

# ARREFECENDO O AQUECIMENTO GLOBAL\*

Luiz Carlos Baldicero Molion\*\*

---

## INTRODUÇÃO

---

O Efeito-Estufa é a propriedade que a atmosfera terrestre tem de permitir que a maior parte da radiação solar chegue à superfície e impedir que a radiação térmica, emitida por esta, escape totalmente para o espaço exterior. Se não existisse o Efeito-Estufa, a temperatura média da superfície terrestre seria cerca de 18°C abaixo de zero, enquanto a observada é em torno de 15°C acima de zero, ou seja, o Efeito-Estufa é responsável por um aumento de 33°C. Portanto, o Efeito-Estufa é benéfico para o planeta, pois gera condições que permitem a existência da vida como se a conhece. A discussão atual não é, pois, sobre a existência do Efeito-Estufa, mas sim sobre sua possível intensifica-

ção e suas conseqüências para o clima do Globo.

Os principais gases atuantes no Efeito-Estufa são o vapor d'água (H<sub>2</sub>O), o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), os *freons* - compostos de clorofluorcarbono (CFC) - , óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o ozônio (O<sub>3</sub>), todos constituintes que se apresentam em concentrações extremamente pequenas na atmosfera. O mais importante e o mais ativo desses, o vapor d'água, é um gás que ocorre naturalmente, sua concentração é função da temperatura do ar, apenas, e varia de 1% a 4% por volume, em média, dependendo da região e das condições do tempo e clima. Em segundo lugar, aparece o CO<sub>2</sub> com concentração igual a 0,03% por volume, ou seja, cerca de 30 a 100 vezes inferior a do vapor d'água. A hipótese da intensificação do Efeito-Estufa baseia-se no fato de que, aumentan-

---

\* Recebido para publicação em 08 de abril de 1991.

\*\* Diretor presidente da Fundação para Estudos Avançados no Trópico Úmido -UNITROP -, Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do Amazonas e Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE.

O autor agradece aos Drs. Sérgio A. P. Figueiredo e Dimas A. da Silva, da Fundação para Estudos Avançados no Trópico Úmido - UNITROP - e também ao Prof. Dr. Richard Lindzen, do Center for Meteorology and Physical Oceanography do Massachusetts Institute of Technology - MIT -, Cambridge, MA, USA, pelo apoio recebido.

do as concentrações dos gases absorvedores de radiação térmica, mais calor fica aprisionado no sistema Terra-atmosfera e a temperatura do Planeta aumenta.

Nos últimos anos, têm sido propaladas previsões catastróficas de aquecimento do Planeta e elevação dos níveis dos mares devido à intensificação do Efeito-Estufa, resultante, em sua maior parte, do aumento das concentrações de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que é liberado principalmente pela queima de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, e, em menor grau, pela queima de biomassa. A intensificação do Efeito-Estufa tem sido defendida com tamanha veemência e extremismo por alguns cientistas, que passou a ser aceita como um dogma, mormente em meios científicos não especializados no assunto, o caminho inevitável que a humanidade terá de trilhar nas próximas décadas, caso não se resolvam as causas primárias responsáveis pelo problema: o aumento da população mundial e do consumo de energia, gerada através de meios que poluam a atmosfera. Recentemente, porém, foi tornada pública a incerteza envolvida na metodologia utilizada em tais previsões e um certo ceticismo começou a pairar sobre o dogma estabelecido. Antes, porém, de se disseminar o terror dos possíveis impactos que um Efeito-Estufa intensificado causaria no ambiente, há necessidade de se avaliar quão real é o perigo de sua ocorrência, se é que existe algum.

## PREVISÕES VERSUS OBSERVAÇÕES <sup>1</sup>

O único fato concreto e inquestionável na hipótese da intensificação do Efeito-Estufa é que as concentrações de CO<sub>2</sub> passaram de cerca de 280 partes por milhão (ppm), na metade do século passado, início da Era Industrial, para os atuais 350 ppm, um aumento de 25% ao longo dos 150 anos passados, para o qual os últimos 30 anos contribuíram de forma significativa, sendo responsáveis por 50% dessa variação. Daí a concluir que esse aumento de CO<sub>2</sub> já provocou um acréscimo na temperatura global é um passo muito grande e de difícil comprovação, devido à variabilidade natural que o clima apresenta!

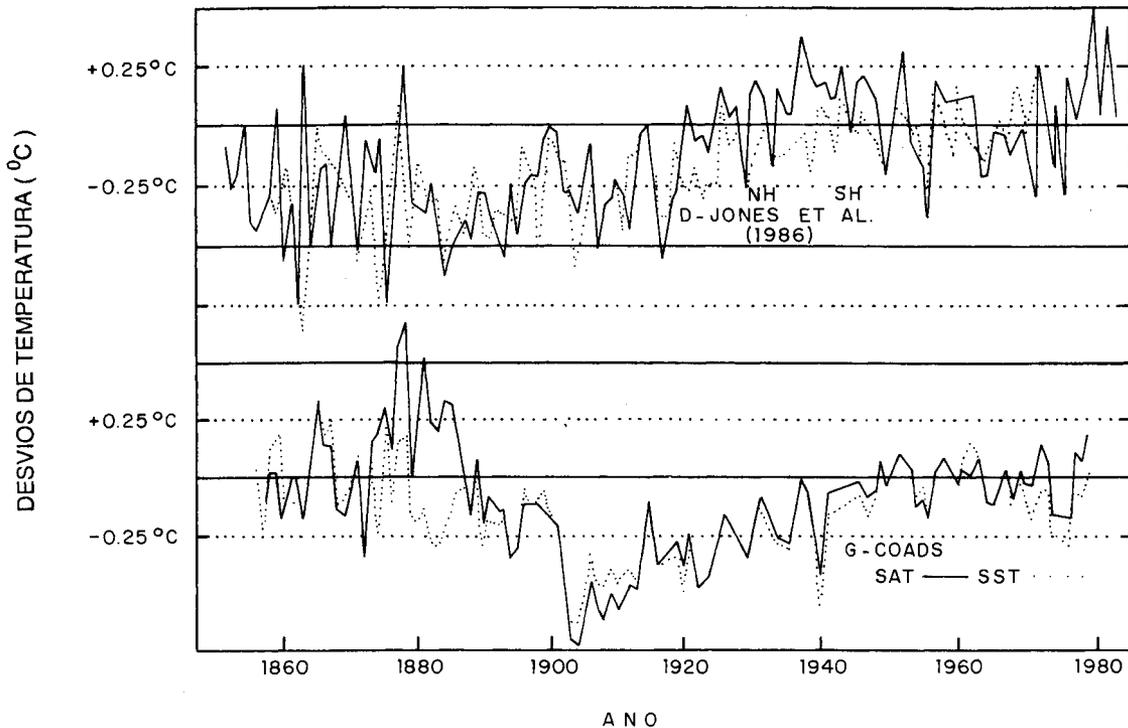
A hipótese atual estabelece que do carbono que é lançado na atmosfera através das atividades humanas, metade seja absorvida pelos oceanos e a outra metade fique na atmosfera. Presentemente, são lançadas cerca de 5,5 bilhões de toneladas por ano, contribuindo para um aumento de 0,4% em sua concentração atmosférica. Estima-se que, nesse ritmo, a concentração de CO<sub>2</sub> dobre por volta da metade do próximo século. As previsões de mudanças climáticas em função do aumento de CO<sub>2</sub>, feitas através de modelos matemáticos de simulação do clima global - MCG -, são catastróficas! Elas sugerem que, dobrando a concentração de CO<sub>2</sub>, a temperatura média do globo possa aumentar entre 1,5° e 5°C (National Research Council - NRC -, 1983) e que uma das consequências seria o degelo parcial das geleiras e calotas polares, aumentando os níveis dos oceanos entre 0,4 e 1,5 m, o que forçaria a relocação dos 60% da humanidade que vivem em regiões costeiras. Existem, porém, argumentos contrários a esse possível aumento e, como se verá mais abaixo, é bem provável que os atuais modelos matemáticos não sejam adequados para tais previsões, embora eles sejam, no presente, as únicas ferramentas disponíveis para esse tipo de estudo.

Conforme observado, a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou de 25% nos últimos 150 anos. Tal aumento já deveria ter causado um incremento na temperatura média do Globo entre 0,5° e 2,0°C, segundo os modelos. A razão para um incremento dessa magnitude, quando comparado ao esperado em face da duplicação de CO<sub>2</sub>, é que o efeito do aumento do gás no aquecimento é logarítmico, ou seja, à medida que a concentração do gás cresce, sua contribuição ao aquecimento diminui progressivamente. Há quem defenda, baseando-se em certo conjunto de observações, que a temperatura do ar aumentou de 0,5°C (e.g. Jones et al., 1988) e a da superfície dos oceanos de 0,6°C (NRC, 1984), desde o início do século.

A Figura 1, extraída de Elsaesser et al. (1986), mostra duas séries temporais para a temperatura de superfície. A parte superior apresenta os desvios, com relação média do período 1951-70, de todas as estações climatológicas terrestres do mundo, ponderada pela área de representatividade de cada estação, desde 1855. Na parte inferior, estão

<sup>1</sup> Lindzen, R. S. Some Coolness Concerning Global Warming. v. 71, 1990, ver Bibliografia.

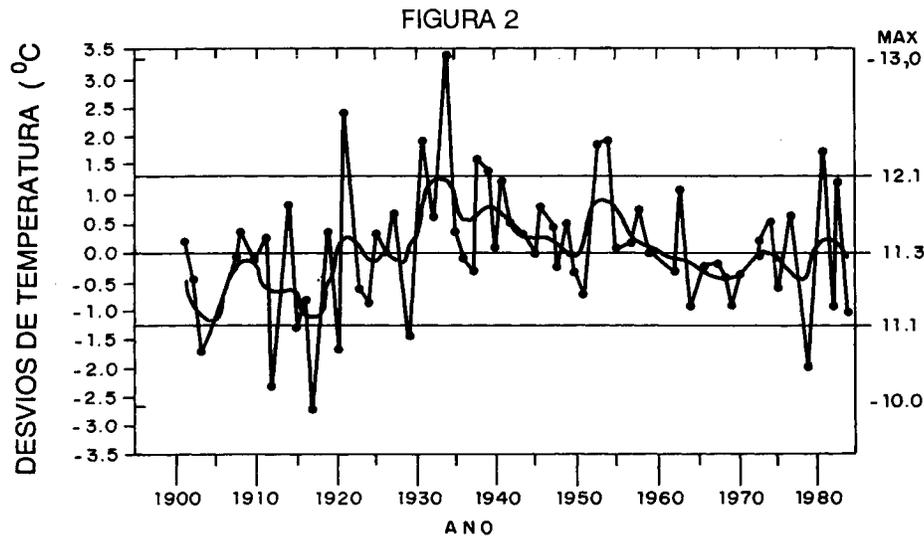
FIGURA 1



Acima desvios de temperatura média anual do ar, com relação ao período 1951-70, para todas as estações do globo. A curva sólida representa os dados do Hemisfério Norte e a pontilhada os do Hemisfério Sul. Abaixo desvios da temperatura média anual do ar (curva sólida) e da superfície do mar (pontilhada, com relação ao período 1951-70, dos dados coletados por navios (Elsaesser et al., 1986).

os desvios, com relação à média do mesmo período, de temperatura da superfície dos oceanos e do ar sobrejacente, obtidas por navios, também desde aproximadamente 1855. Observa-se que em nenhum dos registros existe indicação clara de mudanças significativas de temperatura, durante esse período em que o  $\text{CO}_2$  aumentou. Na Figura 2 (Karl et al., 1988) também têm-se desvios de temperatura do ar, só que com relação à média de todo o período de observações e apenas para as estações dos Estados Unidos continental. Também aqui não se notam mudanças expressivas. Nessa figura, porém, verifica-se que, entre 1920 e 1940, ou seja, quando as atividades industriais ainda eram de pequeno porte, houve um aumento de temperatura significativo, culminando, por volta de 1935, com valores máximos superiores aos valores mais recentes. O período subsequente, entre 1940 e 1960, apresentou um sensível declínio de temperatura, o que resultou em inúmeras publicações, co-

meço dos anos 70, que previam o retorno a uma nova era glacial. Esse registro sugere, ainda, que a escolha do período que é usado para se fazer a média, que servirá de referência para comparação de todo o período de observações, é crítica e pode introduzir vies nas análises. Por exemplo, na Figura 1 os desvios são com relação à média do período 1951-70, em que se observou um declínio da temperatura nos EUA. É claro que se, para o cálculo da média, houver inadvertidamente a escolha de um período em que as temperaturas estiveram mais baixas, a média de referência será mais baixa e, conseqüentemente, em certos períodos, a curva de desvios de temperatura pode apresentar tendências de aumento relativo, não representando a realidade. Em resumo, os dados observados, embora relativamente incertos, em face da dificuldade de se construir uma média representativa de todo o Globo, em princípio não permitem que se conclua que houve um aumento de  $0,5^\circ\text{C}$  ( $0,6^\circ\text{C}$ ) na tem-



Temperatura média do ar, ponderada pela área de representatividade, para os 48 estados americanos. A curva sólida representa uma média móvel de nove anos (Karl et al., 1988).

peratura média do ar (oceano) nos últimos anos, como querem alguns, em virtude da variabilidade natural do clima.

### Limitações dos Modelos de Simulação de Clima - MCG<sup>2</sup>

A Figura 3, extraída de Grotch (1988), mostra a distribuição latitudinal dos incrementos de temperatura, para o período do inverno do Hemisfério Norte (dez./fev.), previstos por quatro dos mais renomados modelos matemáticos, em função da duplicação do CO<sub>2</sub>. Observa-se que, para o Ártico, por exemplo, os modelos prevêm um incremento de 8° a 15°C. A Figura 4, reproduzida de Rogers (1989), mostra a média sazonal das anomalias de temperatura do ar observadas para o setor atlântico do Ártico, a partir de 1900. Na curva que representa o inverno (dez./fev.), vê-se claramente que o decréscimo de temperatura superou 2°C de 1930 até o presente. Ou seja, exatamente na região onde os modelos previram os maiores incrementos de temperatura, tem se observado o oposto!

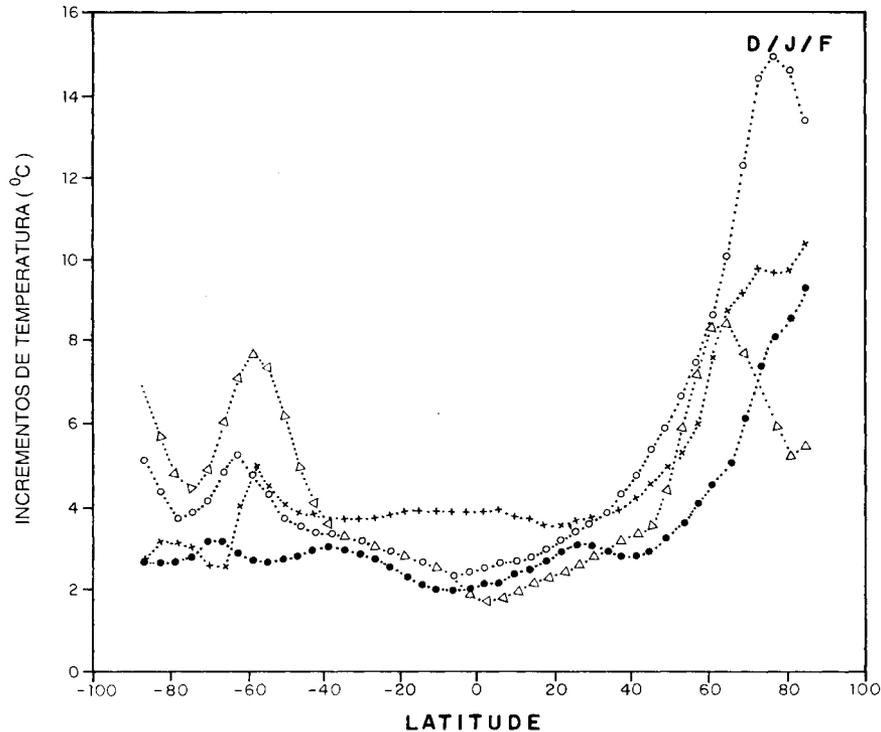
Quê existem sérios problemas com as simulações dos MCG não é segredo para a comunidade meteorológica. Os MCG comumente têm dificuldade em reproduzir as características mais importantes do clima atual, tais como temperatura média global, diferença de temperatura entre equador e pólo, a

intensidade e posicionamento das correntes de jato, se não for feito o que eufemisticamente é chamado de "sintonização" (Lindzen, 1990). Em outras palavras, os processos físicos, não resolvidos adequadamente pelo modelo, são "ajustados" forçando o modelo a reproduzir os dados "observados", que, por sua vez, possuem sérias limitações tanto no que se refere às observações propriamente ditas quanto aos esquemas de assimilação dos dados pelos modelos, i.e., a maneira como os dados são introduzidos nos modelos. Até mesmo variáveis básicas estão sujeitas a tais "ajustes". A radiação solar incidente à superfície, por exemplo, sofre ajustes consideravelmente maiores que 4 w<sub>m</sub>-2, que é o aumento esperado do fluxo de radiação térmica em direção à superfície, resultante de uma atmosfera com o dobro de CO<sub>2</sub>.

Nuvens, seus tipos, formas, constituição e distribuição tanto em altura como no plano horizontal, são outro processo físico mal simulado nos modelos. Nos modelos, aquecimento global tende a aumentar principalmente as nuvens estratiformes na alta troposfera. Ora, nuvens altas, mais tênues e constituídas em parte por cristais de gelo, tendem a aquecer o Planeta, pois permitem a passagem de radiação solar, mas absorvem a radiação térmica que escaparia para o espaço exterior, ou seja, intensificam o Efeito-Estufa, enquanto nuvens baixas, mais espessas, tendem a esfriá-lo, pois refletem mais radia-

<sup>2</sup> Lindzen, R. S. op. cit.,

FIGURA 3



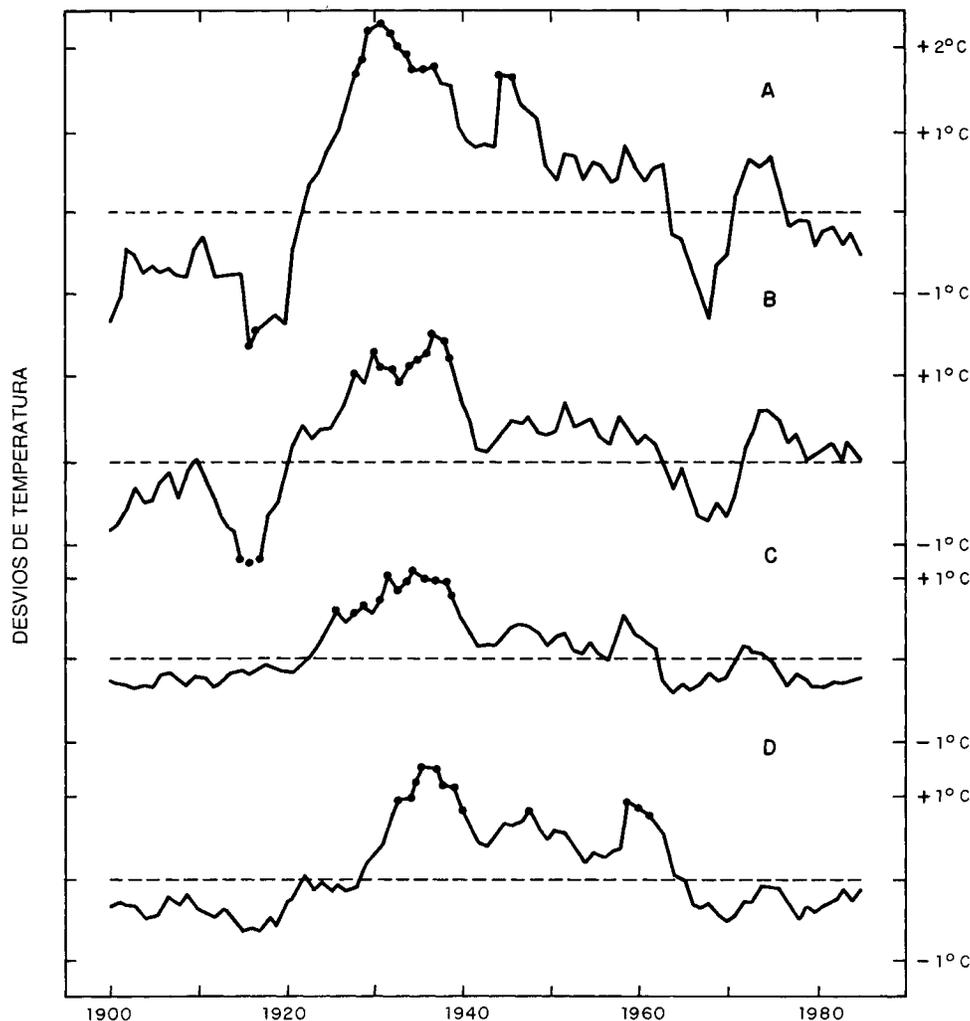
Distribuição zonal das medianas dos desvios de temperatura média do ar, previstos por quatro modelos sob a hipótese de duplicação da concentração de CO<sub>2</sub>, para o período dez./fev.. Os modelos são: CCM/NCAR ( - - ); GFDL (o - o - o); GISS (x - x - x) e Universidade de Oregon (o - o - o) (Grotch, 1988).

ção solar de volta ao espaço exterior (aumentam o albedo planetário). Portanto, se os modelos geram mais nuvens altas, estas tendem a realimentar (*feedback*) positivamente o sistema, exagerando no aquecimento. Pequenas alterações nos modelos podem causar variações dramáticas. Por exemplo, o modelo do Serviço Meteorológico Inglês previu um aumento de 5°C para o dobro de CO<sub>2</sub>. Recentemente, Mitchell et al. (1989) relataram que, apenas mudando o conteúdo de cristais de gelo de nuvens estratiformes, reduziu-se o aquecimento para menos de 2°C, ou seja, uma redução de 60%!

Outro problema sério de modelagem é a simulação do Ciclo Hidrológico e seu papel como termostato do sistema Terra-atmosfera. Na Natureza, a superfície e o ar adjacente tendem a ser resfriados por evaporação, pois este é um processo que consome grandes quantidades de calor. Mesmo sobre regiões continentais, havendo água disponível, a maior parte da radiação absorvida pela superfície é usada na evaporação e a fração restante aquece o ar. O vapor d'água tenderia a se concentrar próximo à superfície (camada limite atmosférica), porém, o ar úmido

e quente torna-se mais leve e é forçado a subir (convecção), formando nuvens do tipo cúmulo-nimbo (Cb) - nuvens de desenvolvimento vertical em forma de torres gigantes. À medida que a nuvem cresce, vai bombeando mais vapor da superfície, convertendo-o em água líquida, e liberando o calor que foi usado em sua vaporização. Dessa forma, toda a coluna atmosférica, de 2-3 km até, muitas vezes, 15-16 km de altitude, é aquecida. O excesso de calor nessas altitudes é dissipado através de emissão de radiação térmica para o espaço exterior e transporte de calor em direção aos pólos. Por causa disso, é nas altitudes acima de 5 km que a distribuição dos gases absorvedores de radiação térmica, particularmente o vapor d'água, passa a ser crucial para o Efeito-Estufa (Lindzen et al., 1982). Na Natureza, em princípio, o aquecimento tenderia a tornar a troposfera acima de 5 km mais seca, pois haveria um aumento da convecção (nuvens Cb), cujos movimentos descendentes compensatórios depositam ar seco nessas altitudes, pois toda umidade é condensada com a ascensão do ar. Os modelos, porém, tendem a aumentar a concentração de vapor

FIGURA 4



Médias de cinco anos das anomalias de temperatura do ar do setor atlântico do Ártico, para (a) inverno (dez./fev.); (b) primavera (mar./maio); (c) verão (jun./ago.); e (d) outono (set./nov.) (Rogers, 1989).

d'água em todos os níveis (Manabe e Wetherald, 1980). Com maior quantidade de vapor d'água nesses níveis, o *feedback* positivo e conseqüentemente o Efeito-Estufa são intensificados e os modelos tendem a produzir temperaturas de superfície mais elevadas. Convém mencionar que, se não existisse convecção e o resfriamento dependesse apenas da perda radiativa, o Efeito-Estufa, nos níveis baixos, seria sensivelmente intensificado e a temperatura de superfície alcançaria cerca de 72°C (Lindzen, 1990)! Entretanto, a convecção - que os modelos não simulam adequadamente - curto-circuita o Efeito-Estufa e não permite que a temperatura de superfície atinja valores elevados.

A discussão acima não esgota, de maneira alguma, os problemas de modelagem dos processos físicos e as possíveis fontes de erros nos MCG atuais. Porém, são suficientes para demonstrar que as previsões, feitas por eles, podem estar superestimadas e que, portanto, o terrorismo, decorrente de tais previsões, não tem fundamento sólido.

### A Amazônia e o Efeito-Estufa

A influência que florestas tropicais exercem sobre a composição química da atmosfera, e conseqüentemente sobre o Efeito-Estufa, ainda não é quantitativamente bem conhecida. Há evidências que as florestas sejam fon-

tes importantes de metano ( $\text{CH}_4$ ) e de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ); o  $\text{CH}_4$  é produzido pela decomposição de matéria orgânica nos lagos, pântanos e várzeas e o  $\text{CO}$  produzido principalmente pela queima de biomassa. Tanto  $\text{CO}$  como  $\text{CH}_4$  são oxidados através de diferentes processos catalíticos que envolvem óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), também resultante da queima de biomassa. Com grandes concentrações de  $\text{NO}_x$ , há a formação de ozônio ( $\text{O}_3$ ) troposférico; porém com baixas concentrações de  $\text{NO}_x$ , o  $\text{O}_3$  é destruído. Crutzen (1987) mostrou que as concentrações de ozônio, em toda sua distribuição vertical na troposfera, eram mais altas sobre os Cerrados do que sobre a Amazônia durante a estação seca. Ele atribuiu este fato ao grande número de queimadas que ocorrem nos Cerrados, com conseqüente produção fotoquímica de  $\text{O}_3$ , que seria transportado para a alta troposfera por nuvens cúmulos-nimbos e daí para outras partes do mundo através da circulação geral da atmosfera.

Para estudar a influência que a Floresta Amazônica exerce sobre a composição química da atmosfera e, portanto sobre o Efeito-Estufa, foram feitas duas campanhas do Experimento Troposférico Global/Experimento da Camada Limite Atmosférica sobre a Amazônia (GTE/ABLE-2) durante a estação seca, em julho-agosto de 1985 (Harriss et al., 1988), e outra durante o período chuvoso, em abril-maio de 1987 (Harriss et al., 1990).

Os resultados preliminares indicaram que a floresta é um sumidouro de ozônio troposférico e a região como um todo é uma fonte de metano e outros gases orgânicos. Um fato surpreendente dessa última campanha, relatado por Song Miao et al. (1990), foi o de as medições, feitas sobre a floresta, sugerirem uma absorção líquida de carbono, i.e., fotossíntese menos a respiração das árvores e dos solos, de 0,25 kg de carbono por hectare por hora ( $6 \text{ kgC ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). A título de exemplo, apenas para se ter uma idéia da magnitude desse número, se essa taxa de absorção de carbono fosse generalizada para todos os seus 550 milhões de hectares, a Floresta Amazônica estaria fixando uma quantia anual significativa de 1,2 bilhão de toneladas de carbono (Song Miao et al., 1990), ou seja, o equivalente a 20% do carbono que é liberado globalmente para a atmosfera através da queima de combustíveis fósseis, estimados hoje em 5,5 bilhões de toneladas por ano.

Embora essas medidas tenham sido cuidadosamente feitas e analisadas, elas somam somente 12 dias sem chuva e ensolarados no final da estação chuvosa, quando a floresta está bem suprida de água, podendo transpirar livremente. Por conseguinte, essas observações podem estar representando condições ótimas de absorção de carbono e, portanto, serem um limite superior de fixação de carbono pela floresta. Talvez tal absorção não se verificasse durante o ano todo e pode ser que, durante a estação seca, quando a floresta está submetida ao estresse hídrico, o balanço até possa ser negativo, de tal forma que, na média anual de longo prazo, o seqüestro de carbono pela floresta seja menor do que a taxa acima, medida em poucos dias. Os próprios autores chamaram atenção para esse fato, procurando possíveis razões e hipóteses que reduzissem a fixação observada. No entanto, os valores medidos ainda são bem inferiores aos obtidos na estação de crescimento das plantas fora das regiões tropicais.

Alguns cientistas criticam a hipótese de que a Floresta Amazônica possa estar atuando como um grande filtro, um dos controladores do Efeito-Estufa, por se fixarem em uma outra hipótese que afirma ter a floresta atingido seu clímax, i.e., um equilíbrio dinâmico no qual os ganhos de carbono por fotossíntese estariam sendo compensados pelas perdas por respiração. Esta hipótese, embora aparentemente lógica, é, na realidade, de mais difícil verificação que a primeira, pois não se conhece a variação da densidade de biomassa ao longo dos anos, e, portanto, embora a floresta não esteja aumentando territorialmente, não se pode afirmar que não esteja se tornando mais densa. Mesmo que não cresça, a floresta poderia estar atuando como um mecanismo de transferência de carbono para outros reservatórios, como solos e ecossistemas aquáticos, e os rios, por sua vez, levariam o carbono para os oceanos, onde seu tempo de permanência excede 1 000 anos. Richey (1989), por exemplo, estimou que o rio Amazonas, em Óbidos, transporta anualmente cerca de 32 milhões de toneladas de carbono para o oceano. Essa taxa, porém, pode representar apenas parte do carbono que estaria sendo seqüestrado e incorporado ao bioma, aos solos e aos ecossistemas aquáticos. Long et al. (1989), por exemplo, relataram resultados de experimento em várzea amazônica onde

uma gramínea (*canarana*) apresentou uma produtividade primária líquida equivalente a 50 toneladas de carbono por hectare por ano. Novamente, a título de exemplo, apenas para se sentir a possível dimensão desse número, admitindo-se que as gramíneas dos cerca de 25 milhões de hectares de várzeas amazônicas apresentassem a mesma produtividade, resultaria num fluxo anual equivalente a 1,2 bilhão de toneladas de carbono. Bringel et al. (1990) estudaram a composição química dos sedimentos do fundo de 29 lagos da Amazônia Central, onde as condições anóxicas dificultam a decomposição da matéria orgânica, aprisionando o carbono. Desses lagos, 15 estão localizados na bacia do rio Negro e seus sedimentos apresentaram, em média, 4% de matéria orgânica, com 60% de carbono. Walker (1990) estimou que a produção de serrapilheira da floresta de igapó é de 5 a 7 toneladas por hectare por ano e que, na época de inundação, o peso dos sedimentos, incluídas areia fina e argila, varia entre 4,3 e 8,2 toneladas por hectare dependendo da profundidade da água no igapó. Infelizmente, não há estimativas da quantidade de carbono incorporado anualmente aos ecossistemas aquáticos. Porém, mesmo que essa quantidade seja relativamente pequena por unidade de área, ela não pode ser simplesmente desprezada, uma vez que os ecossistemas aquáticos cobrem uma área grande, estimada em 4% a 5% dessa imensa bacia sedimentar. Uma evidência disso é o fato de a Amazônia apresentar um volume estimado de 15 a 20 bilhões de metros cúbicos de turfa, correspondente a 85% do total brasileiro (Suszczyński, 1982). Para muitos, a turfa é considerada uma fonte de energia renovável, uma vez que se forma em tempo relativamente curto. Há, ainda, indícios de incorporação de carbono por outras florestas tropicais (Lugo, 1990). Em resumo, é possível que a transferência de carbono, da atmosfera para os ecossistemas amazônicos, não seja um fluxo desprezível com relação ao total liberado anualmente pela queima de combustíveis fósseis.

Se de um lado a floresta possa estar atuando como um grande absorvedor de carbono, por outro sua destruição e queima contribuiriam para aumentar as concentrações de CO<sub>2</sub> e outros gases na atmosfera e, conseqüentemente, intensificar o Efeito-Estufa. Durante a estação seca de 1987, Setzer et al. (1988), usando imagens de satélites de órbi-

ta polar, estimaram em 20 milhões de hectares a área queimada na Amazônia, dos quais no mínimo 40% teriam sido florestas naturais. De acordo com esses autores, as queimadas liberaram, naquele ano, 600 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera, ou seja, aproximadamente 10% de toda a produção mundial. Atualmente, é estimado que a queima de biomassa globalmente produza 1,2 bilhão de toneladas de carbono por ano e que a contribuição brasileira seja, em média, 540 milhões de toneladas por ano (WRI, 1990). Estas estimativas podem ser muito superiores à liberação real, pois existe uma grande incerteza nesse aspecto, conforme pode ser apreciado a seguir.

A liberação de carbono pela queima depende de quatro fatores: a porcentagem de carbono na biomassa, a taxa anual de desmatamento, a densidade da floresta e a eficiência na liberação de carbono pela queima de biomassa. A porcentagem de carbono nas árvores é tomada, por consenso, igual a 50%. Até recentemente, havia grande discordância quanto às taxas de desmatamento na Amazônia Brasileira. Myers (1989) projetou em 5,0 milhões de hectares e o WRI (1990) em 8 milhões de hectares o desmatamento anual, enquanto Fearnside et al. (1990) apontaram para um desmatamento anual médio de 2,1 milhões de hectares. Uma revisão da literatura existente mostra que a densidade da floresta apresenta números variando de 180 toneladas por hectare a 730 toneladas por hectare e que a eficiência de liberação de carbono pela queima pode variar entre 20% e 100%. Multiplicando-se os valores extremos, obtêm-se taxas de liberação anual de carbono que podem variar de um mínimo de 38 milhões de toneladas a um máximo de 1 825 milhões de toneladas, ou seja, de um fator 48! Além da porcentagem de carbono na biomassa, hoje conhece-se bem a taxa média anual de desmatamento da Amazônia Brasileira, levantada através de imagens de satélites, que é igual a 2,1 milhões de hectares (Fearnside et al., 1990). Porém, ainda existe grande incerteza nas outras duas variáveis, que ainda resultaria em um fator 20 entre os valores mínimo e máximo computados. Tal incerteza é totalmente inaceitável diante das acusações que o Brasil vem sofrendo ultimamente e da aprovação de um possível imposto sobre liberação de carbono para a atmosfera.

É possível, porém, que a contribuição das queimadas na Amazônia para o aumento

da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera seja relativamente insignificante. Segundo Fearnside et al. (1990), a área total desmatada da Amazônia Brasileira é cerca de 40 milhões de hectares. Tomando-se uma densidade de biomassa igual a 300 toneladas por hectare (Brown, 1990) e admitindo-se, na pior das hipóteses, que não houve crescimento vegetal algum (fixação de carbono) nas áreas desmatadas, a transformação da floresta para outros usos da terra teria contribuído com cerca de 3 bilhões de toneladas de carbono para aumentar a concentração atmosférica, i.e., 2,1% da contribuição global ao longo dos últimos 150 anos, e 0,4% do total presente na atmosfera. Convém recordar que essa quantidade é a que toda humanidade libera hoje, em apenas um ano de atividades! Nos 550 milhões de hectares de floresta restante, incluídos todos os países amazônicos, estima-se um armazenamento de biomassa equivalente a 82 bilhões de toneladas de carbono, que, se liberados integralmente para a atmosfera sem refixação, aumentariam a concentração de CO<sub>2</sub> em cerca de 20 partes por milhão (ppm), ou seja, menos de 6% da concentração mundial, estimada em 350 ppm atualmente.

Resumindo, em princípio, o desmatamento da Amazônia poderia estar contribuindo para o aumento do Efeito-Estufa de duas maneiras: primeiramente, através da queima de biomassa, cujo total não é tão expressivo quando comparado à queima de combustíveis fósseis por países do Primeiro Mundo; em segundo lugar, destruindo a vegetação, na hipótese de esta estar transferindo carbono para outros reservatórios. Espera-se que tenha ficado claro, ao longo da discussão, que ainda existe muita incerteza quanto aos números apresentados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento que se tem presentemente sobre o clima - sua variabilidade, de curto e longo prazos, e os processos físicos que o controlam - e sobre a influência que ações humanas possam ter sobre ele não justifica que a hipótese da intensificação do Efeito-Estufa e as possíveis catástrofes conseqüentes sejam tratadas de forma dogmática. O único fato concreto é que a concentra-

ção de gás carbônico aumentou em cerca de 25% nos últimos 150 anos. Porém, ainda não existe conhecimento suficiente para estabelecer se o propalado aumento de temperatura seja conseqüência ou causa do acréscimo de CO<sub>2</sub>. Por exemplo, Hensen et al. (1989) relataram que a umidade na troposfera tropical aumentou nos últimos 20 anos. Se por alguma razão natural, desconhecida, o vapor d'água aumentar em concentração, como ele é o gás mais importante no Efeito-Estufa, esse aumento causaria uma intensificação do Efeito e, conseqüentemente, um incremento de temperatura. Ora, é sabido que para um incremento de 1°C na temperatura do ar há um aumento de 4% na pressão parcial do CO<sub>2</sub>, o que modificaria o fluxo de CO<sub>2</sub> com respeito aos oceanos possivelmente diminuindo *temporariamente* sua transferência da atmosfera para os oceanos.

O aquecimento provocado pela duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> e as catástrofes conseqüentes provêm de previsões feitas com modelos matemáticos de simulação do clima que são ainda muito simplificados com relação à realidade física do sistema Terra-atmosfera e, portanto, não são adequados para tais previsões. Há a necessidade de se melhorar sensivelmente as parametrizações de processos físicos nos modelos, em particular o Ciclo Hidrológico e as nuvens. Os modelos acoplados de oceano-atmosfera devem urgentemente ser aprimorados para que simulem melhor a dinâmica dos oceanos, o papel dos oceanos no armazenamento de calor e a interação oceano-atmosfera, pois os oceanos constituem 71% da superfície terrestre e são um dos fatores fundamentais no controle do clima.

Na modelagem do Ciclo do Carbono existem grandes incertezas quanto ao papel dos oceanos, da geosfera e biosfera tanto com relação à quantidade de carbono armazenada quanto aos fluxos de carbono entre a atmosfera e esses reservatórios. Das cerca de 5,5 bilhões de toneladas de carbono por ano que as atividades humanas liberam na atmosfera, estima-se que 3 bilhões fiquem armazenadas na atmosfera e outras 1,6 bilhão sejam absorvidas pelos oceanos (Tans et al., 1990), que é um fluxo pequeno para se fechar o balanço. Portanto, ou o fluxo atmosfera-oceano está muito subestimado ou os ecossistemas terrestres, incluída a Floresta Amazônica, estão atuando como um sumidouro maior do que se calculara anteriormente. Na hipótese do equilíbrio, a troca de car-

bono entre a biosfera e a atmosfera, por exemplo, corresponde a um fluxo estimado em 56 bilhões de toneladas de carbono por ano. Um erro de 10% nesse fluxo, perfeitamente aceitável em virtude da falta de dados adequados para tais estimativas, seria equivalente ao total de carbono que é liberado para atmosfera anualmente pelas atividades humanas. Por outro lado, Goudriann e Unsworth (1990) sugerem que os fluxos não estejam equilibrados e que um crescimento de 0,4% na concentração anual do CO<sub>2</sub> atmosférico estimularia uma armazenagem adicional de carbono na biosfera terrestre de cerca de 0,2%, equivalente a 4 bilhões de toneladas de carbono. Mas como a biosfera apresenta um atraso na resposta à fertilização de CO<sub>2</sub>, esse aumento de biomassa líquido estaria, provavelmente, entre 1,0 e 2,5 bilhões de toneladas de carbono por ano que, dadas as incertezas, são números próximos do necessário para se fechar o novo balanço com os fluxos oceânicos recém-publicados. Nessas circunstâncias, e considerando ainda sua extensão e o fato de poder produzir durante o ano todo, o seqüestro anual de 1,2 bilhão de toneladas de carbono pela Floresta Amazônica, transferindo-o para os solos e ecossistemas aquáticos, não parece um número absurdo. Em outras palavras, a Amazônia pode estar atuando como controlador do Efeito-Estufa. Sob essa hipótese, a responsabilidade de uma exploração racional da região aumenta, pois a destruição de seus ecossistemas, além de acarretar a perda da grande biodiversidade e a degradação do ambiente local, teria um impacto global, colaborando para uma mudança mais rápida da composição química da atmosfera. Na liberação de carbono pela queima de biomassa de florestas tropicais também há grandes incertezas quanto aos fatores envolvidos, ou seja, taxa de desmatamento, densidade de biomassa e eficiência da queima. É necessário que essas variáveis sejam estimadas com maior acurácia, se se quiser entender a influência que a queima de biomassa tem na modificação da atmosfera global. Se a Floresta Amazônica, que constitui 45% das florestas tropicais do mundo, fosse integralmente queimada e o carbono armazenado liberado para a atmosfera, as estimativas, com os números presentes, sugerem que o aumento de CO<sub>2</sub> seria inferior a 6% de sua concentração atmosférica atual. Se isso for com-

provado, a destruição e queima das florestas tropicais contribuiriam modestamente para a esperada duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> e para as conseqüentes catástrofes.

Se há argumentos em favor de um aumento da temperatura média global causado pelo acréscimo de CO<sub>2</sub>, há também bons argumentos em favor de um possível resfriamento, que já poderia estar ocorrendo, em face da aproximação de uma nova era glacial. No último milhão de anos, a Terra passou por nove glaciações, com duração de cerca de 100 mil anos cada uma, intercaladas por períodos mais quentes de 10 a 15 mil anos de duração. As glaciações são causadas por mudanças nos parâmetros orbitais da Terra e, como conseqüência, o clima tem estado mais frio que o presente em 90% do tempo. Ora, a última era glacial terminou a cerca de 15 mil anos atrás e, portanto, o atual período interglacial estaria prestes a findar. Sob essas considerações, parece ser mais lógico que o Planeta, num futuro próximo, mergulhe em uma nova era glacial do que num aquecimento.

O principal aspecto das possíveis mudanças climáticas provocadas pelas atividades humanas não reside na comprovação acadêmica de um Efeito-Estufa intensificado ou um "Buraco de Ozônio" alargado e sim na capacidade que o homem adquiriu de fazer grandes transformações no ambiente em curto espaço de tempo. O sistema Terra-atmosfera é complexo e o avanço do conhecimento científico é lento e pode levar muito tempo para esclarecer se as atividades humanas interferem ou não no clima. E, quando isso acontecer, talvez seja tarde demais para reverter a situação! É fundamental, pois, que sejam tomadas medidas para controlar a transformação acelerada que o ambiente está sofrendo. Tais medidas, porém, não devem ser tomadas sobre falsas bases científicas, que apregoam o catastrofismo, e sim em função da incerteza que se tem hoje sobre os impactos que o homem inadvertidamente estaria causando ao ambiente. É bom reafirmar que qualquer solução, que se proponha a salvar o planeta Terra da destruição, passa necessariamente por um controle do crescimento populacional, é claro, associado a práticas de conservação e desenvolvimento de novas tecnologias para produção de alimentos e de energia.

## BIBLIOGRAFIA

- BRINGEL, S.R.B. et al. *Sedimentos de Lagos de Várzeas na Amazônia Central: matéria orgânica e pigmento total*. 1990. pte. 1, (não publicado).
- BROWN, F. Anotações pessoais. 1990.
- CRUTZEN, P.J. Role of the Tropics in Atmospheric Chemistry. In: THE GEOPHYSIOLOGY OF AMAZONIA. [s.l.], R.E. Dickinson. [19--]. p.107-132
- ELLSAESSER, H.W. et al. Global Climatic Trends as Revealed by the Recorded Data. *Revue de Geophysique*. n. 24, p. 745-792, 1986.
- FEARNSIDE, P.M. et al. *Deforestation Rate in Brazilian Amazonia*. São José dos Campos, São Paulo: INPE, 1990.
- GLACIERS, Ice Sheets and Sea Level; Effect of a CO<sub>2</sub> - Induced Climatic Change: Report of a Workshop Held in Seattle, Washington, september 13-15, 1984. Washington, DC.: National Research Council, (1985). 330 p. (DOE/ER/60235-1).
- GOUDRIANN, J. ; UNSWORTH, M. H. *Implications of Increasing Carbon Dioxide and Climate Change for Agricultural Productivity and Water Resources*. Madison, WI. 1990. (ASA Special Publication, 53).
- GROTCH, S.L. *Regional Intercomparison of General Circulation Model predictions and Historical Climate Data*. Springfield, Va. NTIS/Department of Commerce, 1988.
- HARRISS, R.C. et al. The Amazonas Boundary Layer Experiment - ABLE-2A: Dry Season. *Journal of the Geophysics Research*. v. 93, n.2, p. 1351-1378, 1988. (Série D).
- \_\_\_\_\_. The Amazonas Bondary Layer Experiment - ABLE-2B: Wet Season. *Journal of the Geophysics Research*. v. 95, n.10, 1990. (Série D).
- JONES, P.D. et al. Evidence of Global Warming in the Past Decade. *Nature*. London, n. 332, p. 790, 1988.
- KARL, T.R. et al. *Time Series of Regional Season Averages of Maximun, Minimum and Average Temperature and Diurnal Temperature Range Across the United States: 1901-1984*. Ashville, NC: National Climatic Data Center, 1988. 107 p.
- LINDZEN, R.S. Some Coolness Concerning Global Warming. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Easton, PA, v. 71, n. 3, p. 288-299, 1990.
- \_\_\_\_\_. et al. The Role of Convective Model Choice in Calculating Climate Impact of Doubling CO<sub>2</sub>. *Journal of Atmospheric Science*. Lancaster, PA, n. 39, p. 1189-1205, 1982.
- LONG, S.P. et al. Primary Productivity of Natural Grass Ecosystems of the Tropics: a reappraisal. *Plant and Soil*. Netherlands, n. 115, p. 155-166, 1989.
- LUGO, A.E. Comunicação Pessoal. 1990.
- MANABE, S.; WETHERALD, R.T. On the Distribution of Climate Change Resulting from Increase in CO<sub>2</sub> Content of the Atmosphere. *Journal of Atmospheric Science*. Lancaster, PA, n. 37, p.99-118, 1980.
- MITCHELL, J.F.B. et al. CO<sub>2</sub> and Climate: a missing feedback? *Nature*. London, n. 341, p. 132-134, 1989.
- MYERS, N. *Deforestation Rates in Tropical Forest and Their Climatic Implication: a friend of the earth report*. London: V.K., 1989.
- RICHEY, J. E. Comunicação Pessoal. 1989.
- PROCEEDINGS of the Thirteenth Annual Climate Diagnostic Workshop. USA: NOAA/NTIS, Department of Commerce. p. 170. 1989.
- SETZER, A.W. et al. Relatório de Atividades do Projeto IBDF/INPE - "SEQE" - 1987: INPE 4534 - RPE/565. São José dos Campos, SP.: INPE, 1988. 48, 17, 8, 17 p. (INPE; 4534).
- SONG MIAO, F. et al. Atmosphere-biosphere Exchange of CO<sub>2</sub> and CO<sub>3</sub> in the Central Amazon Forest. *Journal of Geophisycs Resources*, [s.1.], v. 95, n. 10, p. 16.851-16.864, 1990. (Série D).
- SUSZCZYNSKI, E.F. Turfa: novo combustível nacional. *Energia: fontes alternativas*. São Paulo, n. 20, p. 6-61, 1982.

- TANS, P. P. et al. Observational Constraints on the Global Atmospheric CO<sub>2</sub> budget. *Science*. Washington, v. 247, n. 4949, p. 431-438, 1990.
- WALKER, I. Ecologia e Biologia dos Igapós e Igarapés. *Ciência Hoje*. São Paulo, v. 11, n. 64, p. 44-53, 1990.
- WORLD Resources 1990-91: a guide to the global environment. New York: World Resources Institute: Oxford University Press. 1990.

#### RESUMO

Discutem-se criticamente o conhecimento atual que se tem sobre o Efeito-Estufa, sua possível intensificação e influência no clima e algumas das limitações dos modelos matemáticos de simulação de clima, responsáveis pelas previsões catastróficas, decorrentes de sua intensificação. Comenta-se, também, sobre o papel que o desmatamento da Floresta Amazônica possa ter sobre o Efeito-Estufa.