

# VARIABILIDADE, TENDÊNCIA, ANOMALIA E MUDANÇA CLIMÁTICA

Prof. Luiz Roberto Angelocci e Paulo César Sentelhas

Material didático para uso exclusivo na disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola  
Departamento de Engenharia de Biosistemas - setor de Agrometeorologia - ESALQ/USP - 2010

## 1. INTRODUÇÃO

A variação espacial e a flutuação temporal são características inerentes ao tempo e ao clima. A flutuação temporal é uma característica que deve ser discutida com maiores detalhes, pois o seu estudo nas mais diferentes escalas cronológicas permite compreender como era o clima terrestre no passado longínquo (*paleoclima*), no passado recente e como o é no presente, além de permitir, a partir de modelos, simular situações de clima no futuro. Para um melhor entendimento do estudo das flutuações climáticas, é necessário entender os conceitos de variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática. Ao se referir ao clima, deve-se lembrar que está se trabalhando com escalas de tempo de no mínimo 30 anos, podendo estas serem prolongadas à escalas tão grandes, como a de eras geológicas.

A combinação das escalas temporal e espacial dos fenômenos meteorológicos gera a **variabilidade climática**, que se refere às flutuações das condições meteorológicas e, por extensão, das condições climáticas em torno da média climatológica, como se observa na Figura 1 referente à precipitação pluvial anual de Piracicaba desde 1917.

Observa-se na Figura 1 que é possível detectar, em um determinado período, valores crecentes (tendência crescente), como ocorreu com a chuva anual em Piracicaba entre 1933 e 1943 ou decrecente (tendência decrescente), como foi observada de 1996 a 2005. As tendências, por ocorrerem em períodos curtos, não devem ser confundidas com mudanças do clima.

As variáveis meteorológicas em determinado período podem, eventualmente, sofrer uma flutuação grande de um elemento em uma série climatológica, ou seja, desvio acentuado do padrão observado de variabilidade, caracterizando uma *anomalia climática*. Esses eventos anômalos estão normalmente associados a uma fator causal, os quais podem ter várias origens. O mais comum atualmente são as anomalias associadas aos eventos El Niño e La Niña. Na Figura 1 observa-se duas anomalias de precipitação em Piracicaba, uma de 812 mm em 1921 e outra de 2018 mm em 1983.

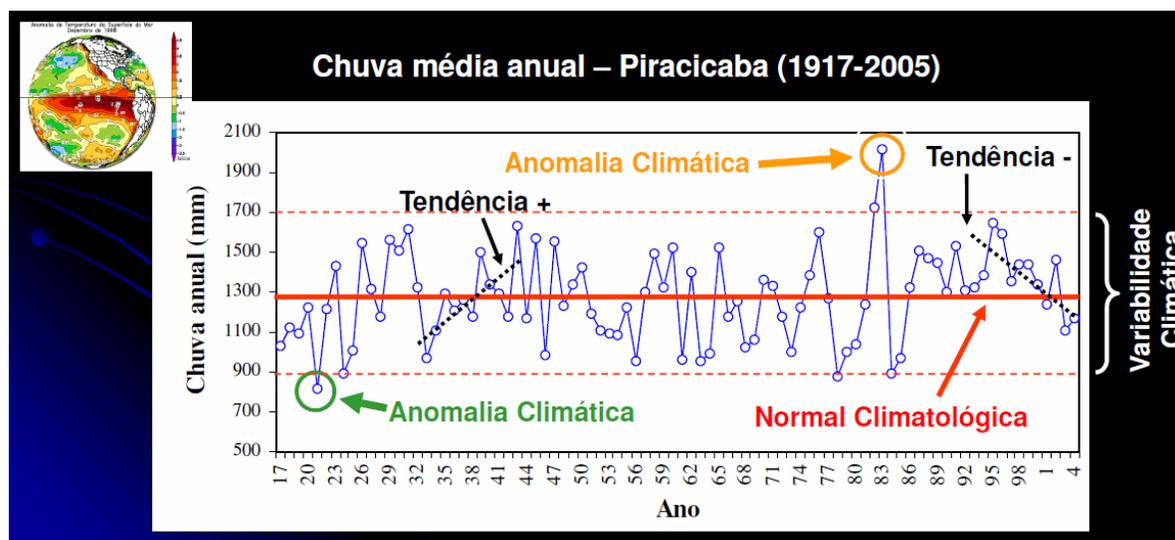


Figura 1. Variação da precipitação anual em Piracicaba, SP, a partir de 1917.

Já *mudança climática* é um termo que designa uma tendência de alteração estatística significativa da média de um elemento climatológico ou de sua variabilidade em períodos de tempo mais extensos, como décadas ou séculos.

Deve-se ressaltar que não há uma distinção absoluta entre os termos variabilidade, tendência, *anomalia* e mudança climática, pois dependendo da escala de tempo de estudo, certa flutuação que poderia ser considerada uma variabilidade numa escala de milênios, pode ser considerada uma mudança na escala de décadas ou séculos. As Figuras 2 e 3 ajudam a entender isso, ao mesmo tempo que permitem uma visão da variação da temperatura global da Terra em várias escalas de tempo. As

condições climáticas terrestres no passado podem ser inferidas por indicadores biológicos (fósseis) ou inorgânicos (minerais, sedimentos, paisagens trabalhadas por gelo), bem como por métodos físico-químicos (exemplo, razão isotópica  $O^{18}/O^{16}$  de carbonatos de sedimentos ou em esqueletos de fósseis), análise de anéis de crescimento de árvores. Nessas figuras a variabilidade é dada em termos de  $^{\circ}C$  em relação à média da temperatura terrestre global no início do século XX. Na Figura 3a é possível verificar a tendência estimada por vários modelos climáticos da temperatura global da Terra nos últimos dois mil anos, sendo que a partir de 1860, observações diretas da temperatura da superfície terrestre e a evolução das técnicas de observação permitiram uma estimativa mais confiável, mostrada na Figura 3 b.

Observa-se que ao longo das eras geológicas foram estimadas flutuações térmicas de até cerca de  $5^{\circ}C$ , na maioria do tempo com temperaturas abaixo das observadas atualmente, mas com períodos de valores superiores em  $1^{\circ}C$  em relação aos atuais. Apesar das aproximações dos modelos de estimativa e dos problemas de observação da temperatura da superfície de oceanos e continentes, que começaram a ser medidas sistematicamente nos últimos 150 anos, verifica-se que a Terra passou por um período quente na idade medieval e por um resfriamento relativamente intenso entre os séculos XVII e XVIII (pequena idade glacial). Embora a tendência natural esperada seja o aquecimento no período atual, é preocupante a intensidade desse aquecimento, principalmente a partir de 1980, a uma taxa que se supõe ultrapassar qualquer outra experimentada em milhões de ano.

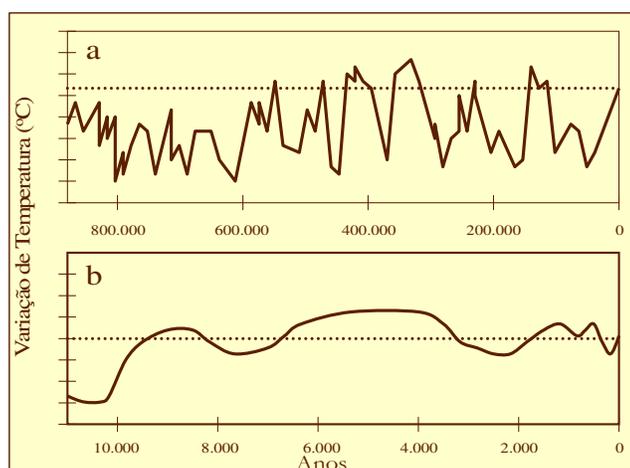


Figura 2. Variação estimada da temperatura global da Terra nos últimos 900.000 (a) e nos últimos 10.000 anos. (b)  
Fonte: Intergovernamental Panel on Climate Change Report, 1990.

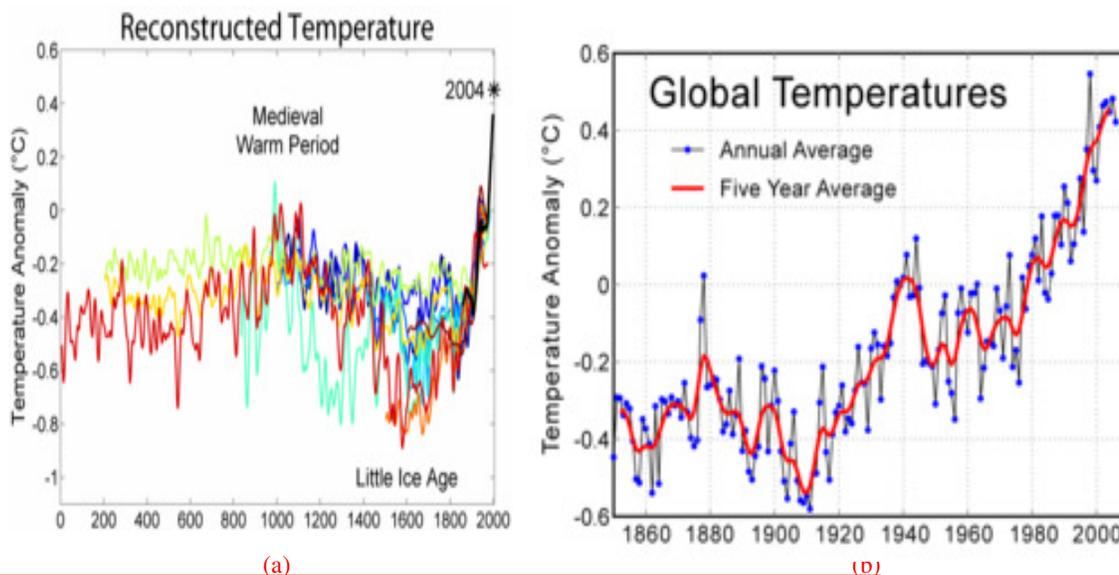


Figura 3. Variação da temperatura global nos últimos 2000 (a) e nos últimos 150 anos (b), expressa pelas diferenças (anomalias) em relação à média no século XX. Na figura b as maiores flutuações referem-se ao uso da média anual (linha azul) e as menores às médias de quinquênios (linha vermelha). Fonte : *Global Warming*, Wikipedia, 2007.

As causas da variabilidade do clima podem ser reunidas em três grandes grupos:

a) **Terrestres**

A modificação da composição atmosférica, principalmente dos gases de “efeito estufa” absorvedores de ondas eletromagnéticas longas emitidas pela Terra, por causas naturais ou antropogênicas, é considerado um grande fator de variabilidade climática. A ação antropogênica está presente pelas atividades industriais, queima de combustíveis fósseis, atividades agrícolas em vários aspectos (modificação do uso do solo, desmatamento, irrigação por inundação, etc.). A modificação da concentração dos gases de efeito estufa é considerada por muitos cientistas como um fator determinante de aquecimento global, com consequências sobre o clima, **efeitos esses** que podem durar séculos. Para esses cientistas, o CO<sub>2</sub>, por exemplo, seria um dos gases mais ponderáveis nesse caso, porque a variação da sua concentração na atmosfera tem sido muito grande ao longo do tempo (Figuras 4a e 4b), sendo que por ação antropogênica, os níveis atingidos nos últimos 250 anos não têm precedentes nos últimos 400.000 anos. Outros gases de efeito estufa absorvedores de ondas eletromagnéticas na banda acima de 3.000 nm são o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os clorofluorcarbonos (CFC). A modificação da concentração de ozônio, absorvedor na banda do ultra-violeta, também pode exercer efeito no balanço de energia radiante na Terra.

A Figura 3 apresenta a tendência de aquecimento acentuado da Terra no século XX, com sua aceleração **maior** a partir de 1980. Tem-se realçado a relação entre a aceleração do aquecimento e as ações humanas, principalmente as que contribuem para o aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera.

As atividades humanas a partir da Revolução Industrial (meados do século XVIII) **têm** contribuído para alterar a concentração de gases de **efeito** estufa na atmosfera e para modificar as condições de cobertura de superfície, que afetam o balanço de radiação na superfície

Outra causa natural pode ser o vulcanismo, que libera cinzas e poluentes (sulfetos, por exemplo), afetando o balanço de energia, normalmente com tendência de resfriamento pela atenuação da radiação solar, **o que não seria uma justificativa para o que vem ocorrendo em termos de aquecimento global**.

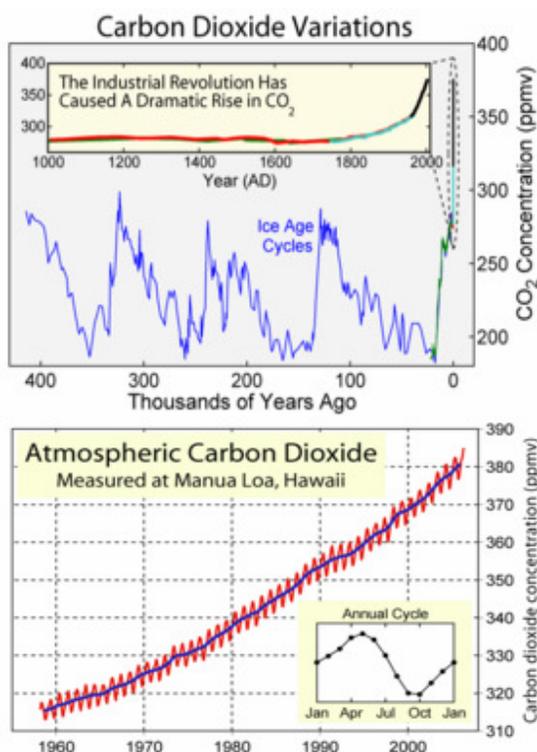


Figura 4. Variação estimada da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre nas eras geológicas (superior) e nos últimos 50 anos (inferior). [O quadro inserido na figura inferior refere-se às variações médias sazonais em um ciclo anual.](#) Fonte: [Global Warming](#), Wikipedia, 2007.

Outra causa de origem terrestre é a modificação dos tipos de nuvens formadas. Uma hipótese é que um aquecimento do planeta poderia originar nuvens mais espessas, com maior absorção e reflexão de ondas curtas, diminuindo a incidência de radiação na superfície e tendo ação de **realimentação** (“feedback”) negativa sobre o aquecimento global. Diz-se que há um efeito de realimentação porque uma consequência original do aquecimento, nesse caso o aumento da nebulosidade, contribuiria a seguir para um efeito também sobre o balanço de energia radiante. A realimentação é positiva se reforça o efeito de aquecimento, ou negativa se contribui para o resfriamento. No caso das nuvens espessas, a realimentação é negativa porque elas contribuem para a diminuição da irradiância solar e, conseqüentemente, em certo grau, com um efeito contrário ao aquecimento. No mesmo sentido, pode se falar na modificação das condições da cobertura da superfície terrestre, como por exemplo, o derretimento do gelo. O albedo (poder refletor ou refletividade da superfície para ondas curtas) da neve é bem maior do que o da água líquida, e o derretimento do gelo teria um efeito alimentador positivo sobre o aquecimento global, pela maior absorção de radiação pela superfície com água líquida. Modificações de origem antropogênica da superfície terrestre (desmatamento, urbanização, substituição de um tipo de cobertura por outra, etc.) podem causar realimentação positiva ou negativa, dependendo do tipo de modificação.

Outro causa de modificação climática, que pode ser considerada em termos de eras geológicas, é a modificação da distribuição de continentes e oceanos. Cita-se, também, a modificação temporal do campo magnético da Terra (paleomagnetismo) como um possível causador de mudanças climáticas por afetar a localização dos pólos magnéticos do planeta.

### b) **Astronômicas**

O valor da inclinação (atualmente de 23°27') e da posição do eixo da Terra em relação ao plano da Eclíptica não é constante, mas varia lentamente, considerando-se que as variações extremas sejam da ordem de 1,3°C, negativo ou positivo, em relação à média de 23,3°C na escala de 1.000.000 de anos. Considera-se que essa variação seria muito maior se não houvesse o efeito gravitacional da presença da Lua. As variações da inclinação do eixo determinam modificações espaciais e temporais na irradiância solar da superfície terrestre, mais acentuadas quanto maior a latitude e poderiam contribuir para modificações climáticas em longas escalas de tempo.

### c) **Extra-terrestres**

Uma causa classificada nesse grupo é a variação da atividade do Sol, medida pelo número de manchas na sua superfície. Por registros do número de manchas desde o século XVI, é possível deduzir que do início das observações até aproximadamente 1700, o número de las foi muito pequeno, indicando uma diminuição da atividade solar, que aumentou entre 1700 e 1780, caindo novamente até cerca de 1820. Há cientistas que consideram essas variações como o fator determinante das mudanças climáticas, conforme discutir-se-á no item seguinte.

## **2. O AQUECIMENTO GLOBAL E A MUDANÇA (VARIAÇÃO?) CLIMÁTICA RECENTE**

### **2.1 As evidências do aquecimento global recente, as predições para o futuro e os questionamentos**

O aquecimento global recente da Terra está no centro de uma das grandes polêmicas da ciência, pois a complexidade do assunto do ponto de vista científico é intensificada pelas implicações sócio-econômicas e políticas das decorrentes mudanças climáticas que podem afetar toda a humanidade. A preocupação com a modificação da composição dos gases de efeito estufa, principalmente pela ação do Homem e seu possível efeito no aquecimento global, seguida das conseqüências climáticas desse fato, começou a ganhar relevância na década de 1970, levando à criação em 1988 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, órgão da ONU), em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), congregando hoje cerca de 2500 cientistas e técnicos das mais diferentes formações no estudo do tema, com participação aberta para todos os países membros da OMM e do PNUMA.

A complexidade do tema é colossal, pois ele envolve não só a atmosfera, mas também as superfícies terrestres, ou seja, continentes, oceanos e a criosfera (gelo marinho e camadas de gelo das mais diferentes formas sobre os continentes), dos quais dependem as variações climáticas. Além disso, todos os processos são extremamente variáveis no tempo, tornando o sistema relativamente caótico. A isso, associa-se a extensão do sistema de estudo, não permitindo a reprodução dos fenômenos atmosféricos em laboratório, ou seja, as mudanças climáticas só podem ser estudadas na escala natural,

na qual é impossível realizar experimentos "in situ" simuladores dos efeitos de fatores atuantes no clima. Adicionalmente, deve-se registrar que há falhas no conhecimento de como funcionam exatamente os sistemas climáticos.

Por esses motivos, lança-se mão de estudos de paleoclimatologia e de climas passados para conhecer suas relações com a estrutura e composição dos sistemas que os determinaram (composição da atmosfera, distribuição de oceanos e continentes, constituição geomorfológicas, etc.). Outro aspecto importante é a observação meteorológica, que nos últimos 150 anos, evoluiu muito, principalmente a partir da década de 1970. Pela impossibilidade de experimentos "in situ" e pelos inúmeros fatores envolvidos, a técnica de modelagem da variação climática, principalmente voltada para o aquecimento global, tem sido usada para prever as possíveis condições climáticas até o final do século XXI.

Os dados do IPCC sobre temperatura global, medida a partir de 1860 (ver Figura 3) por cerca de 6.000 estações meteorológicas de superfície, com correção para efeitos de "ilhas urbanas de calor" indicam aumento médio da temperatura no século XX de  $0,6\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ , sendo que no período de 1906 a 2005 a tendência foi de  $0,74\text{ °C} \pm 0,18\text{ °C}$ , com o maior aumento a partir de 1956. Deve-se ressaltar que essa tendência varia espacialmente, sendo que no hemisfério norte e nas latitudes maiores há evidências de maior aquecimento.

Além dessa constatação, o quarto relatório do IPCC (2007) aponta quais seriam as principais evidências de que o aquecimento global pode estar mudando o clima terrestre, obtidas a partir de observações diretas do clima recente, resumidamente listadas a seguir:

- Entre 1995 e 2006 ocorreram 11 dos 12 anos mais quentes desde 1850.
- A concentração de vapor d'água atmosférico tem aumentado pelo menos desde 1980, sobre os oceanos e os continentes, bem como na troposfera superior, pela maior capacidade de retenção de vapor d'água pelo ar, devido ao aumento de sua temperatura.
- A temperatura média global dos oceanos tem aumentado até profundidades de 3000m, o que contribui para a expansão térmica e o aumento do nível dos oceanos.
- As geleiras de montanhas e as superfícies geladas têm diminuído nos dois hemisférios.
- A Groelândia e a Antártida tem apresentado perda de camadas de gelo, contribuindo para o aumento do nível dos oceanos. A temperatura na região ártica aumentou à taxa duas vezes superior à da média global nos últimos 100 anos (é necessário informar que a temperatura na região tem larga variabilidade temporal; um período mais quente já foi observado de 1925 a 1945). No Ártico, a área de gelo tem encolhido em média  $2,7\% \pm 0,6\%$  por década desde 1978, com acréscimo maior no verão (até  $7,4\%$  / década). O nível dos oceanos tem aumentado à taxa de  $1,8\text{ mm/ano}$  a partir de 1961 (início das medidas), sendo maior a partir de 1993 ( $3,1\text{ mm} \pm 0,7\text{ mm}$  por ano). Estima-se que a elevação média do nível dos mares no século XX chegou a  $0,17\text{ m}$ . Observações de taxas similares ocorreram antes de 1961 e há necessidade de observações de satélites por longo prazo para confirmar essa evidência.
- A precipitação aumentou significativamente nas partes orientais da América do Sul e do Norte, Europa Meridional, Ásia Central e Meridional. A frequência de eventos de chuva tem aumentado na maior parte das áreas continentais, de forma coerente com o aquecimento e a maior quantidade de vapor d'água da atmosfera. No Sahel, no Mediterrâneo, no sul da África e partes do sul da Ásia, tem-se observado diminuição da precipitação. Em outras regiões não se tem observado tendências de modificação das chuvas a longo-prazo. Além de muito variável, faltam dados de chuvas em algumas regiões. Há certa evidência de mudança dos níveis de precipitação e evaporação sobre os oceanos.
- Os ventos de oeste (circulação geral) têm-se intensificado a partir de 1960, nos dois hemisférios.
- Nos últimos 50 anos tem-se observado mudanças das temperaturas extremas (máximas e mínimas), com menor frequência de dias e noites frios e de geadas, e maior de dias e noites quentes e de ondas de calor.
- Há evidência de aumento de atividade ciclônica intensa no Atlântico Norte desde 1970, relacionada ao aumento da temperatura da superfície do oceano, bem como alguma evidência de aumento dessa atividade em outras regiões. A variabilidade temporal e a qualidade dos registros de ciclones tropicais antes de 1970 não permitem ter uma tendência clara do ocorrido até esse ano.
- Não foi possível detectar mudança: a) na amplitude de variação diária de temperatura (as tendências são muito variáveis de uma região para outra); b) em fenômenos de pequena escala (tornados, granizo, raios e tempestades de areia); c) na extensão do gelo oceânico da Antártida (mostra variabilidade interanual e mudanças localizadas, sem tendência estatística significativa).

Desse quarto relatório de 2007 do Painel Intergovernamental para a Mudança Climática (IPCC) extraiu-se um documento dirigido aos formuladores de políticas ambientais, informando que:

a) A concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera (principalmente dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) tem aumentado desde 1750, em grande grau por ações antropogênicas, originando um "*forçamento radiativo*" positivo da Terra. O forçamento pelo  $\text{CO}_2$  aumentou de 20% de 1995 a 2005.

b) O aumento de aerossóis na atmosfera (sulfatos, C orgânico, carvão, nitrato e poeiras) tem um efeito contrário (forçamento radiativo negativo), mas que representa apenas cerca de 20% daquele dos gases de efeito estufa.

c) As mudanças de ozônio troposférico, principalmente pelas emissões de óxido nítrico, monóxido de carbono, halocarbonos (clorofluorcarbonos, por exemplo) tem um efeito de forçamento radiativo positivo, equivalente a cerca de 1/8 daquele dos gases de efeito estufa acima citados.

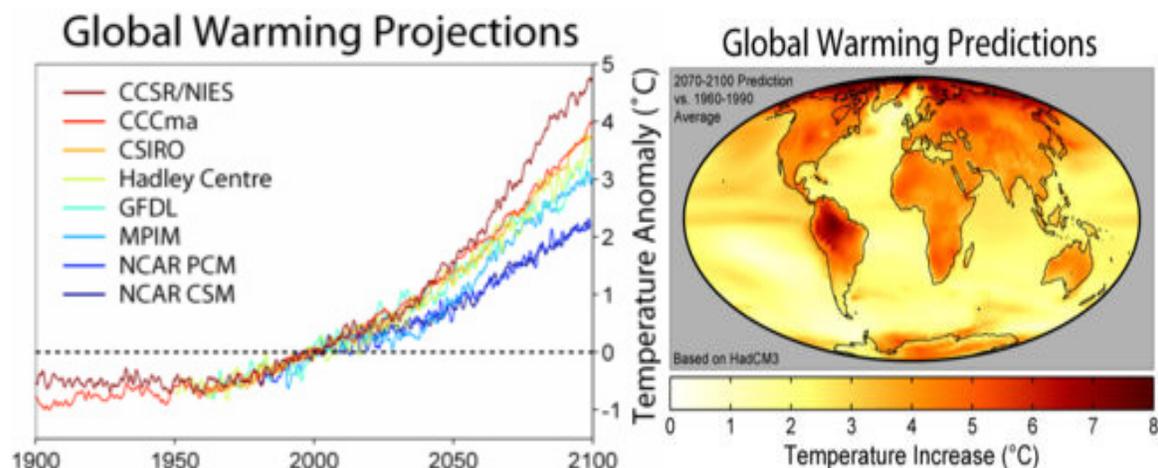
d) Mudanças do albedo (refletividade de ondas curtas) pela modificação de coberturas da superfície terrestre tem forçamento positivo (igual a cerca de 1/10 daquele dos gases de estufa) e a deposição de aerossóis sobre neve tem forçamento negativo (cerca de 1/20 daquele dos gases estufa).

e) Mudanças da emissão solar tem causado forçamento radiativo positivo (equivalente a cerca de 1/20 daquele dos gases de efeito estufa).

Os relatórios do IPCC são redigidos com base nos estudos de cerca de 1200 cientistas no mundo e procura fazer uma avaliação do conhecimento atual sobre o assunto. Nesse quarto relatório (o próximo está previsto para 2013), os cientistas procuraram deixar claro que é inequívoca a tendência de aumento da temperatura e que das forçantes que a causam, aquelas de origem antropogênica são as determinantes. Afirmando, também, que o maior conhecimento do sistema climático e a possibilidade de elaborar modelos preditivos confirmam a tendência de aquecimento global a longo prazo, que seria irreversível por séculos, mesmo que as forçantes de origem humana fossem diminuídas a partir de agora.

O que se procura nas predições do clima futuro (considera-se que é possível fazer a modelagem nesse caso para um período máximo de um século) é projetar cenários de emissões dos poluentes e seu controle, bem como da modificação de uso dos solos, para se estimar as conseqüências climáticas. Deve-se considerar, também, que efeitos de realimentação ("feedback") no sistema climático, discutidos acima, complicam as predições. Pela complexidade do clima, é muito difícil estimar o grau de modificação dos regimes de chuvas e de ventos, inclusive quanto à distribuição espacial dessas modificações, pois se sabe que não há uniformidade dos efeitos nas diferentes regiões.

As dificuldades apontadas tem levado a resultados discrepantes de projeções do aquecimento global, como se vê na Figura 5, mostrando uma projeção de aumento médio da temperatura global até 2100 de 2°C (1,1°C a 2,9°C) no melhor cenário e de 4°C (2,4°C a 6,4°C) no pior cenário, sendo que a distribuição do aquecimento seria espacialmente heterogêneo, com maior aquecimento do hemisfério N.



Figuras 5. Predições de aumento de temperatura global da Terra até o final do século XXI, por diferentes modelos (a) e sua distribuição espacial entre 2070 e 2100 (b). Fonte: *Global warming*. Wikipedia, 2007.

Um grupo de pesquisadores brasileiros fez recentemente uma predição para o nosso país, para o mesmo período. No melhor cenário, o qual contempla ações para não aumentar a poluição atmosférica por gases de efeito estufa, a temperatura passaria do atual valor **médio** para o país de 25°C (dada pelas normais climatológicas de 1961-1990) para 26,3°C e no pior cenário, para 28,9°C no final deste século. A Amazônia seria a região mais afetada (aumento de 3° a 8°C e redução das chuvas de 10% a 20%). Para o Nordeste, a projeção de aumento de temperatura é de 2,2°C a 4,0°C, no Pantanal de 3,4 a 4,6°C e na região Sul de 2,3 a 3,5°C, respectivamente no melhor e no pior cenário.

A predição para a Amazônia é alarmante, não somente pelos altos valores de aumento de temperatura e seus conseqüentes efeitos ambientais na própria região, mas também porque ela é fonte de vapor d'água para outras regiões do Brasil, principalmente o sudeste. Portanto, além do efeito sobre a

diminuição das chuvas na própria Amazônia, o efeito do aquecimento e da diminuição do transporte de vapor a partir da região [atuaria](#) também sobre o regime de chuvas de outras regiões do país

Independente das incertezas, que os estudos sobre a variação climática e suas conseqüências geram, a maioria da comunidade científica tem se inclinado para a aceitação das conclusões dos relatórios do IPCC, que [servem](#) de base inclusive para recomendações nas conferências políticas para o meio ambiente (Rio, Kioto, Copenhagen). [No entanto, há](#) um grupo de cientistas, denominados genericamente de “céticos”, que tem feito críticas e [promovido](#) um debate [mais acirrado](#) sobre os estudos e as conclusões do IPCC. Parte deles aceita a conclusão sobre o aquecimento global, mas questiona o alarmismo em relação ao assunto, porque muitas das previsões das conseqüências do aquecimento global sobre as modificações climáticas, principalmente sobre os regimes de chuvas, vento e dos extremos climáticos, exigem muitos estudos voltados para o conhecimento desses efeitos e como isso se refletirá na resposta dos sistemas terrestres. Além disso, é necessário ainda se saber mais [sobre](#) como a relação clima-oceanos ocorre, [fator importante no estabelecimento das condições climáticas.](#)

[Um outro ponto questionado por esse grupo de cientistas é](#) sobre a confiabilidade das medidas de temperatura global. Ela é determinada a partir das estações meteorológicas de superfície, parte delas com suas séries climatológicas afetadas pela presença de núcleos urbanos próximos a elas (para o que se tenta fazer uma correção [nos cálculos](#)). [A média global é calculada](#) com divisão do globo terrestre em faixas de 5° de latitude por 5° de longitude, sendo calculada uma média ponderada mensal para as estações de cada seção, a qual é comparada com a referência para o período 1961-1990, tendo-se [então](#) a anomalia para cada mês e, [a partir dela](#), a anomalia global anual. As críticas centram-se na localização das estações e dos problemas de sua manutenção. [Afirmam-se](#) que  $\frac{3}{4}$  [das](#) 6.000 estações que mediam no passado deixaram de funcionar, além de haver propensão de desativação preferencial daquelas situadas em maior latitude e altitude, contribuindo para aumento da tendência da temperatura global. [Outra fonte de erro pode ser](#) a modificação das técnicas de medida desde 1860, Medidas de temperatura da troposfera entre 1000 e 8000 m de altitude, com uso de satélites e técnica que se estima ter precisão de 0,01°C, mostram divergência com os dados obtidos a partir de superfície, com tendência a indicar um aquecimento menor que o previsto [a partir das estações de superfície](#), com discrepâncias entre os dois tipos de medidas nas diferentes regiões. Outro questionamento ligado a este é se seria válido falar de uma única temperatura global para um sistema tão complicado como o [do clima](#) da Terra.

Outro tipo de questionamento ocorre sobre algumas evidências propostas pelo IPCC, como a elevação dos níveis dos mares, por exemplo, já discutido acima como passível ainda de confirmação por medidas a longo prazo via satélites. Há hipóteses para explicar o derretimento de gelo marinho na região ártica, que não seria causado por aquecimento, mas talvez por funcionamento de correntes marítimas. Questiona-se se o derretimento do gelo marinho realmente modificaria o nível dos oceanos, ao contrário do derretimento do gelo continental, como por exemplo, da Antártida, que aparentemente tem sido menos afetada pelo aquecimento, que poderia aumentar o nível dos oceanos caso estes fossem atingidos pela água do gelo continental derretido. Há questionamento, inclusive, sobre a magnitude de aquecimento dos oceanos, que pelos cálculos do IPCC, absorve 80% do calor gerado pelo aquecimento global.

O questionamento dos “céticos” que traz maiores conseqüências para os aspectos práticos das mudanças climáticas é se realmente os gases de efeito estufa representam a principal forçante do aquecimento global. A justificativa desse grupo é que, se aceitos os valores de clima passado previstos pelos modelos de paleoclima, é difícil encontrar uma relação entre a variação da temperatura e a concentração desses gases na atmosfera, principalmente o do CO<sub>2</sub>. Para esse grupo de cientistas, a principal forçante seria a variação da atividade solar, para a qual mostra-se ter uma relação com o clima na Terra (acredita-se que essa foi a principal causa da pequena idade glacial nos séculos XVII e XVIII). Entre meados da década de 1940 e 1970, mesmo com o aumento da concentração do CO<sub>2</sub>, houve uma diminuição da temperatura global, que levou então os cientistas a crerem que estava o planeta entrando numa nova era glacial, mesmo com o aumento dos níveis de gases de efeito estufa na atmosfera, o que se reverteu até o final do século XX, com o aquecimento.

Os cientistas “céticos” prevêm uma queda ou mesmo a reversão próxima do aquecimento, pois o Sol está entrando em período de diminuição de sua atividade. Por outro lado, o argumento de cientistas pró-aquecimento é de que o arrefecimento térmico nas próximas duas décadas por essa forçante (atividade solar), seria no máximo uma diminuição de 0,3°C, insuficiente para reverter totalmente o processo. Ao argumento dos céticos de que os invernos mais rigorosos que aconteceram ultimamente nos Estados Unidos, Europa (e até na China) seriam uma indicação do período de resfriamento que a Terra estaria entrando, cientistas apoiadores da tese do aquecimento argumentam que esses invernos mais rigorosos somente são [decorrência](#) da variabilidade natural do clima, principalmente quanto a extremos. A definição se os gases de efeito estufa representam ou não a principal causa de mudanças climáticas tem uma implicação sócio-econômica e política muito grande. Se [positivo](#), o homem tornou-se o principal responsável por essas mudanças e cabe a ele decidir as medidas para contê-las, por medidas como mitigação, definição de metas para diminuição da poluição e da taxa de aumento da temperatura, redefinição de uso da terra, etc. Caso os “céticos” estejam com a razão, também isso exigiria mobilização

dependente de um possível grau de resfriamento causado pela diminuição da atividade solar. Qualquer que seja a situação, mesmo com a maioria dos cientistas mostrando as evidências do aquecimento global ao longo deste século, há um dilema que exige a diminuição das incertezas sobre o funcionamento do sistema climático, para que as decisões sejam tomadas em maior base científica, dentro de um contexto em que o embate político e econômico entre as nações será sempre um pano de fundo.

## 2.2. Impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas para a agricultura

Com a aceitação pela maioria da comunidade científica de que está ocorrendo um aquecimento global que persistirá por longo tempo, com evidências de mudanças climáticas, inúmeros estudos de simulação dos seus efeitos sobre processos naturais e sobre atividades humanas tem sido realizados, como sobre aumento do nível dos oceanos e de fenômenos climáticos extremos, sobre os biomas, sobre a produção de energia elétrica, sobre doenças (humanas ou não), sobre pragas, produtividade vegetal, balanços hídricos, zoneamento de culturas, etc. A bibliografia é extensa e ainda com as ressalvas que existem sobre a validade das projeções, é interessante ter-se conhecimento de trabalhos dos efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura. Concentrar-se-á aqui em algumas delas de maior interesse, principalmente as produzidas no Brasil. O livro de C. Rosenzweig e D. Hillel, "Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture" (University Press, 324 p., 1998) é uma obra em inglês, relativamente abrangente e num excelente nível para quem está sendo introduzido no assunto.

No Brasil, deve-se citar o trabalho do Centro Nacional de Pesquisas de Informática na Agricultura (CNPTIA), da EMBRAPA, que desenvolve um programa de estudos sobre o aquecimento global e a produção agrícola do Brasil, em cooperação com outras instituições científicas do país, cujos resultados estão disponíveis no site <http://www.agritempo.gov.br>, incluindo-se a publicação "O aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira". Diante dos múltiplos cenários projetados para o aquecimento global em função de atividades econômicas, no citado estudo foram adotados dois cenários: um mais pessimista de aquecimento (cenário A2), com aumento entre 2°C e 5,4°C até 2.100 devido ao crescimento contínuo da temperatura e dos gases de efeito estufa, pelo fato da economia mundial seguir as tendências atuais, com implementação lenta de novas tecnologias, sem adoção de padrões mundiais; outro mais otimista (cenário B2) com aumento da temperatura de 1,4 a 3,8°C em 2100, com aumento menos acentuado da população e, com o mundo com soluções locais de sustentabilidade sócio-econômica e ambiental, e de mudanças tecnológicas com menor emissão de gases de efeito estufa. As projeções foram feitas para algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja, considerando a probabilidade de riscos para a agricultura, nos seguintes anos: 2020, 2050 e 2070. O estudo estima variação das áreas com baixo risco climático de cultivo no Brasil, portanto potencialmente aptas quanto ao clima, e projeta cenários pelos quais, com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, que apresentam projeção de aumento da área de baixo risco de plantio, para as demais regiões citadas ocorreria diminuição dessa área de baixo risco (ou, raciocinando inversamente, aumentaria a área de risco ponderável).

Um outro exemplo de aplicação é o trabalho de Wrege et al., "Simulação do impacto do aquecimento global no somatório de horas de frio (NHF) no Rio Grande do Sul" (Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, p. 347-352, 2006), O número de horas de frio é um índice bioclimático utilizado para caracterizar a disponibilidade de baixas temperaturas para espécies de clima temperado. Os autores do estudo simulam a modificação da distribuição das áreas com faixas de valores desse número entre maio e setembro naquele estado, mostrando que com um aumento de 1°C nas temperaturas mínimas haveria um aumento da superfície de áreas disponíveis para materiais menos exigentes em frio (abaixo de 350 horas anuais), com diminuição da área para os mais exigentes. Com um aumento das mínimas de 3°C, desapareceriam as áreas com mais de 350 horas anuais de frio e com um drástico aumento de 5,8°C não haveria mais acúmulo de horas de frio no estado.

Steinmetz et al. (ANO???) publicaram o trabalho "Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis consequências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul", (XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, CD, 2005), verificando que de 1897 a 2004 as temperaturas mínimas tiveram tendência de aumentar 1,0° C na média anual, com acentuação a partir de 1955 (aumento de 1,7°C), sendo que nos meses de dezembro a março os aumentos foram ainda mais acentuados. Concluíram que se essa tendência for mantida, a cultura do arroz irrigado no estado poderia ser beneficiada pela diminuição de risco de frio na fase reprodutiva, mas prejudicada pelo decréscimo do potencial de produtividade.