

Repercussões globais, regionais e locais do aquecimento global

Lucí Hidalgo Nunes

Instituto de Geociências – Unicamp

Correio eletrônico: luci@ige.unicamp.br

Resumo

A comunidade científica tem assinalado fortemente que importantes mudanças climáticas já estariam em curso no planeta. Todavia, deve-se ter em mente que alterações constantes são uma característica primária do planeta, registradas ao longo de toda a sua história. Assim, o ponto central da discussão atual sobre mudanças climáticas é a forma em que as atividades humanas têm modificado o equilíbrio planetário, incluindo alterações nos processos e em suas velocidades. O artigo discute brevemente como o atual aquecimento da atmosfera poderia estar superimposto às variações naturais. Avalia, também, o papel da tecnologia, que têm altos custos e é limitada em seus propósitos. Ainda, reforça que os modelos revelam um cenário dramático num futuro próximo. Estas questões são exemplificadas no artigo pela análise de como mudanças no uso da terra têm afetado os processos atmosféricos em diferentes escalas (global, regional a sub-regional e local).

Palavras-chave

Aquecimento global – alterações climáticas.

Terra Livre	São Paulo	Ano 19 - vol. I - n. 20	p. 101-110	jan/jul. 2003
-------------	-----------	-------------------------	------------	---------------

Introdução

Talvez o aspecto mais marcante do planeta Terra seja a sua dinâmica, ocorrente em todos os sistemas, ainda que em ordens de grandeza diferenciadas. Este fato é particularmente presente nos processos atmosféricos.

Em associação a essa dinâmica natural, está a capacidade humana em perturbar o sistema ambiental, evidenciada de modo incontestável nas últimas décadas, alterando o equilíbrio físico-químico do planeta, a superfície e a velocidade dos processos.

Essa modificação do ambiente global tem se dado de forma abrupta, ainda que os processos envolvidos sejam apenas parcialmente entendidos. Não se distinguem claramente as alterações antropogênicas daquelas de ordem natural (IPCC, 2001). Não se sabe, sequer, o quanto não se sabe.

É uma situação sem precedentes, pois é esperado que em uma geração o ambiente que sustenta a vida e os processos físicos vigentes mude mais rapidamente do que em qualquer outro período da história humana.

Essa alteração se dá de forma desigual, imprimindo tendências localizadas, que retem o modelo de desenvolvimento econômico e padrões de ocupação do espaço definidos em macroescala, mas cujas repercussões são mais claramente sentidas no nível local (Nunes, 2002b).

Uma série de fatos “comprovam mudanças significativas nas características climáticas em macro, meso e micro-escalas...” (Conti, 2000, p. 17). Assim, na seqüência, são apresentadas algumas informações gerais em três níveis escalares (zonal, regional a sub-regional e local) e como as transformações no ambiente têm repercutido no clima nesses níveis. Embora os controles atmosféricos de cada escala sejam distintos, os vários níveis escalares estão interligados, afetando-se indistintamente.

O nível zonal

A manutenção das formas animadas e inanimadas no planeta depende da constância do fluxo de energia que entra e sai do sistema, conhecido por balanço de radiação.

Qualquer superfície irradia calor, mas o comprimento de ondas e o fluxo de radiação dependem da temperatura absoluta do corpo que emite. O sol, cuja temperatura é de 6.000K (cerca de 5.700°C), emite entre 0,2 e 10 micrômetros, enquanto que a Terra (288K, 15°C), entre 4 e 50 micrômetros. Ademais, sendo a quantidade de radiação proporcional à 4ª potência da temperatura absoluta do corpo radiante, o sol emite muito mais do que a Terra. Estima-se que a quantidade de energia emitida pelo sol que é interceptada pelo planeta corresponda a menos de 1 sobre 2 bilionésimos do total. Embora ínfima em relação ao total emitido pelo sol (56×10^{26} cal/min), essa energia é o que permite a manutenção do nosso planeta (McKnight, 1996).

A quantidade de energia que chega do sol é chamada de constante solar, apesar de ela ter variações. A ciclicidade de 11 anos é a mais regular, mas apresenta alterações na escala de 80 anos ou mais. No início do século XVII, por exemplo, ela quase desapareceu, estando

associada à fase mais forte da “pequena idade do gelo”. Mudanças na translação e rotação da terra, na escala de milhares a milhões de anos, também afetam a forma como a energia solar é distribuída no tempo e no espaço (Ciclo de Milankovitch).

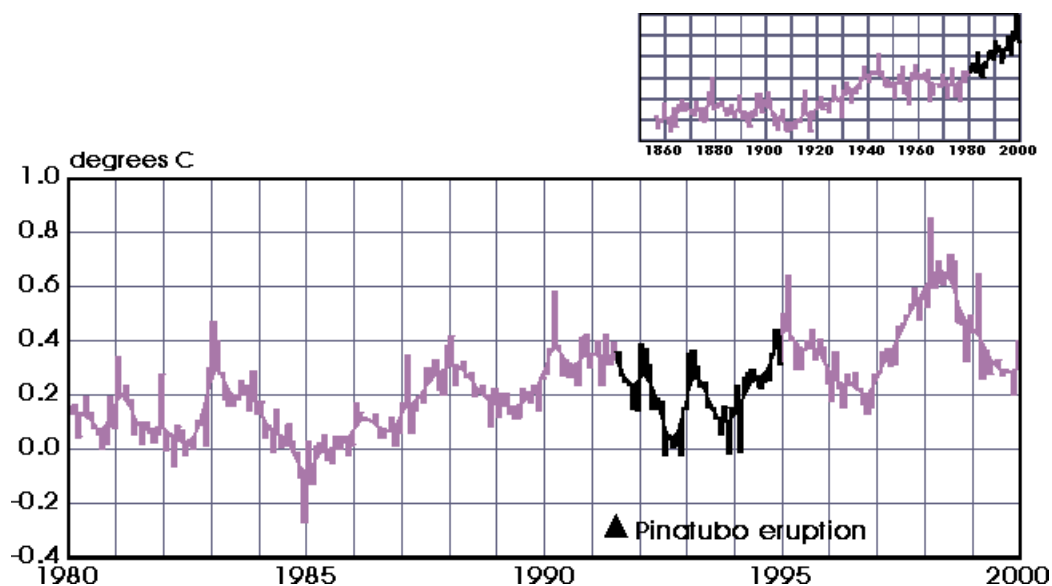
A maior parte dos constituintes da atmosfera é transparente à radiação emitida pelo sol, mas alguns gases como vapor d’água, ozônio e dióxido de carbono absorvem radiação de onda curta. Mudanças na quantidade desses elementos na atmosfera, portanto, podem afetar o quanto de calor radiante é absorvido.

O planeta vem se mantendo em equilíbrio radiante nos últimos séculos, o que significa que a quantidade de energia que entra e que sai do sistema Terra é igual. De outra maneira, ele estaria se aquecendo/resfriando, comprometendo a continuidade dos processos bióticos e abióticos, adaptados às condições climáticas vigentes.

Alterações naturais no balanço de radiação podem ocorrer devido à mudanças na umidade ou aumento de impurezas na atmosfera. Erupções vulcânicas, por exemplo, injetam grandes quantidades de poeira e gases como dióxido sulfúrico, que reduzem a quantidade de energia radiante que alcança a atmosfera por alguns meses. A Figura 1 ilustra esse fato:

Figura 1

Média global da temperatura mensal (1980-1999) destacando o efeito da erupção do Pinatubo em 1991. No gráfico superior, temperatura média global para um período maior



FONTE: Climate Research Unit, Universidade de East Anglia – <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/causecc/>

Entretanto, a comunidade científica vem alertando que a ação humana está interferindo no balanço de radiação. Mudanças no uso do solo e atividades diversas têm aumentado a proporção de gases que absorvem a radiação reemitida pelo planeta, aprisionando-a próxima à superfície terrestre, elevando a temperatura. É o chamado efeito estufa antropogênico.

Entre os gases de efeito estufa, que impedem que uma parcela da radiação emitida no planeta escape para o espaço, o mais comentado é o dióxido de carbono. Entretanto, outros são mais eficientes na promoção do efeito estufa, como o metano e o óxido nítrico, respectivamente 25 e 250 vezes mais potentes como gases de efeito estufa. Os cloro uorcarbonos (CFCs), que não existem naturalmente na atmosfera, superam em muito esses gases naturais: CFC-11 e CFC-12, respectivamente 17.500 e 20.000 vezes mais eficazes na retenção de energia no planeta (Simon; De Friers, 1992). Devido às atividades humanas, os atuais níveis de dióxido de carbono e metano da atmosfera são muito mais altos do que em qualquer outro período nos últimos 420.000 anos e suas concentrações continuam a crescer (Pages-IGBP Science 3, s/d).

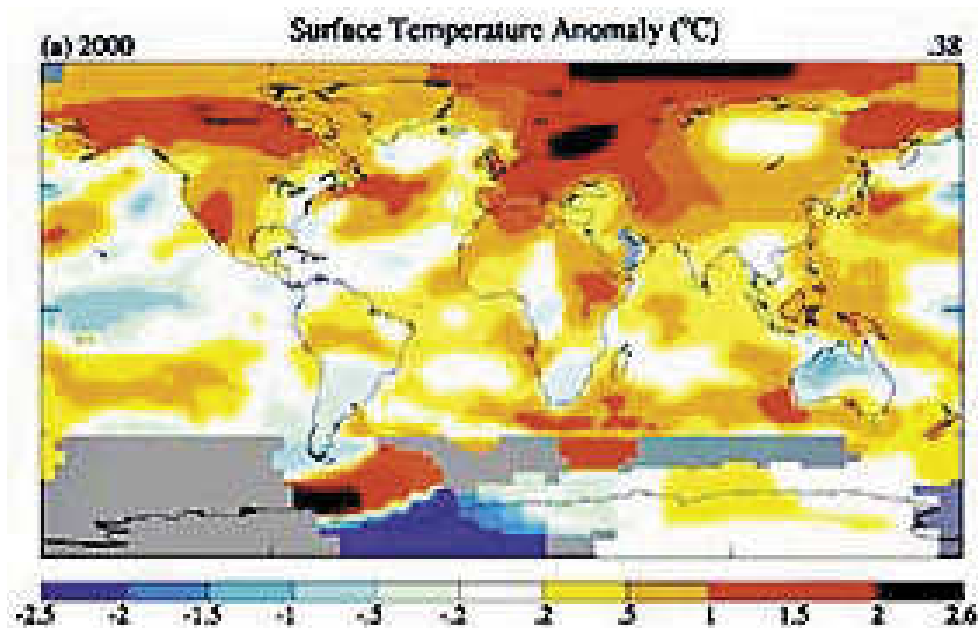
É importante sublinhar que o efeito estufa natural sempre existiu, sendo primordial para a manutenção das formas animadas e inanimadas do planeta. Entretanto, uma maior contribuição de gases de efeito estufa na atmosfera levaria ao rompimento do equilíbrio radiante do planeta.

As precipitações e principalmente a temperatura têm sido os principais indicadores de mudança climática, por ter-se mais dados disponíveis desses elementos do clima.

As figuras abaixo ilustram alterações desses elementos em anos recentes:

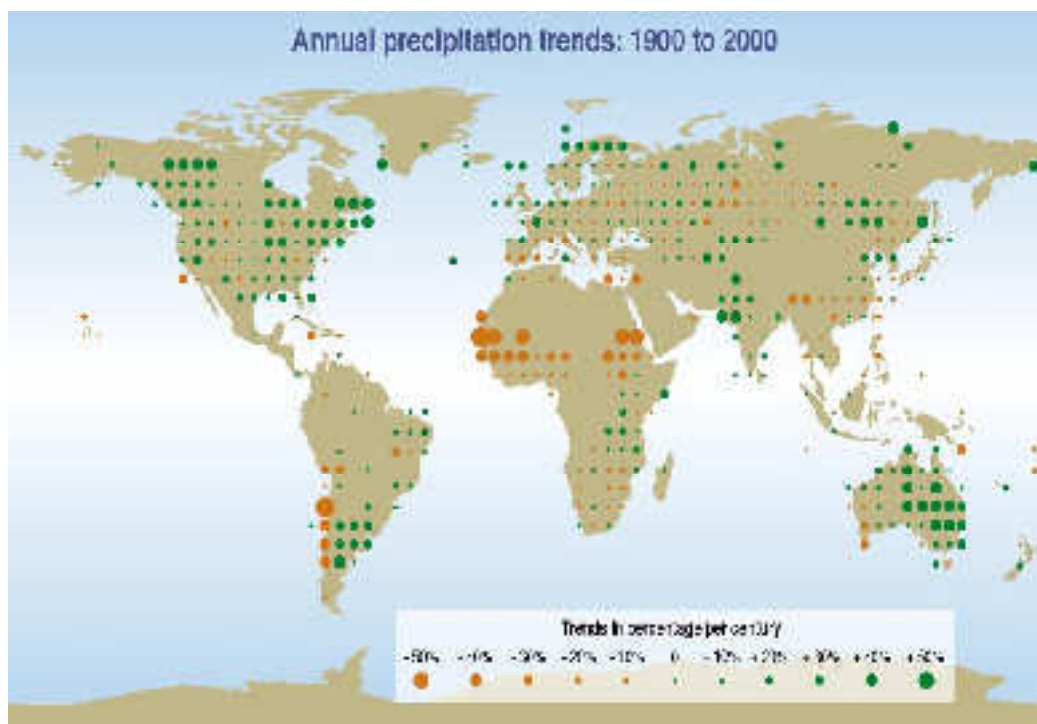
Figura 2

Anomalias da temperatura média anual (°C) de 2000 em relação ao período 1951-1980



FONTE: Global Climate Change Research Explorer – <http://www.exploratorium.edu/climate/primer/index.html>

Figura 3
Tendência anual da precipitação entre 1900 e 2000



FONTE: IPCC – <http://www.ipcc.ch/>

O nível regional a sub-regional

Seguindo o proposto por Monteiro (1976), adaptado ao propósito desta discussão, considera-se aqui como limites espaciais da escala regional grandezas da ordem de 10^4 milhões de Km, e sub-regional, 10^2 centenas de Km.

Alterações do clima regional a sub-regional ocorreriam a partir de mudanças nos controles atmosféricos que organizam essas escalas, qual sejam centros de ação e sistemas atmosféricos associados e atributos geográficos.

No passado histórico, há algumas evidências de alterações da circulação atmosférica. Pinturas em cavernas estimadas em 12.000 anos e depósitos de sedimentos retratam as condições ambientais de então, atestando que a atual área-core do Saara teria sido muito mais úmida. O ressecamento ocorrido poderia estar associado a alterações na circulação atmosférica, que teriam deslocado sistemas produtores de chuva, como a Zona de Convergência Intertropical. Aventa-se também que poderia ter acontecido uma pequena mudança na órbita terrestre, alterando a distribuição de energia solar na superfície do planeta (IGBP Science 4, 2001). Como agravante, teria contribuído o uso intensivo do solo nesse local naturalmente vulnerável, a partir de mudanças de valores socioculturais da população, que deixou de ser nômade, passando a se fixar no local.

Registro de anéis de árvores indicam que, há aproximadamente 800 anos, teria ocorrido expansão dos ventos de oeste nos platôs norte-americanos, com bloqueio das fontes de ar úmido (Bryson e Murray, 1977, Pages-IGBP Science 3, [20–]).

As recentes chuvas excepcionais de agosto de 2002 na Europa Central e Oriental estiveram associadas ao deslocamento mais para o sul da corrente do jato, com predominância de baixas pressões. Habitualmente, no verão dominam altas pressões, que se estendem dos Açores até o sul da Europa. Fortes ventos associados foram registrados no Atlântico e Europa Central (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/bulletin_0802/extra.html). Tal fato poderia ser uma anomalia temporária ou uma alteração permanente, com graves implicações, haja vista os extensivos prejuízos econômicos, com perdas de vidas humanas e de patrimônio histórico-cultural. Esse fato poderia ter ligação com alterações no uso do solo, adensamento urbano, mudanças no curso de diversos rios, desmatamentos e outras transformações que ocorrem há séculos no velho continente.

Estima-se que 18 a 20% das terras do globo tenham sido significativamente alteradas pela ação humana, especialmente a agricultura, que muda a capacidade de absorção e reflexão das superfícies. Para exemplificar: albedo de terra arada, 20%; de floresta de conífera, 12%. Com isso, é modificada a quantidade de calor radiante absorvido.

O nível local

Ainda seguindo a taxonomia de Monteiro (1976), o clima local compreende unidades de superfície de 10^2 centenas de Km, estando entre seus fatores de organização a ação antrópica. Sua abrangência abarca áreas metropolitanas, lugares onde se processam as maiores alterações na atmosfera.

A associação dos fatos atmosféricos aos demais atributos geográficos cria um ambiente climático especial, complexo e evolutivo (Monteiro, 1976). Nesses locais a interferência humana promove inúmeras transformações no ambiente atmosférico, como: alteração no balanço de energia primário, produção e consumo de energia secundária, canalização de águas com modificações na umidade, nebulosidade e precipitação, contaminação do ar e modificação da rugosidade, com perturbações na circulação convectiva e advectiva.

No entanto, os impactos são diferenciados, de acordo com a situação mais ou menos propícia para a dispersão de poluentes, que se relaciona aos sistemas atmosféricos dominantes e configuração do sítio urbano.

As ilhas de calor têm sido foco de inúmeras investigações no mundo inteiro, tendo em vista que as cidades são mais quentes que seus arredores, com maiores amplitudes após o pôr-do-sol e no inverno, e isotermas ao redor dos centros. Entre suas conseqüências estão: o surgimento de uma circulação peculiar, maior disponibilidade de material particulado e alterações na umidade, nebulosidade e precipitações. As implicações advindas são diversas: menor demanda de calefação em áreas mais frias, maior necessidade de refrigeração em centros urbanos tropicais, aumento de doenças respiratórias, transferência da população de mais alta renda para periferias – e, portanto, mudança no preço da terra –, características das habitações, proliferação de espécies mais adaptadas a esse ambiente (inclusive vetores de doenças), alteração no período de crescimento de várias espécies etc. (Moreno Garcia, 1999).

Destaca-se, ainda, a ocorrência de chuvas ácidas, a partir de reações químicas de alguns poluentes. Entre seus efeitos estão: a acidificação de lagos, a diminuição da visibilidade, problemas de saúde diversos e corrosão do patrimônio público e monumentos históricos. Seus efeitos podem se estender para muito além de suas áreas de origem por causa dos sistemas atmosféricos.

Interações entre as escalas

As conseqüências de certas alterações re etem-se na atmosfera em diferentes escalas. Salienta-se que "...as atividades humanas são tão presentes e profundas em suas conseqüências que elas afetam o planeta em escala global de maneiras complexas, interativas e aceleradas" (IGBP Science 4, 2001).

Tomando por base alterações no uso do solo em nível global, teleconexões do sistema climático modificariam padrões de circulação. Modelos globais sugerem que, se a cobertura da Amazônia for substituída por vegetação de menor porte, ocorrerão reajustes na circulação global. A queima de biomassa em áreas tropicais, que ocorre em associação às práticas agrícolas, tem também decorrências de grande extensão. O monóxido de carbono resultante – um gás oxidante com diversas implicações no sistema Terra – é carregado para locais remotos (IGBP Science 4, 2001), tendo em vista a circulação zonal e meridional em baixas latitudes bastante constante.

No nível regional a sub-regional, mudanças no uso do solo também têm seus impactos. Devido à dinâmica da atmosfera, muitos efeitos advindos de atividades industriais que em suas origens são locais, não ficam circunscritos ao seu entorno imediato. Para exemplificar: a chuva ácida produzida no norte da Inglaterra afeta a Noruega, chaminés muito altas no Canadá, construídas para evitar problemas de poluição local, faz com que haja transporte de materiais nocivos para os Estados Unidos através da circulação da alta atmosfera, muito mais forte e persistente (sem barreamentos naturais e/ou artificiais). Cingapura enfrenta, na atualidade, problemas sérios de doenças em sua população, pois partículas originadas da queima de florestas na Indonésia são carregadas para esse país pela circulação atmosférica (Tay, 2001).

No nível local, a queima de biomassa afeta a precipitação, ao produzir aerossóis de vários tamanhos. Os maiores funcionam como núcleos de condensação, mas os menores inibem as precipitações.

Considerações finais

Durante toda a existência do planeta, registrou-se sucessão de períodos mais quentes e mais frios. As conseqüências dessas alternâncias em termos de extensão e magnitude dependeram da rapidez e dispersão geográfica em que elas ocorreram.

Dessa forma, inédita seria no planeta a manutenção dos processos, tendo em vista que variações e mudanças são parte integrante dos seus sistemas.

O que está em discussão pela comunidade científica, meios políticos e em diversos outros setores da sociedade é a maneira como estão acontecendo diversas alterações, cujos reflexos já são sentidos de forma indubitável.

No dia-a-dia, observa-se o crescimento precoce de diversas espécies vegetais, eventos pluviiais extremos em várias partes do globo, ondas de calor e de seca que assolam diversos locais e doenças associadas. Tudo isso sugere mudanças na variabilidade do clima. Essas ocorrências aumentam a vulnerabilidade da população frente às condições ambientais.

Algumas áreas do conhecimento vêm sendo implementadas a partir dessas constatações, como implicações no turismo (linha de pesquisa do Climatic Research Unity – CRU –, Universidade de East Anglia, Grã Bretanha) e seguros associados às perdas provocadas por eventos atmosféricos (linha de pesquisa do CRU e The International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA –, Áustria).

Além disso, observando a evolução dos estudos, é patente a mudança de paradigma na condução das investigações científicas. Inicialmente, os estudos eram centrados num foco dominante; a partir dos meados da década de 80, a comunidade científica mundial estabeleceu programas com a participação de pesquisadores de áreas afins, com produtos de caráter mais interativo e abrangente (Nunes, 2002a).

O rápido avanço da capacidade computacional tem também direcionado os modelos de previsão para resoluções de maior detalhe, com a consideração de mais variáveis.

O aumento substancial de estudos projetados em escalas diversas tem evidenciado que as perspectivas num cenário em grande transformação não são muito alentadoras. Deve-se alertar que o papel dos recursos tecnológicos pode ser restrito na adaptação da sociedade face às mudanças climáticas, dado o alto custo e também porque os impactos são muito diferenciados de acordo com o lugar (Pages-IGBP Science 3, [20–]).

O geógrafo é um profissional capacitado para atuar “...nesse campo de articulação dos processos físicos e sócio-econômicos... pois sua formação favorece a análise com amplitude, profundidade e imparcialidade de componentes distintos em seus arranjos espaciais... Além disso, o tratamento geográfico da questão antevê a consideração de uma estrutura escalar interativa, que possibilite a interpretação articulada e dinâmica dos fatores concorrentes nas mudanças climáticas, que são de diversas ordens” (Nunes, 2002b).

Por fim, há de se alertar que “A popularização das questões climáticas tem sido rápida e acompanhada de certa mistificação e impropriedades científicas. Reveste-se de enorme carga afetiva, tendo em vista que os fenômenos atmosféricos interferem em todos os processos ocorrentes na litosfera, hidrosfera e biosfera, bem como nas atividades econômicas. O fato das pessoas literalmente sentirem os efeitos das condições do tempo atmosférico na pele, faz com que todos tenham uma falsa impressão de intimidade com esse tema.” (Nunes, 2002).

Agradecimento: Marcos Hidalgo Nunes, pela tradução para o espanhol do resumo.

Bibliografia

- BRYSON, R. A. MURRAY, T. A. *Climates of hunger: mankind and the world's changing weather*. Madison: The University of Wisconsin Press, 1977. 171 p.
- CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: *Variabilidade e mudanças climáticas*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2000. p. 17-28.
- ENVIRONMENTAL variability and climate change*. PAGES. Stockholm: IGBP, [20-]. (IGBP Science Series, 3), 30 p.
- GLOBAL change and the earth system: a planet under pressure*. Stockholm: IGBP, 2001. (IGBP Science Series, 4), 32 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate change 2001 -The Scientific Basis – contribution of the Work Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.
- McKNIGHT, T. L. *Physical Geography – a landscape appreciation*. Upper Sade River: Prentice Hall, 1996. 612 p.
- MONTEIRO, C. A. de F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: IGEOG-USP, 1976. (Série Teses e Monografias, 25), 181 p.
- MORENO GARCIA, M. del C. *Climatología urbana*. Barcelona: Ediciones de la Universidad de Barcelona, 1999. 71 p.
- NUNES, L. H. Mudanças climáticas globais. In: BORTOLOZZI, A. (org.). *Debate ambiental: do conhecimento multidimensional à perspectiva de sustentabilidade*. Campinas: Nepam, 2002a. p. 9-16.
- NUNES, L. H. Aproximações sobre mudanças climáticas globais. *Revista Terra Livre*, v. 1, n.18, p. 179-184, 2002b.
- SIMON, C. DE FRIERS, R. S. *Uma terra, um futuro: o impacto das mudanças ambientais, na atmosfera, terra e água*. São Paulo: Makkron Books, 1992. 189 p.
- TAY, S. S. C. Fires and haze: the social and political framework of air pollution in Asia. In: GLOBAL CHANGE OPEN SCIENCE CONFERENCE, 2001, Amsterdam. *Abstracts...* Amsterdam, 2001. p. 2001.

Sítios especializados na internet

- Climate Prediction Center*: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/bulletin/>
- Climatic Research Unity, University of East Anglia (CRU)*: <<http://www.cru.uea.ac.uk/extra.html>>
- Global Climate Change Research Explorer*: <<http://www.exploratorium.edu/climate/primer/index.html>>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*: <<http://www.ipcc.ch/>>
- The International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*: <<http://www.iiasa.ac.at/>>

RESUMEN

La comunidad científica ha señalado insistentemente que en la Tierra ya estarían en marcha importantes cambios climáticos. Sin embargo, es necesario tener presente que las alteraciones constantes constituyen una característica primaria de la Tierra registrada a lo largo de toda su historia. Así, el punto central de la actual discusión sobre cambios climáticos es la forma en que las actividades humanas han modificado el equilibrio de la Tierra, incluyendo alteraciones en los procesos y su velocidad. Este artículo discute brevemente cómo el actual calentamiento de la atmósfera podría superponerse a los cambios naturales. Evalúa también el papel de la tecnología, que tiene alto costo y es limitada en sus propósitos, y todavía refuerza la condición dramática que los modelos pronostican para un futuro próximo. El artículo ejemplifica esas cuestiones analizando cómo los cambios en el uso de la Tierra han afectado los procesos atmosféricos en diferente escala (global, regional y local).

PALABRAS-CLAVE

Alteraciones climáticas – calentamiento global.

ABSTRACT

The scientific community has strongly emphasized that remarkable climate changes would be already in course in the planet. However, one must keep in mind that constant alterations are a primary characteristic of the planet, registered along its entire history. Thus, the central point in the current discussion about climate changes is the way in which the human activities have modified the planet equilibrium, including alterations in the processes and their velocities. The paper briefly discusses how the current warming would be superimposed on natural climate variations. It also sheds light on the limited role of technological improvements, which are expensive and target to very limited symptoms. It still reinforces that models reveal a dramatic scenario in a near future. These questions are exemplified by an analysis on how changes in the land use have affected the atmospheric processes at different scales (global, regional to sub-regional and local scales).

KEY WORDS

Climate Changes – global warming.

Recebido para publicação em 6 de dezembro de 2002.