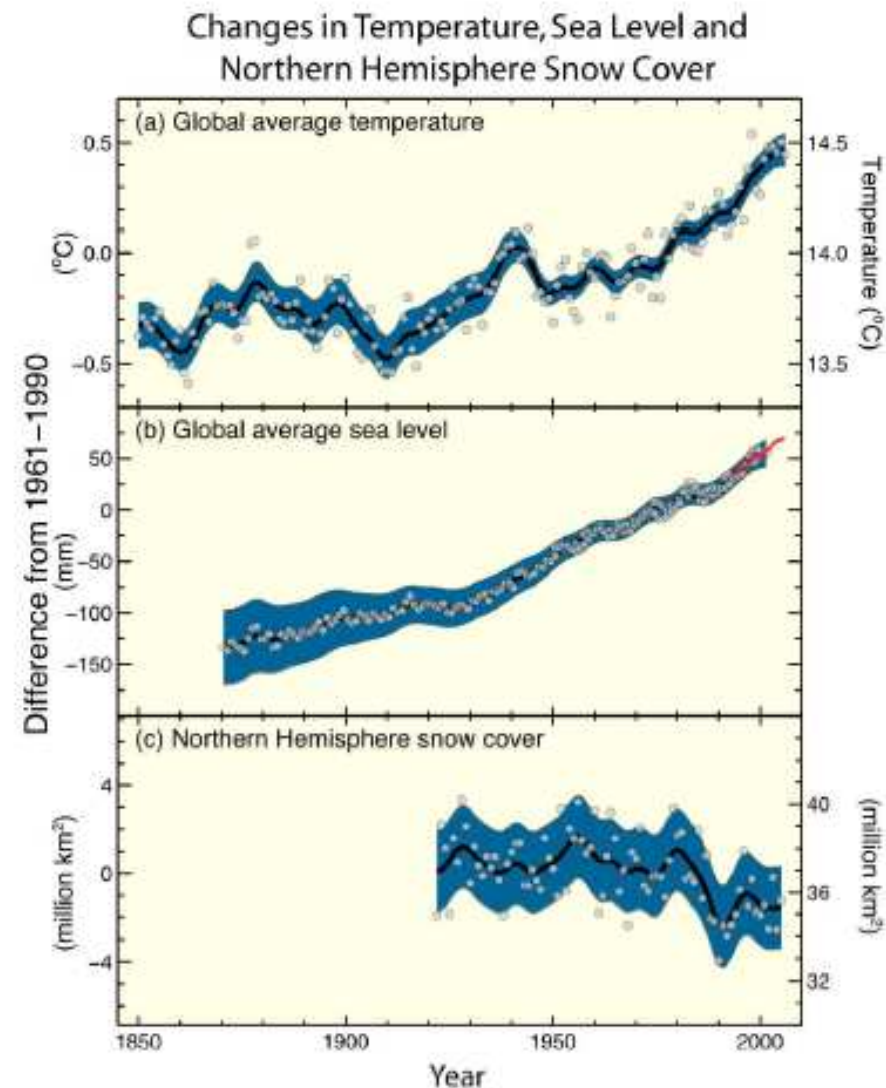
Fatos

Mudanças observadas em relação ao período 1961-1990

(a) Temperatura média da superfície

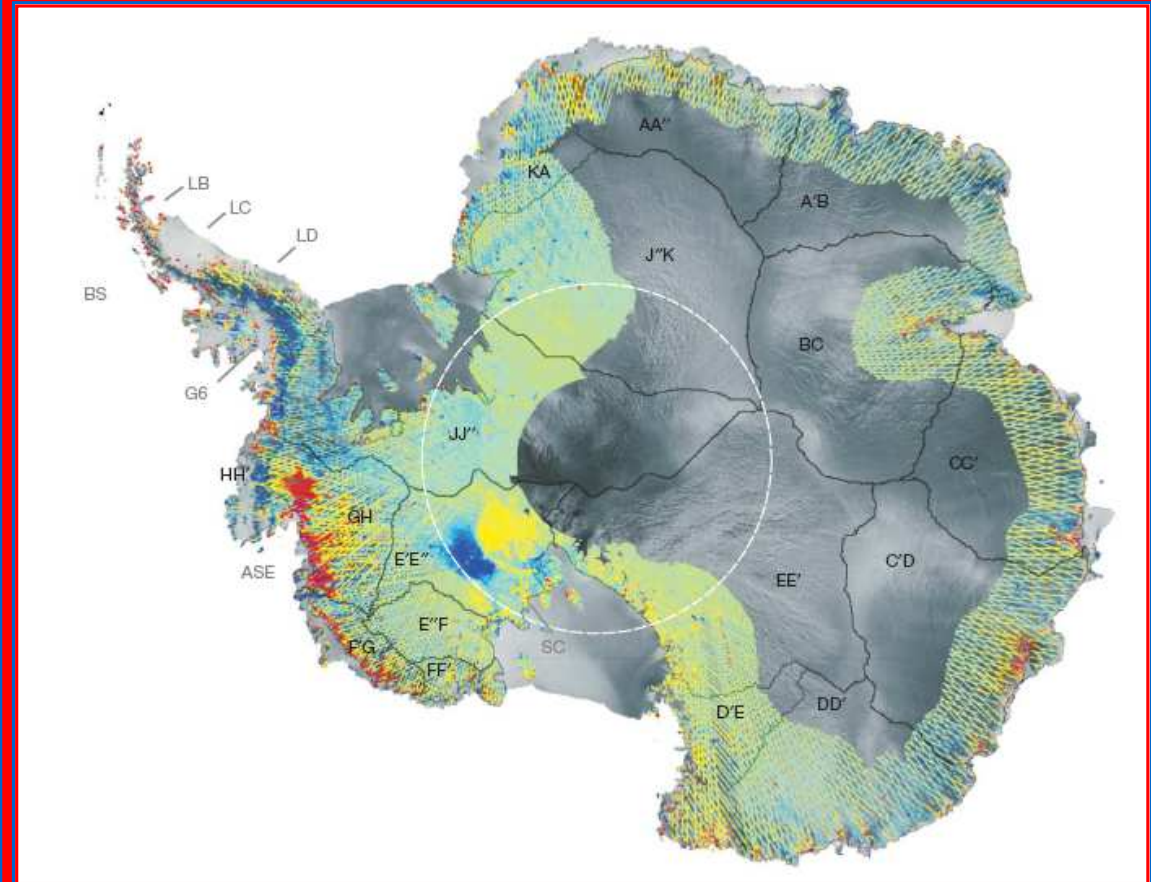
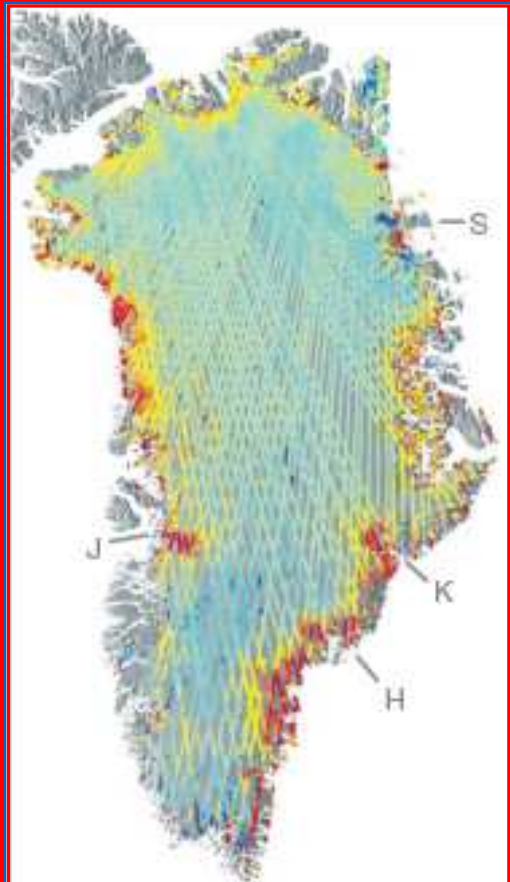
(b) Nível Médio do Mar

(c) Cobertura de neve (Março-Abril-HN)



Fatos

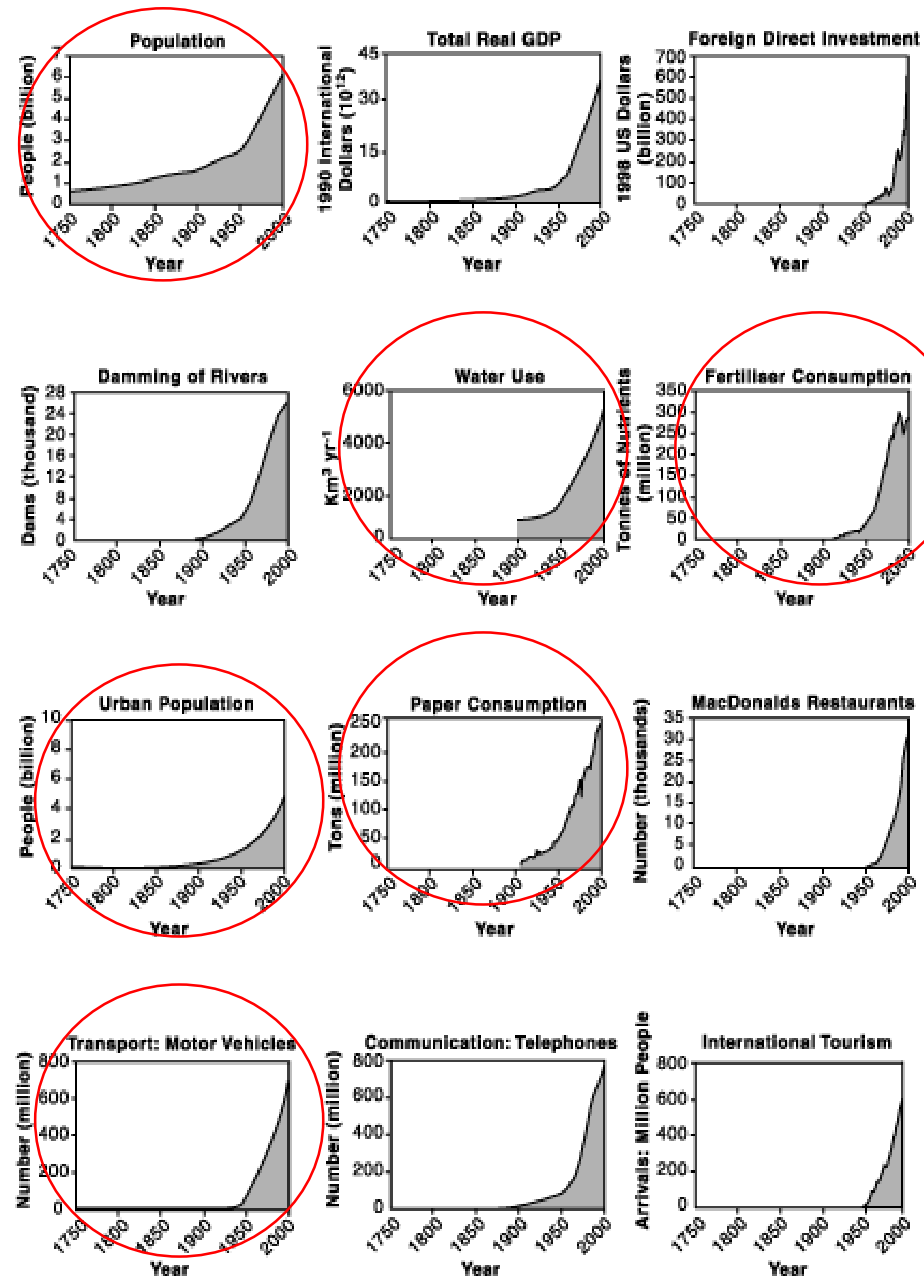
Tem ocorrido extensiva dinâmica de desbaste nas margens da Groenlândia e da Antártida



• Pritchard et al. 2009

Fatos

Aumentos de consumo



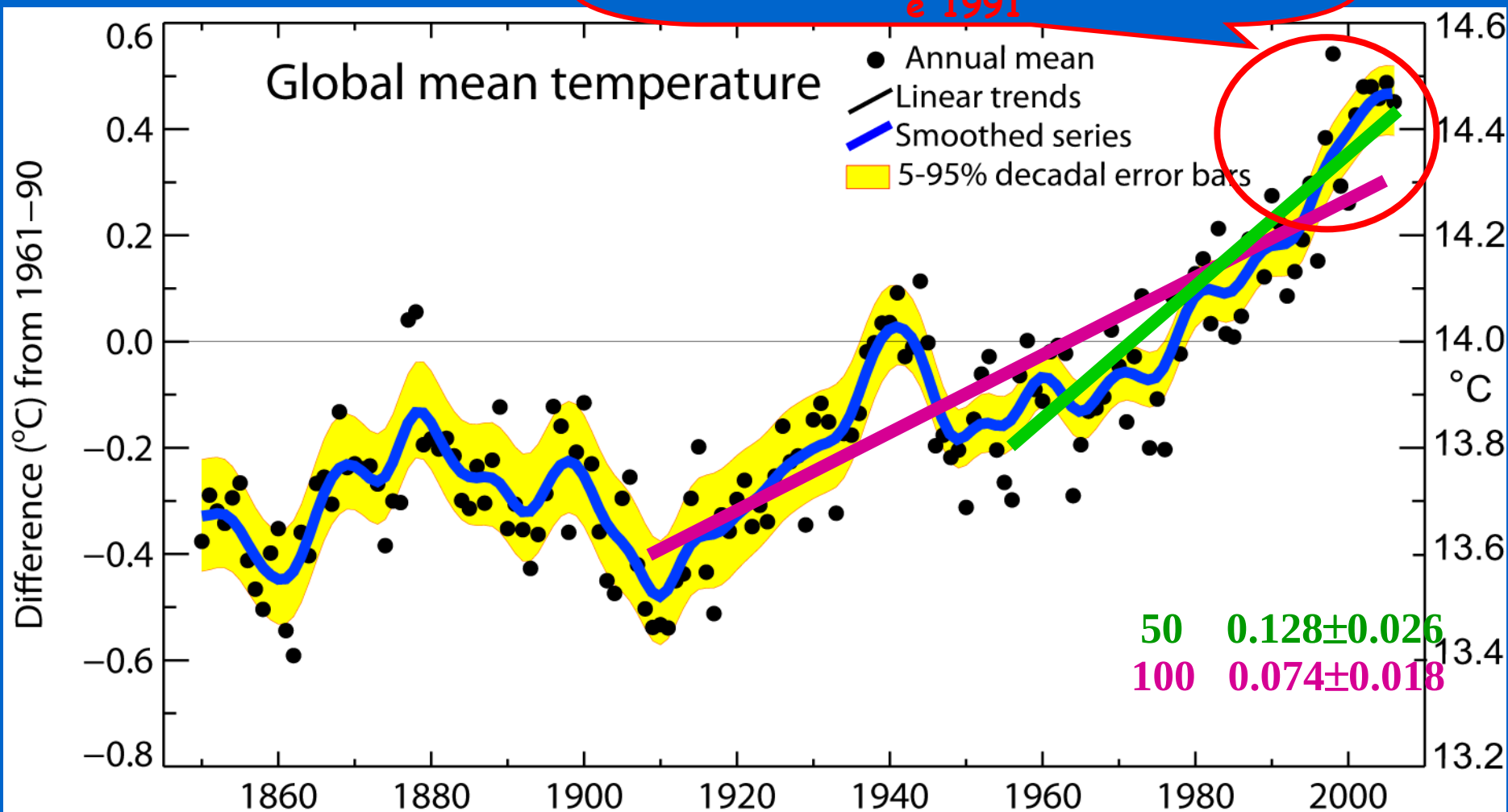
Fonte: Steffen et al. 2004

Fatos

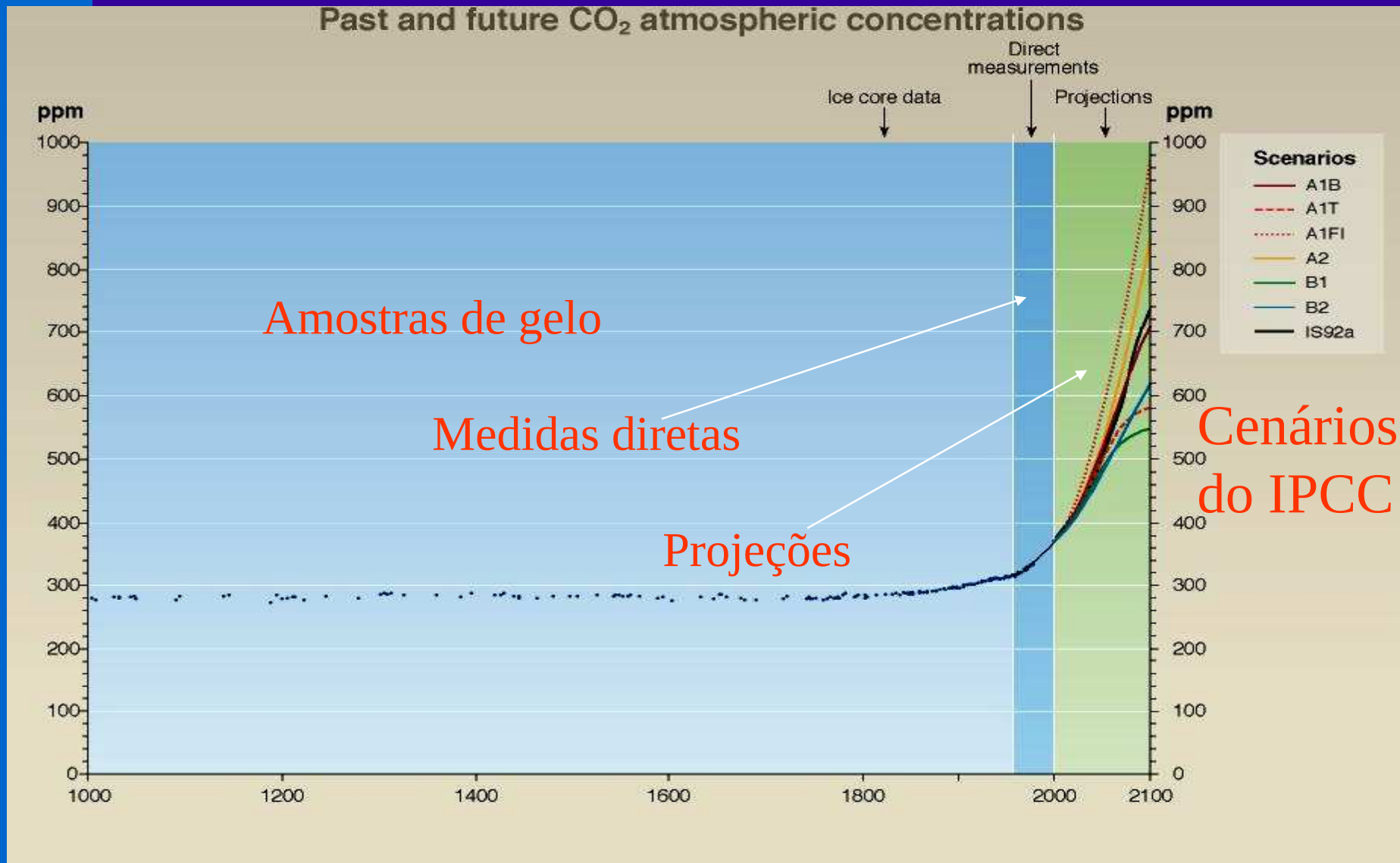
Temperatura média global está aumentando cada vez mais

14 anos mais quentes:

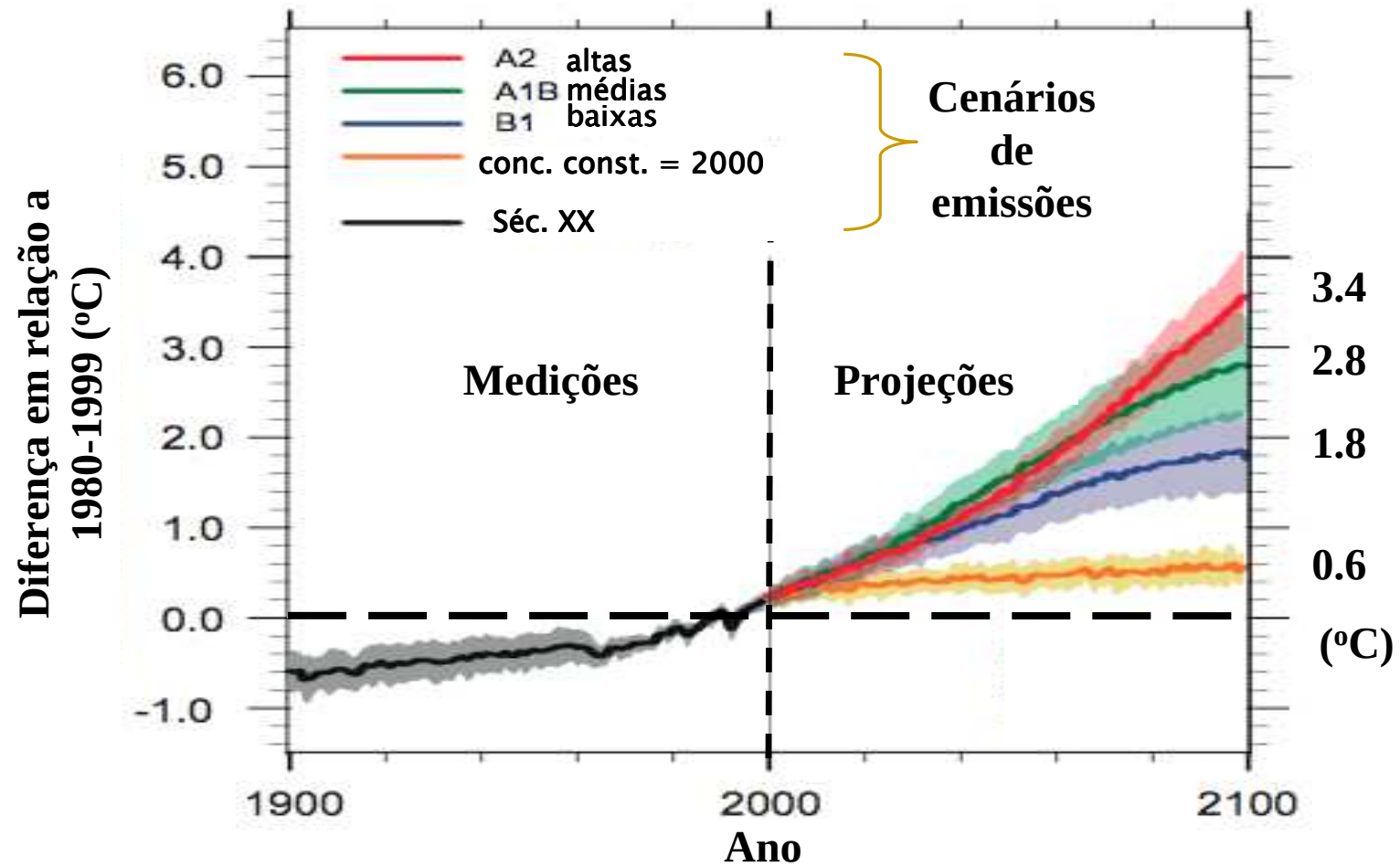
1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006,
2007, 2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000
e 1991



Concentrações de CO₂



Maior temperatura próxima à superfície



Fonte: IPCC

Trajetória das Emissões Globais de Combustíveis Fósseis

Emissões estão seguindo o cenário de mais altas emissões!

“O aquecimento global no decorrer deste século será maior do que se acreditava até agora!!!

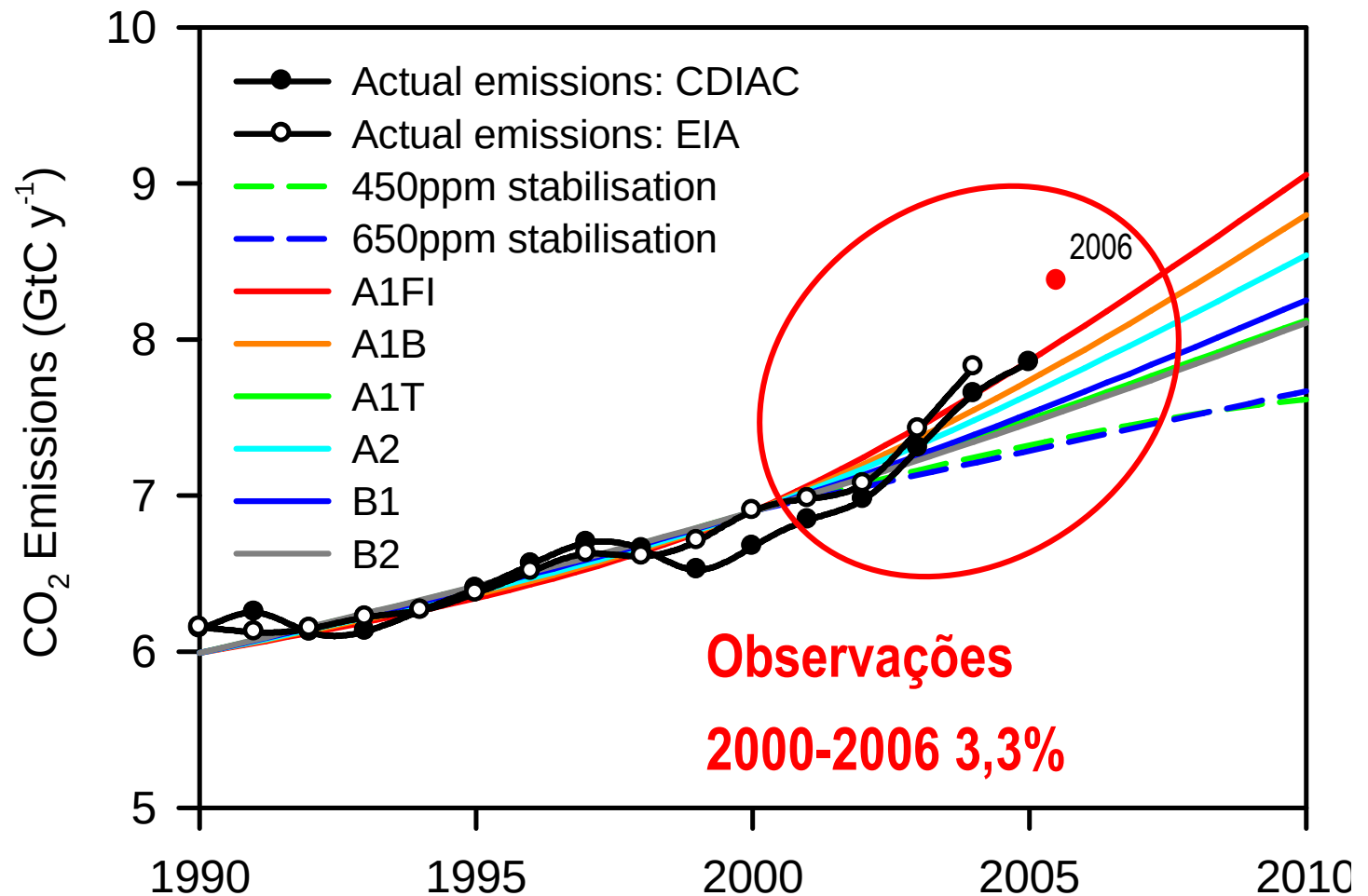
As temperaturas futuras vão passar de qualquer valor que tenha sido projetado!!!

Emissões dos gases do efeito estufa aumentaram muito mais rapidamente do que o esperado entre 2000 e 2007.

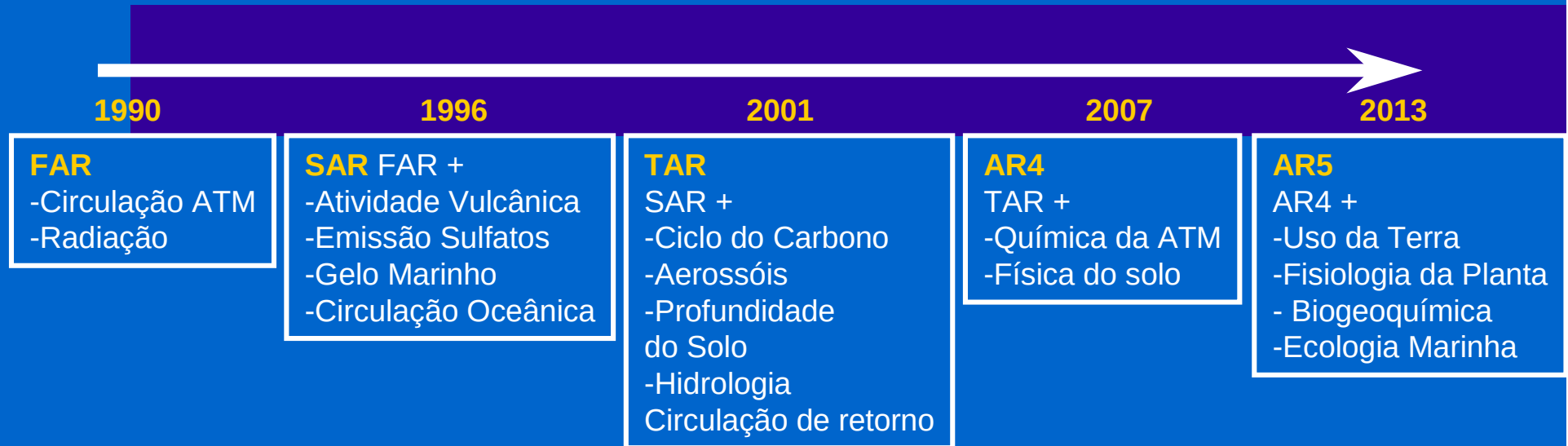
Este aumento foi provocado, principalmente, pela queima de carvão para obter energia elétrica na China e na Índia.”

Chris Field, IPCC

Fonte: BBC, 15/02/2009



Avanços na Modelagem do Clima



- **AR5 RCPs** (Representative Concentration Pathways)
-

RCP8.5 (IIASA/MESSAGE)

Forçante Radiativa: $>8.5\text{Wm}^{-2}$ em 2100

Concentração (ppm): $>1370\text{ CO}_2\text{-equiv.}$ em 2100

Comportamento: Elevação

RCP6.0 (NIES/AIM)

Forçante Radiativa: $\sim 6\text{Wm}^{-2}$ estabiliza depois de 2100

Concentração (ppm): $\sim 850\text{ CO}_2\text{-equiv.}$

Comportamento: Estabiliza e não ultrapassa

RCP4.5 (PNNL/MiniCAM)

Forçante Radiativa: $\sim 4.5\text{Wm}^{-2}$ estabiliza depois de 2100

Concentração (ppm): $\sim 650\text{ CO}_2\text{-equiv.}$

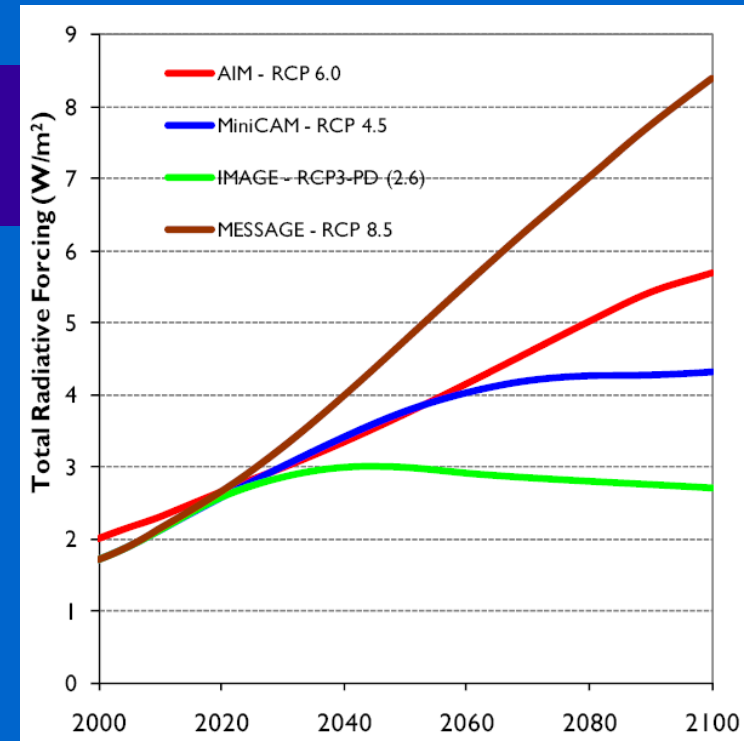
Comportamento: Estabiliza e não ultrapassa

RCP2.6 (PBL/IMAGE)

Forçante Radiativa: Pico de $<3\text{Wm}^{-2}$ em 2100 e então declina

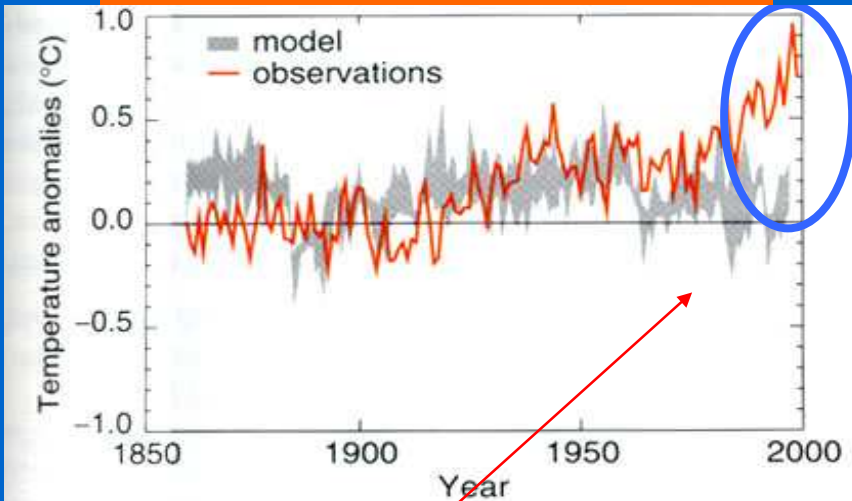
Concentração (ppm): Pico de $\sim 490\text{ CO}_2\text{-equiv.}$ antes de 2100 e então declina

Comportamento: Pico e declina.

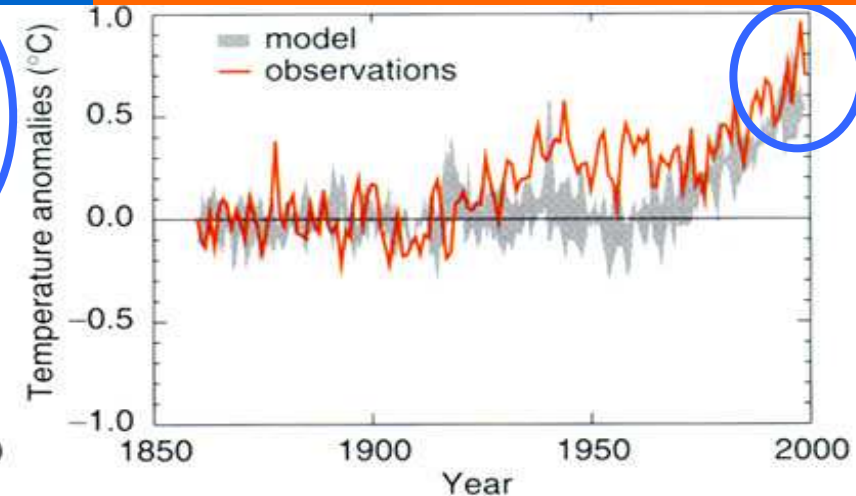


Observações e simulações de anomalias da temperatura do ar

Forçantes naturais

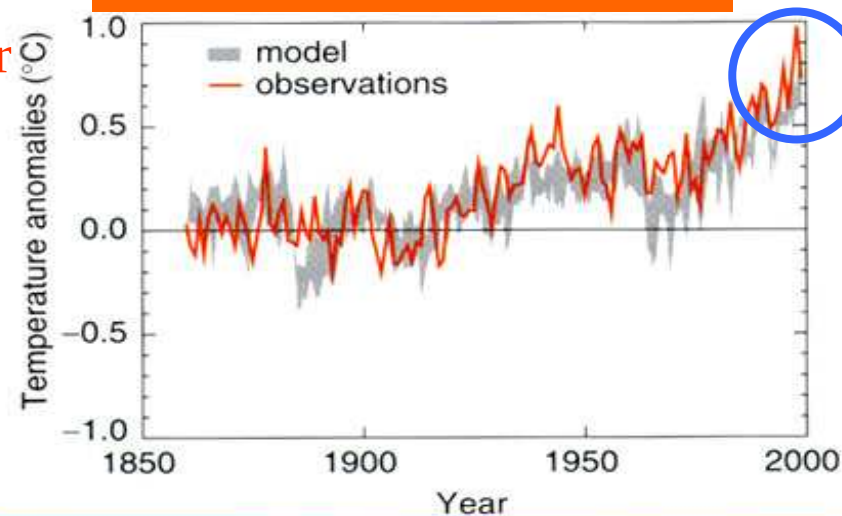


Forçantes antropogênicas



Os modelos climáticos não conseguem simular adequadamente o clima se a ação humana não for incorporada

Todas as forçantes

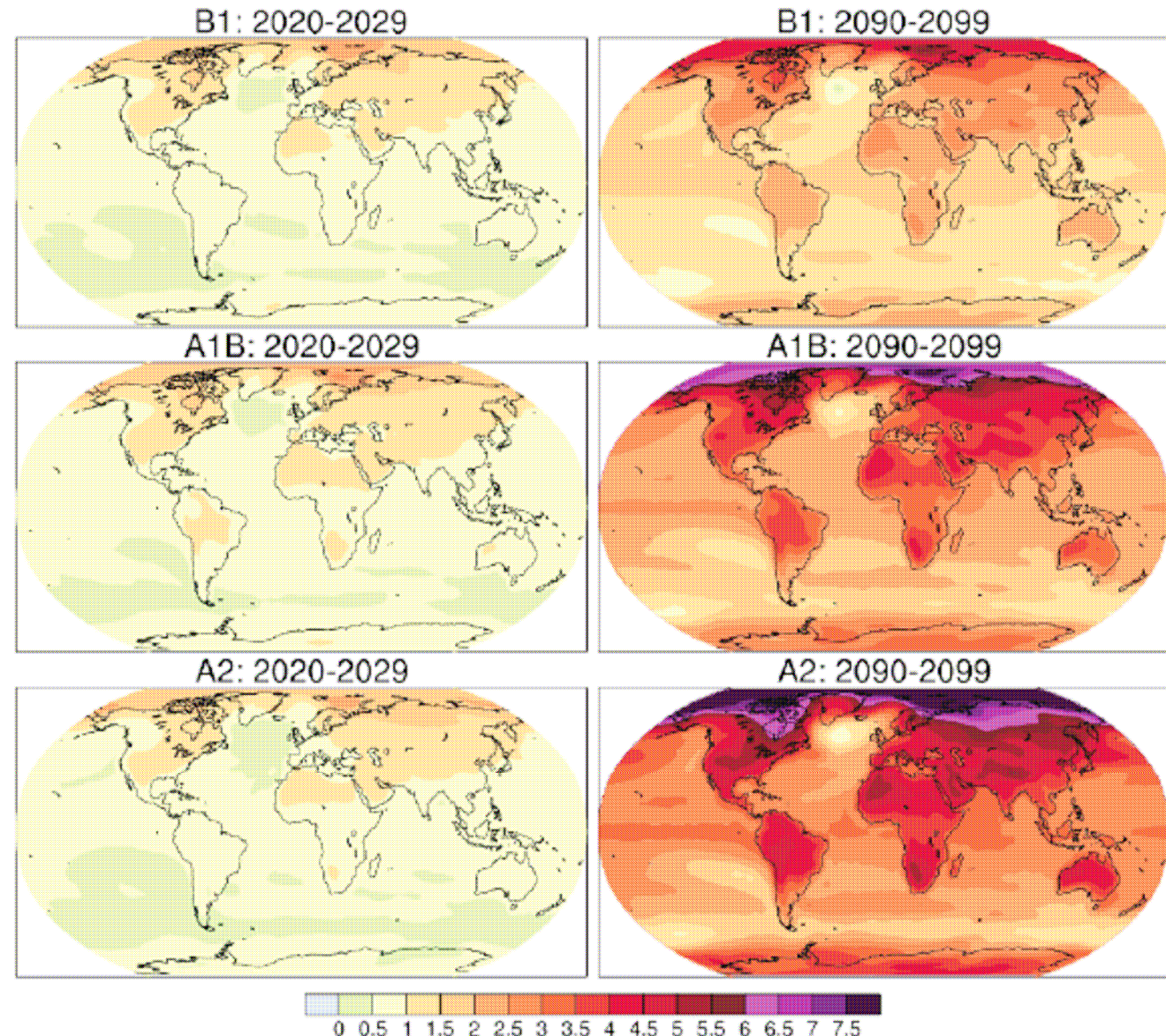


Aquecimento natural ou causado pelo Homem?

MODELAGEM DO CLIMA

Mudanças na temperatura 2090/2099 menos 1980/1999. IPCC 2007

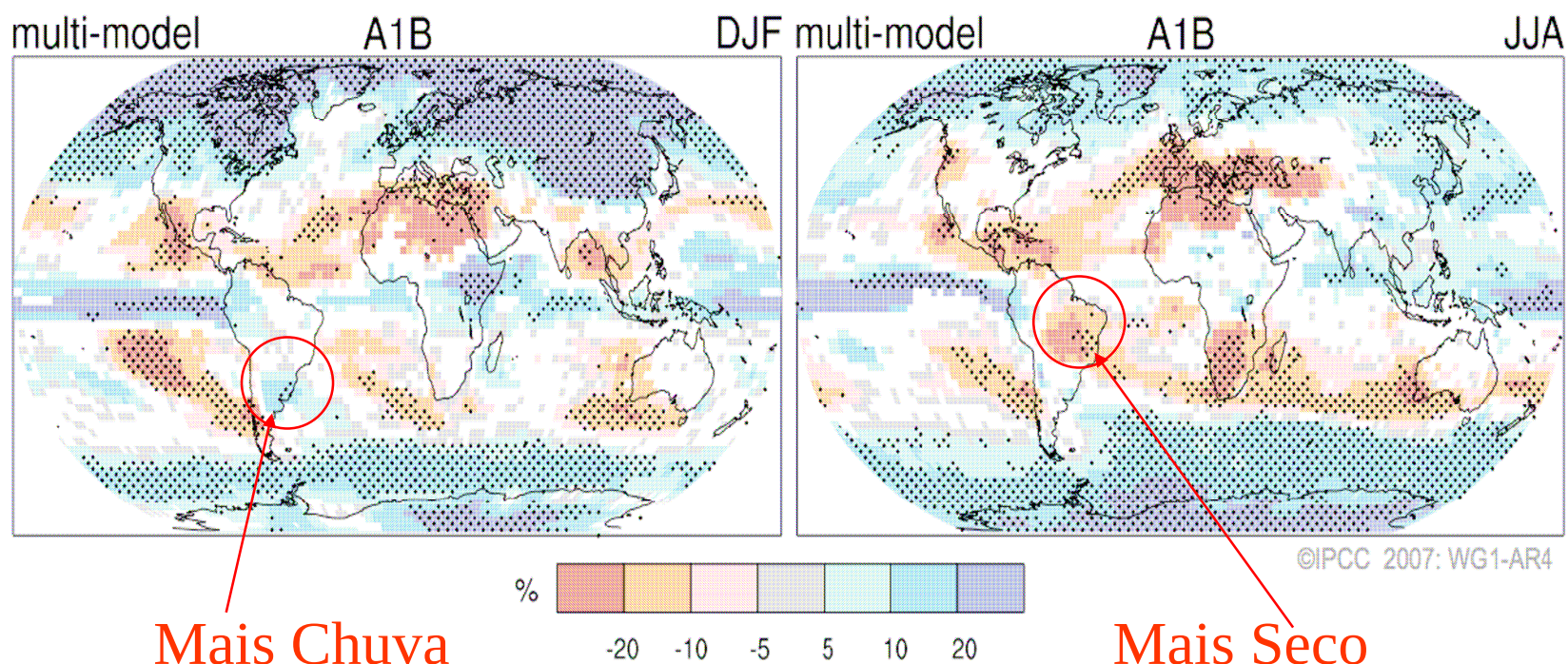
O aquecimento projetado tende a ser maior sobre continentes, em latitudes mais altas no HN, partes do Oceano Atlântico Norte e nos oceanos do Sul



MODELAGEM DO CLIMA

Mudanças na precipitação 2090/2099 menos 1980/1999. IPCC 2007

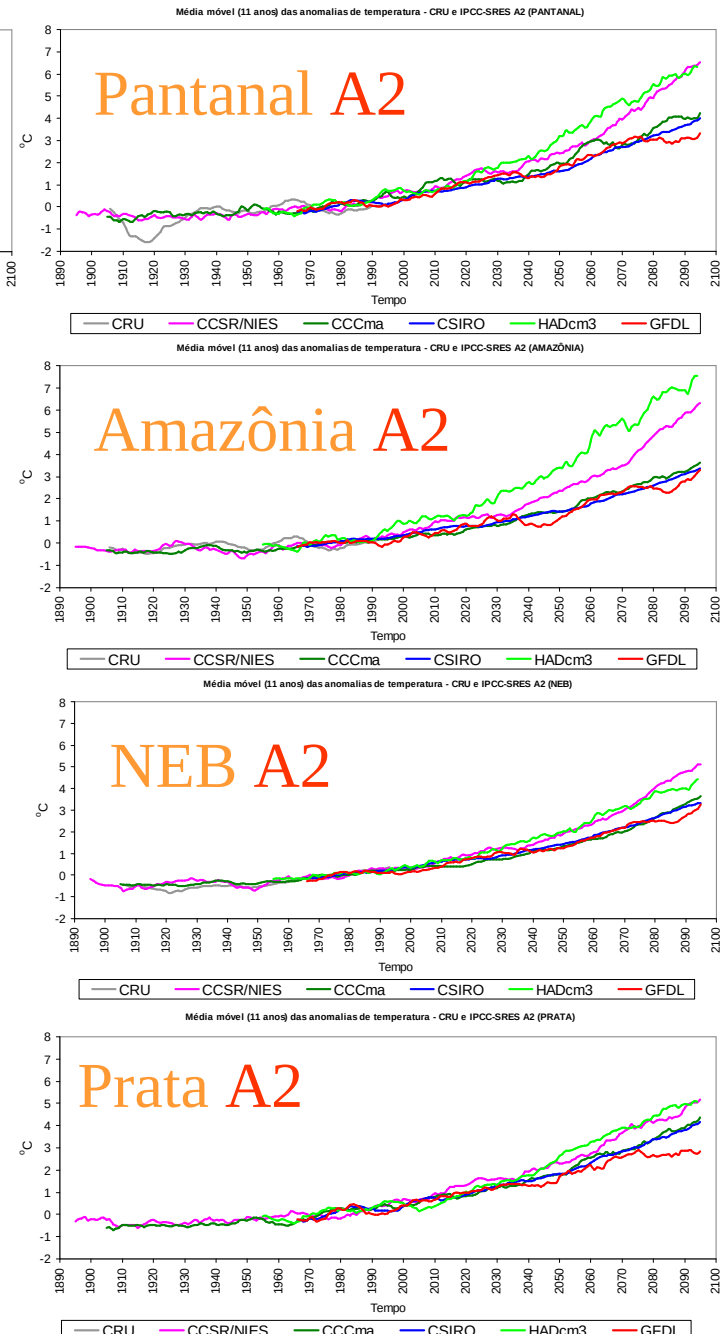
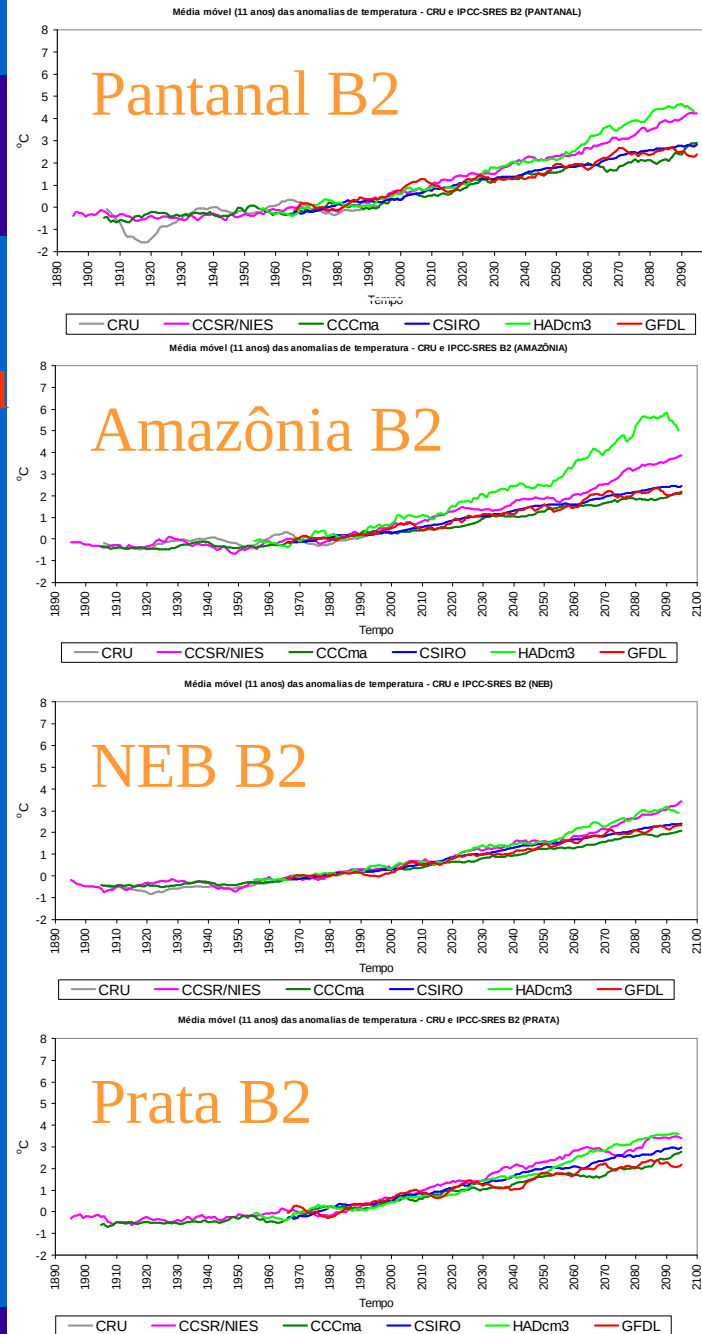
Projected Patterns of Precipitation Changes



MODELAGEM DO CLIMA

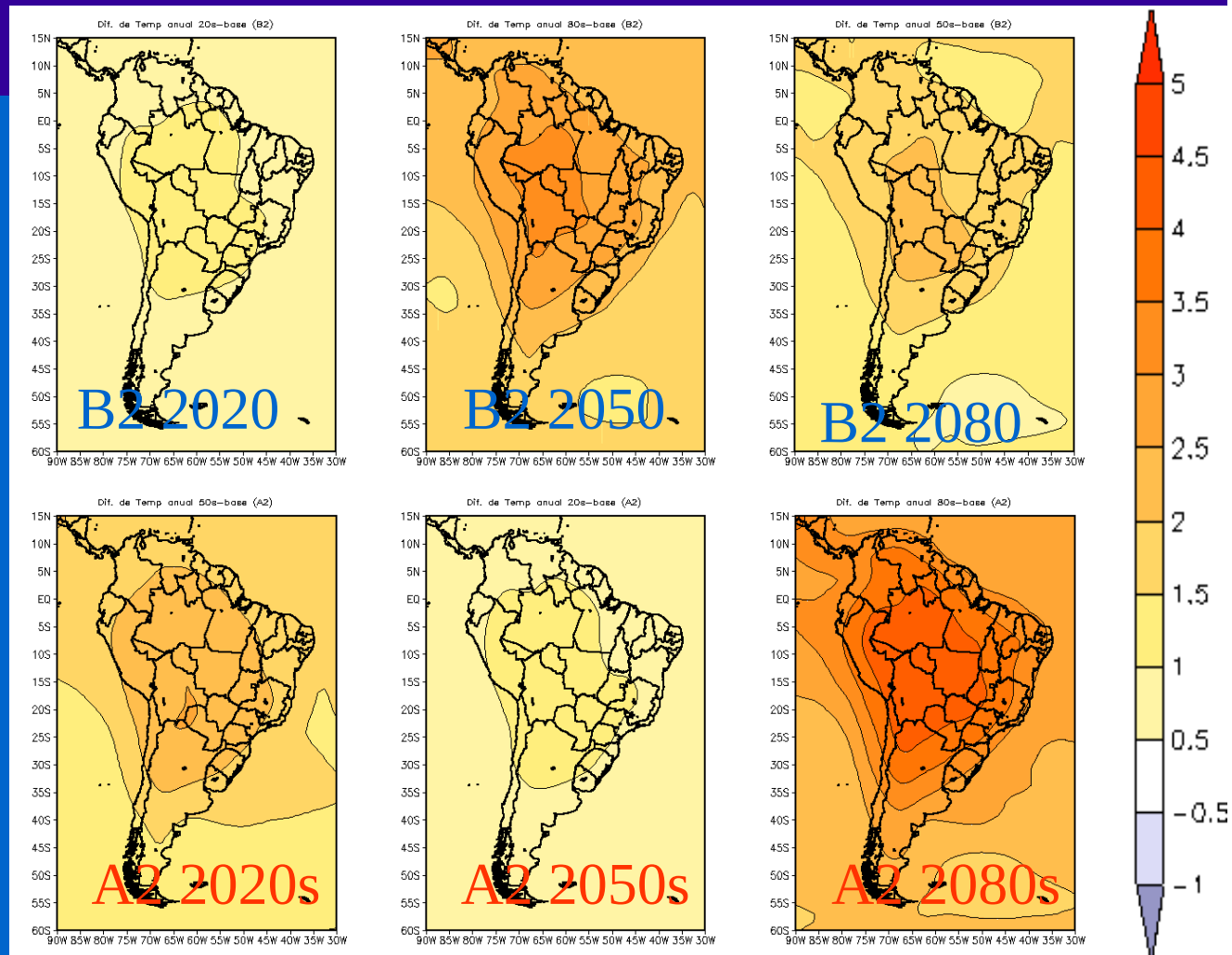
Serie temporal de anomalias de Temperatura

Os 5 modelos
Globais utilizados
geram aquecimento
em 4 regiões do Brasil



MODELAGEM DO CLIMA

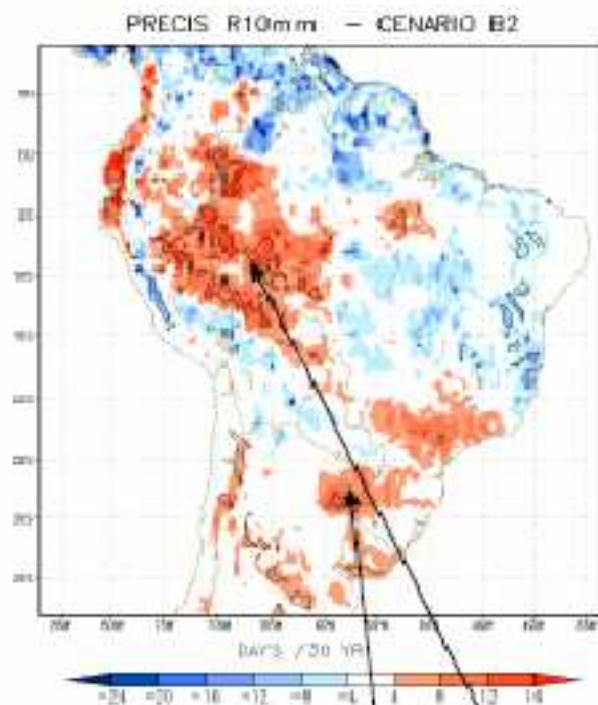
Diferenças de temperatura anual (média de 5 modelos do IPCC)
em relação ao período base (1961-1990)



Marengo et al., 2007

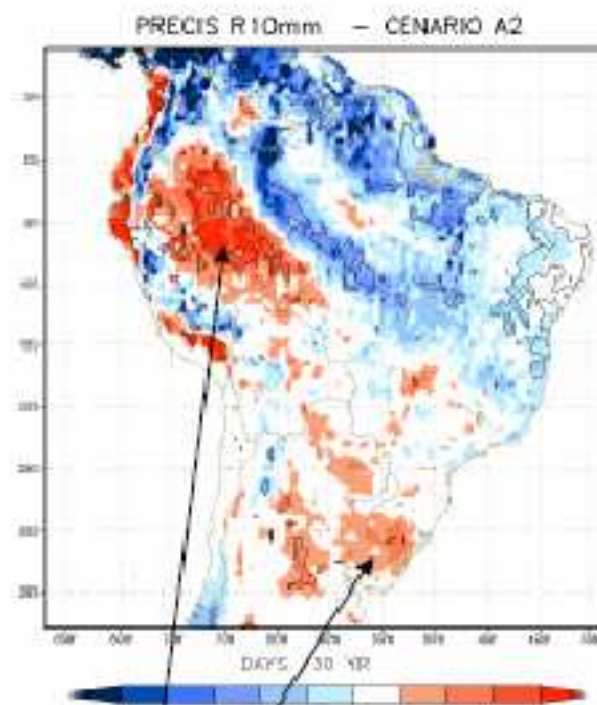
Índice R10 (chuvas intensas) presente (1961-90) e futuro (2071-2100)

2071-2100



Baixas emissões

2071-2100



Altas emissões

Aumento na frequência de chuvas intensas até 2100

O Índice R10 (Chuvas Intensas) é definido como o número de dias com precipitação maior do que 10mm

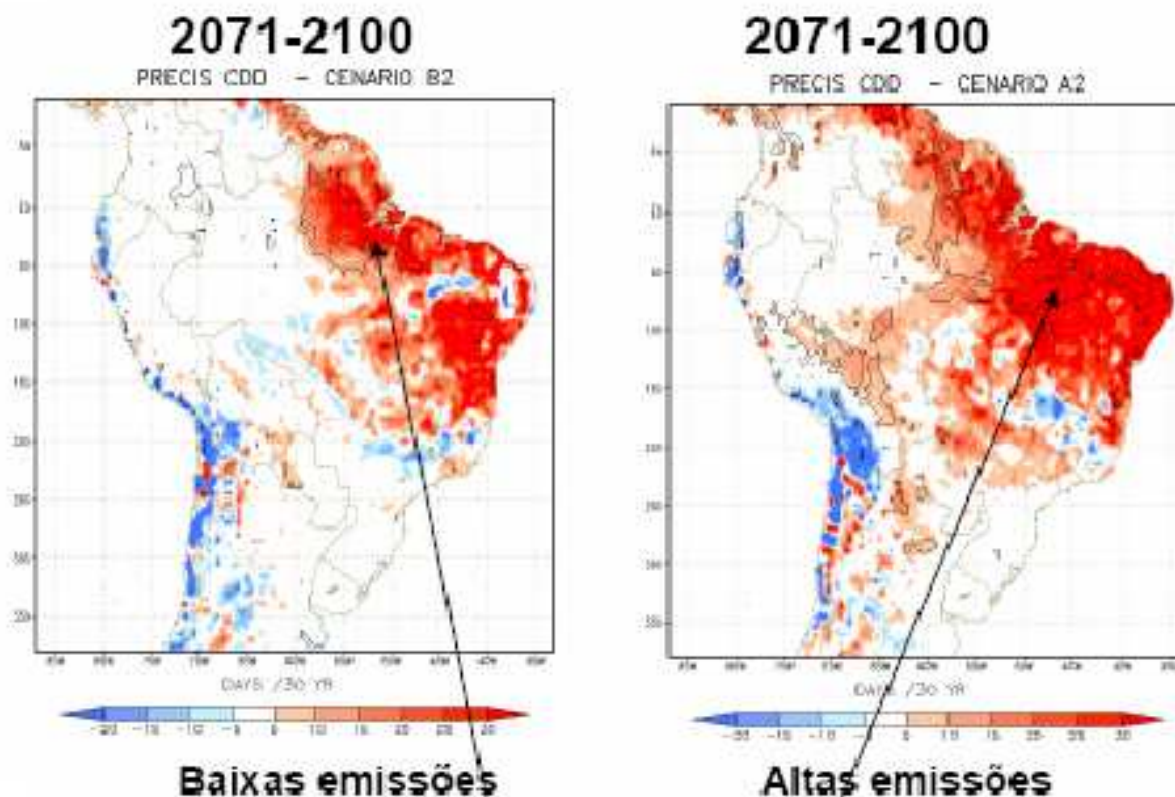
-
-
-

Eventos extremos (Hidrologia)



- ✓ **Incremento dos dias secos nos verões sobre as latitude médias continentais aumentando o período seco (*provável*)**
- ✓ **Diminuição do rendimento das colheitas**
- ✓ **Diminuição da quantidade e qualidade da água**
- ✓ **Incremento do risco de fogo em florestas**
- Eventos mais intensos de precipitação (muito provavelmente)
- Aumento de inundação, avalanche, e danos em áreas mais baixas
- Incremento da erosão do solo
- Áreas urbanas alagadas estendidas

Índice CDD (dias secos consecutivos) presente (1961-90) e futuro (2071-2100)



**Aumento na frequência de
dias secos consecutivos ate
2100**

O índice CDD (dias secos consecutivos) é definido como o número máximo de dias consecutivos secos

Modelagem Hidrológica

Variação média da vazão anual em relação às projeções de referência: 2071–2100

BACIA	A2	B2
Rio Paraná	-2,4%	-8,2%
Grande	1,0%	-3,4%
Paranaíba	-5,9%	-5,9%
Paranapanema	-5,0%	-5,7%
Parnaíba	-10,1%	-10,3%
São Francisco	-23,4%	-26,4%
Tocantins-Araguaia	-14,7%	-15,8%
MÉDIA	-8,6%	-10,8%

Schaeffer et al. 2008

Modelagem Hidrológica

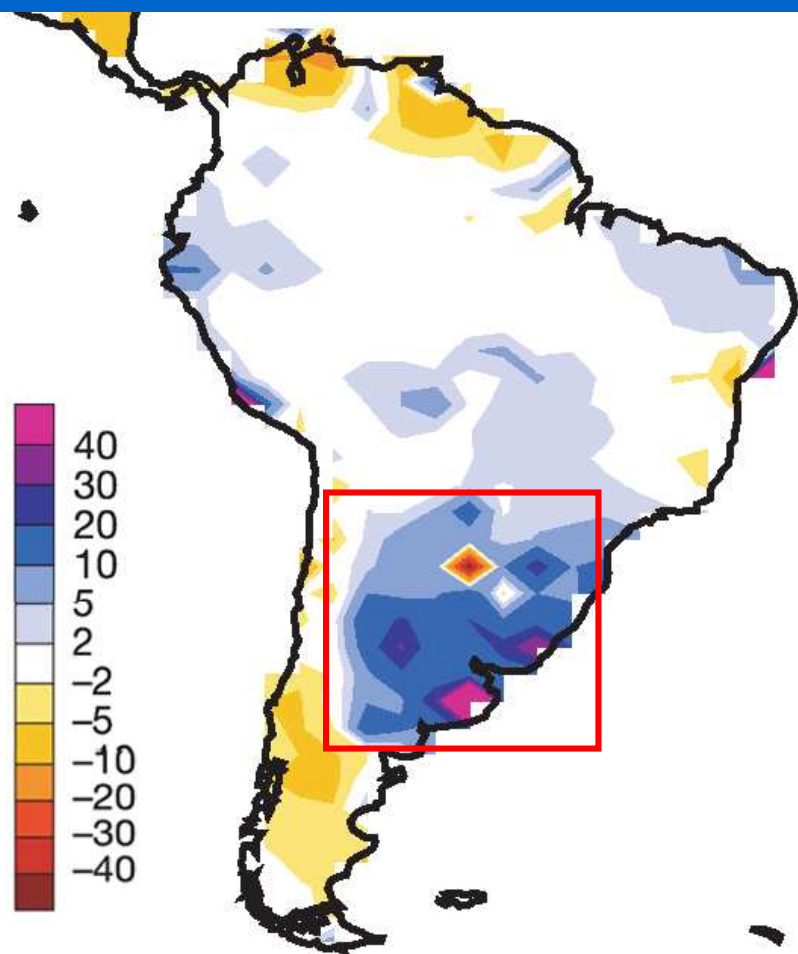
Mudanças na disponibilidade de energia hidroelétrica para 2050

Basin	A2	B2
Paraná River	0.7%	-1.2%
Grande	0.1%	-0.8%
Paranaíba	-1.4%	-1.9%
Paranapanema	-1.4%	-2.5%
Parnaíba	-0.8%	-0.7%
São Francisco	-4.3%	-7.7%
Tocantins-Araguaia	-0.1%	-0.3%
Average	-1.0%	-2.2%

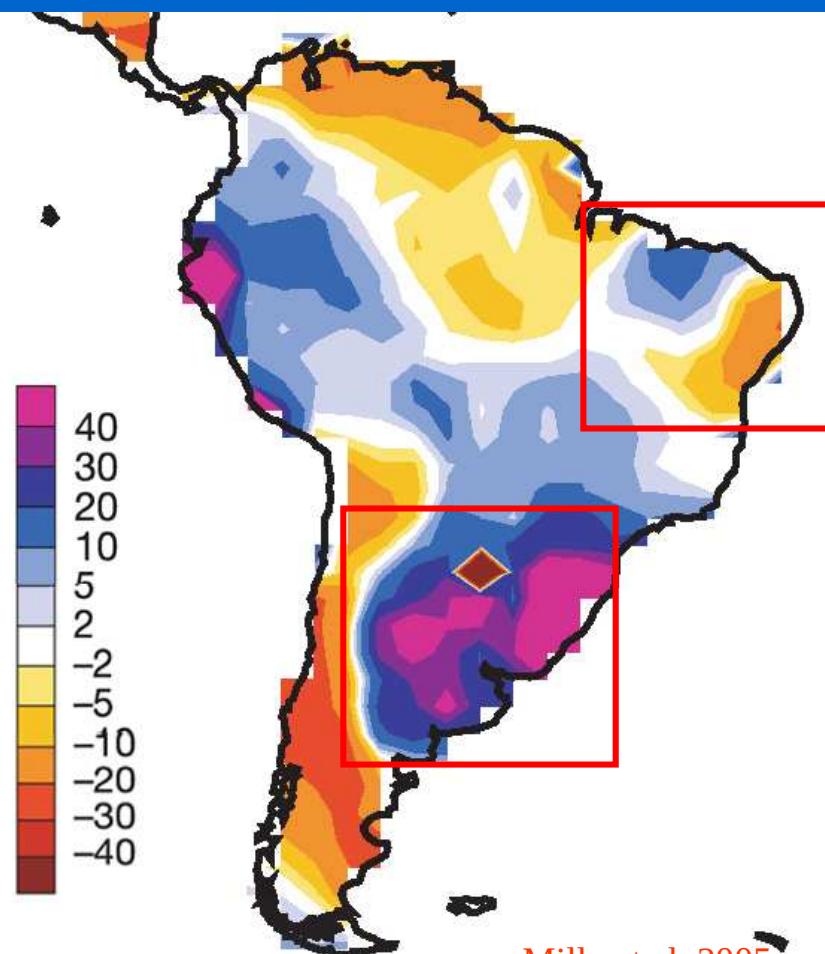
Nas bacias do Nordeste e Centro oeste (Parnaíba, São Francisco e Tocantins-Araguaia), reduções na geração de energia são conseqüências nas reduções nos volumes e água transportados pelos rios até a UHE.

A bacia do São Francisco parece ser a mais afetada pelas mudanças climáticas. A redução na geração de energia pode chegar ate 7%.

Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul para 1971-2000 relativo à média de 1900-1970



Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul dos modelos globais do IPCC AR4 para o período 2041-2060 do cenário A1B relativo à média de 1900-1998 (IPCC 2007)



Milly et al. 2005

Possíveis impactos da mudança de clima no Brasil

Cenários de clima futuro para o Brasil no Século XXI

3 Modelos regionais

NORTE

Cenário Pessimista A2:

4-8 °C mais quente,
15-20% redução de chuva

Cenário Otimista B2:

3-5 °C mais quente,
5-15 % redução de chuva

CENTRO-OESTE

Cenário Pessimista A2:

3-6 °C mais quente,
aumento da chuva na forma
de chuvas intensas e irregulares

Cenário Otimista B2:

2-4 °C mais quente,
aumento da chuva na forma de chuvas
intensas e irregulares

SUL

Cenário Pessimista A2:

2-4 °C mais quente,
5-10% aumento da chuva na forma
de chuvas intensas e irregulares

Cenário Otimista B2:

1-3 °C mais quente,
aumento da chuva na forma de chuvas intensas e irregulares



NORDESTE

Cenário Pessimista A2:

2-4 °C mais quente, 15-20%
redução de chuva

Cenário Otimista B2:

1-3 °C mais quente,
10-15 % redução de chuva

SUDESTE

Cenário Pessimista A2:

3-6 °C mais quente,
aumento da chuva na forma de chuvas
intensas e irregulares

Cenário Otimista B2:

2-3 °C mais quente,
aumento da chuva na forma de chuvas
intensas e irregulares

Possíveis impactos da mudança de clima no Brasil

Cenários de clima futuro para o Brasil no Século XXI

3 Modelos regionais

NORTE

- Perdas nos ecossistemas e biodiversidade na Amazônia
- Mais eventos extremos de chuva e secas
- Condições favoráveis para mais queimadas

NORDESTE

- Mais veranicos
- Tendência para aridização
- Alta taxa de evaporação afetando o nível dos açudes e agricultura de subsistência
- Maior escassez de água

Centro Oeste

- Mais eventos extremos de chuva e secas
- Maior taxa de evaporação e veranicos com ondas de calor
- impactos saúde, agricultura e geração de hidro-energia

Sudeste

- Similar ao Centro Oeste
- Possível elevação do Nível do Mar

Sul

- Mais eventos intensos de chuva
- Aumento na frequência de noites quentes
- Altas temperaturas e variabilidade de chuvas afetando a agricultura



Considerações Finais:

Numa Atmosfera mais aquecida...

- Precipitações pluviométricas se tornariam mais intensas e episódicas. Veranicos e ondas de calor seriam mais frequentes. Isto aumentaria o escoamento superficial e a captação de recursos hídricos.
- Mudanças na sazonalidade da chuva
- Geração hidrelétrica e navegação impactada em caso de redução da chuva anual
Produção de alimentos à partir de perímetros irrigados comprometida
- Diminui eficiência da infra-estrutura hídrica (reservatórios, canais, estações de bombeamento, etc.), demandando sistemas complexos e mais onerosos
- Sistemas de abastecimento de água de pequenas comunidades e regiões metropolitanas atuando no limite da capacidade

Considerações Finais:

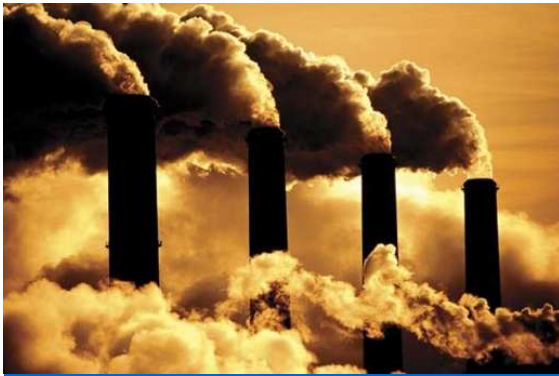
Novas pesquisas têm que ser dirigidas para o setor hidroelétrico no Brasil:

- Necessidade de estudos de impactos de mudança de clima em recursos de água (gerenciamento, quantidade e qualidade)
- Entender melhor a relação entre clima e hidrologia
- Impactos em recursos de água: Mudanças na hidrologia e na demanda da água
- Poucos estudos sobre impactos de mudanças climáticas nos recursos de água, e de adaptação e mitigação do setor hidroelétrico

Considerações Finais:

Novas pesquisas têm que ser dirigidas para o setor hidroelétrico no Brasil:

- Impactos de mudanças e práticas de gerenciamento no uso da terra no sistema hidrometeorológico
- Incertezas nas projeções de mudanças de clima e vazões projetadas para o futuro
- Avançar na melhoria da previsibilidade dos modelos climáticos e no desenvolvimento de modelos hidro-climáticos para grandes bacias



Obrigado!!!

wagner.soares@inpe.br

