

## INTRODUÇÃO

Os problemas com o meio ambiente criados pelas atividades humanas ocorrem em 3 níveis:

- local;
- regional ou
- global

A poluição local tem a ver com qualidade do ar, fornecimento de água doce limpa, a remoção e a disposição do lixo sólido e dos efluentes líquidos, limpeza das ruas etc. É assim que se têm caracterizado as “boas” cidades de pequeno ou médio porte desde os tempos romanos. Em muitos países em desenvolvimento, uma grande parte da população vive no meio do entulho e dos resíduos que ela produz, devido à falta de recursos para remover o lixo e construir redes de esgoto, bem como para as obras de engenharia necessárias para o suprimento de água. Isso é bem evidente nas favelas das grandes cidades que, de modo geral, envolvem “ilhas de prosperidade”, onde vivem aqueles que conseguiram uma qualidade de vida comparável com aquela da Europa ou dos EUA. A poluição local caminha junto com a pobreza.

A poluição regional é causada principalmente pelos automóveis, pela produção de energia e pela indústria pesada que são inerentes às sociedades mais prósperas. As grandes cidades e suas áreas circunvizinhas, como Los Angeles, cidade do México e São Paulo, tem sido “sufocadas” há longo tempo pela poluição causada por emissões e fumaça resultantes da queima de combustíveis fósseis. Algumas vezes, a quantidade de poluição produzida torna-se suficientemente grande para causar problemas regionais e até mesmo além das fronteiras, tal como, por exemplo, a “chuva ácida” originada nos EUA que acaba afetando também a vida dos lagos canadenses, levando à sua deterioração. O mesmo aconteceu nos lagos na Escandinávia, devido às atividades industriais no outro lado do mar Báltico. A poluição regional tem de ser tratada no nível nacional ou estatal e, eventualmente, entre diversos países.

A terceira categoria de poluição é a global e suas consequências mais conhecidas são a destruição da camada de ozônio estratosférico pelos cloro flúor carbono e o “efeito estufa”. Esses problemas resultam das mudanças na composição da atmosfera e tem pouco que ver com fronteiras nacionais. As causas desses problemas globais são os gases que se originam de qualquer parte do mundo e seus efeitos são tais que afetam o bem-estar das pessoas que moram na Suíça, na Índia ou na China (e vice-versa). A poluição global só pode ser resolvida no nível internacional.

Os efeitos causados por estas atividades eram até recentemente de efeito local, ou no máximo regional, sendo que na maioria dos casos sempre é possível tomar atitudes de ordem legal e de vigilância para diminuir os impactos e/ou evitar que os males ambientais tivessem uma dimensão que possam causar prejuízos sociais e econômicos. Todos os países tem hoje códigos específicos para tratar destes assuntos e também órgãos capazes de implementar as atitudes que dirijam os empreendimentos minimizando os

impactos ambientais. Em São Paulo de forma específica a CETESB é o órgão controlador implementando a legislação existente através da Secretaria do Meio Ambiente.

As principais causas destes efeitos são as seguintes:

- ♦ Produção de Energia/Atividades Industriais.
- ♦ Desmatamento
- ♦ Urbanização
- ♦ Agropecuária

### **ATIVIDADES INDUSTRIAIS**

Como as atividades industriais necessitam de fontes de energia cada vez maiores, a alternativa encontrada vem sendo a utilização de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Desta forma, uma grande quantidade do carbono que estava estocado e fora dos ciclos biogeoquímicos atuais começou a ser liberada para a atmosfera.

Estima-se que, de 1751 a 1990, 230 bilhões de toneladas de carbono, na forma de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), foram introduzidos na atmosfera terrestre pela queima de carvão e petróleo aumentando a concentração deste gás de 280 ppmv (partes por milhão em volume) para 360 ppmv, um aumento de cerca de 30%.

### **DESMATAMENTO**

Pela necessidade de produção de alimentos, grandes áreas foram desmatadas e transformadas em regiões agrícolas. Como as florestas estocam muito mais carbono, sua substituição por áreas agrícolas vem liberando carbono da biosfera para a atmosfera.

Estima-se que, entre 1850 e 1990, cerca de 120 bilhões de toneladas de carbono na forma de gás carbônico foram transferidos da biosfera para a atmosfera pelo desmatamento.

### **URBANIZAÇÃO**

A urbanização tem provocado efeitos altamente negativos na qualidade de vida de inúmeras comunidades e um aumento intensivo na utilização de energia e do consumo de combustíveis fósseis.

Além disso, as grandes metrópoles dos países em desenvolvimento merecem especial atenção, pois as populações acabam ocupando áreas não recomendadas para assentamento urbano. Seu crescimento desordenado cria bolsões de pobreza e miséria causando impacto negativo sobre o meio ambiente.

## AGROPECUÁRIA

O aumento da produtividade agrícola através da utilização de adubos, principalmente nitrogenado, vem introduzindo na atmosfera óxidos de nitrogênio. A intensificação das produções, especialmente de arroz com técnica de inundação aumentaram a produção de metano e o aumento do número de ruminantes na agropecuária intensiva e extensiva, representa uma fonte adicional de metano na atmosfera.

### 1. EFEITO ESTUFA

A Terra é coberta por uma tênue camada de gases denominada atmosfera. A maior parte destes gases concentra-se na sua parte mais baixa, conhecida como troposfera, que se constitui numa película protetora de cerca de apenas 10km de altura, recobrendo o globo terrestre, sem a qual os seres vivos não poderiam sobreviver.

A composição química da atmosfera variou através dos tempos até atingir a composição que hoje, conhecemos, sendo formada por nitrogênio, oxigênio, gás carbônico, além de pequenas concentrações de outros gases. A atmosfera contém ainda uma quantidade de vapor d'água que é responsável por grande parte dos fenômenos meteorológicos e pela estabilidade do clima.

A maior parte dos gases existentes (nitrogênio e oxigênio) além de deixar passar a luz que vem do Sol, é também transparente às radiações emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. No entanto, alguns gases, entre os quais destacam-se o gás carbônico, o metano, o óxido nitroso e o vapor d'água, também transparentes à radiação proveniente do Sol, absorvem as radiações de onda longa que são emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera, conhecida como radiação infravermelha.

A temperatura média da superfície da Terra, atualmente, é da ordem de +15°C e se não existissem os gases de efeito estufa que retêm a radiação infravermelha, seria um planeta muito frio, com uma temperatura média da ordem de -18°C, isto é, 33° C abaixo da temperatura atual. Estes gases que absorvem a radiação infravermelha são conhecidos como gases de efeito estufa. A contribuição de cada um deles ao aumento da temperatura da superfície da Terra é indicado no quadro I.

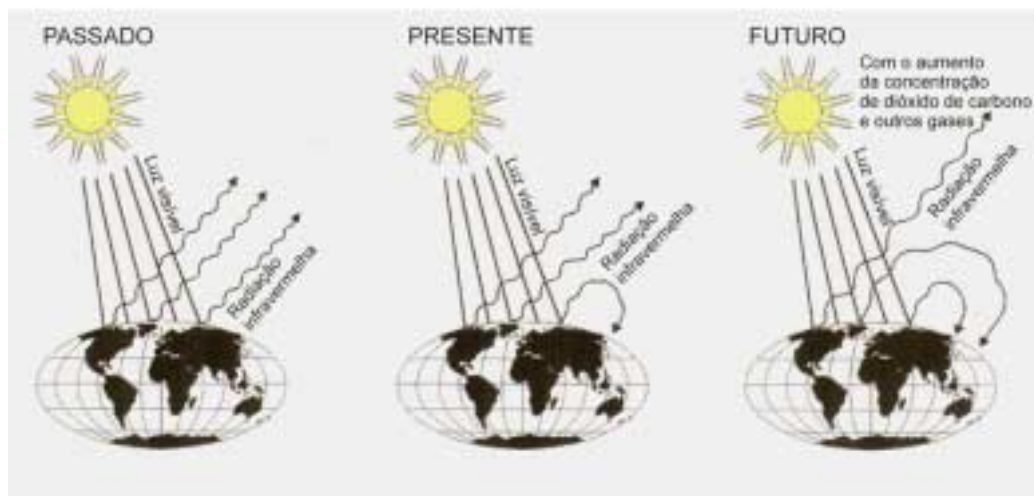
**Quadro 1**

Contribuição dos Gases ao efeito estufa natural	
Água .....	20,6°C
Dióxido de carbono .....	7,2°C
Ozônio .....	2,4°C
Óxido nitroso .....	1,4°C
Metano .....	0,8°C
Outros .....	0,6°C
<b>Total</b>	<b>33,0°C</b>

Este aquecimento da atmosfera da Terra, causado pelos gases que absorvem a radiação infravermelha, é um efeito intrínseco do planeta e é conhecido com **efeito estufa natural**.

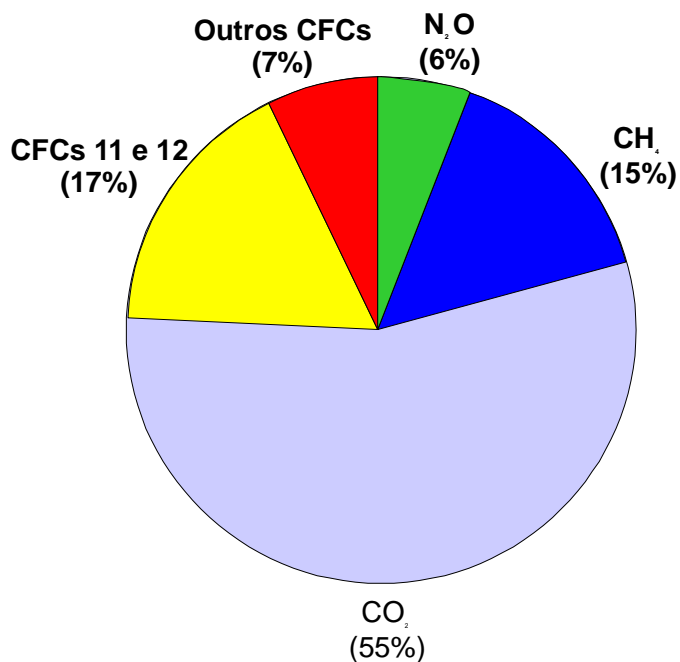
Os **gases de efeito estufa** são assim denominados porque o processo funciona exatamente como numa estufa coberta por vidro. O vidro deixa passar a radiação solar e impede a saída infravermelha emitida pela superfície do solo e pelo ar ali existente (figura 1).

**Figura 1**  
**"O EFEITO ESTUFA"**



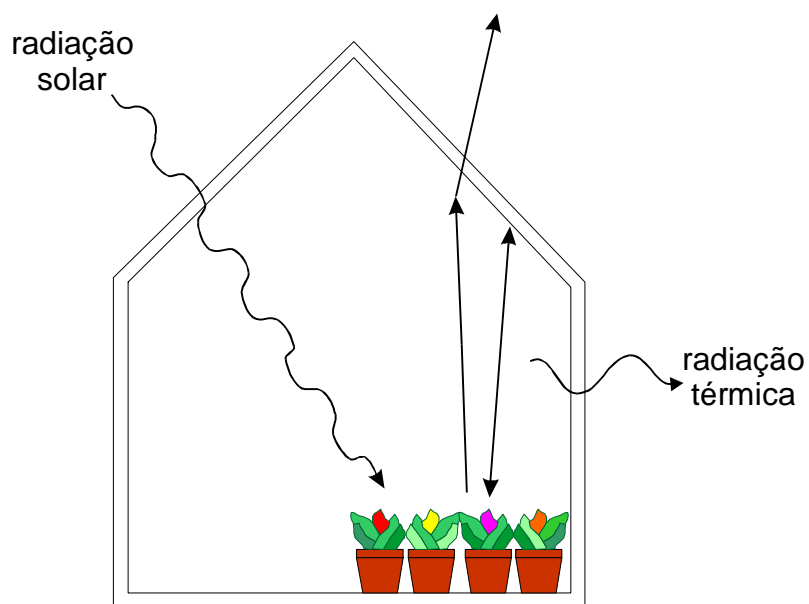
Entretanto, as intensas atividades humanas desenvolvidas no último século vêm colaborando cada vez mais para o aumento das concentrações desses gases de **efeito estufa**, provocando, assim, o que podemos chamar **de efeito estufa antrópico ou antropogenico isto é causado pela ação do homem**. Na figura 2 está esquematizado um balanço da radiação solar no planeta. A figura 3 mostra as contribuições de cada um dos gases de efeito estufa de origem antrópica.

*A contribuição de cada um dos gases do “efeito estufa antrópico” é indicada na Figura 2*



**Figura 2**

Efeito Estufa: é este fenômeno físico - o assim chamado “efeito estufa”- que explica porque o interior de um automóvel fica tão quente num dia ensolarado mesmo no inverno ou como os agricultores criam alface ou rosas no inverno (Figura 3).



**Figura 3**

## 2. O EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nos estudos relativos às mudanças climáticas decorrentes das alterações da composição química da atmosfera, existem fatos cientificamente comprovados e projeções baseadas em simulações matemáticas.

As observações mais importantes são:

Existe um aumento comprovado da concentração de **gás carbônico** na atmosfera desde a era pré-industrial, sendo que as duas principais fontes de emissão destes gases são a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Este incremento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre foi a primeira evidência científica de que as atividades humanas podem produzir e, estão produzindo efeitos globais e não apenas locais e regionais.

Existe um aumento na concentração de **metano** que, no mínimo, dobrou nos últimos três séculos. Produzido por decomposição anaeróbica em sistemas biológicos, o componente mais abundante do gás natural, o metano, é atualmente responsável por cerca de 20% do efeito estufa.

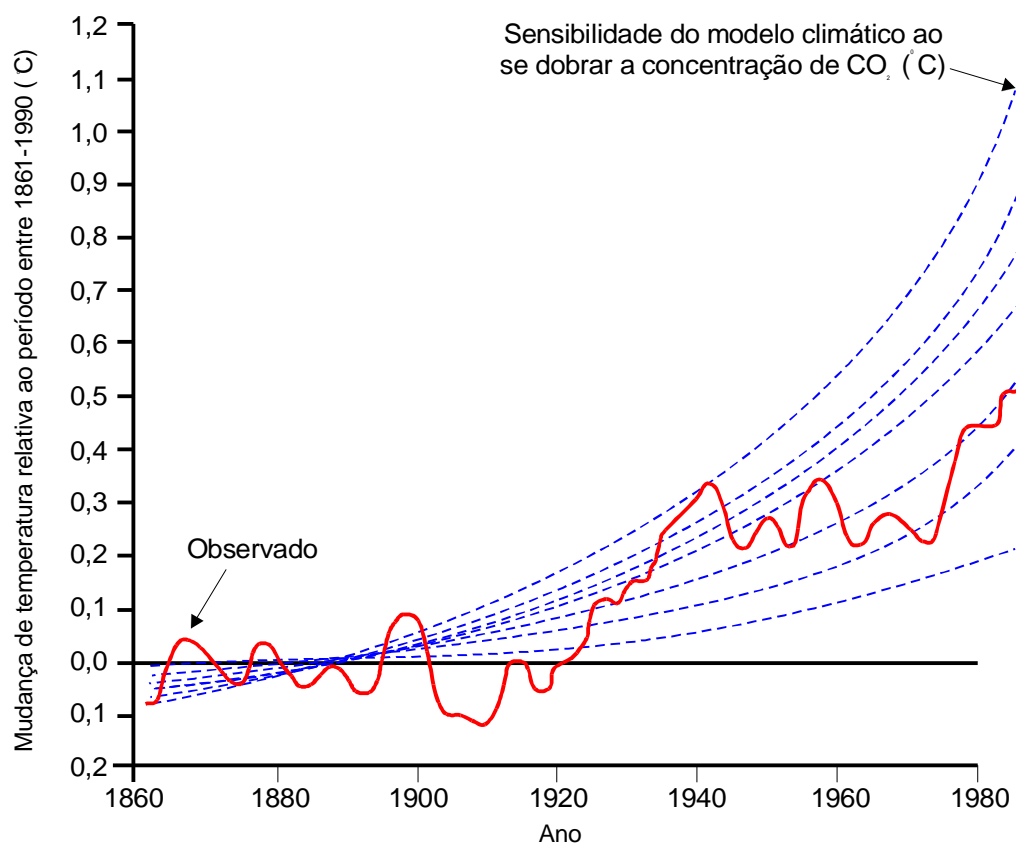
Existe um aumento de **óxido nítrico** na atmosfera terrestre da ordem de 5 a 10% desde a era pré-industrial.

Existe um aumento de gases denominados **clorofluorcarbonos** (CFCs) que foram emitidos para a atmosfera a partir deste século. Estes gases são utilizados, principalmente, em aparelhos de ar-condicionado e refrigeradores e como solventes. Embora suas concentrações sejam muito pequenas, a sua contribuição para o efeito estufa é 20 mil vezes maior que a do gás carbônico. A emissão destes gases, produtos da química industrial, têm aumentado muito rapidamente desde 1978. O controle das emissões destes gases está sendo feita através do Tratado de Montreal e inclusive o Brasil já está diminuindo as suas emissões.

Os fatos acima vieram demonstrar que as atividades humanas estão alterando a composição química da atmosfera e que os mecanismos naturais existentes para remoção dos mesmos não são suficientes para manter constante a composição da atmosfera e portanto a temperatura média da superfície da Terra.

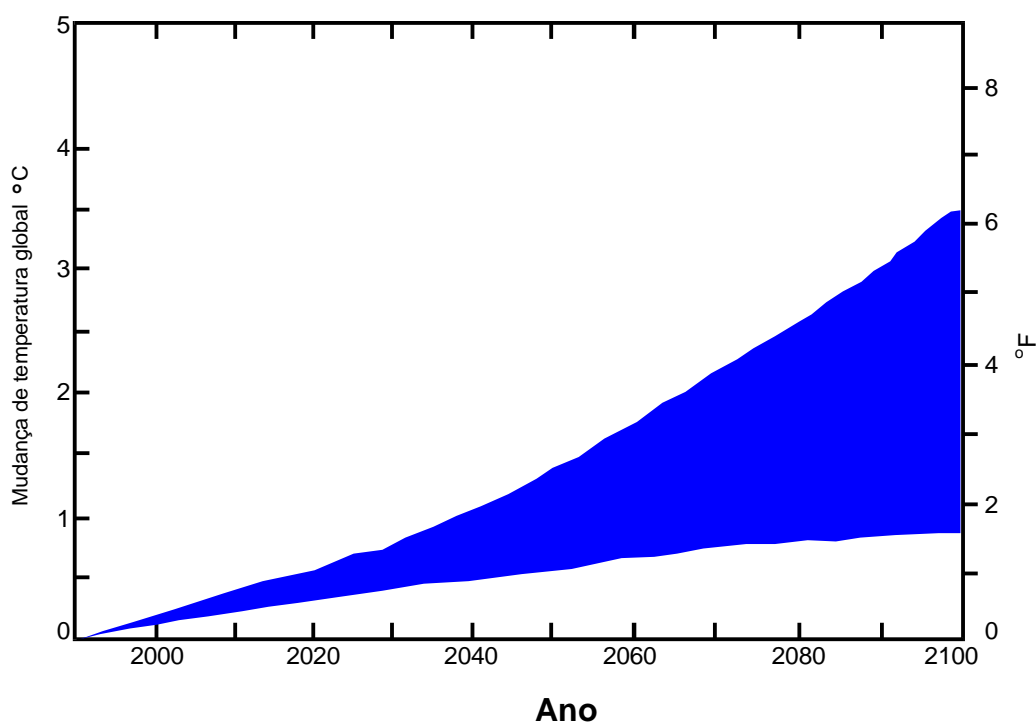
Os dados atuais indicam que no caso específico da emissão de CO<sub>2</sub> existe, atualmente, um acúmulo anual na atmosfera de aproximadamente 3,3 bilhões de toneladas de carbono, dos aproximadamente 8 bilhões emitidos por atividades antrópicas. Isto indica que o sistema planetário tem a capacidade de metabolizar apenas 59% do total das emissões.

As amostras de gelo, retiradas de diversas profundidades, da Antártida, que permitem uma regressão de até 100.000 anos, demonstraram que as concentrações de metano e CO<sub>2</sub> estavam diretamente relacionadas com a temperatura média do planeta naqueles períodos (Figura 4).

**Figura 4**

Existem evidências de que a temperatura do planeta aumentou nos últimos 100 anos, sendo que os valores observados indicam um acréscimo da ordem de 0,6°C, com aumento significativo a partir da década de 70 (figura 5).

Figura 5  
**Temperatura do globo terrestre - limites inferior e superior**



Esta figura mostra as mudanças globais médias observadas na temperatura para o período 1861-1989 comparadas com os valores previstos a partir de um modelo climático altamente simplificado, que indica o intervalo de incertezas das previsões dos modelos atuais.

Foi observado também um aumento de temperatura nos oceanos, sendo o valor encontrado para os primeiros 300m foi de 0,31°C e nos primeiro 3.000m de 0,06°C.

### 3. VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

As mudanças climáticas não são uma novidade no planeta Terra, que vem sofrendo alterações em decorrência de fatores astronômicos, tais como variação da intensidade da

energia emitida pelo Sol das oscilações dos parâmetros orbitais do planeta em torno do Sol e as variações das concentrações da composição química da atmosfera. As evidências científicas tem indicado que nos períodos inter-glaciais o aumento de temperatura está intimamente ligado com o ciclo do carbono, sendo que nos períodos de aquecimento as concentrações daquele gás também crescem.

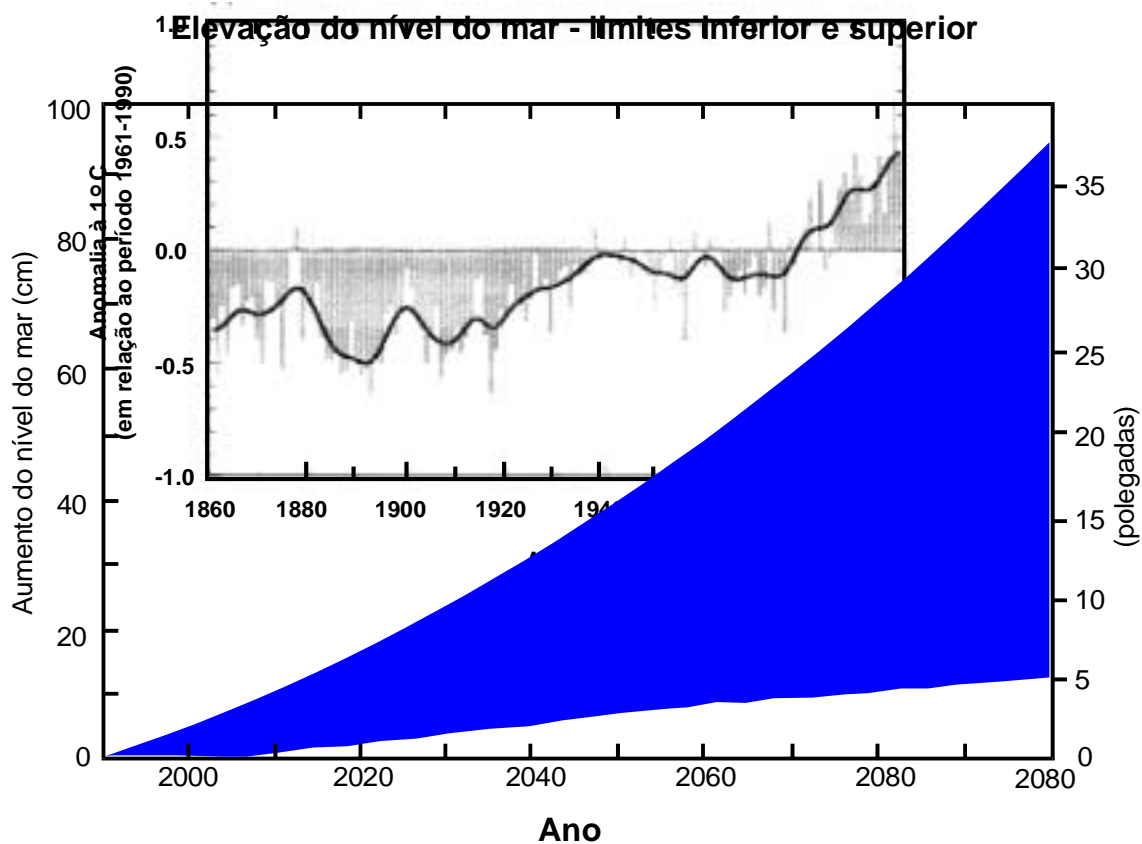
A melhor informação disponível sobre mudança climática global é a avaliação científica do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), criado conjuntamente pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e pelo Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP). Centenas de cientistas de dezenas de países tem participado dele. Além disso, outras centenas tem sido envolvidos no processo de avaliação. Em 1990, o IPCC publicou um primeiro relatório que é uma declaração investida da autoridade da comunidade científica internacional. Ele foi seguido por um suplemento em 1992 que atualizou, mas não mudou substancialmente, as conclusões do relatório original, que foi novamente atualizado em 1995 e mais recentemente o terceiro relatório publicado no ano 2000<sup>1</sup>.

Além das observações experimentais sobre as mudanças dos parâmetros que caracterizam o clima, utiliza-se a previsão a partir de modelagem do sistema climático. Assim, a medida que a atmosfera se aquece, a realimentação (mudança no vapor d'água, no gelo do mar, nas nuvens e nos oceanos) amplifica ou reduz o aquecimento levando a mudanças climáticas. As melhores ferramentas que temos para modelar o sistema climático são modelos matemáticos tridimensionais conhecidos como modelos de circulação geral (GCMs). Os GCMs são baseados em equações matemáticas que descrevem a dinâmica atmosférica e oceânica. Essas equações são resolvidas numericamente com computadores, utilizando uma grade tridimensional sobre o globo terrestre.

As resoluções típicas são de aproximadamente 250 km na horizontal e 1 km na vertical nos GCMs atmosféricos. Muitos processos físicos, como as nuvens, ocorrem numa escala espacial muito menor e, portanto, não podem ser determinados apropriadamente nem modelados explicitamente mas seus efeitos médios podem ser levados em conta. Em seu estado atual, esses modelos são razoavelmente grosseiros, o que resulta em incertezas consideráveis nas previsões de mudanças climáticas.

Pela simulação dos modelos climáticos, nos quais são consideradas diferentes concentrações dos gases de **efeito estufa**, demonstra-se que as atividades humanas também podem alterar as condições climáticas atuais. As modelagens matemáticas feitas atualmente por diferentes laboratórios, mostram-se coerentes com respeito aos valores globais, porém existem ainda divergências quando as mesmas são aplicadas para as áreas limitadas, ou seja, quanto aos efeitos regionais. A sensibilidade da modelagem matemática, está indicada na figura 6.

Os resultados obtidos através desses modelos, prevêem um aumento de temperatura entre 1,5 e 4,5°C, com a melhor estimativa de 2,5°C (figura 7). Embora aparentemente pequena, a variação de alguns graus centígrados na média da temperatura global pode implicar grandes oscilações climáticas, bastando lembrar que, no final da última glaciação, que cobriu de gelo grande parte dos continentes do Hemisfério Norte, há 18 mil anos, a



**Figura 7**

temperatura média do planeta era apenas 5°C abaixo da média atual.

Esse aumento, no entanto, não é uniforme, sendo maior nas altas latitudes e menor nas regiões equatoriais. Depende também do hemisfério considerado, sendo menor no Hemisfério Sul.

Outras alterações prováveis são as seguintes:

Diminuição da temperatura na estratosfera, camada atmosférica situada acima de 12.000m de altitude.

Aumento da precipitação média global, uma vez que o aumento da temperatura levará a um aumento da evaporação, havendo, pois, maior quantidade de água na atmosfera, levando a um aumento da precipitação em algumas regiões.

Aumento da temperatura na região do Pólo Norte durante o inverno. As temperaturas polares poderão, neste período, ser de até 10°C acima das atuais.

Aumento das precipitações nas altas latitudes do Hemisfério Norte.

Diminuição de água disponível no solo e aumento da temperatura nas áreas continentais durante o verão.

Aumento do nível médio dos oceanos, estimada em quase 100m até o ano 2080 (figura 8). Existem diversas previsões sobre a ocorrência de possíveis fenômenos catastróficos, como a ruptura de parte do gelo que cobre a Antártica, que poderia aumentar o nível do mar em mais de 5 metros a curto prazo.

### ***As previsões e a realidade***

As consequências mais dramáticas do efeito estufa são o aumento da temperatura média da superfície da Terra, a elevação do nível do mar. Contudo as variações verificadas até o presente são pequenas e difíceis de medir com a precisão necessária.

Há no entanto outras consequências que resultam do aquecimento global e que podem ser consideradas as “impressões digitais” deste fenômeno e que os cientistas estão tentando identificar antes mesmo que os efeitos mais óbvios e dramáticos mencionados acima sejam claramente estabelecidos

O IPCC é formado por centenas de cientistas do mundo todo que se dedicam ao estudo das mudanças climáticas.

O Terceiro Relatório do IPCC lista as principais destas “impressões digitais” como sendo as seguintes:

1. Uma redução de 10-15% na área do Oceano Ártico coberto de gelo na primavera e verão nas últimas décadas.
2. As geleiras alpinas e continentais se reduziram consideravelmente.

3. A cobertura de gelo nos lagos e rios do hemisfério se reduziram em 2 semanas no último período do século 20.
4. A espessura da camada de gelo do Ártico no verão e outono se reduziu em 40% no século 20 e 4 centímetros por ano no período 1958-1976
5. A década dos 90 foi a mais quente do milênio e 1998 ano mais quente. O aumento da temperatura do século 20 foi o maior dos últimos 100 anos.
6. A precipitação de chuvas aumentou em geral no hemisfério Norte em 0.1 a 1% por década. O mesmo ocorreu em geral nos oceanos tropicais. Eventos extremos de grandes precipitações estão se tornando mais frequentes.
7. Há um aumento na cobertura de nuvens de alguns por cento em latitudes média e altas desde o começo do século 20.

O Terceiro Relatório do IPCC foi mais longe que o primeiro ao afirmar que “existem novas e fortes evidências que a maior parte do aquecimento da Terra nos últimos 50 anos é atribuível às atividades humanas.