



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS  
LEB0410 - Mudanças Climáticas e Agricultura  
2º Semestre de 2019



# Histórico do Estudo sobre as Mudanças Climáticas e a Matriz Energética Mundial

Prof. Fábio Marin

Agosto de 2019



# Breve Histórico sobre a Temática das Mudanças Climáticas



# Um breve histórico sobre mudanças climáticas ...

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.

USP



- **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  $\text{CO}_2$  - conforme os modelos climáticos modernos.
- **1900** - O suíço Knut Angstrom, descobre que, mesmo nas pequenas concentrações encontradas na atmosfera, o  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  aumentaram ao longo do mesmo período, e sugere que isso causou o aquecimento. O "efeito Callendar" é fortemente contestada pelos meteorologistas.



- **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



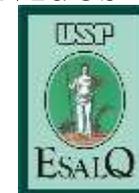
- **1960** - A população da Terra atinge três bilhões de pessoas.
- **1965** - Um painel do Comitê Consultivo do Presidente dos EUA alerta que o efeito estufa é uma "preocupação real".
- **1972** - Primeira conferência do meio ambiente da ONU, em Estocolmo. As mudanças climáticas quase não se inscrevem 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.

USP

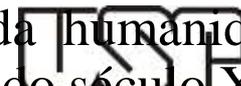


- **1988** - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi formado para coletar e avaliar evidências sobre mudanças climáticas.
- **1989** - O primeiro-ministro do Reino Unido, Margaret Thatcher - possuidor de um diploma de química - adverte em um discurso à ONU que "Estamos vendo um 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.

USP

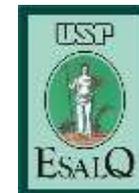


- **1995** - O Segundo Relatório de Avaliação do IPCC conclui que o equilíbrio de evidências sugere "uma influência humana discernível" no clima da Terra. Esta foi chamada a primeira afirmação definitiva de que os humanos são responsáveis pela mudança climática.
- **1997** - Protocolo de Kyoto acordado. 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 Nino 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.



- **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.

USP

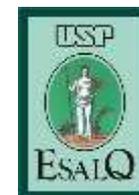


- **2008** - Meio século depois de começar as observações em Mauna Loa, o projeto Keeling mostra que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram de 315 partes por milhão (ppm) em 1958 para 380ppm em 2008.
- **2008** - Dois meses antes de assumir o cargo, o atual presidente dos Estados Unidos, Barack 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 cientistas

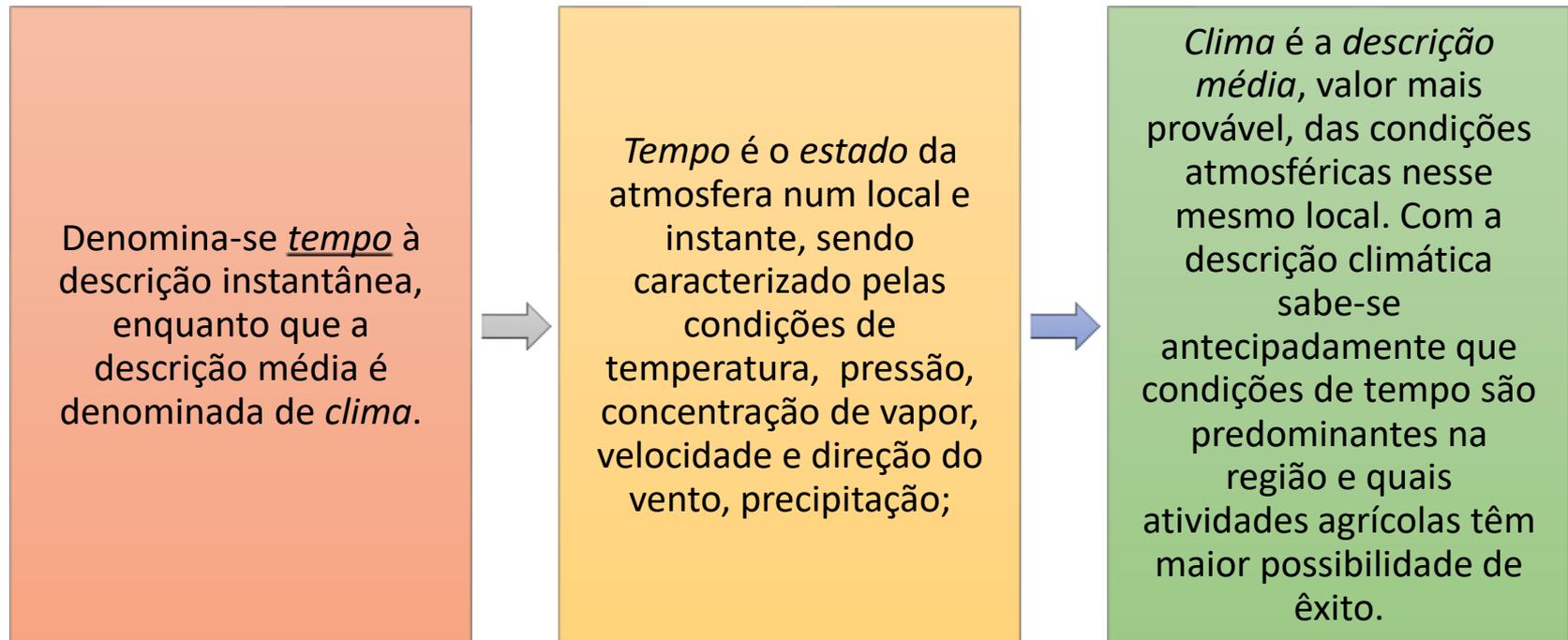
USP



- **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"



# Definições: Clima e Tempo

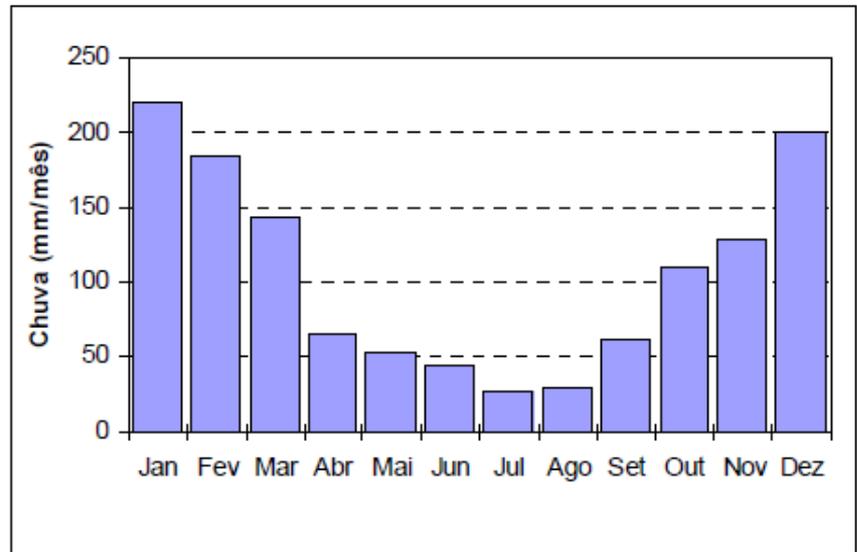
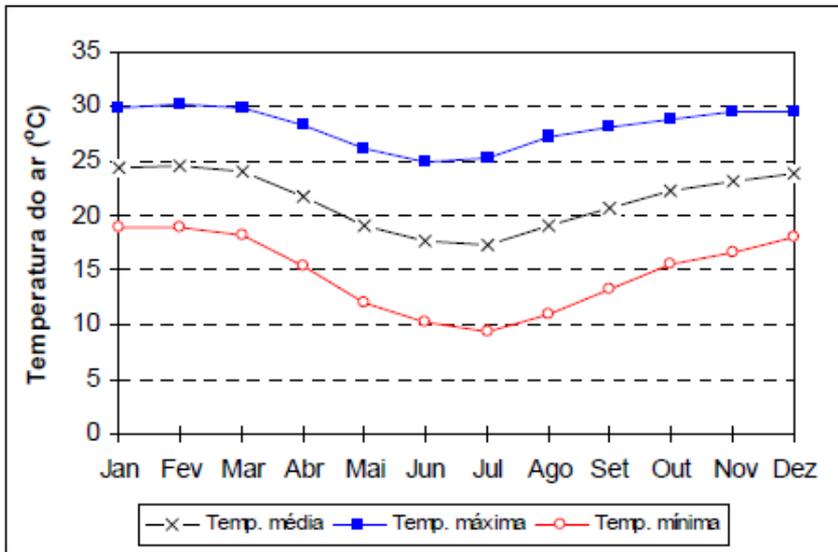


# Definições: Clima e Tempo

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



# Clima de Piracicaba



# Variabilidade e Mudança do Clima

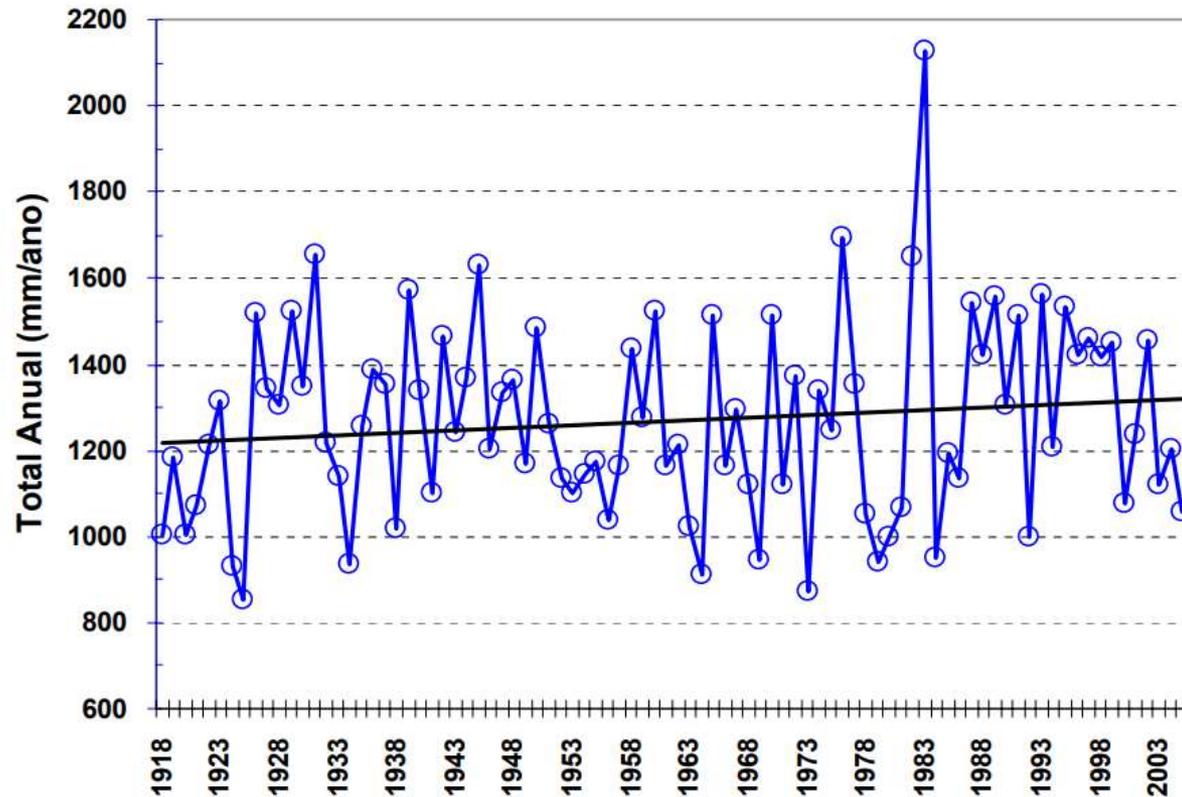
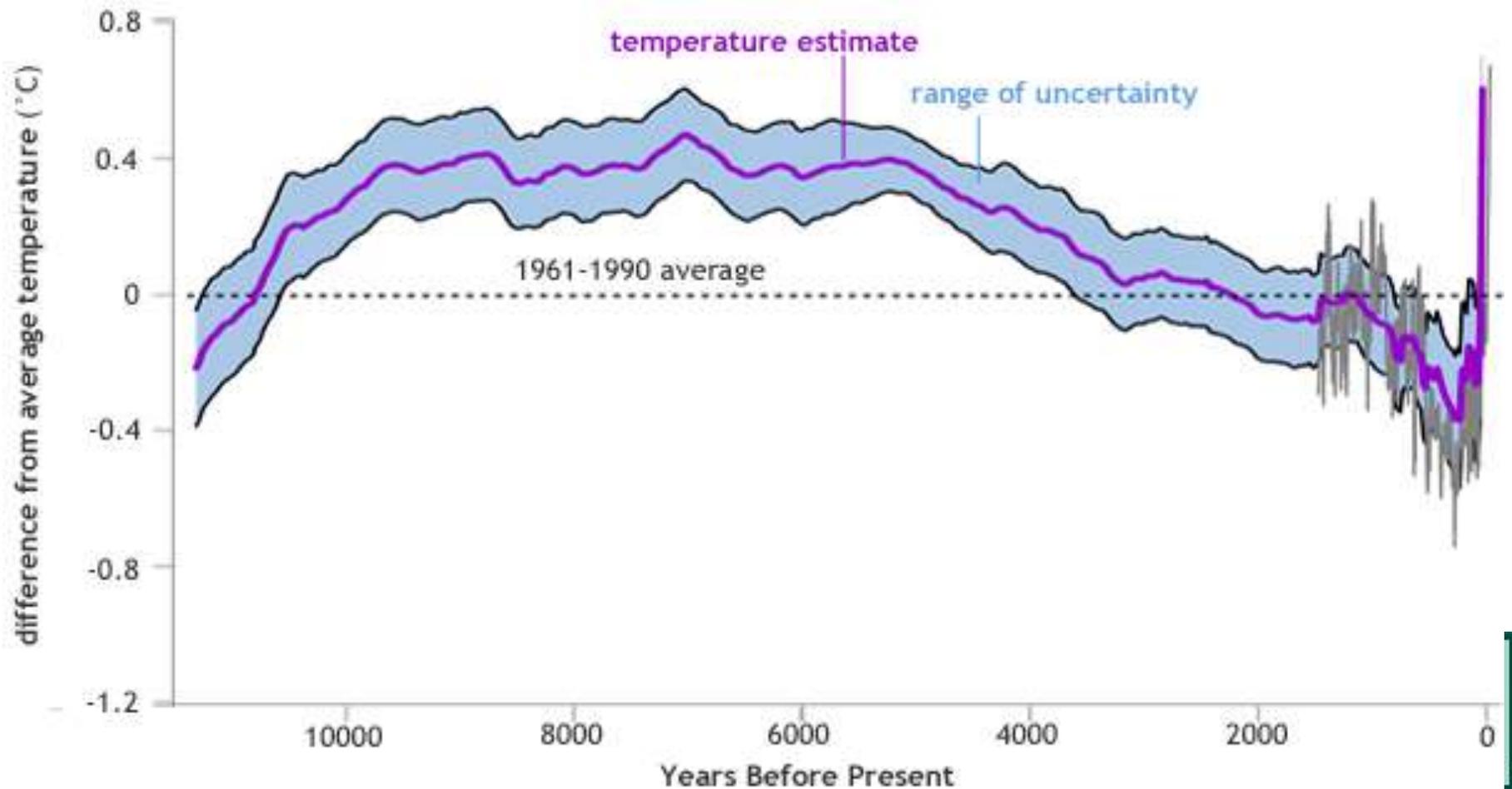


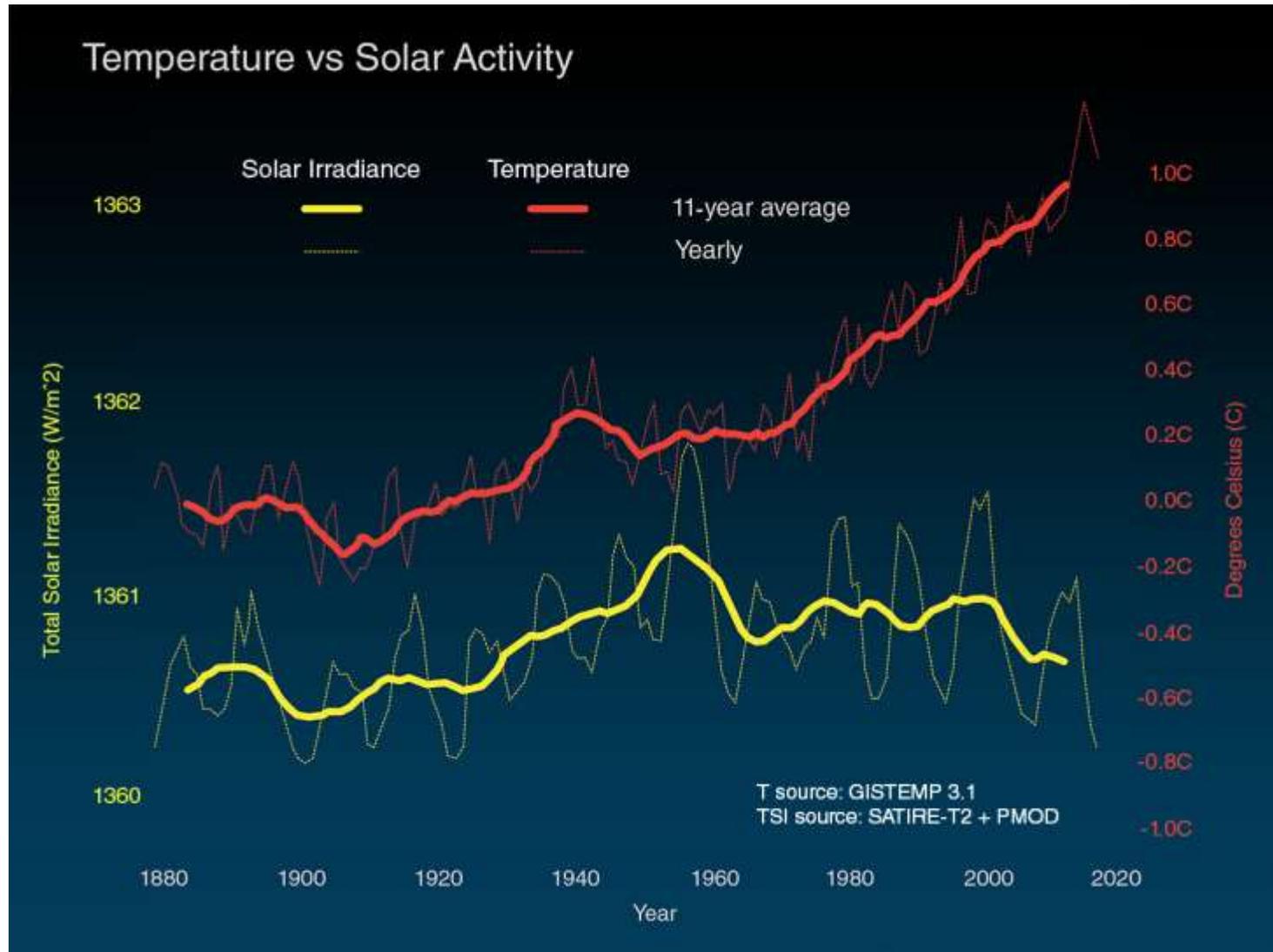
Figura 2.2. Seqüenciamento dos totais anuais de chuva em Piracicaba, SP.



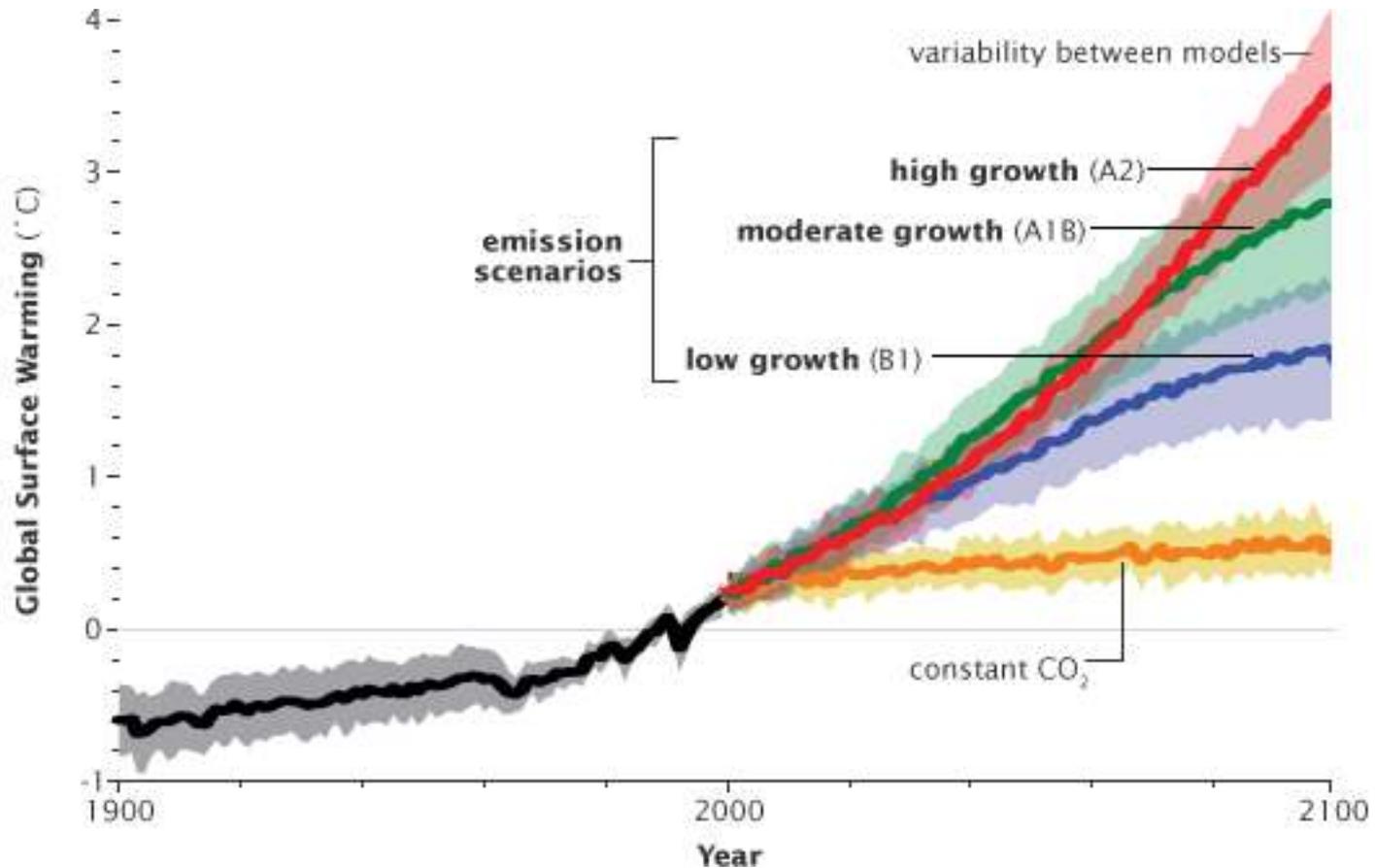
# Temperatura a partir da geologia



# Temperatura global vs Atividade Solar



# Gases de Efeito Estufa e Temperatura

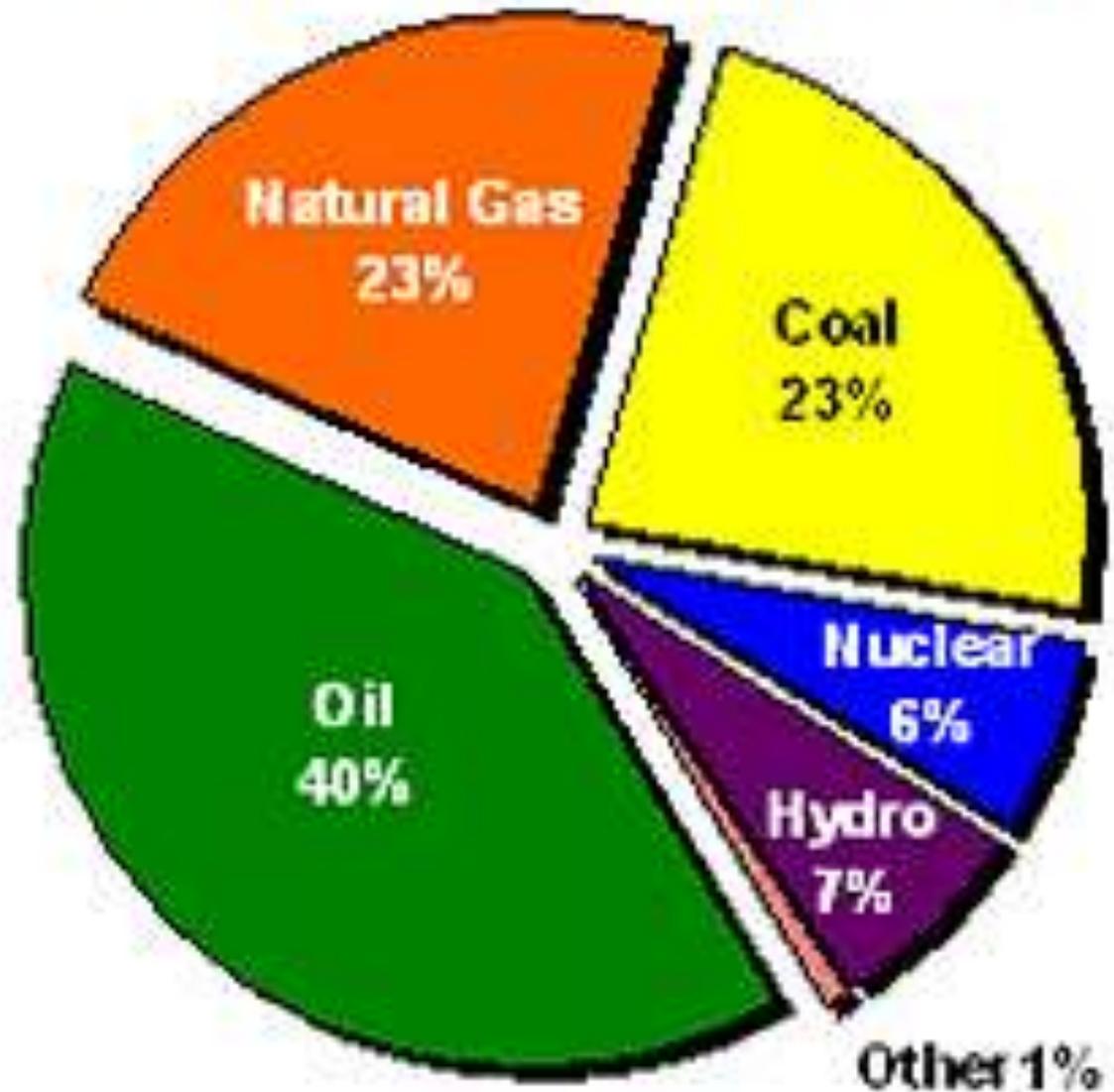


# A questão da energia...

## Para entender, lembre-se de que:

1. No passado, o petróleo era abundante e muito barato;
2. Havia incentivo ao uso;
3. A economia atual é muito dependente de petróleo
4. Não havia preocupação ambiental no passado;
5. A discussão sobre a mudança no clima tem relação com interesses econômicos.

## Onde o Mundo Conseguir Energia?



U.S. Energy Information Administration

# Ciclo do Carbono - Petróleo



**Combustão nos Automóveis**



**Atmosfera**



**Poço de Petróleo**

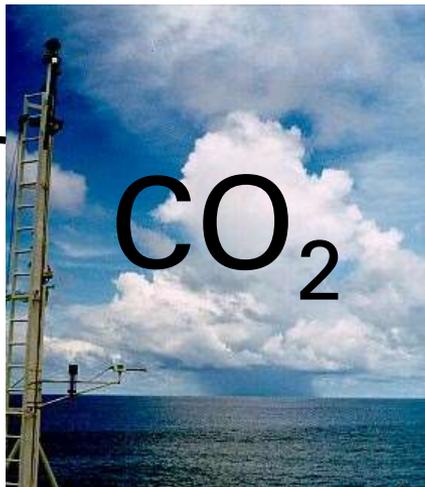


**Refinaria**



# Ciclo do Carbono - Bioenergia

Fotossíntese



Atmosfera



Combustão nos Automóveis

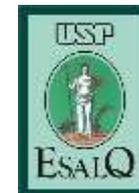


Fixação na Agricultura

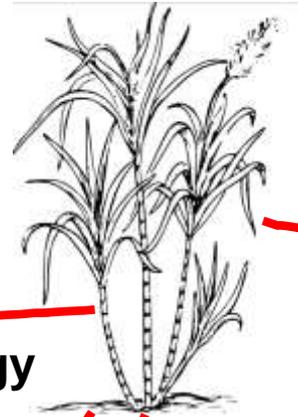
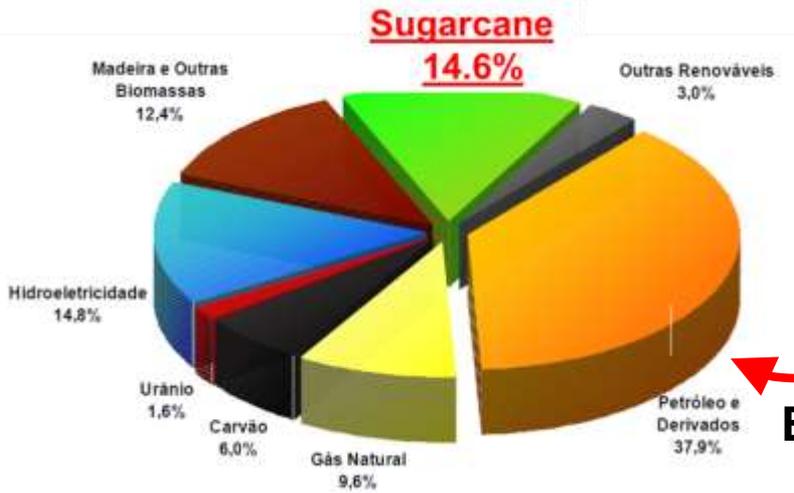
Processamento na Usina



USP



# Cana-de-Açúcar no Brasil



Sugar: **35 million tons/year** (2010)

**Food**

**Energy**

**Social**

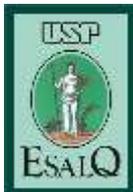
**Economy**

Ethanol: **35 billion liters/year**  
Electricity: **1500 MW** (2012)

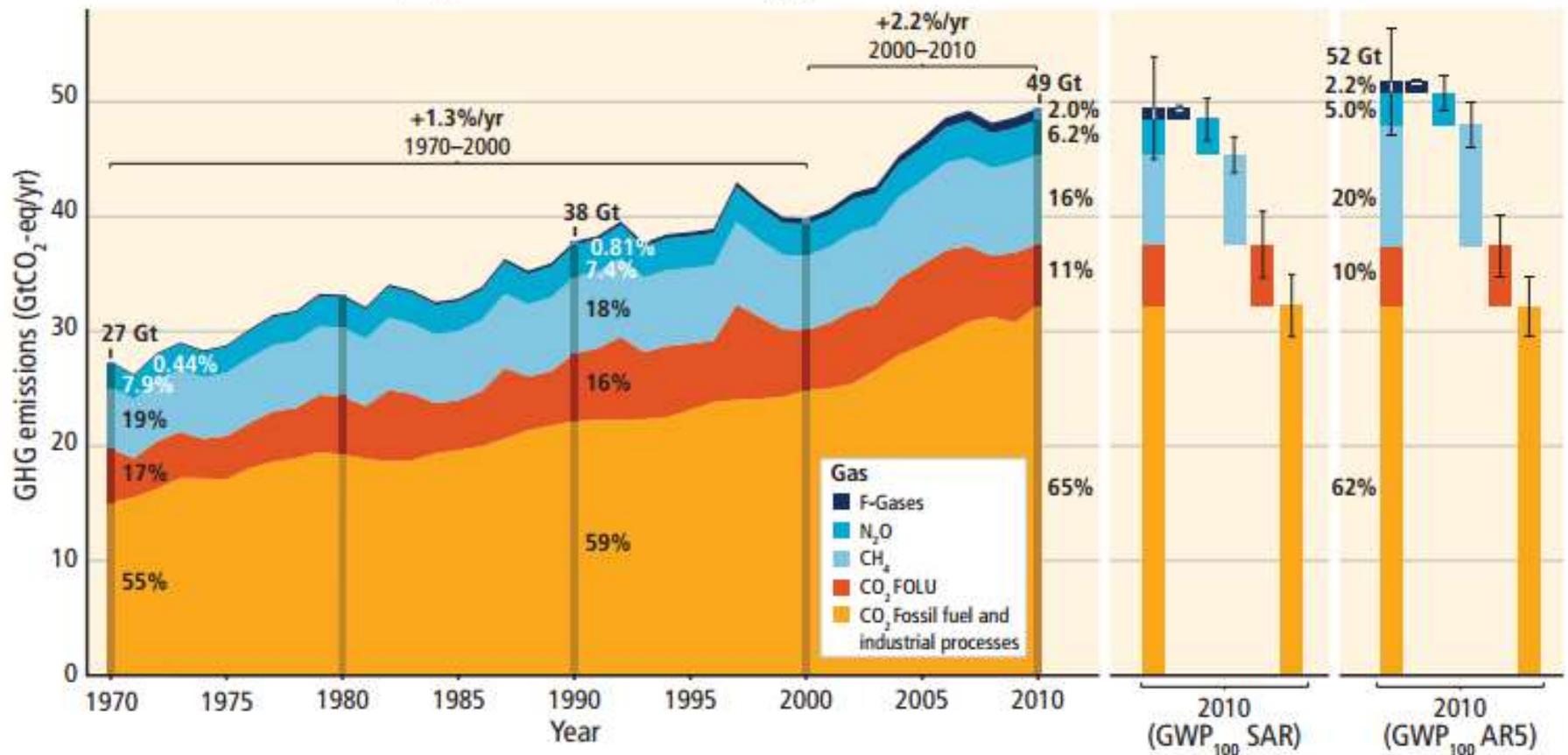
Jobs: **4.2 million**  
Producers: **70,000** growers supplying mills  
Mills: **420** units (2009)

Business in Brazil: **US\$ 87 billion/year**  
Exports: **US\$ 8 billion/year** (2008/2009)

USP



## Total annual anthropogenic GHG emissions by gases 1970–2010



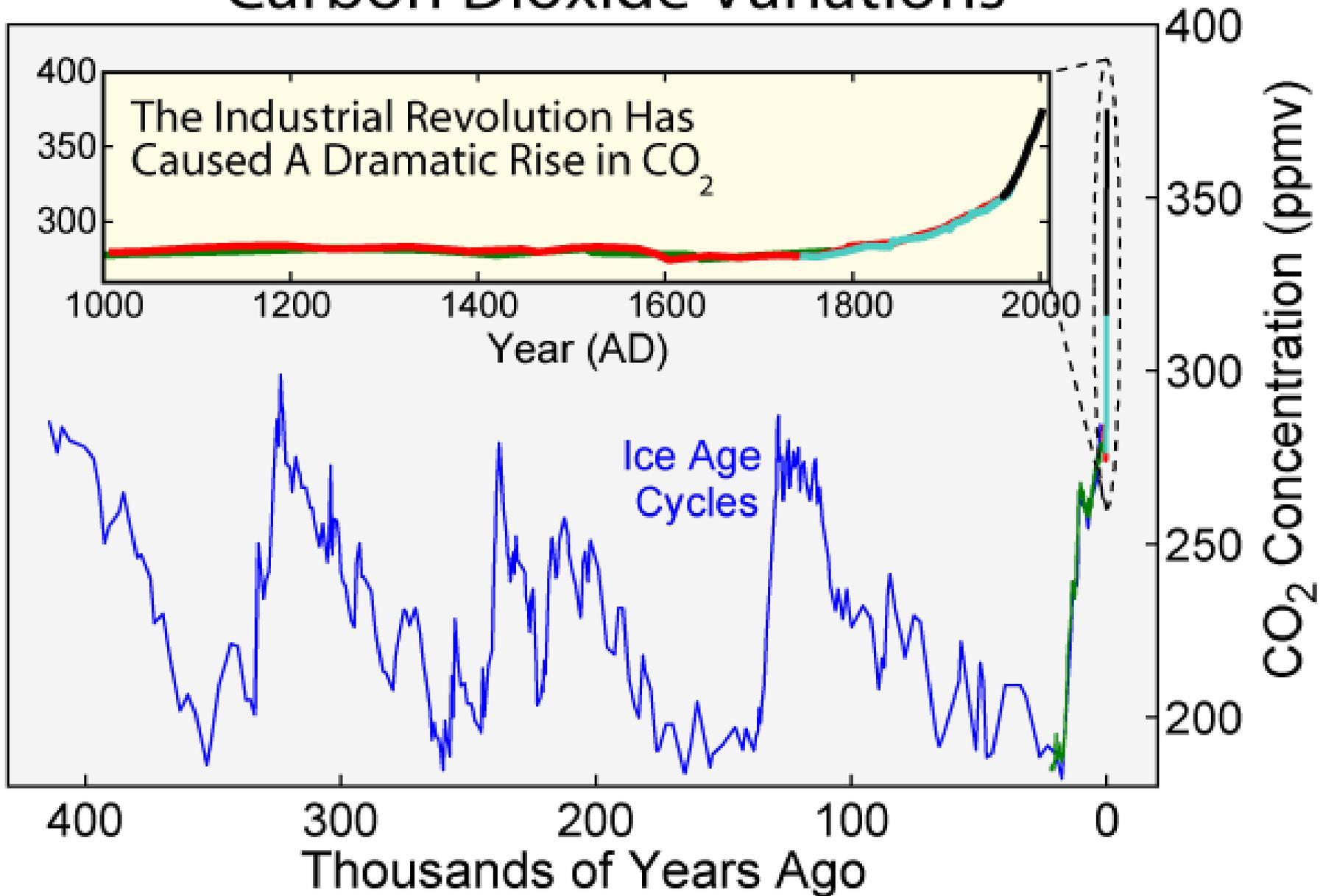
**Figure 1.6 |** Total annual anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions (gigatonne of CO<sub>2</sub>-equivalent per year, GtCO<sub>2</sub>-eq/yr) for the period 1970 to 2010, by gases: CO<sub>2</sub> from fossil fuel combustion and industrial processes; CO<sub>2</sub> from Forestry and Other Land Use (FOLU); methane (CH<sub>4</sub>); nitrous oxide (N<sub>2</sub>O); fluorinated gases covered under the Kyoto Protocol (F-gases). Right hand side shows 2010 emissions, using alternatively CO<sub>2</sub>-equivalent emission weightings based on IPCC Second Assessment Report (SAR) and AR5 values. Unless otherwise stated, CO<sub>2</sub>-equivalent emissions in this report include the basket of Kyoto gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O as well as F-gases) calculated based on 100-year Global Warming Potential (GWP<sub>100</sub>) values from the SAR (see Glossary). Using the most recent GWP<sub>100</sub> values from the AR5 (right-hand bars) would result in higher total annual GHG emissions (52 GtCO<sub>2</sub>-eq/yr) from an increased contribution of methane, but does not change the long-term trend significantly. Other metric choices would change the contributions of different gases (see Box 3.2). The 2010 values are shown again broken down into their components with the associated uncertainties (90% confidence interval) indicated by the error bars. Global CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion are known with an 8% uncertainty margin (90% confidence interval). There are very large uncertainties (of the order of ±50%) attached to the CO<sub>2</sub> emissions from FOLU. Uncertainty about the global emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and the F-gases has been estimated at 20%, 60% and 20%, respectively. 2010 was the most recent year for which emission statistics on all gases as well as assessments of uncertainties were essentially complete at the time of data cut off for this report. The uncertainty estimates only account for uncertainty in emissions, not in the GWPs (as given in WGI 8.7). {WGIII Figure SPM. 1}

# Gases de Efeito Estufa

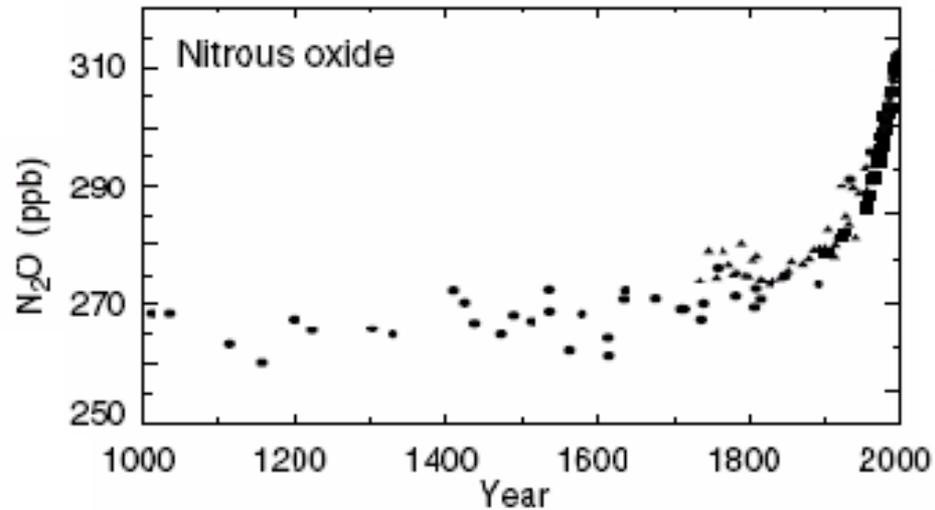
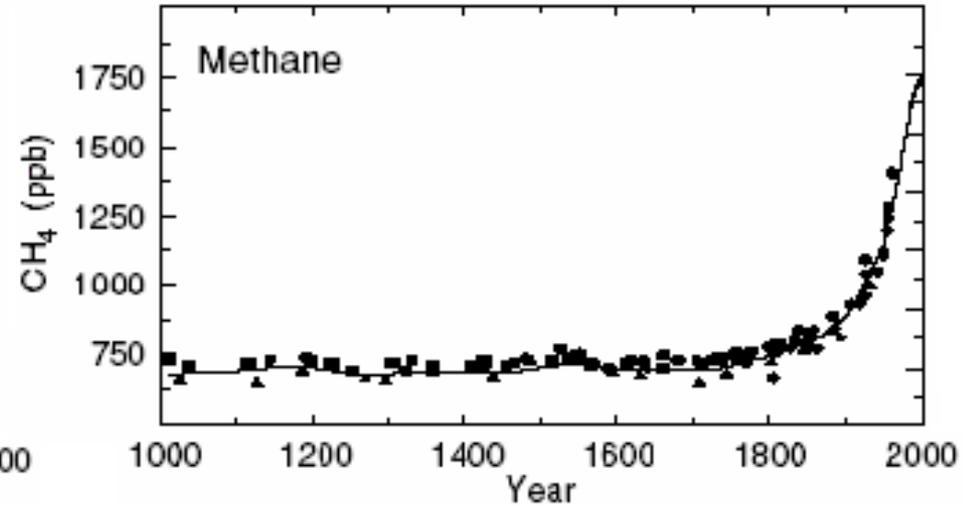
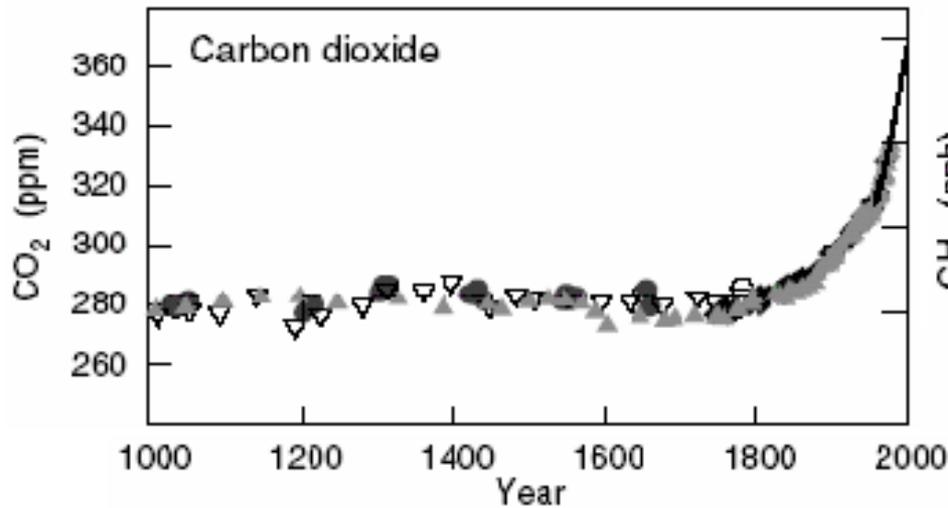
- Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )
- Metano ( $\text{CH}_4$ )
- Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Hexafluoreto de Enxofre ( $\text{SF}_6$ )
- Perfluormetano ( $\text{CF}_4$ )
- Perfluoretano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ )
- Hidrofluorcarbonos (HFC)
- Clorofluorcarbono (CFC)



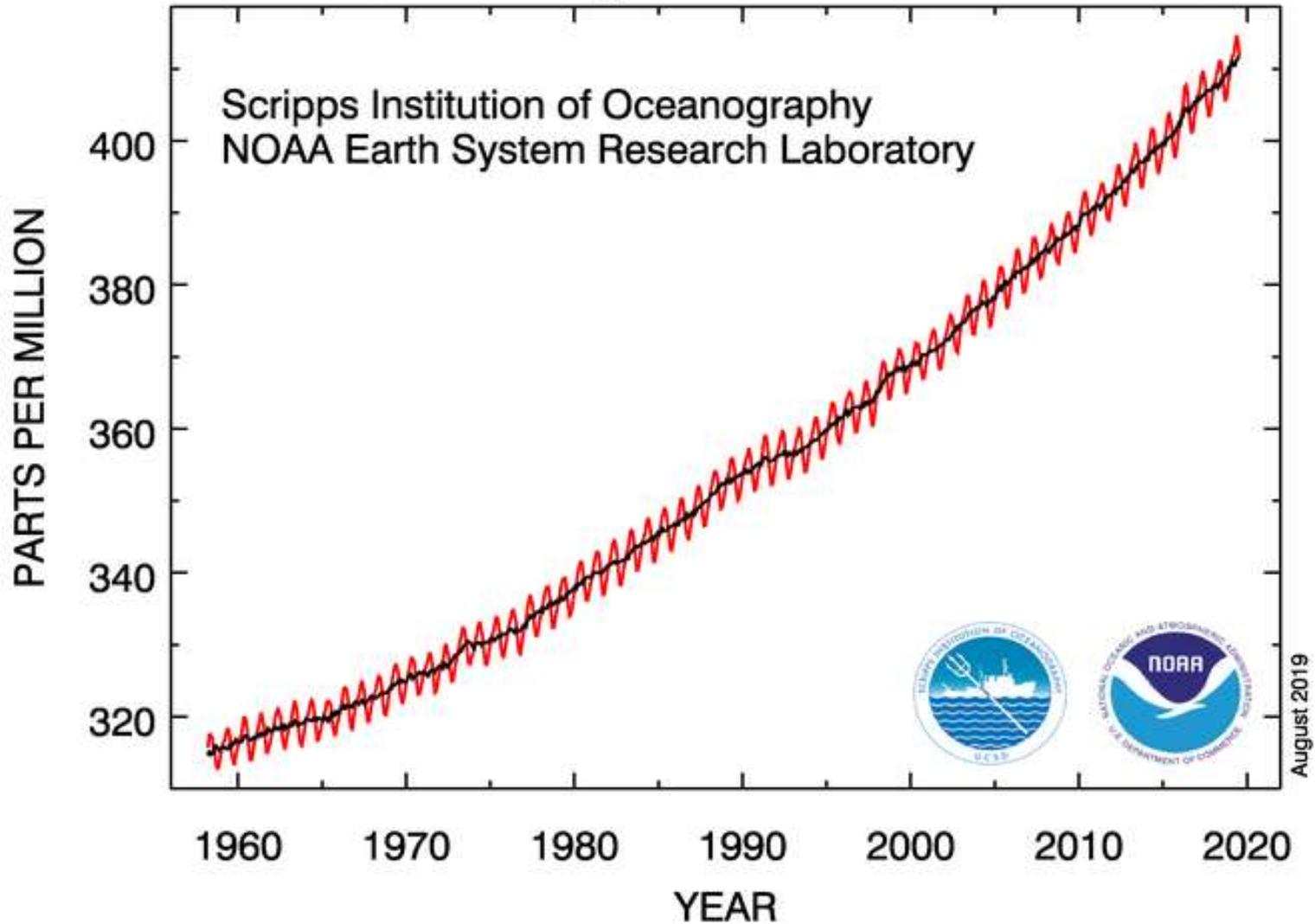
# Carbon Dioxide Variations



# Alteração na Composição



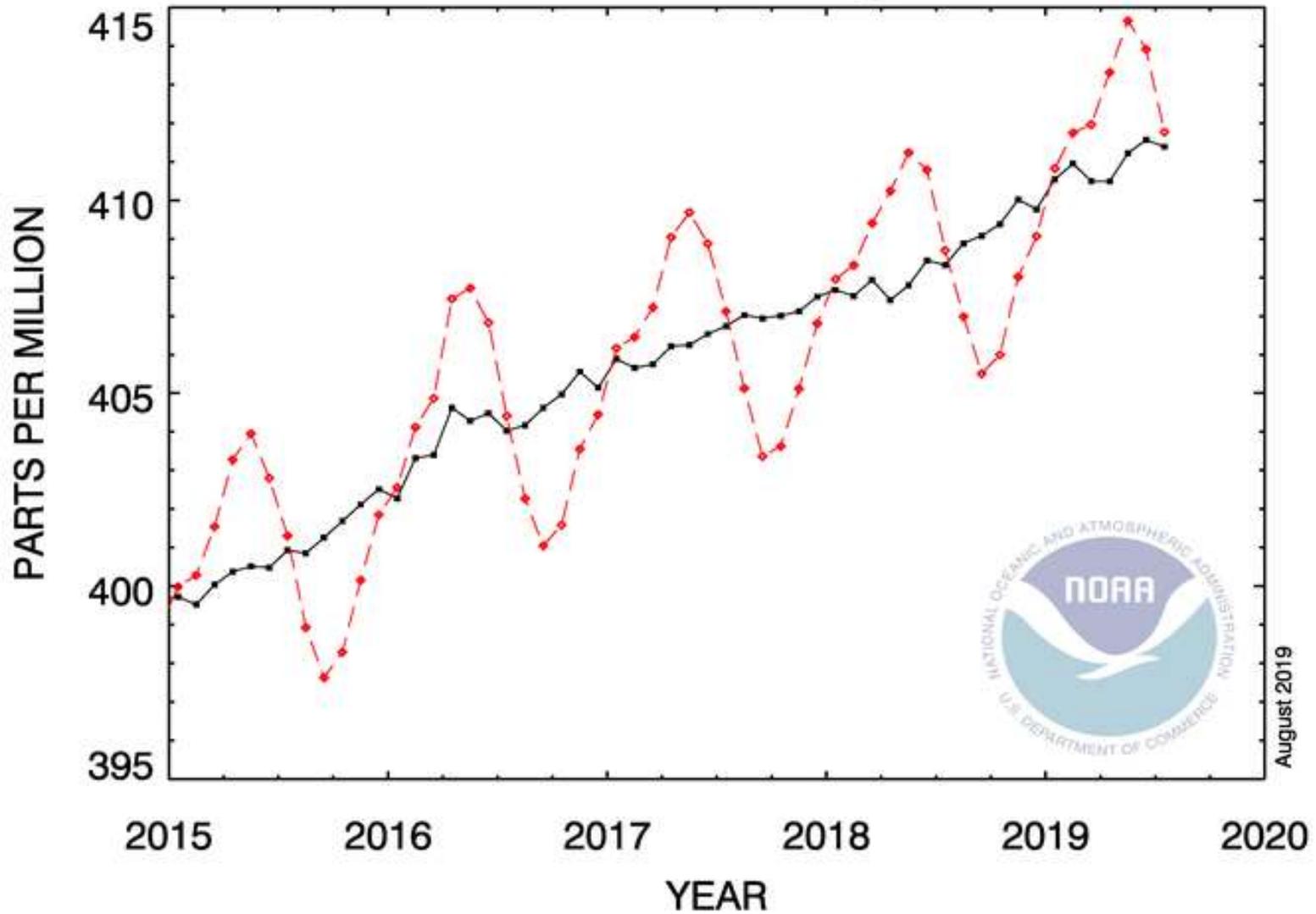
# Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



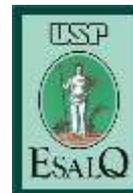
USP



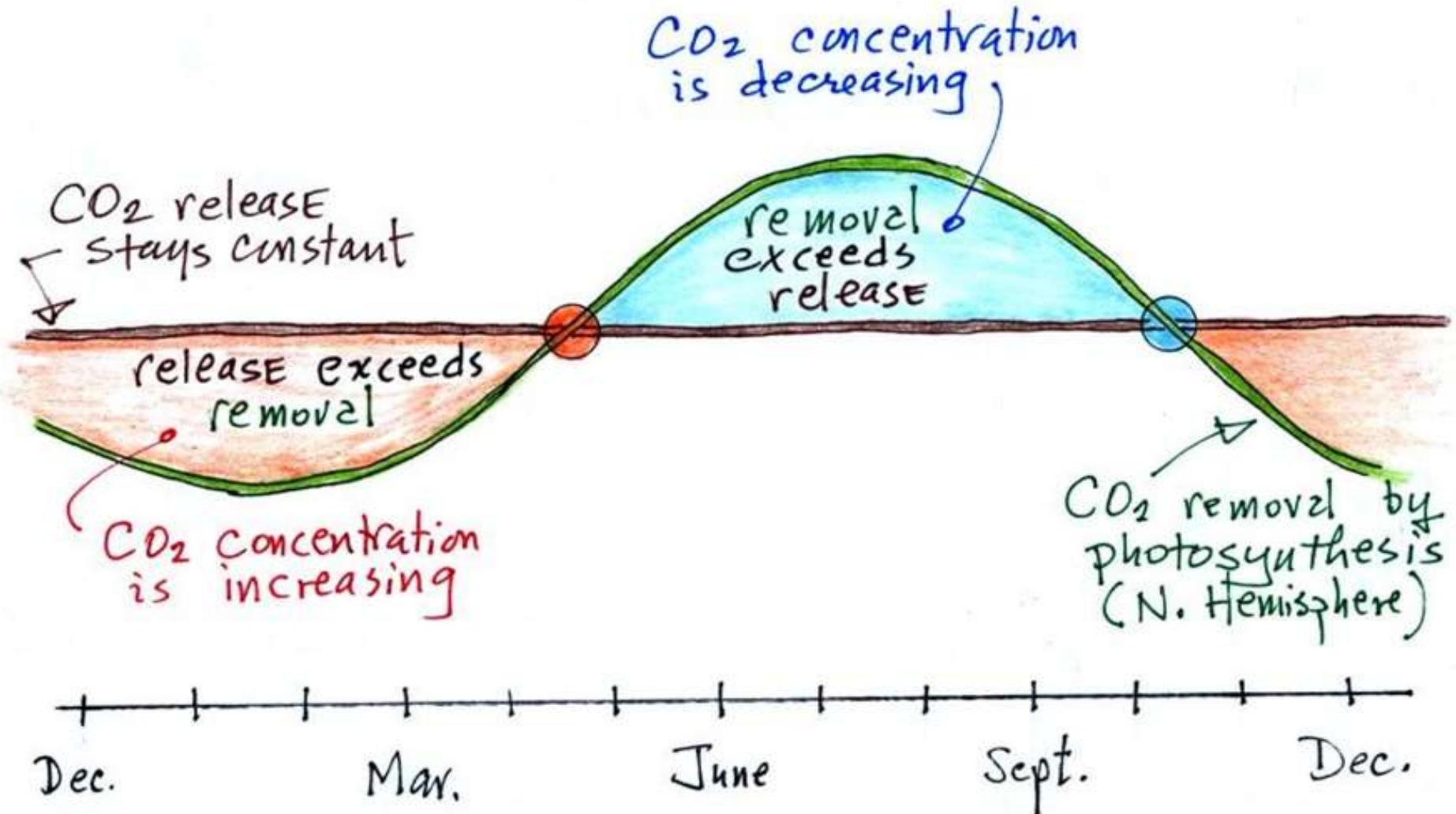
# RECENT MONTHLY MEAN CO<sub>2</sub> AT MAUNA LOA



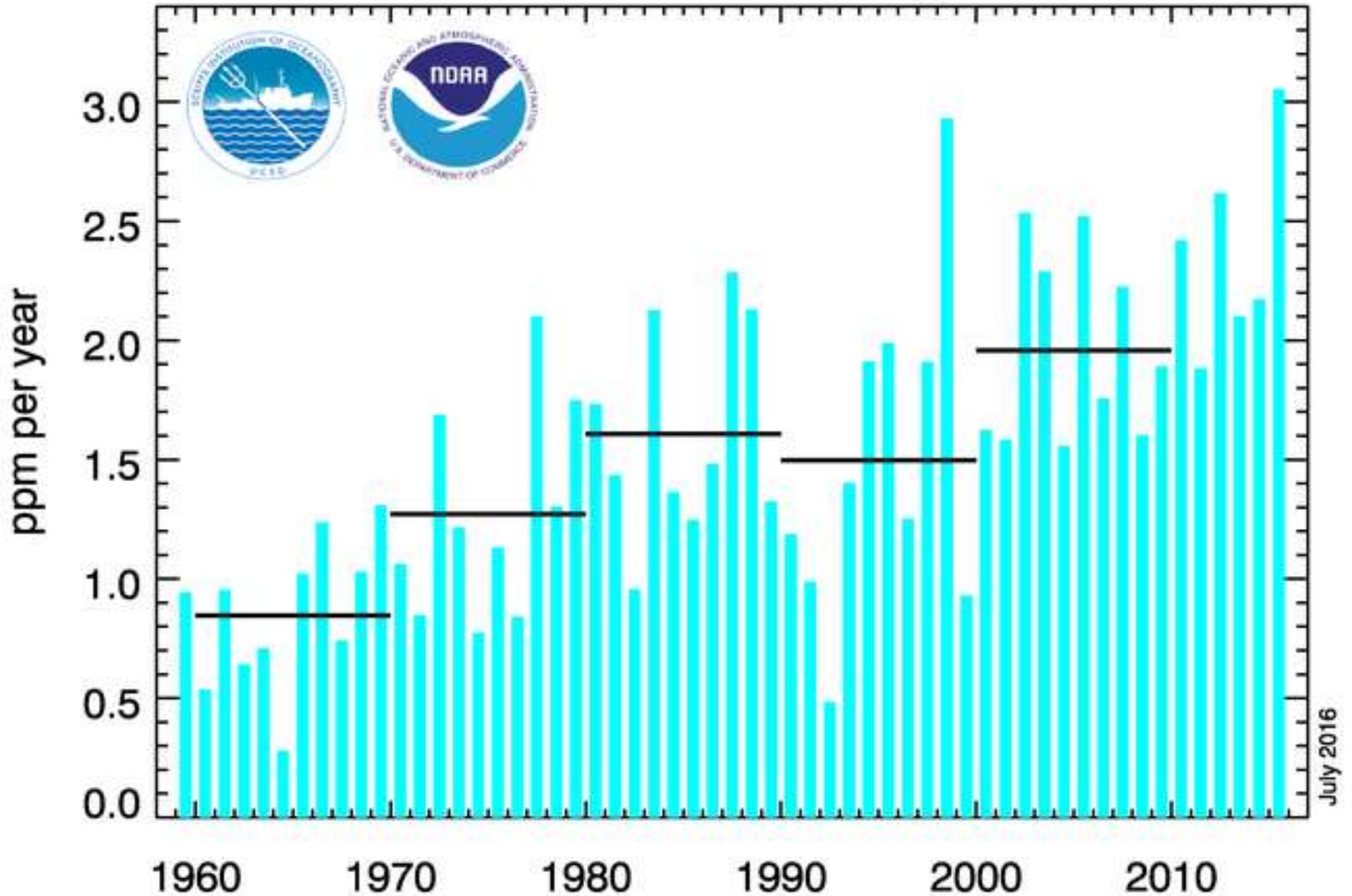
USP



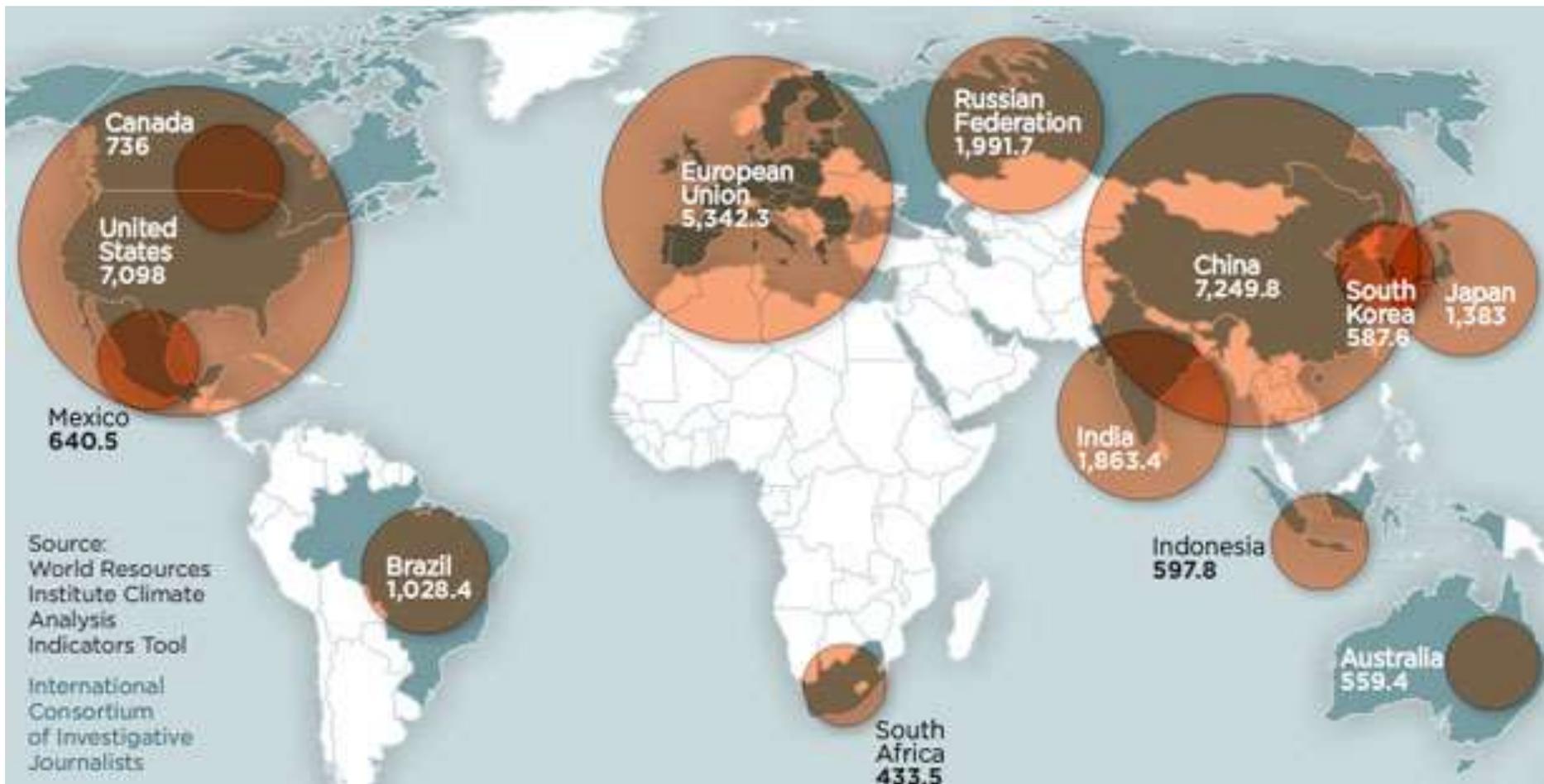
# Entendendo a variação anual do [CO<sub>2</sub>]



# annual mean growth rate of CO<sub>2</sub> at Mauna Loa



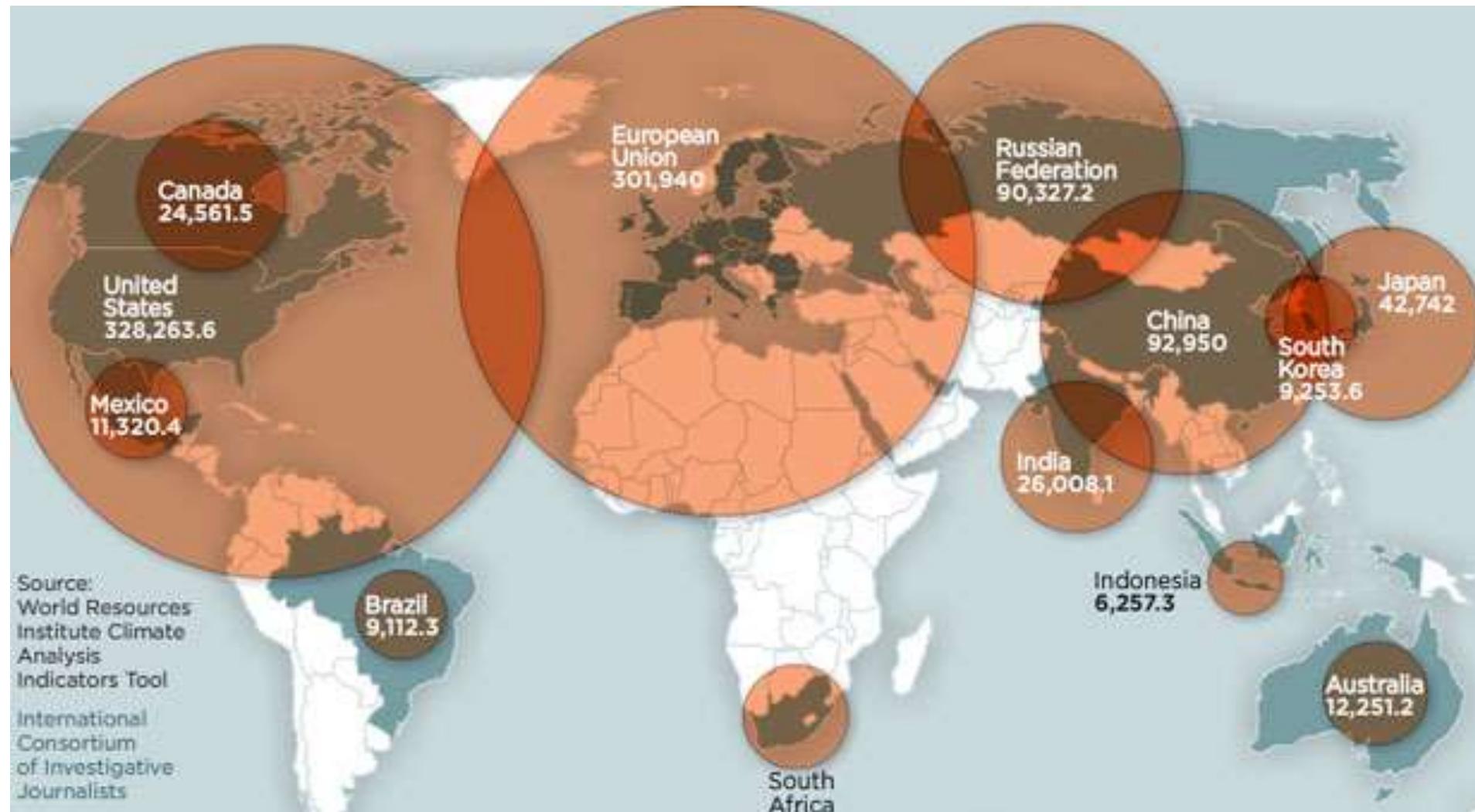
# Quem emite mais... ?



# Quem emite mais... per capita!



# Quem emitiu mais... até hoje!



Source:  
World Resources  
Institute Climate  
Analysis  
Indicators Tool

International  
Consortium  
of Investigative  
Journalists

# As Emissões Brasileiras



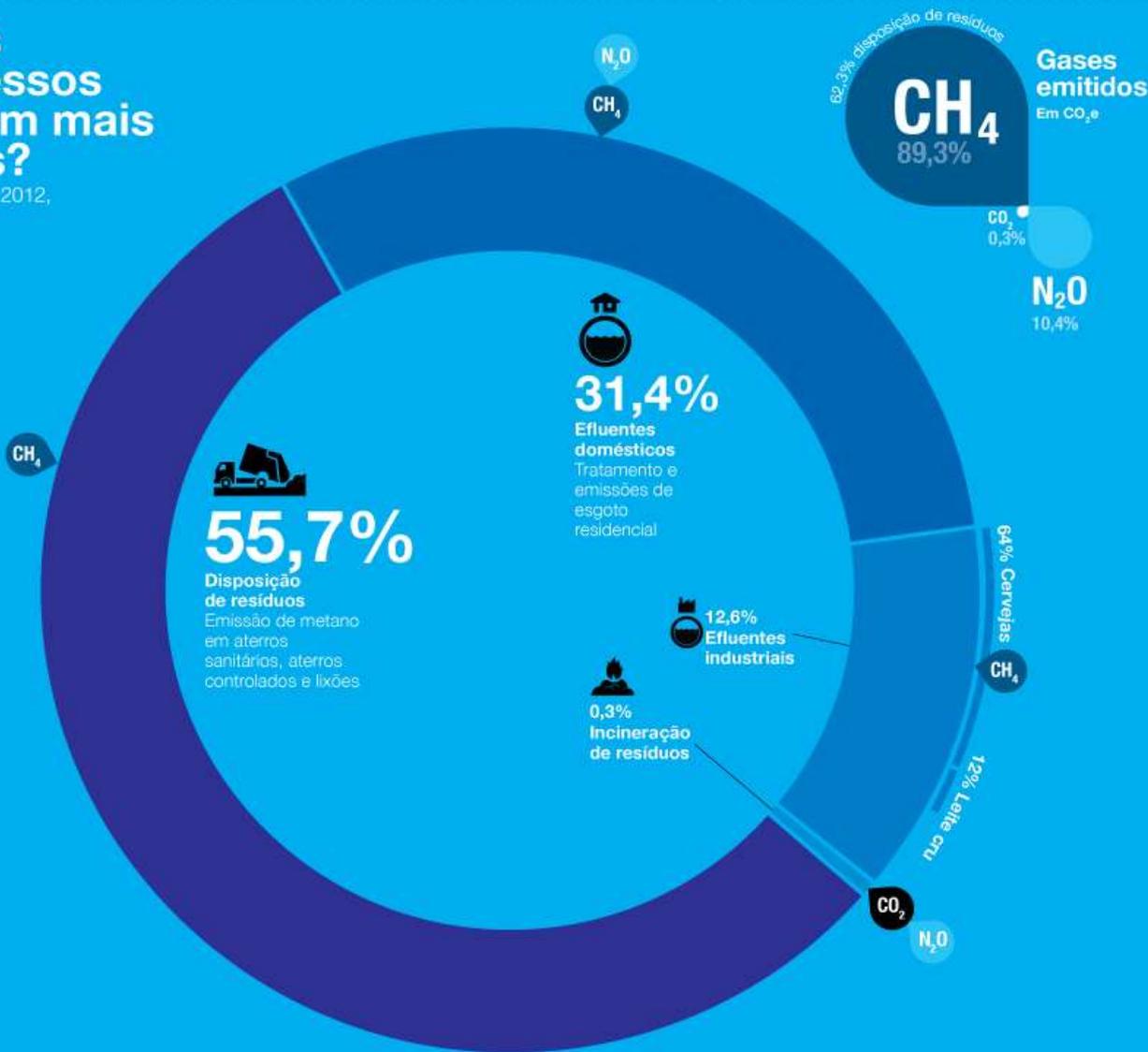
# RESÍDUOS 3,2% (46,9M)

Emissões por tratamento de efluentes e disposição de resíduos

## Quais processos emitem mais gases?

Estimativa de 2012, em CO<sub>2</sub>e

Gases emitidos por setor



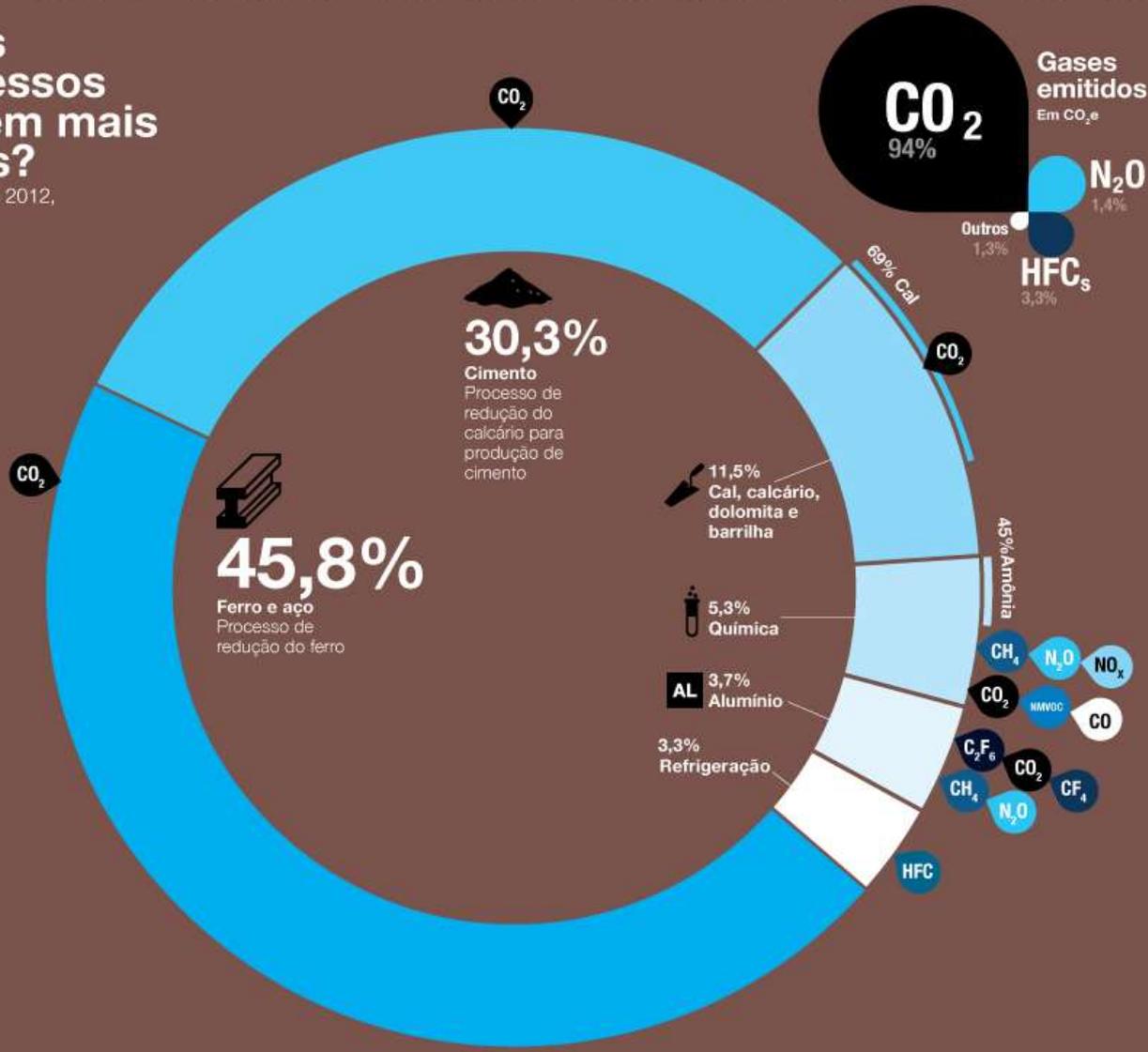
# INDÚSTRIA 5,7% (84<sub>MI</sub>)

Emissões decorrentes dos processos físico-químicos de produção industrial

## Quais processos emitem mais gases?

Estimativa de 2012, em CO<sub>2</sub>e

Gases emitidos por setor



Fonte: OC/SEEG/2013. Para obter dados e mais metodologias acesse: [seeg.observatoriodoclima.eco.br](http://seeg.observatoriodoclima.eco.br)



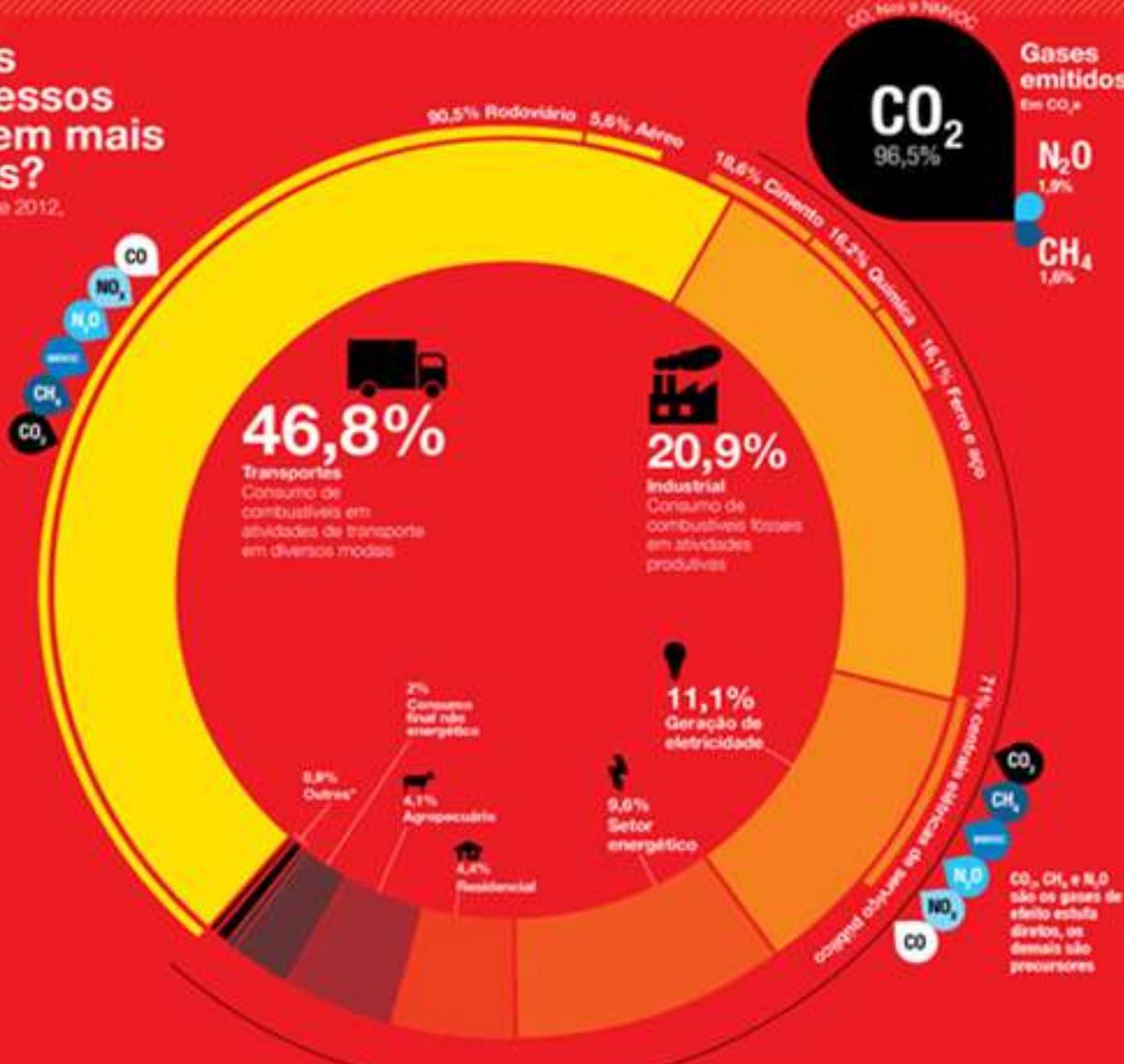
# ENERGIA 29,4% (436,7 Mt)

Emissões pela produção e consumo de energia e de combustíveis

## Quais processos emitem mais gases?

Estimativa de 2012, em CO<sub>2</sub>e

Gases emitidos por setor



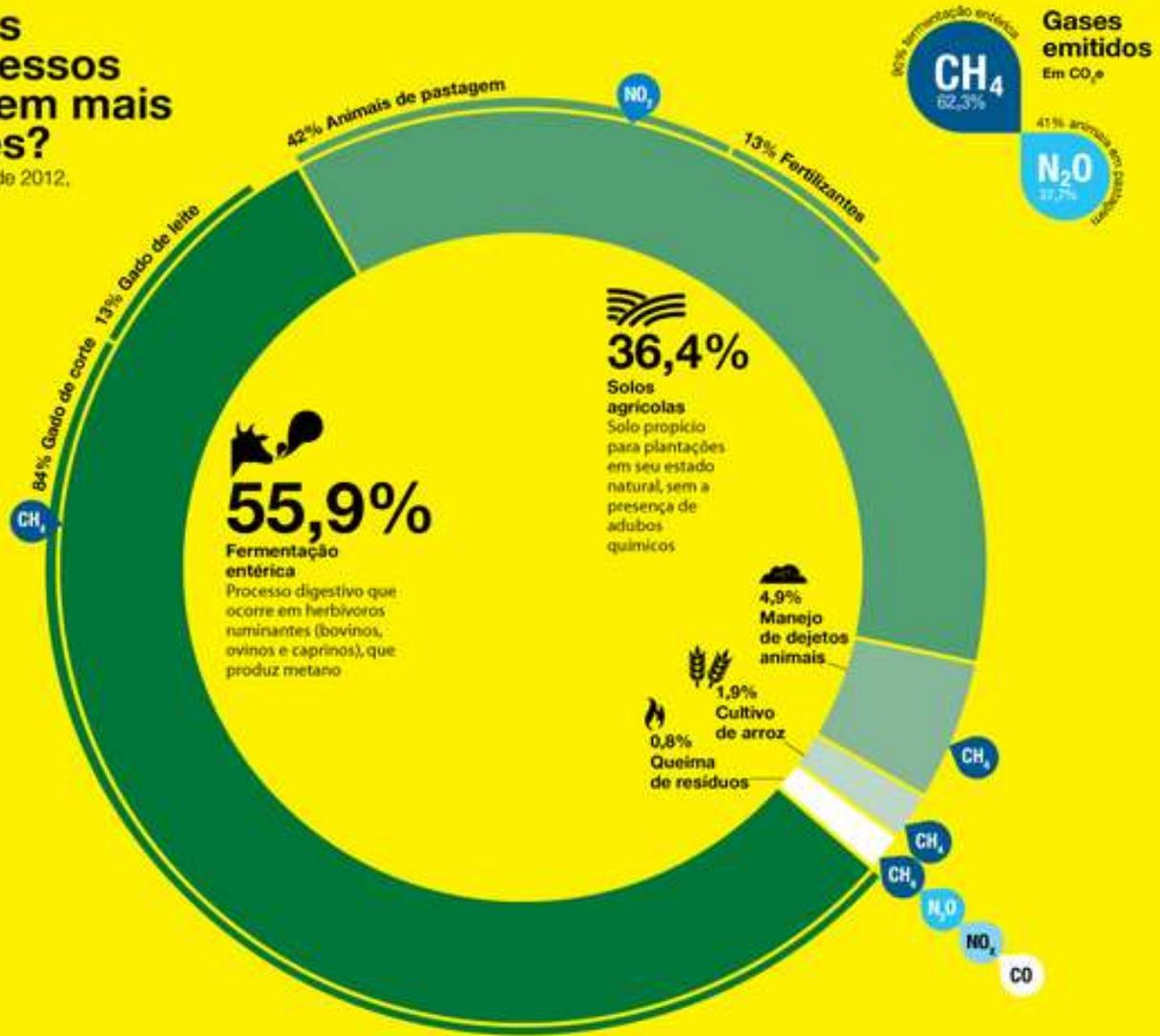
# AGROPECUÁRIA 29,7% (440,5 Mt)

Emissões nas atividades de produção animal e vegetal e manejo de solos

## Quais processos emitem mais gases?

Estimativa de 2012, em CO<sub>2</sub>e

Gases emitidos por setor



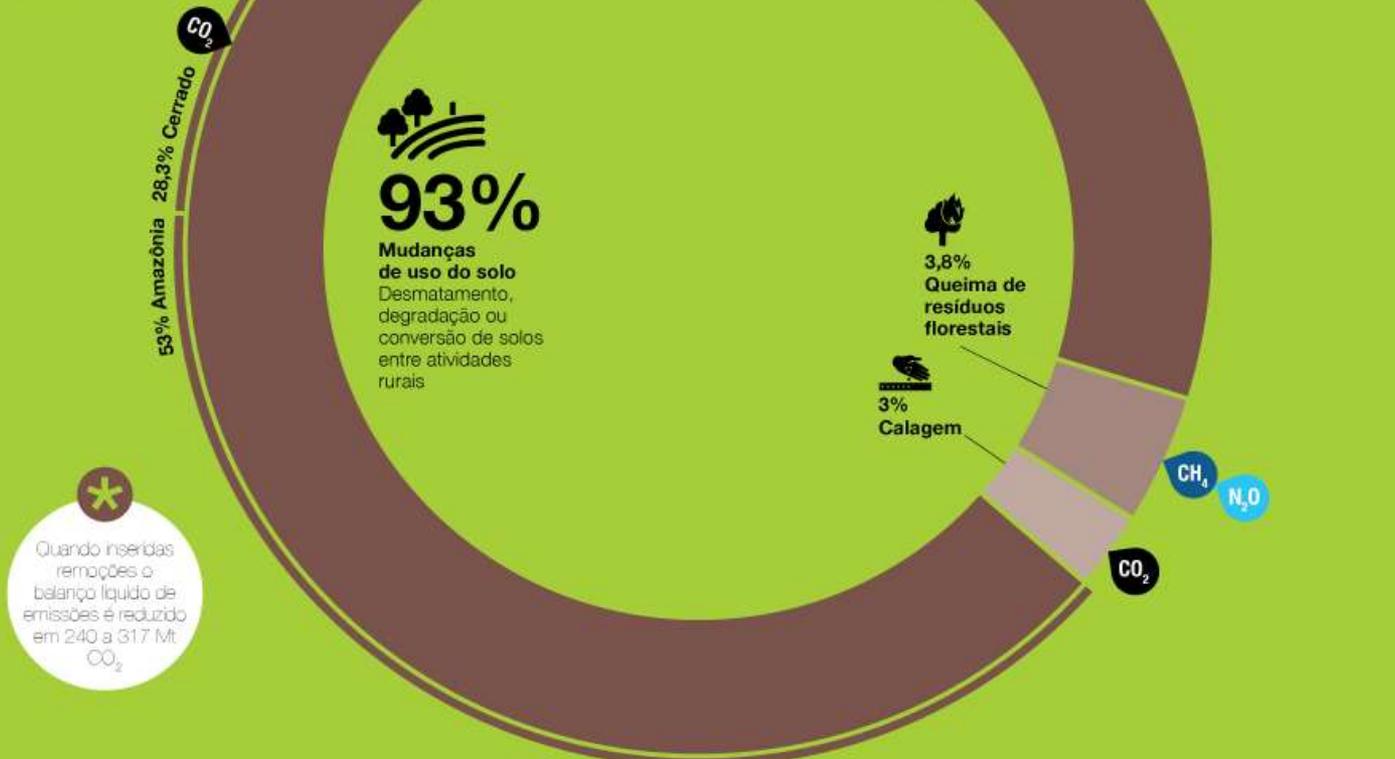
# USO DA TERRA 32,1% (476,5 Mt)

Emissões por mudanças de uso do solo, calagem e queima de resíduos florestais

## Quais processos emitem mais gases?

Estimativa de 2012, em CO<sub>2</sub>e

Gases emitidos por setor



# Petróleo, pré-sal?

## Petróleo sob pressão

De forma lenta, mas inexorável, grandes companhias de petróleo começam a se adaptar à realidade do clima mundial após o Acordo de Paris. Até a Exxon Mobil, bastião do ceticismo com o aquecimento global, já se move.

A semana teve várias reuniões de acionistas de empresas do setor. Elas se realizaram sob intensa pressão de grupos de investidores que exigem das petroleiras maior empenho na exposição da vulnerabilidade dos negócios em face da mudança climática.

O tratado obtido na capital francesa preconiza que o acréscimo na temperatura média da atmosfera não deve ultrapassar 2°C (e quase metade disso já aconteceu).

Para ficar em 2°C, a economia mundial precisaria parar de lançar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no ar por volta de 2050. Pelo menos metade das reservas conhecidas de gás natural e um terço das de petróleo não poderiam ser utilizadas, segundo estimativa publicada na revista "Nature".

Má notícia para as companhias petrolíferas, que no entanto vinham resistindo a incorporar essas limitações em cálculos de rentabilidade futura. Até Paris.

Com o acordo entre 195 países,

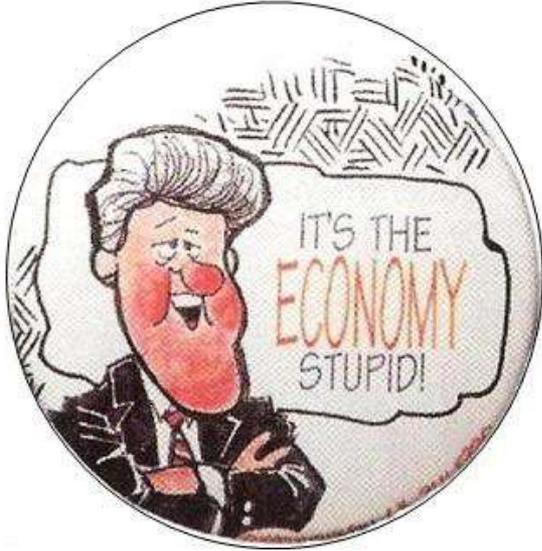
avivou-se a inquietação de acionistas quanto às reservas "inqueimáveis". Investidores de peso, como o fundo de pensão dos funcionários públicos da Califórnia, passaram a pressionar as petroleiras.

Na assembleia da Exxon Mobil, estavam em pauta seis moções. Entre elas, a edição de relatórios anuais sobre clima e a inclusão de especialista da área na diretoria.

Uma das propostas foi aceita: a partir de agora, acionistas minoritários que detenham 3% da empresa poderão indicar um diretor, flanco aberto para que representantes da preocupação com o clima cheguem ao coração da companhia.

O mesmo passo já havia sido dado pela Chevron. A Total foi além e anunciou que planeja elevar a 20%, até 2036, o investimento em atividades independentes de carbono. Já os acionistas da Shell rejeitaram a proposta de reinvestir lucros na sua conversão em empresa de energias renováveis.

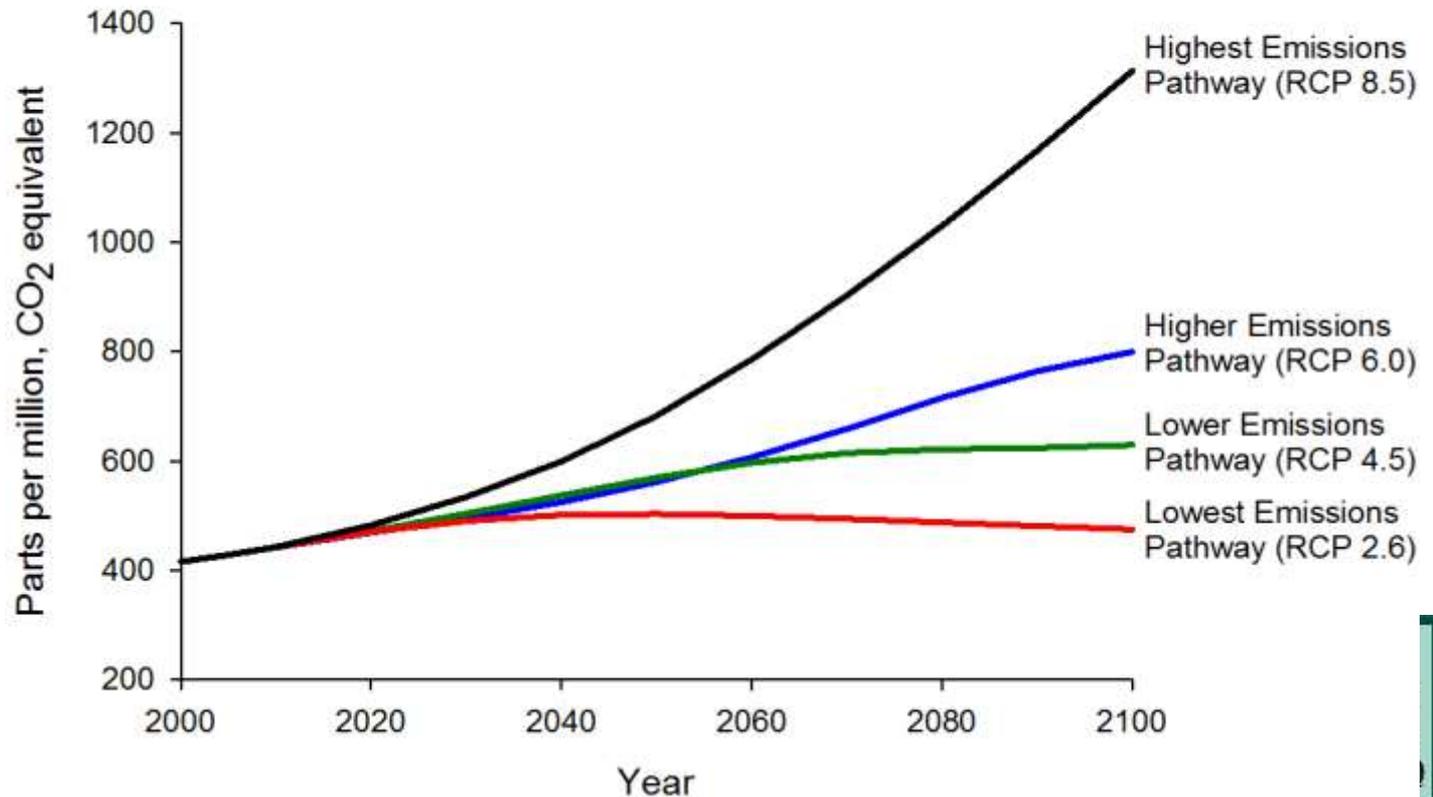
No Brasil, até duas semanas atrás, o governo federal do PT atrasou o quanto pôde esse debate na Petrobras, enrolada em escândalos e na atávica bandeira "o petróleo é nosso". A nova administração tem a oportunidade de se vejar mais moderna nesse campo.



# Emissões

## Relação entre Economia e Emissões

Projected Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations



# Clima Global

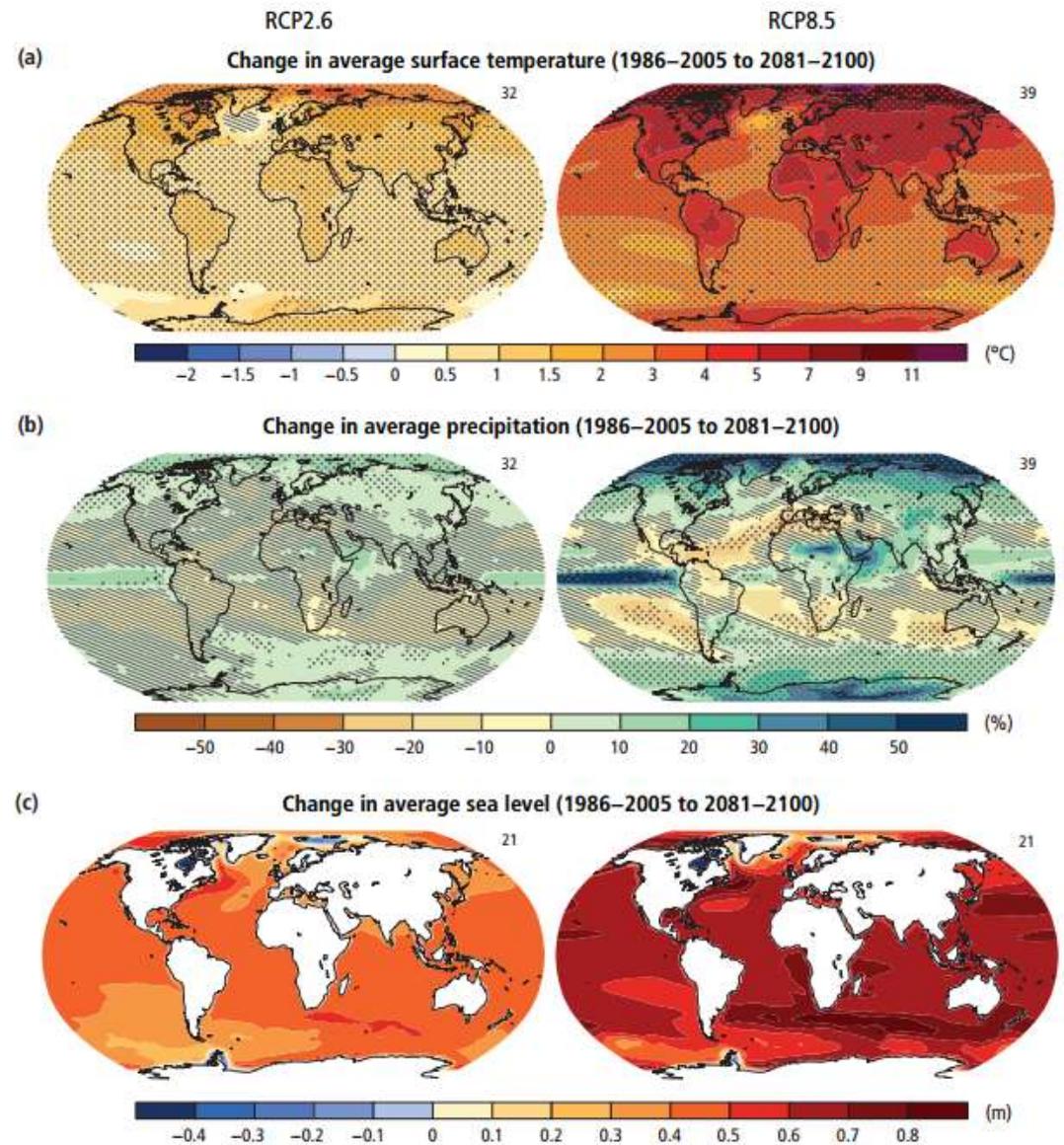


Figure 2.2 | Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) multi-model mean projections (i.e., the average of the model projections available) for the 2081–2100 period under the RCP2.6 (left) and RCP8.5 (right) scenarios for (a) change in annual mean surface temperature and (b) change in annual mean precipitation, in percentages, and (c) change in average sea level. Changes are shown relative to the 1986–2005 period. The number of CMIP5 models used to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Stippling (dots) on (a) and (b) indicates regions where the projected change is large compared to natural internal variability (i.e., greater than two standard deviations of internal variability in 20-year means) and where 90% of the models agree on the sign of change. Hatching (diagonal lines) on (a) and (b) shows regions where the projected change is less than one standard deviation of natural internal variability in 20-year means. [WGI Figure SPM.8, Figure 13.20, Box 12.1]