

# Aula 1 – O clima e a mudança do clima – Uma introdução geral e seu histórico

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
Departamento de Engenharia de Biosistemas



# Programa e tema das aulas

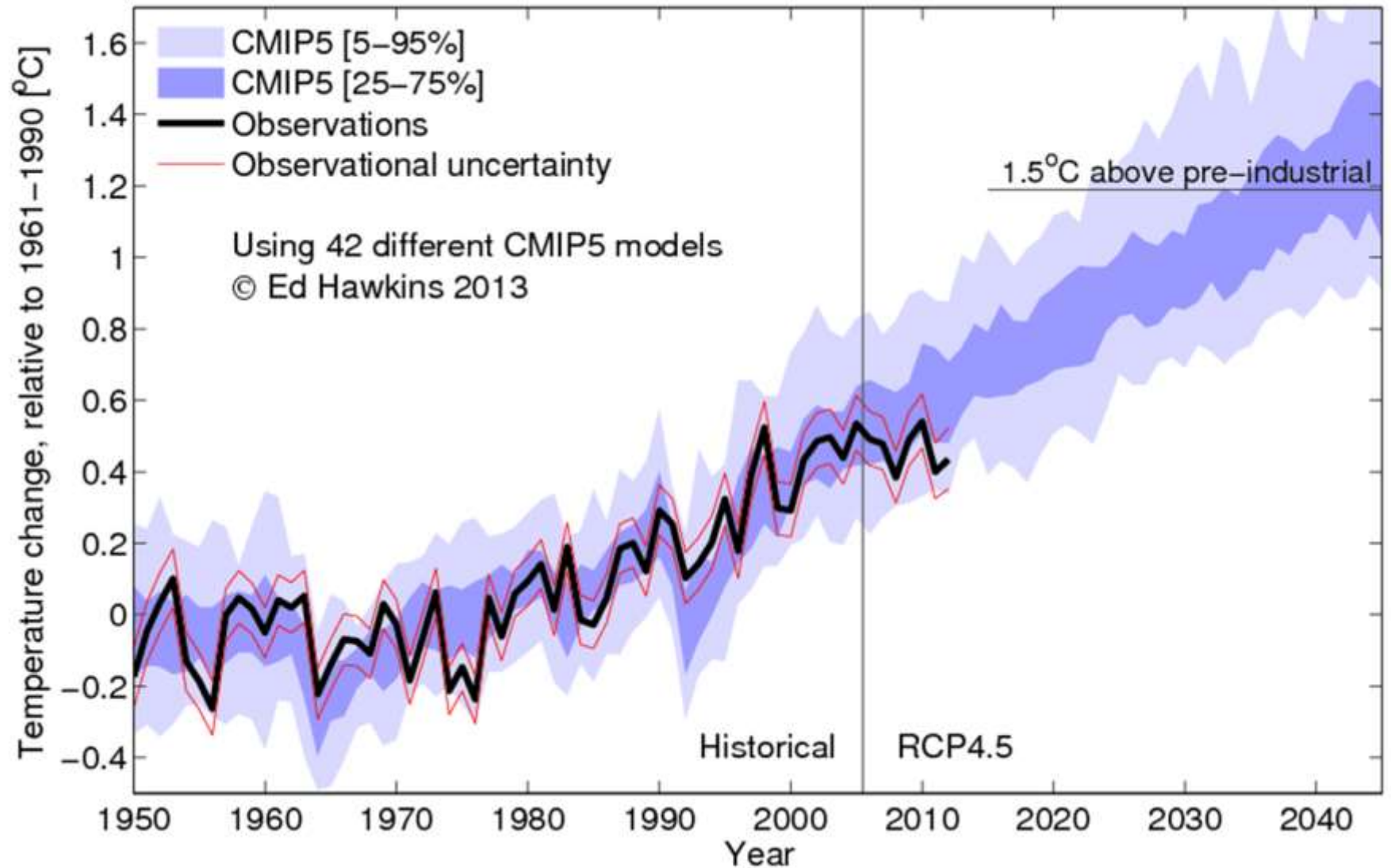
Semana	DATA	ASSUNTO
#1	7-Aug	Introdução à disciplina: objetivos, programa e sistema de avaliação. Aula 1 – O clima e a mudança do clima – uma introdução geral e seu histórico
	14-Aug	EVENTO LEB - NÃO HAVERÁ AULA
#2	21-Aug	Aula 2 - Bases físicas das mudanças climáticas
#3	28-Aug	Aula 3 - Impacto das mudanças climáticas nos principais processos fisiológicos – Parte 1
	4-Sep	Semana da Pátria - NÃO HAVERÁ AULA
#4	11-Sep	Aula 4 - Emissões da agricultura brasileira e sua relação com o manejo do solo - Prof Carlos Cerri
#5	18-Sep	Aula 5 - Matriz energética brasileira e mundial - Prof Thiago Romaneli
#6	25-Sep	Aula 6 - Impacto das mudanças climáticas nos principais processos fisiológicos – Parte 2
#7	2-Oct	Aula 7 - A economia das mudanças climáticas na agricultura - Prof Humberto Spolador
#8	9-Oct	Aula 8 - Etanol X Geopolítica X Matriz Energética Brasileira - Prof Gonçalo Pereira Unicamp
#9	16-Oct	Aula 9 - Intensificação agrícola sustentável - Impactos prováveis nos sistemas de produção e nos biomas brasileiros Tecnologia como base para o avanço sustentável. Videos sobre Mudança Climática
#10	23-Oct	Aula 10 - ONLINE - Desenvolvimento de variedades visando a Mudança Climática - Prof Roberto Fritche Neto
	30-Oct	CONGRESSO ASA - NÃO HAVERÁ AULA
#11	6-Nov	Aula 11 - Agricultura Regenerativa e as Mudança do Clima - Matheus Calheiros
#12	13-Nov	Aula 12 - Introdução à Modelagem. Simulando o crescimento das culturas sob novas condições climáticas I
#13	20-Nov	Aula 13 - Construção do trabalho final
#14	27-Nov	Aula 14 - Construção do trabalho final
#15	4-Dec	Entrega do Trabalho Final



# Sistema de Avaliação

- Provinhas semanais online e trabalho final.
  - $MF = P * 0,8 + T * 0,2$  (P – média das provinhas semanais, T nota do trabalho em dupla)
- Controle de frequência através de lista e chamada na sala de aula

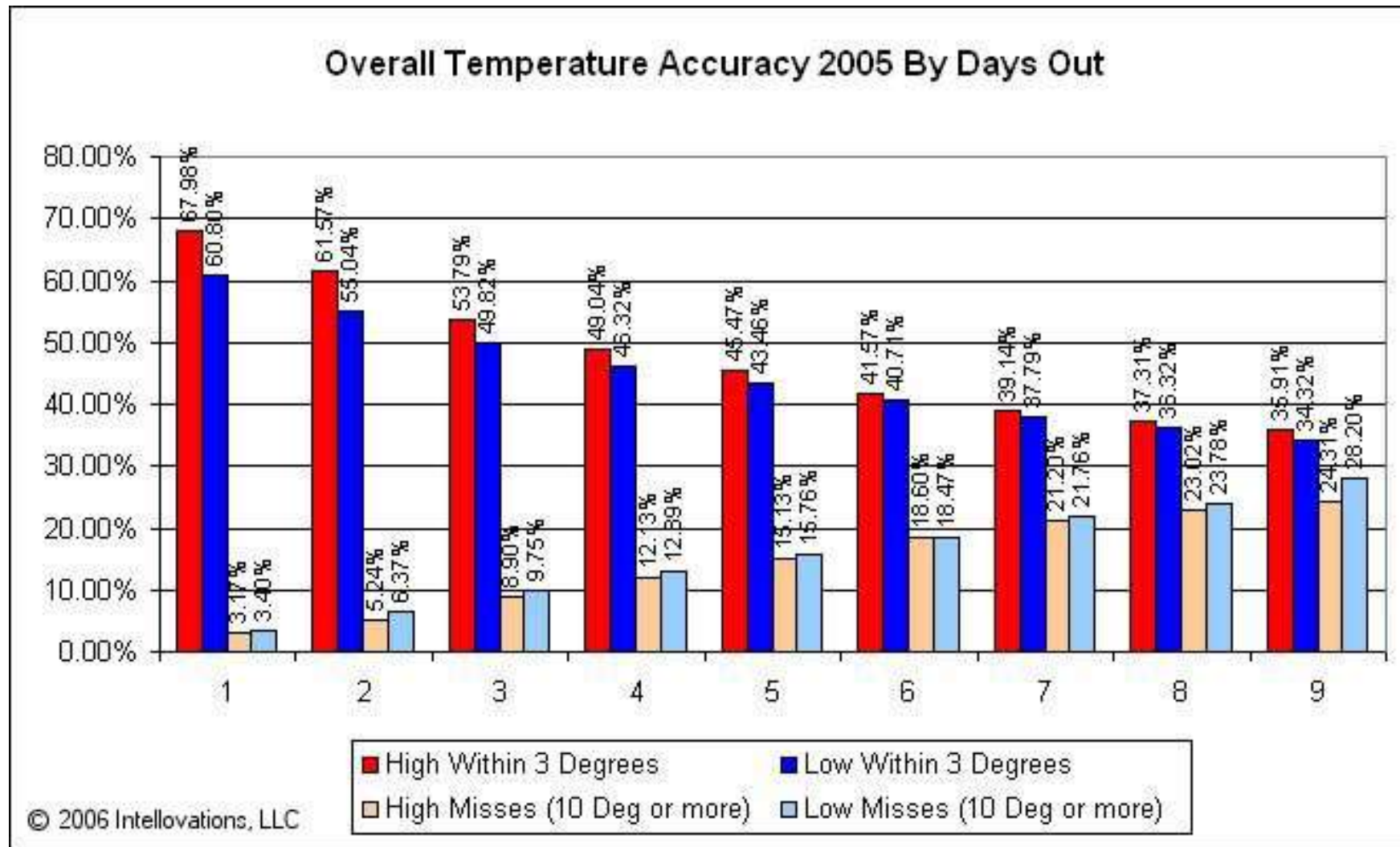
# GLOBAL TEMPERATURES: comparing CMIP5 & HadCRUT4



# Qual a relação entre eles?



# Como Interpretar as Projeções Climáticas?



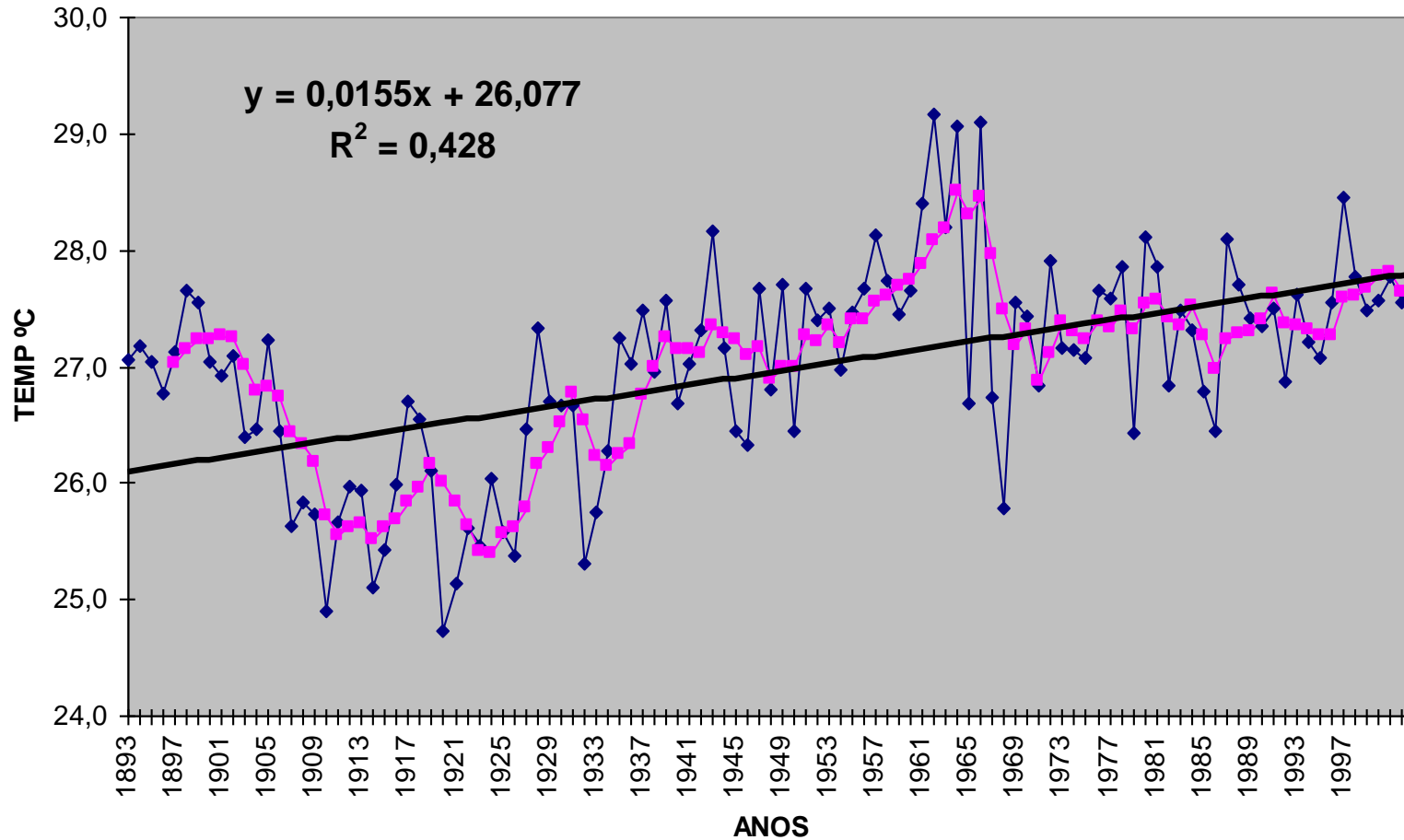
<http://www.forecastadvisor.com/>



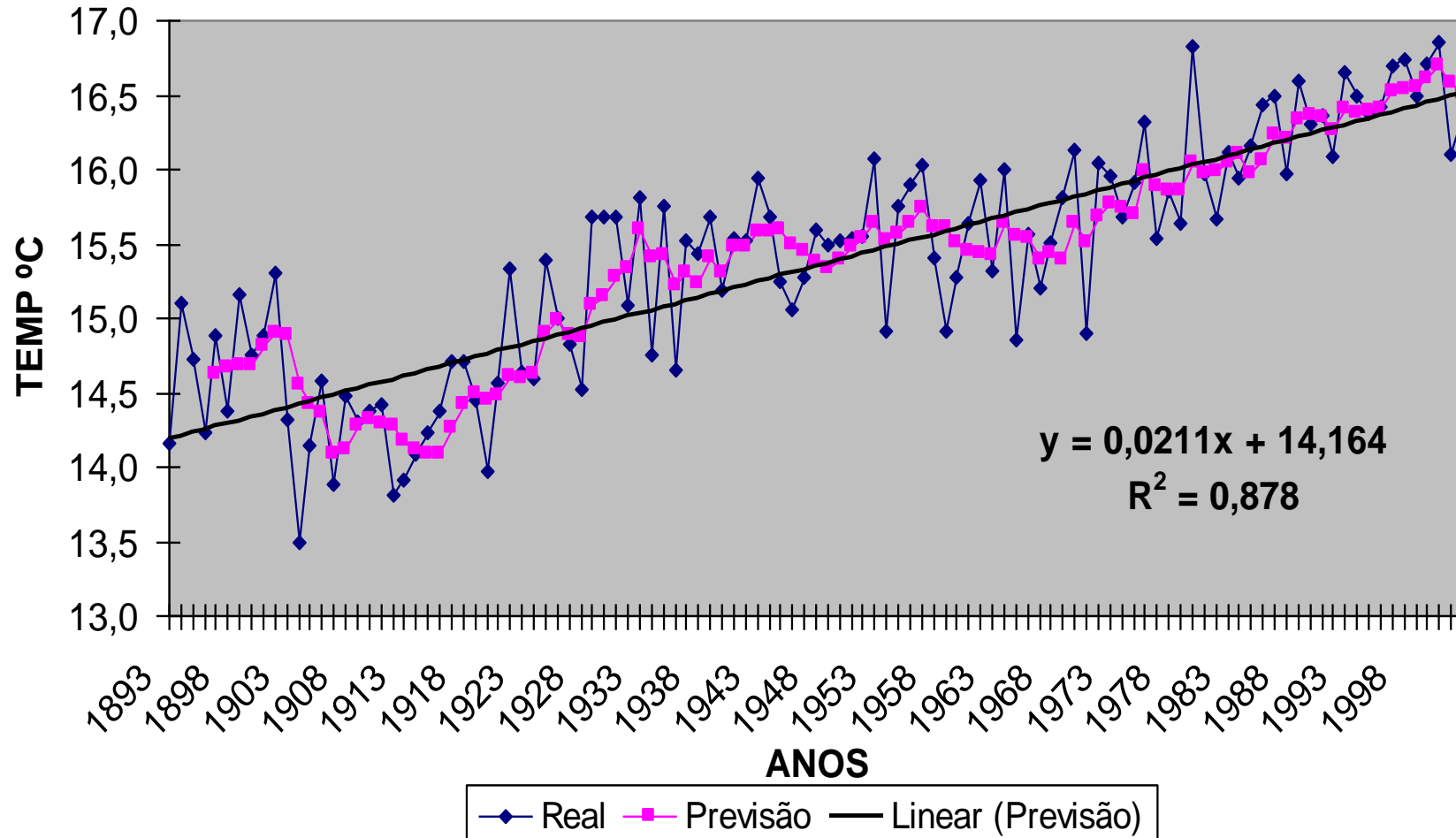
**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo

### TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS ANUAIS EM CAMPINAS, SP. MMOVEL 5 - FONTE: IAC

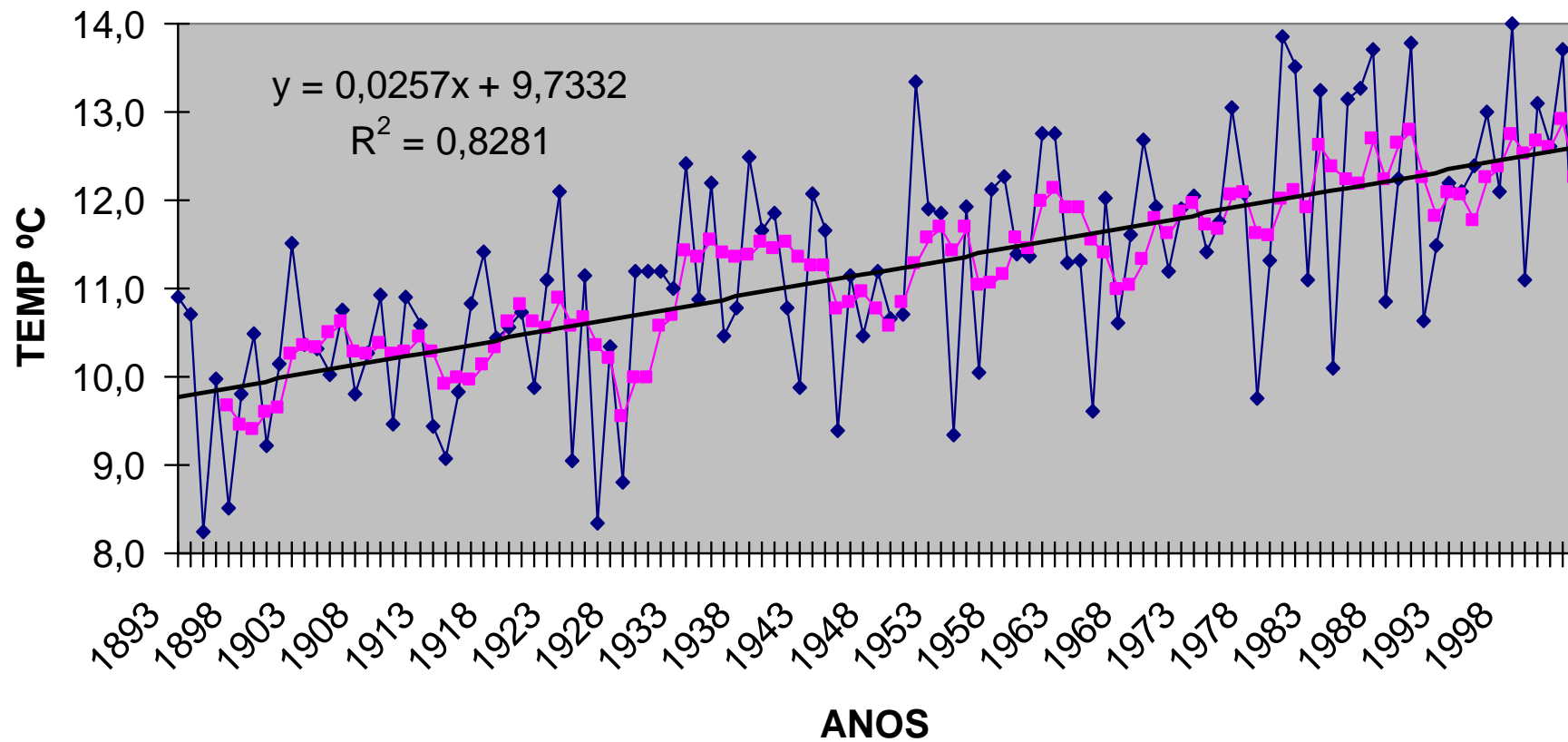


TEMPERATURAS MÉDIAS MÍNIMAS ANUAIS - CAMPINAS, SP.  
MMOVEL 5 - FONTE:IAC

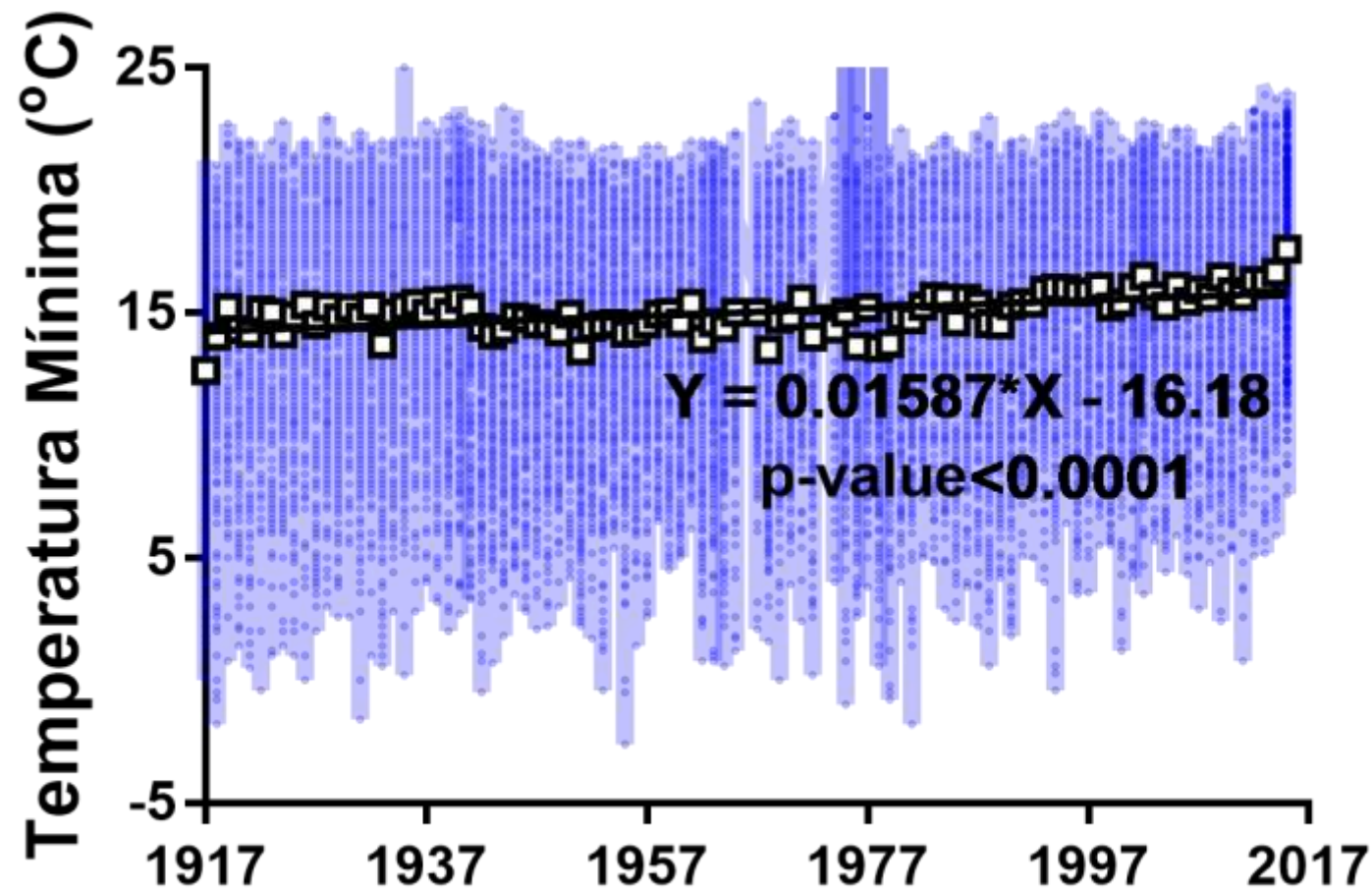




## Temperaturas Médias Mínimas de Julho. Campinas. Mmovel 5. Fonte: IAC

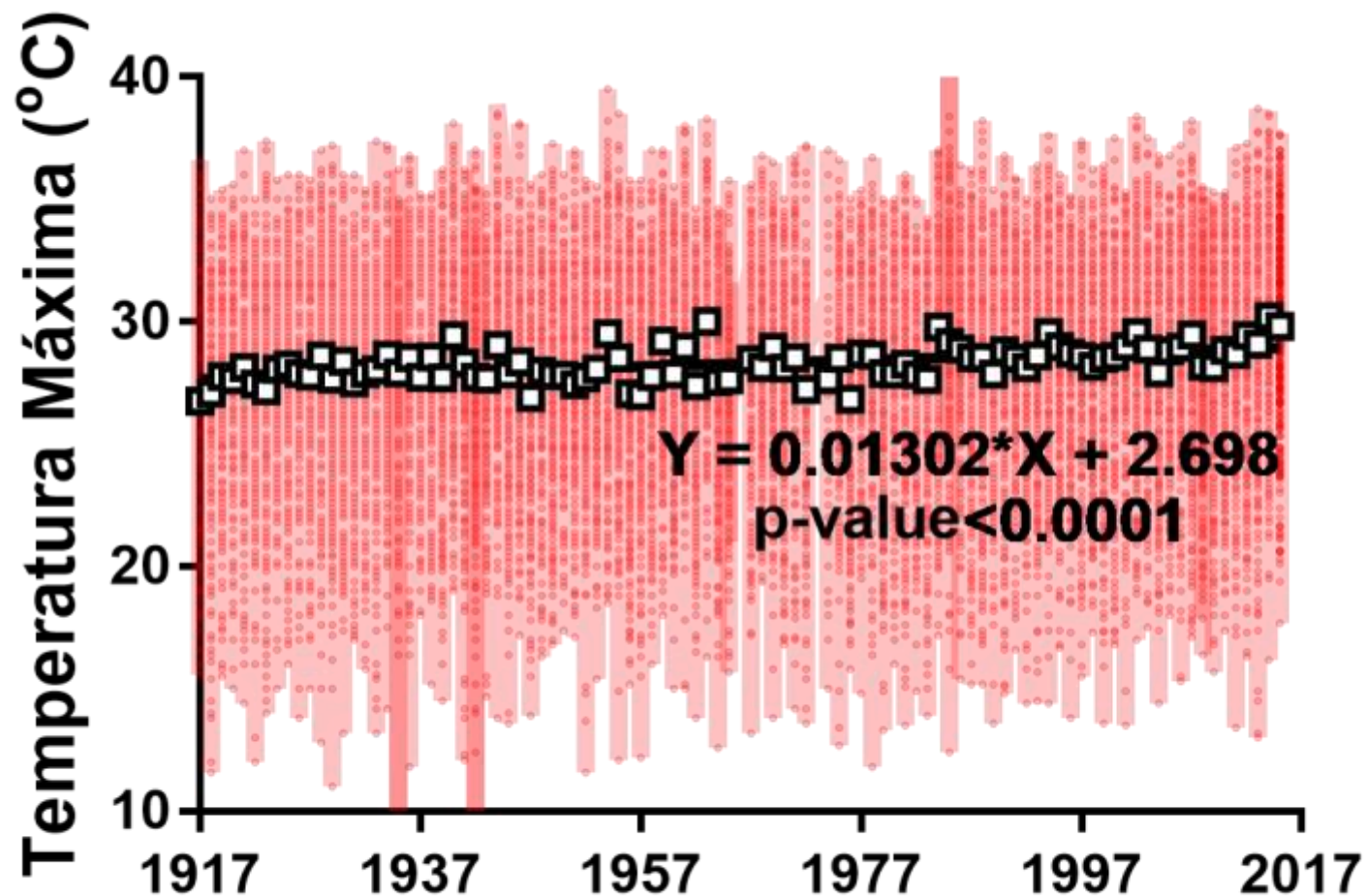


# O CLIMA EM PIRACICABA



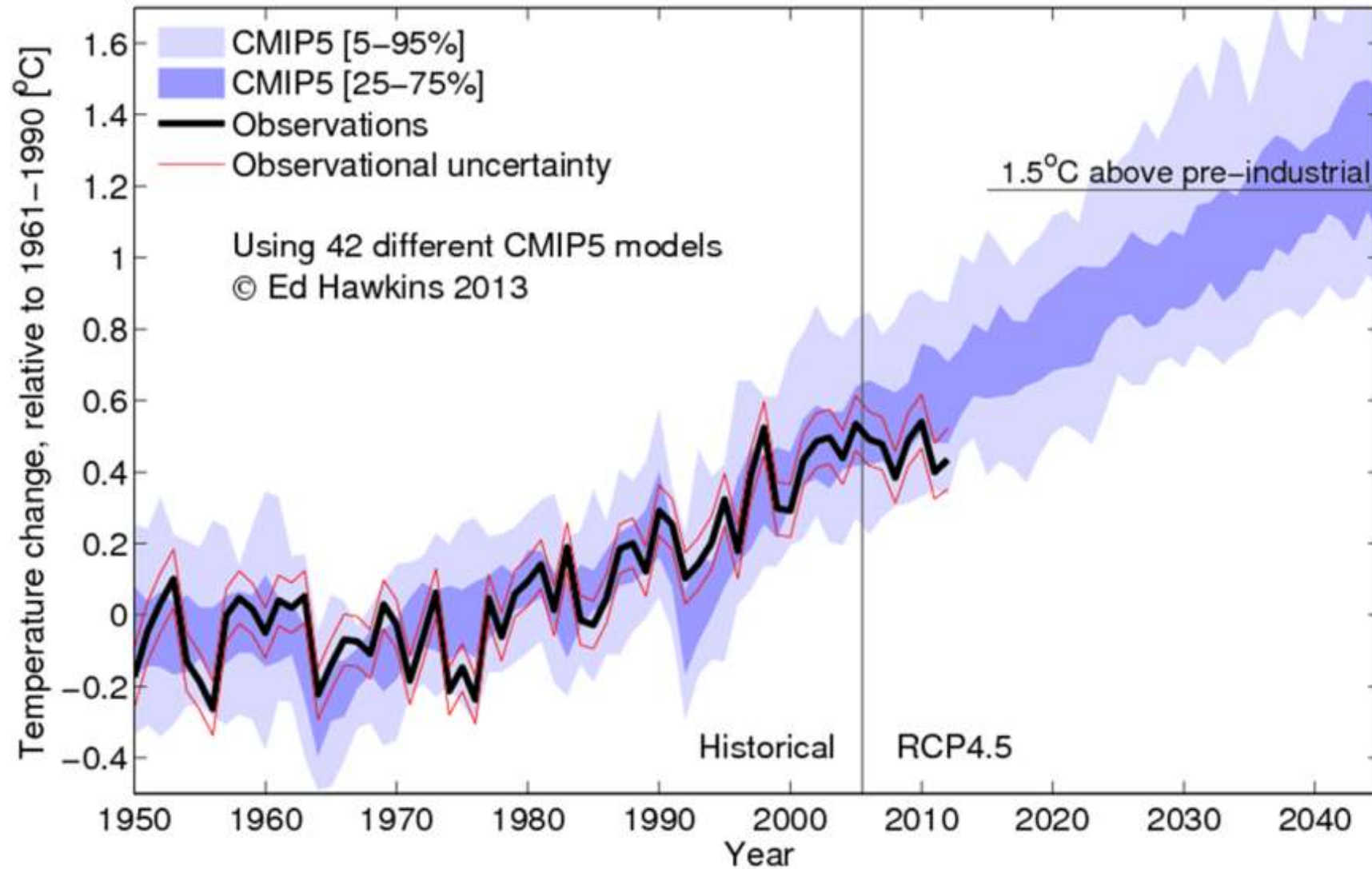
# O CLIMA EM PIRACICABA

Elevação de 1,30°C na temperatura máxima e 1,58°C na mínima



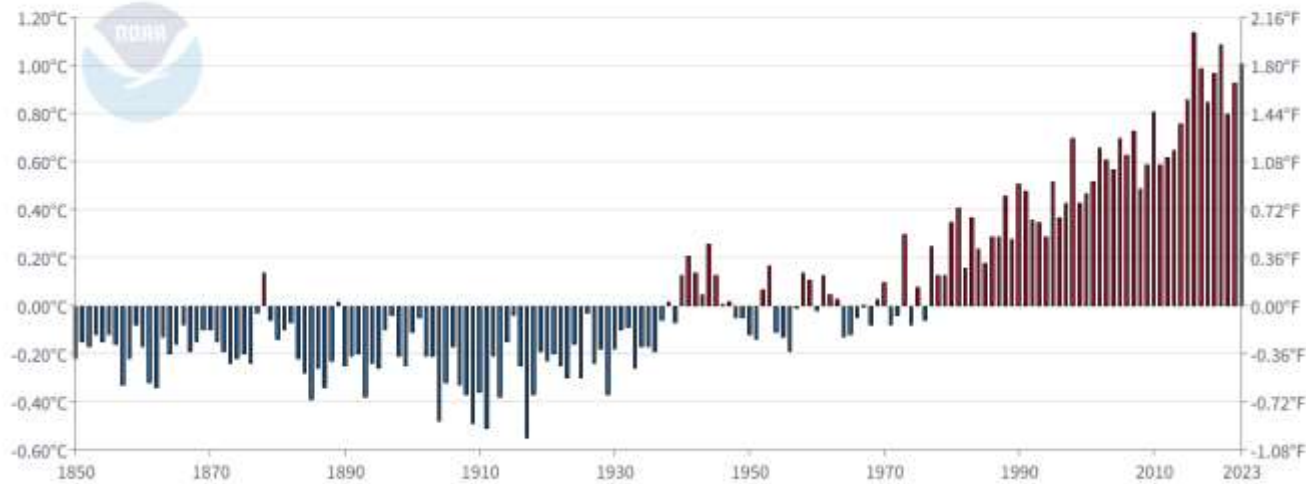
<http://www.leb.esalq.usp.br/posto/>

# GLOBAL TEMPERATURES: comparing CMIP5 & HadCRUT4



# Os dez anos mais quentes desde 1880

Global Land and Ocean  
January-June Temperature Anomalies



<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global#gtemp>

Global Land and Ocean

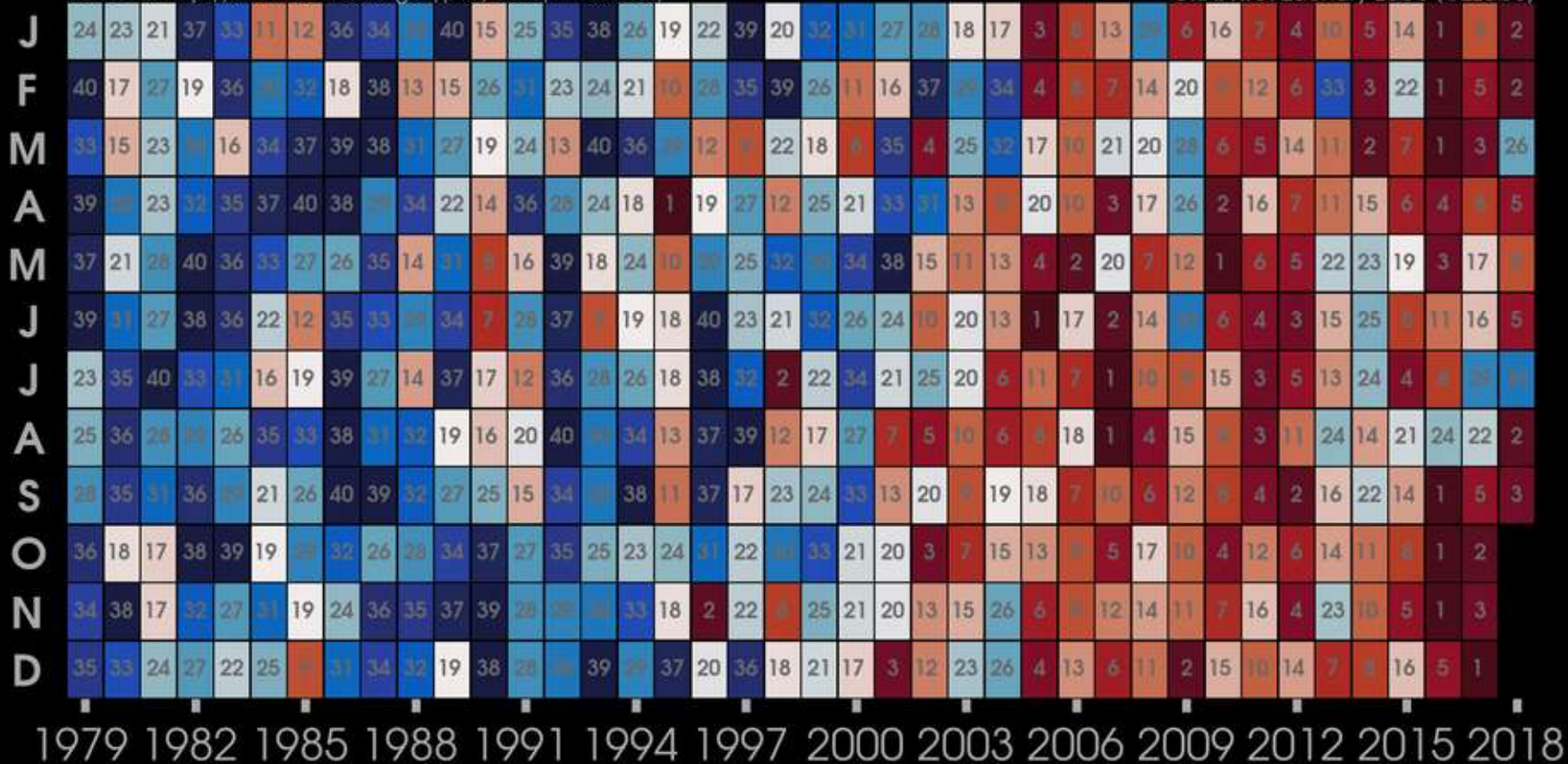
July-June Temperature Anomalies (1901-2000 mean)

• Period	• Anomaly	• Rank
July 2015-June 2016	1.05°C	173
July 2019-June 2020	1.03°C	172
July 2016-June 2017	0.95°C	171
July 2022-June 2023	0.94°C	170
July 2021-June 2022	0.92°C	169
July 2018-June 2019	0.91°C	168
July 2017-June 2018	0.87°C	167
July 2020-June 2021	0.86°C	166
July 2014-June 2015	0.81°C	165
July 2009-June 2010	0.77°C	164
July 2013-June 2014	0.74°C	163
July 2006-June 2007	0.71°C	162
July 2005-June 2006	0.67°C	161
July 2012-June 2013	0.67°C	161
July 2011-June 2012	0.64°C	159
July 1997-June 1998	0.63°C	158
July 2001-June 2002	0.62°C	157



DATA: NOAA/ESRL/PSD (1979-2018; Satellite Era)  
 SOURCE: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/>

GRAPHIC: Zachary Labe (@ZLabe)



Coldest

# AIR TEMPERATURE RANK BY MONTH

( NCEP/NCAR Reanalysis : 925 hPa, Arctic, 70N+ )

Warmest



**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
 Universidade de São Paulo

# Climate Spiral

- <https://www.youtube.com/watch?v=jWoCXLuTlkl>

# Conceitos e Definições: Mudança X Variabilidade

Dependente do período de observação, pode-se confundir Mudança com Variabilidade climática - o que é pode ser tomado como mudança climática na escala de séculos ou décadas, poderia ser considerado apenas como um desvio em relação a média na escala de dezenas de milhares de anos.



# Variabilidade e Mudança do Clima

Define-se a **variabilidade climática** como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica.

Já anomalia climática refere-se a uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade.

Já mudança climática é um termo que designa uma tendência de alteração da média no tempo.

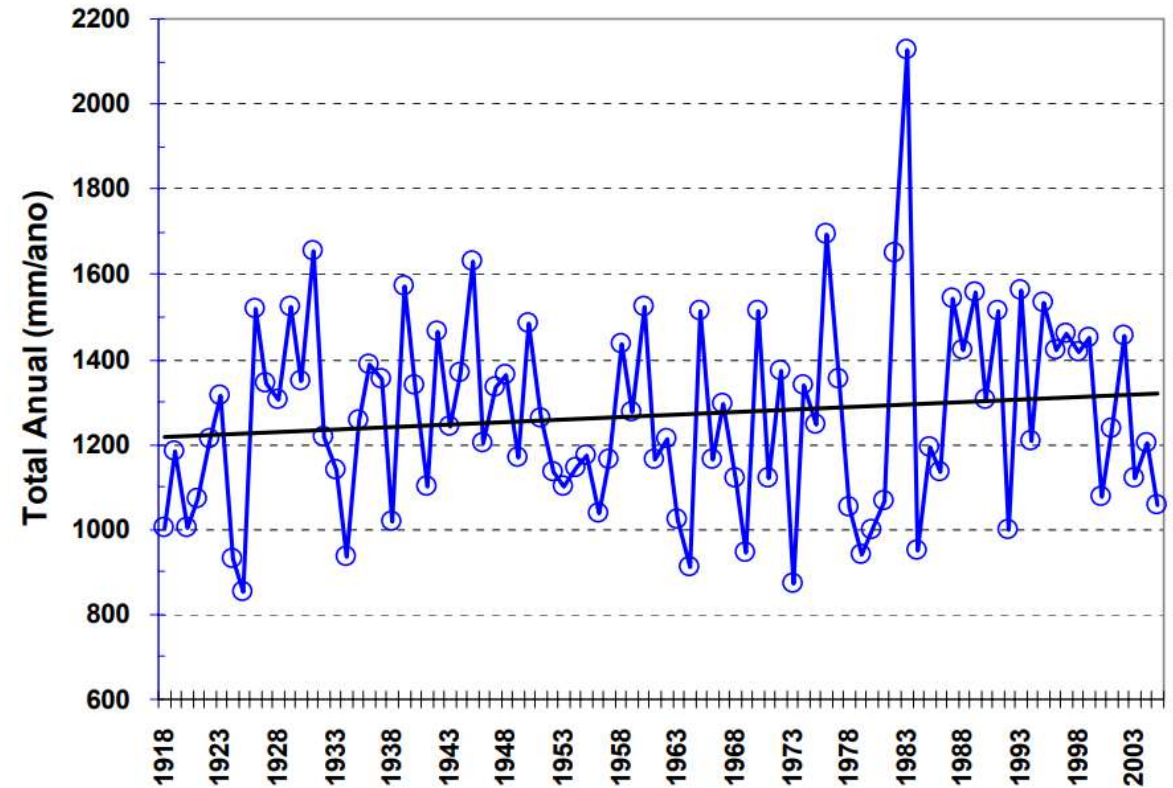


Figura 2.2. Sequenciamento dos totais anuais de chuva em Piracicaba, SP.

# Definições: Clima e Tempo

Denomina-se *tempo* à descrição instantânea, enquanto que a descrição média é denominada de *clima*.



*Tempo* é o estado da atmosfera num local e instante, sendo caracterizado pelas condições de temperatura, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento, precipitação;



*Clima* é a descrição média, valor mais provável, das condições atmosféricas nesse mesmo local. Com a descrição climática sabe-se antecipadamente que condições de tempo são predominantes na região e quais atividades agrícolas têm maior possibilidade de êxito.



# Definições: Clima e Tempo

Em resumo, **Tempo** é o estado da atmosfera num determinado momento e um determinado lugar. É o objeto de estudo da **Meteorologia**.



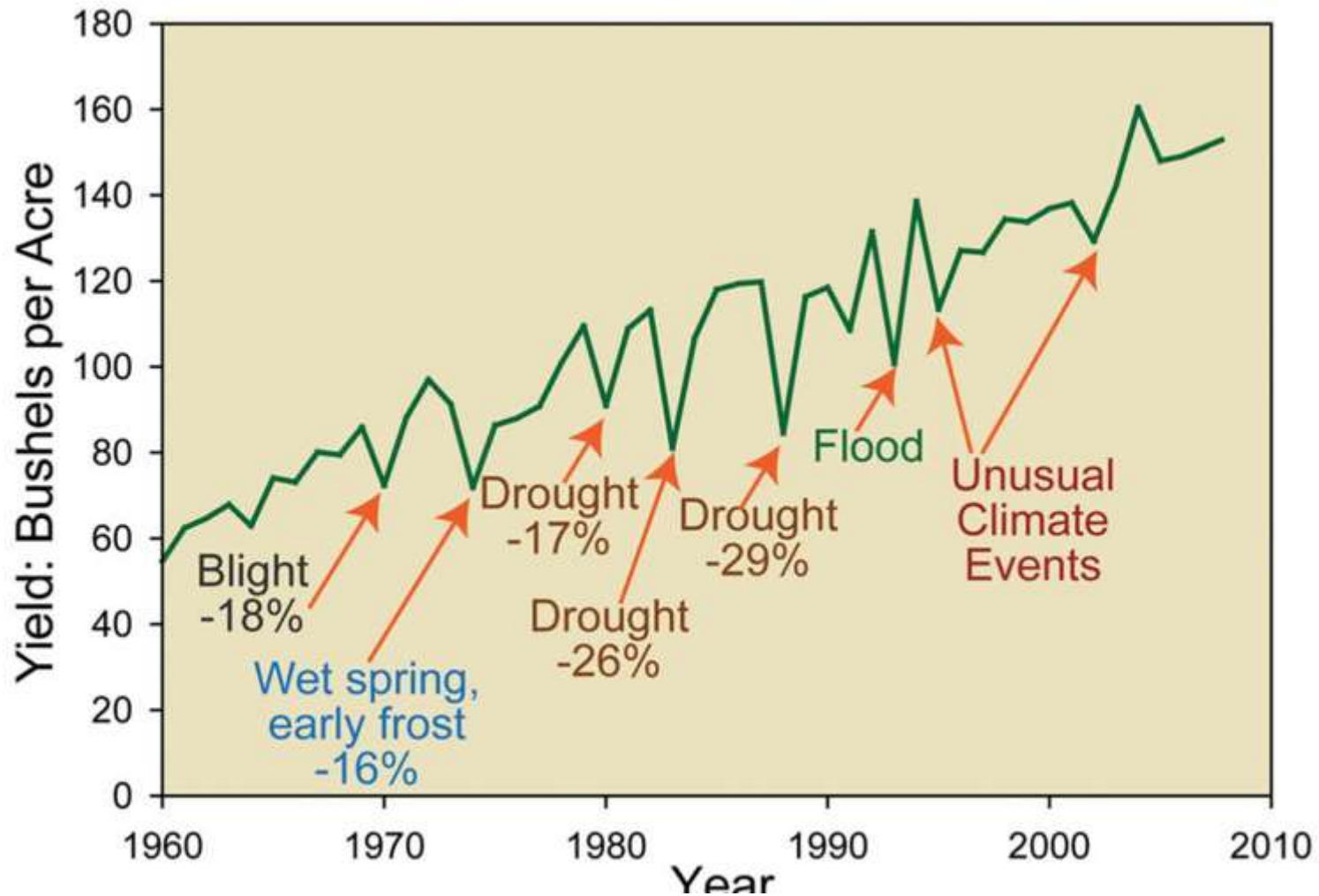
# O que é a atmosfera?

- Definição: camada de gases (fluido gasoso) que envolve um planeta e é retida pela sua atração gravitacional.
- Se comparada com o diâmetro da Terra, a espessura da atmosfera não representa mais que 1,6% de seu raio e, se considerarmos que sob o ponto de vista meteorológico a camada mais importante da atmosfera está restrita a 20 km de altitude, teremos que essa espessura é menos de 0,4% do raio terrestre.



Constituinte	Fração Molar com base em Volume	Massa Molecular
Nitrogênio (N)	78%	28,013
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	21%	31,999
Argônio (Ar)	0,9%	39,948
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0,03%	44,010
Neônio (Ne)	0,0018%	20,183
Hélio (He)	0,00052%	4,003





## Efeitos do Clima na Agricultura

[https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply_.html)



**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo

# Causas Possíveis das Mudanças Climáticas Globais

## Astronômicos:

- variação na excentricidade da órbita,
- variação de inclinação do eixo Terrestre,
- variação da intensidade da radiação solar

## Terrestres:

- proporção entre oceanos e continentes,
- vulcanismo,
- tamanho das calotas polares,
- composição atmosférica



# Principais Gases de Efeito Estufa

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>)
- Perfluormetano (CF<sub>4</sub>)
- Perfluoretano (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)
- Hidrofluorcarbonos (HFC)
- Clorofluorcarbono (CFC)



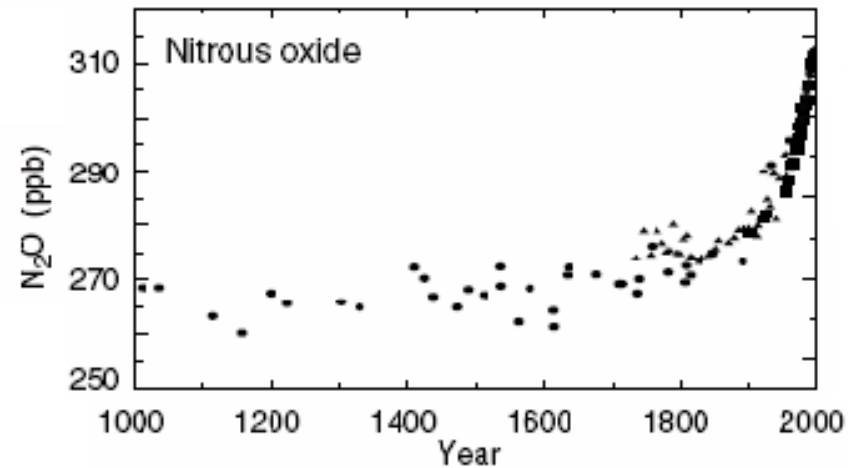
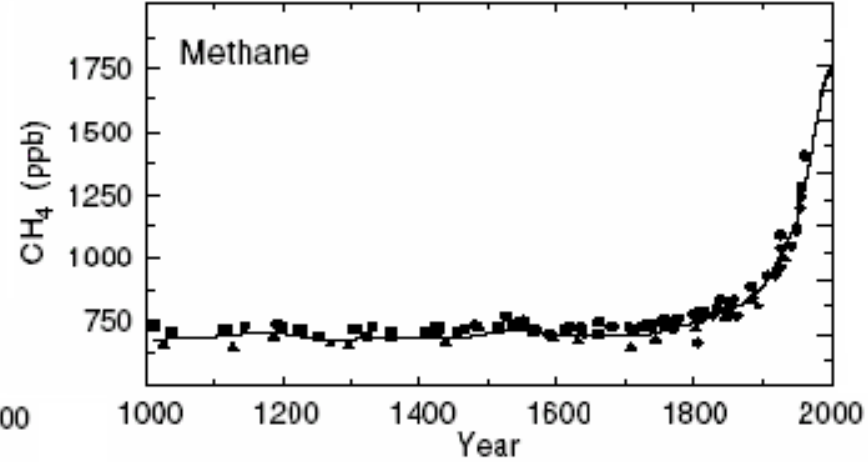
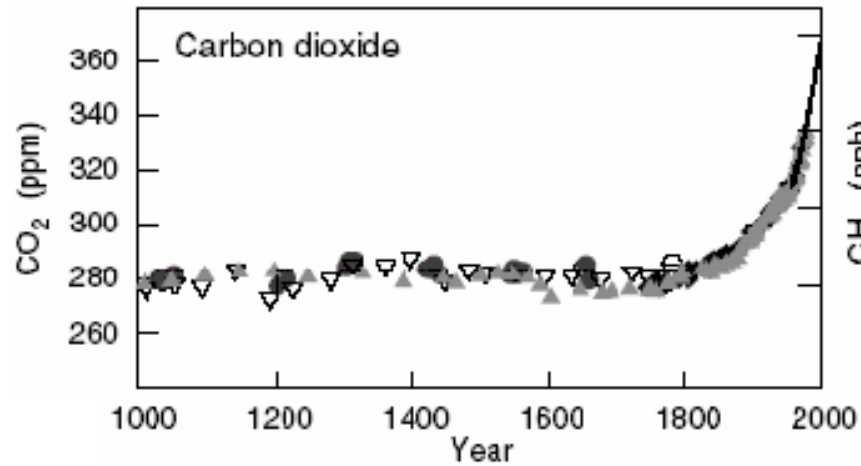


# O que isso quer dizer?

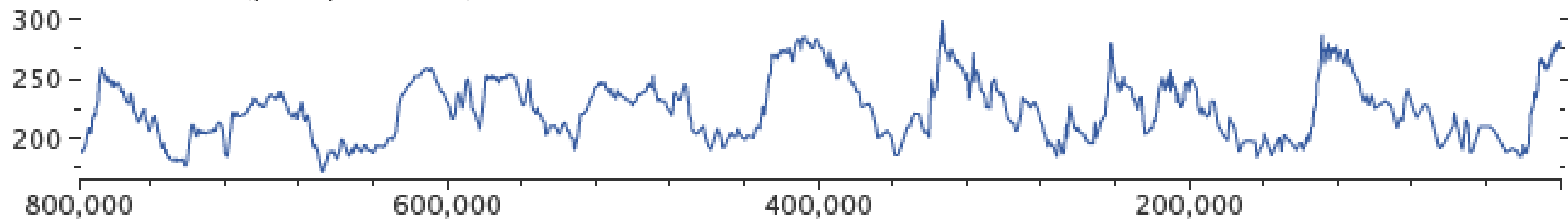
- 1824 - French physicist Joseph Fourier describes the Earth's natural "greenhouse effect". He writes: *"The temperature [of the Earth] can be augmented by the interposition of the atmosphere, because heat in the state of light finds less resistance in penetrating the air, than in re-passing into the air when converted into non-luminous heat."*



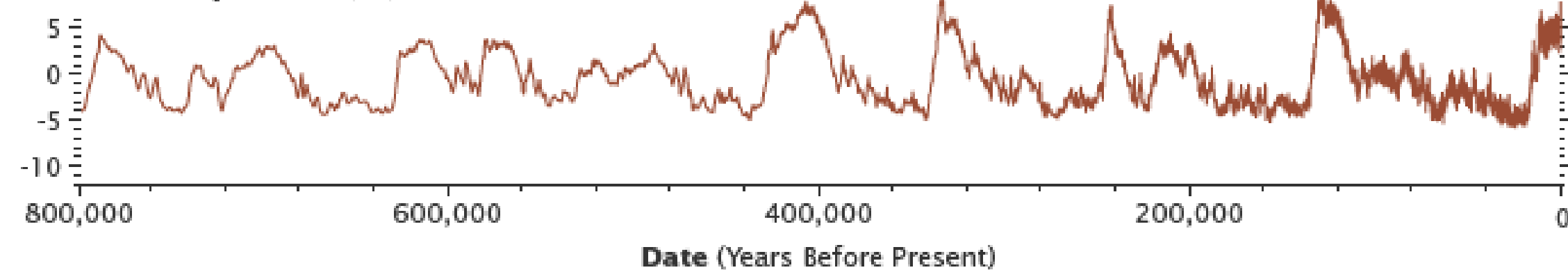
# Os principais gases de efeito estufa...



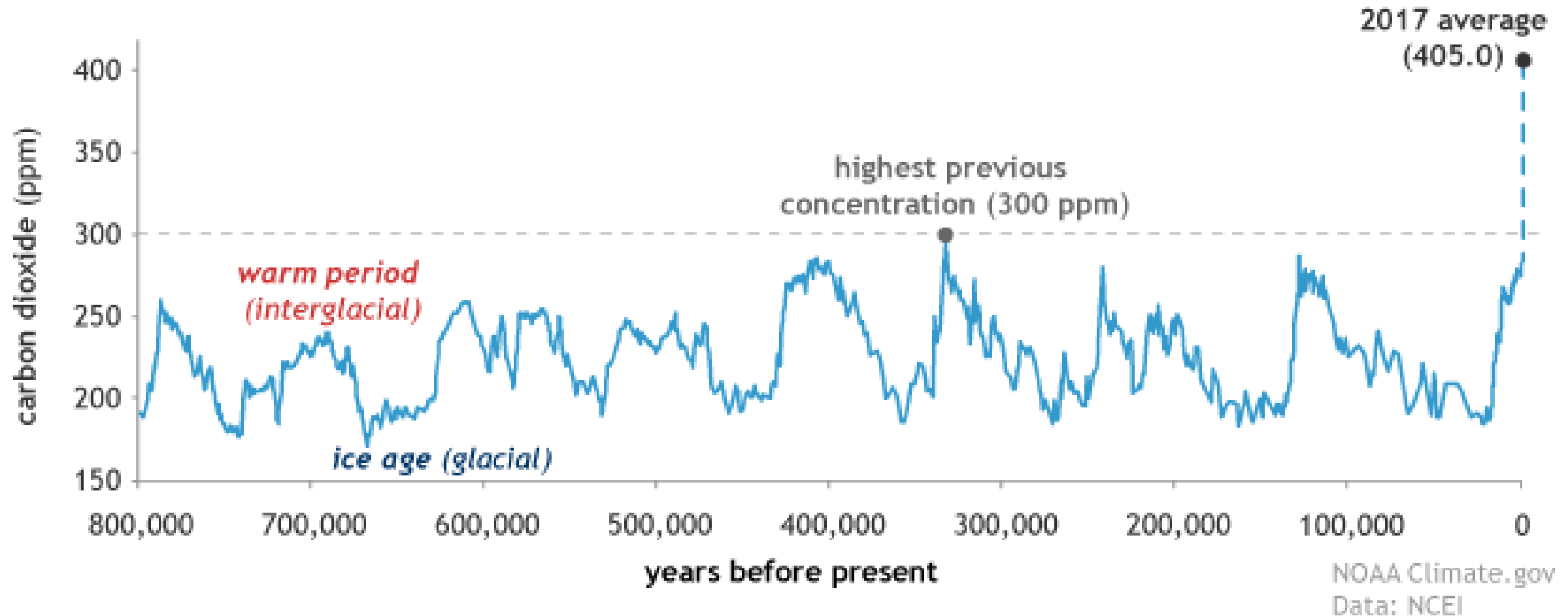
### Carbon Dioxide (parts per million)

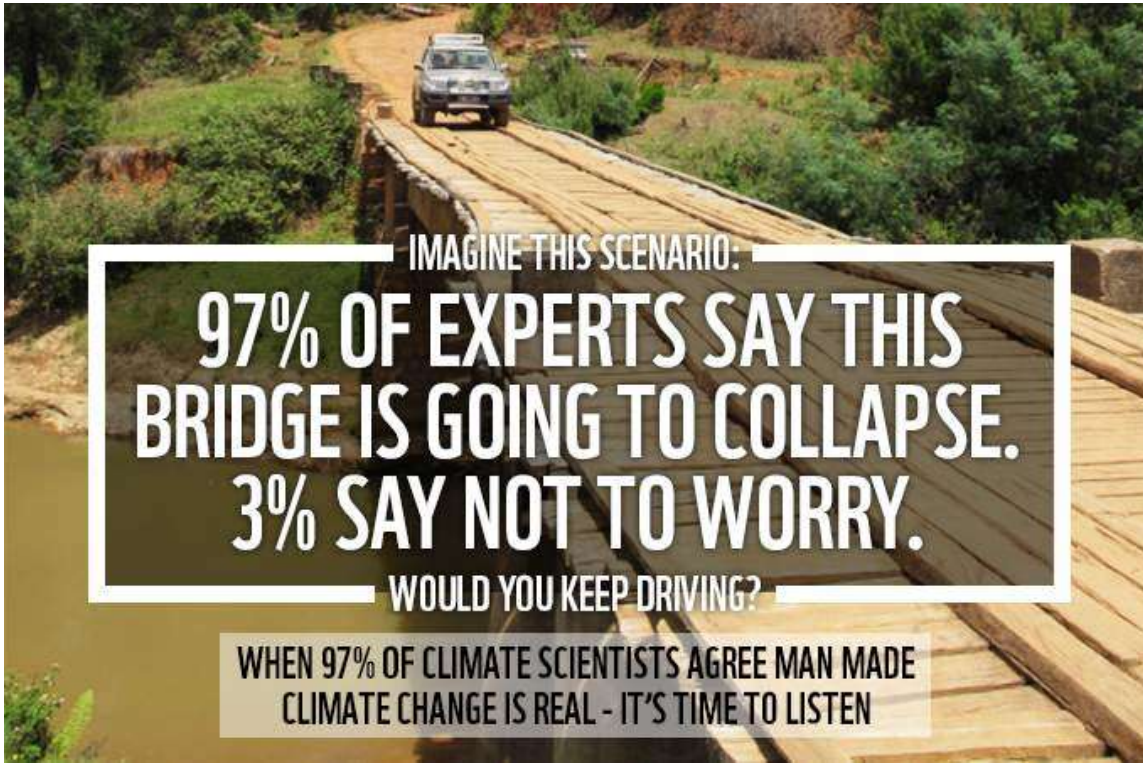


### Antarctic Temperature (°C)

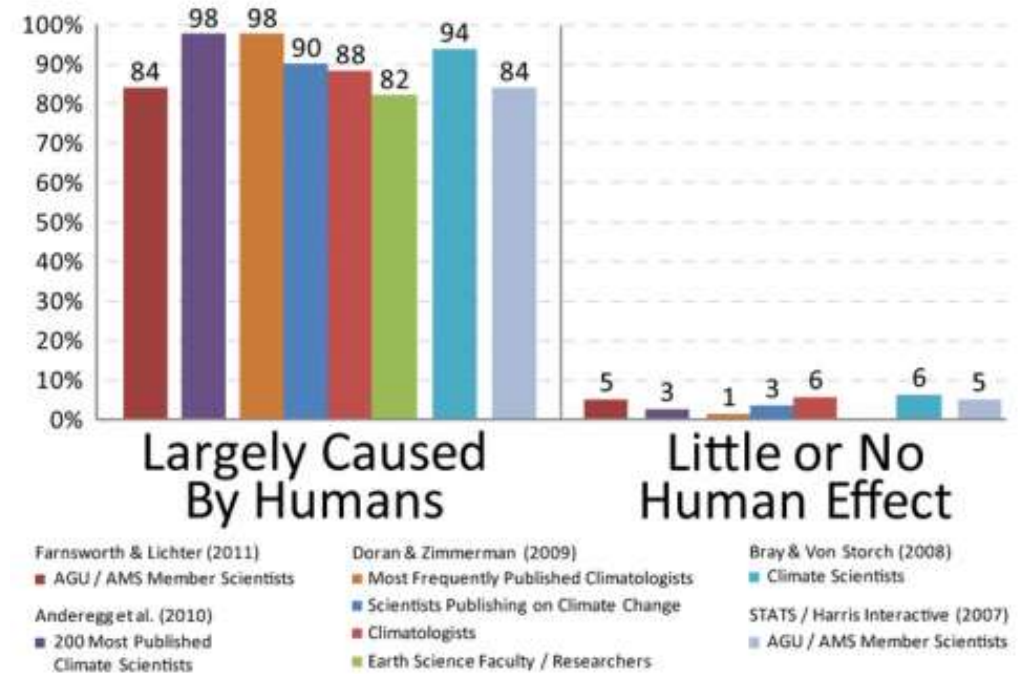


## CO<sub>2</sub> during ice ages and warm periods for the past 800,000 years





## Opinions of Climate and Earth Scientists on Global Warming



# Causa das Mudanças Climáticas

# Breve Histórico sobre a Temática das Mudanças Climáticas



**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 1

O correspondente ambiental da BBC News, Richard Black, traçou marcos fundamentais, descobertas científicas, inovações técnicas e ações políticas.

- **1712** - O ferreiro britânico Thomas Newcomen inventa a primeira máquina a vapor amplamente utilizada, preparando o caminho para a Revolução Industrial e o uso em escala industrial do carvão.
- **1800** - A população mundial atinge um bilhão
- **1824** - O físico francês Joseph Fourier descreve o "efeito estufa" natural da Terra. Ele escreve: "A temperatura [da Terra] pode ser aumentada pela interposição da atmosfera, porque o calor no estado da luz encontra menor resistência ao penetrar no ar, do que ao reencaminhar o ar quando convertido em energia não luminoso calor."
- **1861** - O físico irlandês John Tyndall mostra que o vapor de água e certos outros gases criam o efeito de estufa. "Este vapor aquoso é um cobertor mais necessário para a vida vegetal da Inglaterra do que a roupa é para o homem", conclui. Mais de um século depois, ele é homenageado por ter uma importante organização de pesquisa climática do Reino Unido, o Centro Tyndall.

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 2

- **1886** - Karl Benz revela o Motorwagen, considerado o primeiro automóvel.
- **1896** - O químico sueco Svante Arrhenius conclui que a queima de carvão industrial aumentará o efeito estufa natural. Ele sugere que isso pode ser benéfico para as gerações futuras. Suas conclusões sobre o tamanho provável da "estufa artificial" estão no mesmo estágio - alguns graus Celsius para uma duplicação de CO<sub>2</sub> - conforme os modelos climáticos modernos.
- **1900** - O suíço Knut Angstrom, descobre que, mesmo nas pequenas concentrações encontradas na atmosfera, o CO<sub>2</sub> absorve fortemente partes do espectro infravermelho. Embora não perceba o significado, Angstrom mostrou que o gás pode produzir o aquecimento de estufa.
- **1927** - As emissões de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis e da indústria atingem um bilhão de toneladas por ano.
- **1930** - A população humana atinge dois bilhões.
- **1938** - Usando registros de 147 estações meteorológicas em todo o mundo, o engenheiro britânico Guy Callendar mostra que as temperaturas aumentaram ao longo do século anterior. Ele também mostra que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram ao longo do mesmo período, e sugere que isso causou o aquecimento. O "efeito Callendar" é fortemente contestada pelos meteorologistas.



**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo



# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 3

- **1955** - Usando uma nova geração de equipamentos, incluindo computadores, o pesquisador norte-americano Gilbert Plass analisa detalhadamente a absorção de vários gases por infravermelhos. Ele conclui que a duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> aumentaria e as temperaturas em 3-4°C.
- **1957** - O oceanógrafo dos EUA Roger Revelle e o químico Hans Suess mostram que a água do mar não absorverá todo o CO<sub>2</sub> adicional que entra na atmosfera, como muitos assumiram. Revelle escreve: "Os seres humanos agora estão realizando uma experiência geofísica em larga escala ..."
- **1958** - Usando equipamentos que ele próprio desenvolveu, Charles David (Dave) Keeling inicia medidas sistemáticas de CO<sub>2</sub> atmosférico em Mauna Loa no Havaí e na Antártida. Dentro de quatro anos, o projeto - que continua hoje - fornece a primeira prova inequívoca de que as concentrações de CO<sub>2</sub> estão aumentando.
- **1959** - A mudança no futuro provavelmente será mais fundamental e mais difundida do que qualquer coisa que conhecemos até então. Margareth Thatcher, ex-primeiro-ministro do Reino Unido

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 4

- **1960** - A população da Terra atinge três bilhões de pessoas.
- **1965** - Um painel do Comitê Consultivo do Presidente dos EUA alerta que o efeito estufa é uma "preocupação real".
- **1972** - Primeira conferência do meio ambiente da ONU, em Estocolmo. As mudanças climáticas quase não se inscrevem na agenda, que se centra em questões como poluição química, testes de bombas atômicas e caça à baleia. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) é formado.
- **1975** - A população humana atinge quatro bilhões.
- **1975** - O cientista dos EUA, Wallace Broecker, coloca o termo "aquecimento global" no domínio público no título de um artigo científico.
- **1987** - A população humana atinge os cinco bilhões
- **1987** - O Protocolo de Montreal restringiu os produtos químicos que prejudicam a camada de ozônio. Embora não tenha sido estabelecido com a mudança climática em mente, teve um impacto maior nas emissões de gases de efeito estufa do que o Protocolo de Quioto.



**ESALQ**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 5

- **1988** - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi formado para coletar e avaliar evidências sobre mudanças climáticas.
- **1989** - O primeiro-ministro do Reino Unido, Margaret Thatcher - possuidor de um diploma de química - adverte em um discurso à ONU que "Estamos vendo um grande aumento na quantidade de dióxido de carbono atingindo a atmosfera ... O resultado é que a mudança no futuro é provável, sendo mais fundamental e generalizado do que qualquer coisa que conhecemos até agora ". Ela pede um tratado global sobre mudanças climáticas.
- **1989** - As emissões de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis e indústria atingem seis bilhões de toneladas por ano.
- **1990** - O IPCC produz o primeiro relatório de avaliação. Conclui que as temperaturas subiram 0,3-0,6 °C ao longo do século passado e, que as emissões de gases de efeito estufa estão aumentando o que deverá resultar em aquecimento.
- **1992** - No Rio de Janeiro, governos concordam com as Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Seu principal objetivo é "estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera a um nível que evite interferências antropogênicas perigosas com o sistema climático". Os países desenvolvidos concordam em devolver suas emissões aos níveis de 1990.

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 6

- **1995** - O Segundo Relatório de Avaliação do IPCC conclui que o equilíbrio de evidências sugere "uma influência humana discernível" no clima da Terra. Esta foi chamada a primeira afirmação definitiva de que os humanos são responsáveis pela mudança climática.
- **1997** - Protocolo de Kyoto acordado. Os países desenvolvidos comprometem-se a reduzir as emissões em média 5% no período 2008-12, em relação aos níveis de emissão de 1990, com grandes variações nos objetivos para cada país. O Senado dos EUA declara imediatamente que não ratificará o tratado.
- **1998** - As condições fortes de El Niño combinam com o aquecimento global para produzir o ano mais quente registrado. A temperatura média global atingiu 0,52°C acima da média para o período 1961-90 (uma linha de base comumente usada).
- **1998** - Publicação do polêmico gráfico "hockey stick" que indica que o aumento de temperatura no hemisfério norte é incomum em comparação com os últimos 1.000 anos. O trabalho seria mais tarde objeto de duas investigações instigadas pelo Congresso dos EUA.
- **1999** - A população humana atinge os seis bilhões.
- **2001** - O presidente George W. Bush remove os EUA do processo de Quioto.
- **2001** - O terceiro relatório de avaliação do IPCC encontra "novas e mais forte evidência" de que as emissões de gases de efeito estufa da humanidade é a principal causa do aquecimento observado na segunda metade do século XX.

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 7

- **2005** - O Protocolo de Kyoto torna-se lei internacional para os países que ainda estão dentro dele.
- **2005** - O primeiro-ministro do Reino Unido, Tony Blair, seleciona a mudança climática como uma prioridade para os seus termos com o presidente do G8 e presidente da UE.
- **2006** - O Relatório Stern conclui que, se as mudanças climáticas não forem controladas, podem prejudicar o PIB global em até 20% mas, o controle custaria cerca de 1% do PIB global.
- **2006** - As emissões de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis e da indústria atingem oito bilhões de toneladas por ano.
- **2007** - O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC conclui que é mais de 90% provável que as emissões de gases de efeito estufa da humanidade sejam responsáveis pela mudança climática moderna.
- **2007** - O IPCC e o ex-vice-presidente dos EUA, Al Gore, recebem o Prêmio Nobel da Paz "por seus esforços para construir e disseminar maior conhecimento sobre mudanças climáticas ocasionadas pelo homem e estabelece as bases das medidas necessárias para contrariar essa mudança".
- **2007** - Nas negociações da ONU em Bali, os governos concordam com o "roteiro de Bali" de dois anos com o objetivo de divulgar um novo tratado global até o final de 2009.

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 8

- **2008** - Meio século depois de começar as observações em Mauna Loa, o projeto Keeling mostra que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram de 315 partes por milhão (ppm) em 1958 para 380ppm em 2008.
- **2008** - Dois meses antes de assumir o cargo, o atual presidente dos Estados Unidos, Barack Obama, prometeu "envolver-se vigorosamente" com o resto do mundo sobre mudanças climáticas.
- **2009** - A China ultrapassa os EUA como o maior emissor de gases de efeito estufa do mundo - embora os EUA permaneçam bem adiante em uma base per capita.
- **2009** - Os hackers de computador baixam uma enorme parcela de e-mails de um servidor da Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia e liberam alguns na internet, levando ao caso "ClimateGate".
- **2009** - 192 governos se reúnem para discussão do clima Copenhague com expectativas de um novo acordo global, mas eles deixam apenas com uma polêmica declaração política, o Acordo de Copenhague.
- **2010** - Os países desenvolvidos começam a contribuir para um acordo de \$ 30 bilhões e três anos no "Fast Start Finance" para ajudá-los a "economizar" suas economias e se adaptar aos impactos climáticos.
- **2010** - Uma série de análises em "ClimateGate" e o IPCC pedem mais abertura, mais clareza nas práticas científicas

# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ... 9

- **2010** - A conferência da ONU no México não colapsa, como temia, mas termina com acordos sobre uma série de questões.
- **2011** - Uma nova análise do registro de temperatura da Terra por cientistas preocupados com as alegações "ClimateGate" prova que a superfície terrestre do planeta realmente se aqueceu no último século.
- **2011** - A população humana atinge sete bilhões.
- **2011** - Os dados mostram que as concentrações de gases de efeito estufa estão aumentando mais rapidamente do que nos anos anteriores.
- **2012** - O gelo marinho do Ártico atinge uma extensão mínima de 3,41 milhões de quilômetros quadrados (1,32 milhões de milhas quadradas), um recorde para a menor cobertura de verão, uma vez que as medidas de satélites começaram em 1979.
- **2013** - O Observatório Mauna Loa no Havaí informa que a concentração média diária de CO<sub>2</sub> na atmosfera ultrapassou 400 partes por milhão (ppm) pela primeira vez desde que as medidas começaram, em 1958.
- **2013** - A primeira parte do quinto relatório de avaliação do IPCC diz que cientistas estão 95% certos de que os humanos são a "causa dominante"