

Marco Antônio Tomasoni

Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal da Bahia,
Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe
tomasoni@ufba.br

Mudanças globais: a problemática do ozônio e algumas de suas implicações

Resumo

O presente trabalho é uma reflexão sobre questões tratadas no âmbito das mudanças globais referentes ao clima e, mais especificamente, sobre a problemática dos CFC's e da camada de ozônio e alguns de seus aspectos teóricos e técnicos. São avaliadas as implicações de ordem diversa como as questões políticas e econômicas resultantes das ações de resposta aos problemas atribuídos a sua produção e suas conotações a partir do Protocolo de Montreal e de Viena. É discutido, também, a efetividade destas ações e seus impactos no sistema ambiental, fazendo refletir sobre o papel da ciência e seus enlaces com a economia bem como suas correlações com os índices de radiação, entre outros aspectos, para o oeste da Bahia.

Palavras-chave: atmosfera, ozônio, clorofluorcarbonos, impactos.

Abstract

GLOBAL CHANGES: THE OZONE ISSUE AND SOME OF ITS IMPLICATIONS

This work is a reflection on issues addressed in the context of global changes related to climate, more specifically on the issue of CFC's and the ozone layer besides some of its theoretical and technical aspects. Implications of different kinds are assessed, such as political and economic issues arising from response actions to the problems attributed to its production and its connotations from the Montreal Protocol and Vienna. It is also discussed the effectiveness of these actions and their impacts on the environment, making a reflection on the role of science and its links with the economy and their correlation with the incidence of radiation, among other aspects to the west of Bahia.

Key-words: atmosphere, ozone, chlorofluorocarbon, impacts.

1. Introdução

“Se o conhecimento pode criar problemas, não é através da ignorância que podemos solucioná-los”

Isaac Asimov (1920-1992)

A revolução industrial é um fato marcante que retrata inúmeras transformações de âmbito social, político, econômico, cultural e ambiental. Atribui-se a ela o início de uma mudança sem par na história humana e cuja difusão e aceleração afetaram de forma inexorável a evolução natural no planeta. A partir de tal constatação, um conjunto diverso de interpretações tem lugar, desde as abordagens catastrofistas até as mais otimistas. No debate atual sobre as chamadas mudanças globais, as de caráter atmosférico recebem grande atenção, pois, a elas são atribuídas a origem dos principais *hazards* que assolam a derme planetária. O principal aspecto enfocado refere-se à composição média dos gases atmosféricos que mudou a partir da irrefreável revolução industrial. Alguns destes gases são substâncias muito ativas, reagentes e sinérgicas, já outras composições são inertes e são transformadas ou deterioradas pelos ciclos e processos biogeoquímicos.

Em período recente, fomos largamente bombardeados com inúmeras informações que davam conta da descoberta de um grave problema que ameaçava a existência humana. Este problema relacionava-se à rarefação da camada de ozônio e sua reatividade frente a um grupo de substâncias de origem antropogênica: os chamados **freóns**, também conhecidos como CFC's. Segundo as fontes de informação majoritárias, tais substâncias tinham o poder de degradar a fina camada protetora de ozônio contra os raios ultravioleta e cujas reais dimensões precisávamos conhecer melhor para agir de forma imediata.

O fenômeno ganhou a mídia de forma avassaladora e a teoria do professor Mario Molina e Rowland (MOLINA; ROWLAND, 1974 e ROWLAND, 2006), o “Ciclo catalítico do cloro”, tornou-se uma verdade inabalável, sendo incorporada acriticamente pelo movimento ambientalista em sua diversidade (ONG's transnacionais, por exemplo), governos, corporações e indivíduos. Todos se puseram na luta pela erradicação dos efeitos nocivos deste componente, que tinha aplicação em inúmeros fins industriais.

Utilizando-se da abordagem pressão-estado-resposta (OCDE, 1998), poderíamos qualificar as ações como corretas, pois ao identificar-se um agente transformador, no caso o CFC (pressão) que, segundo as informações, impactava e alterava a atmosfera (estado), propôs-se uma ação (resposta) que visava a eliminar a origem do problema. Desta forma, reações imediatas em alguns países aconteceram e culminaram na assinatura do Protocolo de Montreal, que visou ao completo banimento desta substância e sua permuta por gases não nocivos à camada de ozônio. Mas, como toda a hipótese passa pelo amplo processo de validação, esta também pode ser submetida aos diversos princípios científicos e questionada em suas bases. Antes de prosseguirmos, vale ressaltar que este problema apresenta um conjunto de variáveis muito mais complexas, as quais não estão devidamente explicadas; ou ainda que, sobre elas, residem dúvidas incontestes e interesses que implicam em impactos de ordem política e econômica muito mais sérios, para serem reduzidos a um fato meramente técnico ou de ordem ambiental no sentido restrito da palavra. O sistema climático reage e interpõe-se de forma não linear com os demais sistemas terrestres e aquáticos do planeta e estes com os fenômenos orbitais como os ciclos solares e os de Milankovitch (SALGADO-LABORIAU, 1994), entre outros fenômenos complexos que repercutem na dinâmica do clima no planeta e cujos efeitos não são previsíveis nas diferentes escalas dos fenômenos climáticos.

Sendo assim, analisaremos a questão a partir de sua origem e dos aspectos físico-ambientais que a envolvem, para compreendermos algumas questões acerca do seu estado atual.

2. Alguns antecedentes

Atribui-se a descoberta do ozônio ao químico Christian Friedrich Schönbein. Em meados do século XIX, ele observou que, após descargas elétricas na atmosfera, havia um odor

notado também quando a água era decomposta por uma corrente voltaica. Schönbein acreditou que esse odor poderia ser atribuído à existência de um gás atmosférico de odor peculiar. A esse gás atribuiu o nome ozônio, da palavra grega para cheiro

– “ozein”. O ozônio é um gás produzido naturalmente na atmosfera terrestre, reativo e capaz de oxidar metais como ferro, chumbo e arsênico[...] após várias pesquisas concluiu-se que o ozônio tinha um papel ainda mais importante, utilizando-o como um eficaz desinfetante durante epidemias infecciosas (INPE, 2006).

Outro aspecto acerca do ozônio, é que este gás “absorve a radiação infravermelha de 9 mm, longitude de onda muito próxima à da máxima emissividade de espectro de radiação da superfície terrestre. Seu forçamento radiativo, molécula por molécula, é mil vezes mais potente que o dióxido de carbono” (URIARTE, 2003, s/p).

A vinculação do ozônio (O₃) aos CFC foi originada a partir das descobertas dos cientistas F. Sherwood Rowland e Mário Molina em 1974, que suspeitavam que grandes quantidades de um composto estável CFC (Clorofluorcarbonos ou CFC₁₃ e CF₂C₁₂, respectivamente Freón-11 e Freón-12 ou Halóns), produzidos sinteticamente desde os anos 1920, inicialmente pela Du Pont, de alguma maneira estariam circulando na atmosfera, mais especificamente na estratosfera (acima dos 20Km), criando condições para uma exposição à elevada radiação presente nestas altitudes, gerando, assim, uma reação onde o ozônio tornar-se-ia instável e sua molécula quebrada. Tal teoria foi batizada de “Ciclo Catalítico do Cloro”, que, no meio midiático, ganhou o *status* de teoria da destruição da camada de ozônio.

Mas foi somente nos anos 1980 que a informação ganhou maiores dimensões quando Farman et al. (1985), em artigo na *Nature*, divulgaram seus estudos para o período 1980-1984 e a NASA (National Aeronautics and Space Administration) noticiou seus estudos, apresentando o que se constituiria no “buraco na camada de ozônio”, que, segundo eles, em setembro de 2000, tinha chegado a mais de 28 milhões de quilômetros quadrados (WMO, 2000; NASA, 2001). Segundo dados oficiais de relatórios da ONU,

atualmente, a média das perdas de ozônio é de 6% nas latitudes médias do Hemisfério Norte no inverno e na primavera, 5% nas latitudes médias do Hemisfério Sul durante o ano todo, 50% na primavera antártica e 15% na primavera ártica. Os aumentos resultantes na irradiação de raios ultravioletas nocivos chegam a 7%, 6%, 130% e 22%, respectivamente (UNEP, 2000a, p.15).

Antes disso, em 1977, os Estados Unidos proibiram o uso de CFC's em aerossóis não-essenciais e alguns outros países como o Canadá, a Noruega e a Suécia também diminuíram o consumo e a produção. Entre os vários

usos dos CFC's existem os aerossóis e os não-aerossóis, como em espumas, solventes e produtos refrigerantes, entre outros usos.

Em março de 1985, a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal foram assinados e ganharam inúmeros membros e, em dezembro de 2001, um total de 182 países já tinham ratificado o acordo. O Protocolo de Montreal, que originalmente exigia o corte de apenas 50% do consumo, passou à quase eliminação destas substâncias em 1995 pelos países industrializados e criou-se um fundo (aprox. \$1,1 bilhões) para financiar nos países em desenvolvimento a adoção de substâncias não nocivas. O protocolo definiu, em seus anexos, algumas substâncias e seu potencial de degradação, como mostra o quadro 1.

Quadro 1

ANEXO A: SUBSTÂNCIAS CONTROLADAS

Grupo	Substância	Potencial redutor do O ₃
Grupo 1		
CFC13	(CFC-11)	1.0
CF2Cl2	(CFC-12)	1.0
C2F3Cl3	(CFC-113)	0.8
C2F4Cl2	(CFC-114)	1.0
C F Cl	(CFC-115)	0.6
Grupo 2		
CF2BrCl	(halón-1211)	3.0
CF3Br	(halón-1301)	10.0
C2F4Br2	(halón-2402)	6.0

Fonte: UNEP, 2000a (adaptado)

No anexo D do referido Protocolo, encontra-se uma lista de produtos que contêm substâncias específicas citadas no anexo A, a saber: sistemas de ar condicionado automotivos (caminhões e automóveis), sistemas de refrigeração doméstica e comercial e equipamentos móveis (refrigeradores, freezers, desumidificadores, máquinas de gelo, resfriadores de água e ar condicionados), produtos aerossóis, exceto médicos, extintores de incêndio, pré-polímeros, placas e painéis solares, entre outros produtos.

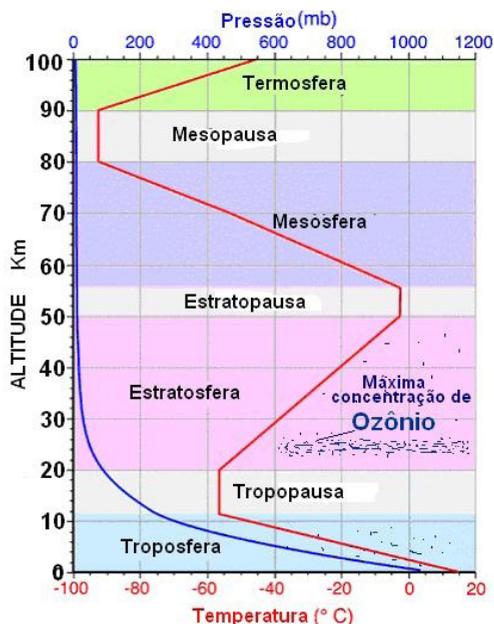
Muitas questões emergiram deste processo, especialmente aquelas associadas ao controle de patentes e as fontes que serviram de base aos

estudos e anexos específicos do protocolo. Outro aspecto importante, mas não devidamente mensurado, refere-se aos *royalties* de transferências tecnológicas. E, por fim, em recente encontro internacional (setembro de 2006), foi comemorada a eficiência do combate à eliminação dos CFC's, anunciando-se praticamente o fim do problema da diminuição da camada de ozônio.

3. Caracterização dos elementos envolvidos

Primeiramente, é bom que se diga que, como qualquer problema, o do ozônio está ligado a uma complexa rede de reações físico-químicas que ocorrem tanto na troposfera quanto na estratosfera. Quando falamos em atmosfera, é importante lembrar sua estrutura básica e o comportamento dos elementos temperatura e pressão, conforme se vê na figura 1, na qual se observa o comportamento variável da temperatura nas diferentes camadas e o decréscimo abrupto da pressão média na medida em que nos elevamos na atmosfera. Estes dois fatores interferem de modo determinante nas reações físico-químicas dos componentes gasosos que ocorrem em seu conjunto.

Figura 1
ESTRUTURA GERAL DA ATMOSFERA E COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA E PRESSÃO



Fonte: Pidwirny, 1999 (adaptado)

3.1. O ozônio troposférico

O ozônio encontra-se em boa parte da atmosfera, sobretudo na baixa atmosfera, especialmente nos grandes centros urbanos, onde se formam *domus* (bolha) de poluição que, por reações fotoquímicas, podem gerar o ozônio: o chamado “smog” fotoquímico. Atribui-se a este tipo de ozônio, um “gatilho” (INPE, 2006) para entrada de infecções respiratórias mais graves que ocorrem em determinadas épocas do ano.

Nesta contribuição, a mais importante fonte de poluentes atmosféricos é, sem dúvida, a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, liberando grandes quantidades de dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO e NO₂, conhecidos coletivamente como NO_x), os materiais particulados em suspensão (MPS), os compostos orgânicos voláteis (VOCs) e alguns metais pesados e, principalmente, a

maior fonte antropogênica de dióxido de carbono (CO₂). O ozônio troposférico é produzido em reações químicas entre NO_x e VOCs, em dias quentes e ensolarados, principalmente em áreas urbanas e industriais e em regiões propensas a massas de ar estagnado ou de baixa mobilidade.

Essa produção de ozônio pode ter implicações extensas, uma vez que foi descoberto que as moléculas de O₃ viajam por grandes distâncias (até 800 km) a partir das fontes de emissão e produção. Assim, trata-se de um problema complexo que envolve reações químicas e dispersão atmosférica através dos mecanismos de circulação geral e secundária (MOREIRA; TIRABASSI, 2004).

Já na formação do ozônio troposférico, um papel notável é então desenvolvido da relação NO₂/NO. O ozônio se forma na troposfera através da seguinte reação: $O + O_2 + M \rightarrow O_3$ (reação 1), onde M é uma molécula presente. O oxigênio livre O se forma, na troposfera, da fotólise do NO₂: $NO_2 + h \nu \rightarrow NO + O$ (reação 2); com a reação seguinte, completa-se o chamado ciclo do nitrogênio: $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$ (reação 3).

O ciclo do nitrogênio vem a completar-se em poucos minutos, enquanto a acumulação de ozônio acontece em algumas horas. O ciclo do nitrogênio é bastante veloz para manter uma concentração de equilíbrio de O₃, que é função da relação NO₂/NO.

A reação 3 converte NO em NO₂, mas uma molécula de ozônio é destruída. A reação 1 produz o oxigênio livre que contribui para a formação de uma molécula de ozônio, mas, ao mesmo tempo, NO₂ é convertido em NO. São adequadas para o estudo do ozônio e de outros poluentes fotoquímicos em uma escala temporal somente da ordem de um a alguns dias (FERREYRA, 2006).

Segundo Uriarte (2003), existe um incremento ocasionado na segunda metade do século XX, um efeito estufa importante, mas é difícil se determinar em nível global seu grau de forçamento radiativo (BRUNNER, 1998; BRASSEUR, 1998 *apud* URIARTE, 2003). Tal forçamento é muito maior no hemisfério norte que no hemisfério sul. Este alcança a franja subtropical, compreendida entre os 20° e 30° de latitude norte (ROELOFS, 1997 *apud* URIARTE, 2003). Estima-se que o forçamento global está na ordem dos 0,3 W/m² a 0,4 W/m², superando os 0,5 W/m² no Mediterrâneo e sudoeste

da Ásia (STEVENSON, 1998, *apud* URIARTE, 2003). Existem autores que supõem que o aumento do ozônio troposférico afete o desenvolvimento da fotossíntese. Tal suposição baseia-se numa diminuição na absorção do CO₂ por parte da vegetação, o que mostra sumariamente que existe um amplo espectro de processos que demonstram claramente a não linearidade dos sistemas envolvidos.

3.2. O ozônio estratosférico

A formação do ozônio em altitudes elevadas dá-se quando um fóton de elevada energia ($1 < 242\text{nm}$, onde se lê, longitudes de onda inferior a 242 nanômetros ou $2,42 \times 10^{-8}$ metros) atinge a molécula de O₂, desestabilizando-a e provocando nova ligação, sendo representado da seguinte forma:



Isto leva a um ciclo contínuo e ininterrupto de produção e degradação do ozônio. Do ozônio total existente na atmosfera, 85 a 90% estão acima da tropopausa (ver figura 1) e abaixo da mesosfera, como também na troposfera em baixos níveis. A quantidade de ozônio é expressa em Unidades Dobson (DU)¹. A coluna média de ozônio sobre a Terra varia entre 290 e 310 DU. Para se ter uma ideia da quantidade irrisória de ozônio, se ela fosse compactada à superfície terrestre, à pressão e temperatura padrões, a camada teria cerca de 3 milímetros (equivalente a 300 DU), exatamente isso! Embora aparentemente irrisório, este gás é extremamente vital para o barramento da energia UV-B.

Como já observado anteriormente, os CFC's compreendem uma vasta gama de produtos que são utilizados na refrigeração comercial e industrial, sistemas de ar condicionado fixo e móvel, fabricação de espumas, aerossóis de uso médico, outros aerossóis e dissolventes, sistemas de proteção contra incêndio, entre outros usos. Em termos percentuais, estão divididos conforme o gráfico 1, segundo o relatório do IPCC sobre o ozônio.

Gráfico 1
PERCENTUAL DOS CFC's, SEGUNDO O TIPO DE USO

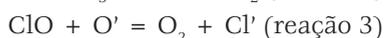
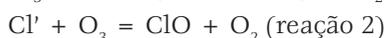
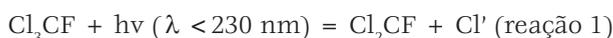


Fonte: IPCC Ozônio, 2005 (adaptado)

Entre as várias substâncias que são apontadas como degradadoras da camada de ozônio (ver quadro 2), apenas os CFC's sofrem proibição; outros, como o tetracloreto de carbono (um solvente), dióxido de nitrogênio (utilizado na composição do ácido nítrico), metilclorofórmio (anestésico e solvente), usados em lavagem a seco e no ramo farmacêutico, e os "halons", usados em alguns extintores de incêndios, que contêm bromo e são dez vezes mais destruidores de ozônio do que os CFC's, ainda não sofrem nenhum tipo de proibição.

Em uma edição da revista *Ciência Hoje* (de 1990, v. 2, n. 9, p. 41-48) são mostrados os detalhes da teoria de Mario Molina e Sherwood Rowland, sendo que os dois avaliaram "que a produção anual de CFC alcançava cerca de 1 milhão de toneladas".

Vários pesquisadores mostraram que o CFC é bastante estável, mas, na presença da radiação UV-C, torna-se muito instável, produzindo uma reação fotoquímica que libera átomos de cloro. Esquemáticamente é assim representada:



Para tanto, os CFC's precisam chegar à estratosfera e serem expostos à radiação da banda UV-C de comprimento de onda inferior a 230nm ($2,30 \times 10^{-8}$ cm) de comprimento de onda, coisa que ocorre acima dos 36 a 40 km. Segundo estas mesmas fontes, esta “viagem” dos CFC's levaria aproximadamente oito meses. Com o ozônio, o comprimento de onda necessário para destruí-lo seria da ordem de 250nm, radiação existente por volta dos 30km de altitude. O mero atrito das moléculas entre si bastaria para provocar sua destruição, dada sua instabilidade.

Segundo a mesma fonte, as reações em cadeia provocadas pelo CFC promoveriam uma destruição contínua de cerca de 100.000 moléculas de ozônio por uma de CFC. Mas ainda existem outros inúmeros compostos que podem retardar ou acelerar as transformações nesta parte da atmosfera, a exemplo do dióxido de nitrogênio (NO_2), que pode bloquear a degradação do ozônio. Outro aspecto interessante sobre este gás é que seu “tempo de permanência médio na atmosfera (ver quadro 2) é de aproximadamente 20 anos para o HFC e o HCFC, de várias décadas até séculos para alguns HFC e a maioria dos Halóns e CFC, e entre 1.000 a 50.000 anos para os PFC” (IPCC, 2005).

Quadro 2

TEMPO DE VIDA ÚTIL DE ALGUNS COMPOSTOS GASOSOS

Gás	Tempo De Vida (Anos)	Gás	Tempo De Vida (Anos)
CFC		PFC	
CFC-12	100	C ₂ F ₆ C ₆ F ₁₄ CF ₄	10.000 3.200 50.000
CFC-114	300		
CFC-115	1.700		
CFC-113	85		
CFC-11	45		
HCFC		Halones	
HCFC-142b	17,9	Halón-1301 Halón-1211 Halón-2402	65 16 20
HCFC-22	12		
HCFC-141b	9,3		
HCFC-124	5,8		
HCFC-225cb	5,8		
HCFC-225ca	1,9		
HFC		Otros halocarbonos	
HFC-23	270	Tetracloruro de carbono(CCl ₄) Metilcloroformo (CH ₃ CCl ₃) Bromuro de metilo (CH ₃ Br)	26 5,0 0,7
HFC-143a	52		
HFC-125	29		
HFC-227ea	34,2		
HFC-43-10mee	15,9		
HFC-134a	14		
HFC-365mfc	8,6		

Fonte: IPCC Ozônio, 2005 (adaptado)

3.3. A teoria e a ciência sobre o CFC e o Ozônio

É interessante observar que, do ponto de vista químico, os gases e componentes da atmosfera têm suas características definidas por leis bastante rígidas, entre elas a termodinâmica. A título de ilustração, vemos, no quadro 3, diferentes constituintes da atmosfera e outros, seu peso molecular, seu peso atômico e seu percentual na atmosfera.

Quadro 3

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DA ATMOSFERA

Constituinte	Peso Molecular	Peso Atômico	Volume (%) Atmosfera
Nitrogênio (N ₂)	28,02	14,1	78,08%
Oxigênio (O ₂)	32	16	20,95%
Hélio (He)	8	4	0,0005%
Hidrogênio (H ₂)	2,016	1,08	0,00005%
Ozônio (O ₃)	48	-	0,000004%
Ferro (Fe)	-	55,08	-
Cloro (Cl)	-	35,5	-
Carbono (C)	-	12	-
Flúor (F)	-	19	-
Dióxido de carbono(CO ₂)	44,01	-	0,0360%
Oxido nitroso (N ₂ O)	44,02	-	0,00003%
Metano (CH ₄)	16,032	-	0,00017%
FREÓN 11 (Cl ₃ FC)	137,51	-	-
FREÓN 12 (Cl ₂ F ₂ C)	121,01	-	-
PESO MOLECULAR MÉDIO DA ATMOSFERA = 29,01			

Fonte: elaborado pelo Autor

A teoria diz que, em uma marcha lenta e contínua, eles seriam levados pelas correntes conectivas equatoriais, portanto uma ascensão térmica, para altitudes elevadas. Esta “viagem” levaria cerca de oito meses. O problema é que, na medida em que as correntes ascendentes equatoriais ganham altitude, elas perdem calor pelo processo adiabático (cerca de 10°C por cada 1000m), portanto, iniciam seu processo de subsidência nas faixas de alta pressão na zona dos trópicos, estas derivando e formando os ventos de oeste e os aliseos de nordeste e de sudeste. Depois deveriam seguir, em parte, para o hemisfério norte (HN) e hemisfério sul (HS), até sofrer uma provável ascensão dinâmica no choque com a frente polar, podendo acumular-se nas zonas polares de alta pressão (ver figura 2).

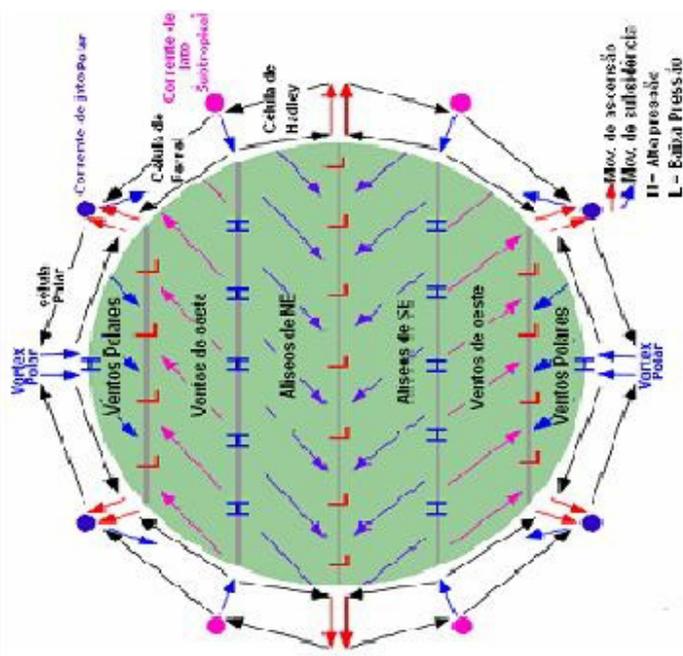
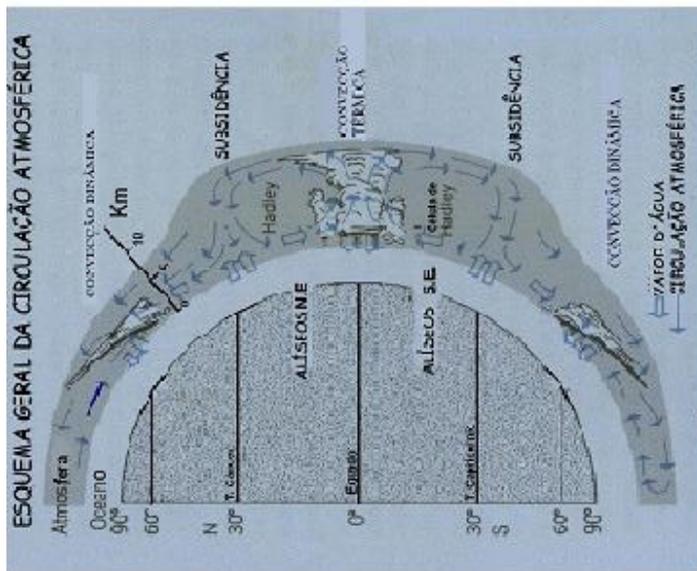
No corte vertical da atmosfera (figura 2), no lado esquerdo, observamos esquematicamente a dinâmica do movimento vertical de ascendência e subsidência do ar e a formação da frente polar, no lado direito outra

referência ao movimento horizontal e vertical na circulação geral. É importante lembrar a existência de dois tipos de forças convectivas: a térmica, provocada pelas diferenças de temperatura e gradientes de pressão, e a dinâmica, provocada pelo movimento das massas associadas ao efeito de Coriolis.

Embora a circulação geral da atmosfera tenha estas características, outra longa série de fatores afeta este movimento, mas, para nós, o que interessa são as forças que intervêm no movimento vertical, especialmente as trocas e os contatos das três células de circulação: a de Hadley, Ferrel e a Polar, e com maior detalhe sobre o Vórtex polar (conforme esquema da figura 3, lado direito).

Embora haja uma tendência de mistura na atmosfera, os gases obedecem a certa distribuição vertical e aos princípios da termodinâmica, ou seja, este aspecto possui elevado grau de complexidade para a simples correlação que ainda hoje perdura como senso comum acerca da “viagem dos CFC’s na atmosfera” (KHRGIAN et al, 1975). Os freóns 12 e 11 pesam, respectivamente, 4,10 e 4,66 vezes mais que o ar atmosférico e isto, aliado aos fenômenos da circulação geral da atmosfera, torna a ideia da permanência dos freóns em elevada altitude, um aspecto pouco explicável.

Figura 2
CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA E SUAS CARACTERÍSTICAS

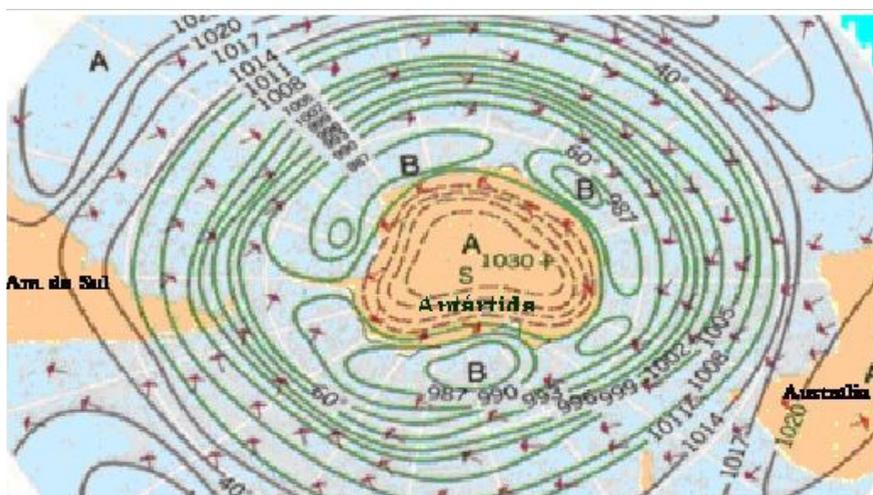


Fonte: Strahler, 1986 e Ayoade, 1986 (adaptado)

3.4. O vórtice Antártico

Entendidos estes aspectos, passamos a outra importante parte da explicação da teoria geral sobre a rarefação do ozônio. Perto do final do inverno austral, entre os fins de agosto e durante setembro inteiro, ocorre uma interessante formação no pólo sul: ventos ciclonais (convergentes para uma zona central) de intensa velocidade que abarcam a Antártida em uma circulação praticamente fechada, conforme apresentado na figura 4, na qual vemos em planta as isóbaras do mês de junho.

Figura 3
ISÓBARAS DO MÊS DE JUNHO SOBRE A ANTÁRTIDA



ISÓBARAS DE JUNHO NO HEMISFÉRIO SUL (adaptado de Strahler)

A= Alta Pressão

Setas direcionais= sentido dos ventos

B= Baixa Pressão

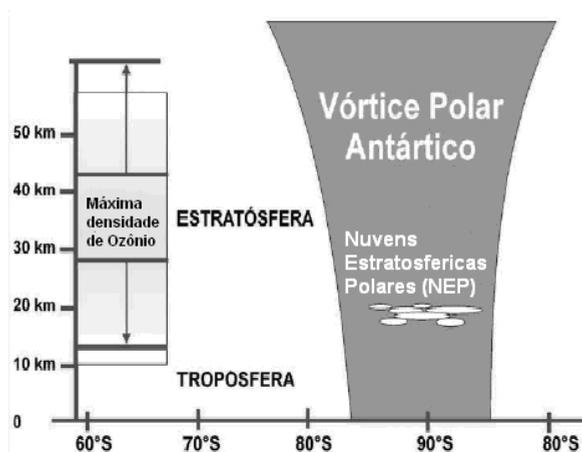
1030 - 987= Pressão em Milibares

*o sentido do reforçamento é sempre das maiores para as menores pressões.

Fonte: Strahler, 1986 (adaptado)

A figura 3 mostra um corte vertical na zona central (A) fechada com pressão em torno dos 1030mb, circundada por baixas pressões (B) em torno dos 987mb, o que, em um corte vertical, estaria representada na figura 4, identificando a zona de concentração do vórtice polar e a formação das Nuvens Estratosféricas Polares (NEP), de baixíssimas temperaturas.

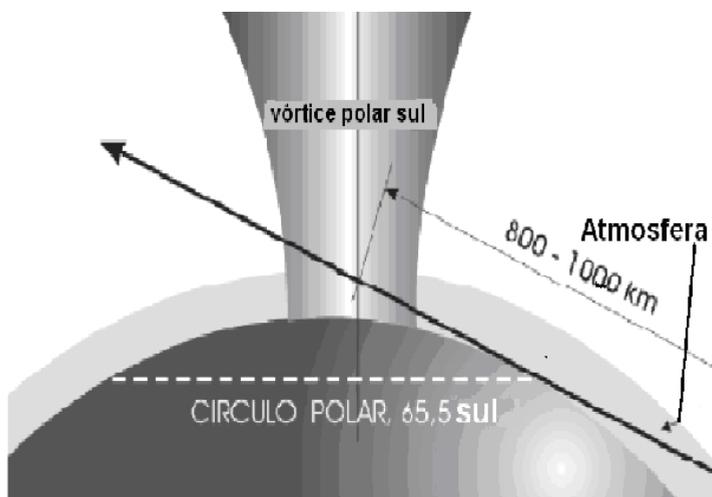
Figura 4
CORTE VERTICAL NA ZONA ANTÁRTICA



Fonte: Ferreyra, 2006

Segundo alguns cientistas, o fenômeno da rarefação do ozônio se produz quando os raios solares começam a iluminar a alta estratosfera (aproximadamente 20 de agosto), ainda na noite polar (ver figura 5). Isso se deve à inclinação dos raios, provocando a opacidade da atmosfera polar, aonde chegariam apenas a radiação infravermelha e a luz visível (bandas superiores a 400nm).

Figura 5
ASPECTO DA ILUMINAÇÃO DO VÓRTICE



Fonte: Ferreyra, 2006

Segundo o INPE, nas regiões tropicais, a variação de ozônio pode ser negligenciada, pois a radiação seria considerada constante, já em latitudes maiores:

O máximo de concentração é estabelecido no fim do inverno, ou no começo da primavera, e o mínimo se verifica durante o outono. Durante a primavera a quantidade de ozônio encontrada em altas latitudes é maior, e em baixas latitudes menor, do que aquela que poderia ser prevista, utilizando a teoria fotoquímica. Neste caso, a distribuição da intensidade de radiação solar sugeriria a formação de um máximo durante o verão sobre a região equatorial. Portanto, as causas desse fenômeno podem ser relacionadas aos padrões de circulação atmosférica. No início da primavera, a estratosfera próxima às regiões polares é caracterizada por fortes correntes de ar descendentes. Deste modo, o ozônio gerado em camadas acima de 20 km de altitude é transportado por estas correntes de ar em direção às camadas mais baixas, e uma circulação é formada com o ar fluindo em direção aos pólos na alta estratosfera e, em direção ao equador, na baixa estratosfera. O ozônio acumulado nesta região é transferido para a troposfera durante o verão (INPE, 2006, p.12).

Nestas condições, o movimento giratório do vórtice impede a saída ou entrada de gases e a temperatura no seu interior chega aos -85°C . Alguns cientistas acreditam que este movimento caótico faz colidir um imenso

número de moléculas, entre elas o ozônio, provocando sua diminuição momentânea. Assim, os níveis de ozônio de áreas circundantes ao vórtice chegam a alcançar 450 a 500 DU (Unidades Dobson) e, no interior, valores inferiores a 200 DU.

Neste momento, quando as reações do ozônio liberam calor e este se soma ao calor da radiação infravermelha, correntes ascendentes de ar se formam, levando oxigênio às zonas mais elevadas, criando condições para sua regeneração. Há que se ressaltar que tais condições são únicas e só ocorrem na zona Antártica, diferentemente do que ocorre na zona oposta.

Ainda no contexto do complexo amanhecer polar, reações como a chamada “explosão de Bromo” (GEBHARDT, 2008), cuja origem está ligada às algas (CHBr_3), às reações na neve e no gelo juvenis e aos compostos orgânicos voláteis (VOCs), também são responsáveis pela diminuição dos níveis de ozônio (ver quadro 4). Segundo Gebhardt (2008), a maioria dos elementos investigados nos processos de destruição do ozônio está diretamente ligada a emissões de processos naturais, como, por exemplo, o recém-descoberto CH_3Cl , cuja fonte são as plantas tropicais e material vegetal em decomposição, sendo ainda pouco conhecidos seus efeitos sinérgicos.

Quadro 4

FONTES E SUMIDOUROS DE COMPOSTOS DE LONGA DURAÇÃO

Fonte – Tipo	Sumidouros
CH ₃ Cl	
Plantas Tropicais e Subtropicais Formações decíduais /folhas mortas Queima de Biomassa Oceanos Fungos Salinas Queima de combustíveis fósseis Incineração de lixo Áreas úmidas Processos Industriais Campos de arroz	Reações OH Solos Reações do Cl Perdas para a estratosfera Perda para os oceanos polares
Total Max. 13.578 Gg ano ⁻¹	Total Max 6.695 Gg ano ⁻¹
CH ₃ Br	
Oceanos Gases dos solos Queima de biomassa Salinas Gasolina Áreas úmidas Fungos Turfeiras Vegetação arbustiva Campos de arroz	Solos Oceanos OH e fotólise
Total Max. 293 Gg ano ⁻¹	Total Max. 387 Gg ano ⁻¹

Fonte: GEBHARDT, 2008. Modificado

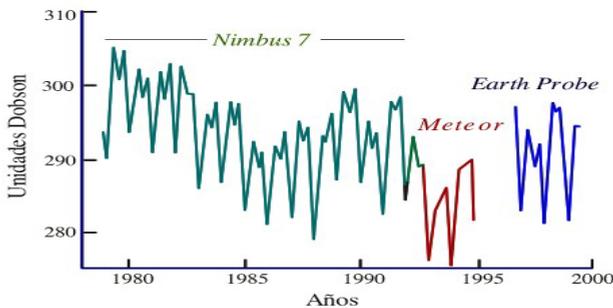
Já os compostos de vida curta como o CHCl₃, CH₂Br₂, CHBr₃ e CH₃I, investigados por GEBHARDT (2008), têm suas principais fontes majoritariamente biogênicas como nos oceanos abertos, nos processos do solo, nas fontes vulcânicas e geológicas, nos arrozais, na queima de biomassa e nas turfeiras. Já os processos exclusivamente antropogênicos, como a fabricação de papel e celulose, o tratamento de água (cloração) e os processos industriais, respondem com cerca de 8,5% dos totais das emissões estimadas ou medidas.

Uriarte observa que a evolução da massa global de ozônio (troposférico e estratosférico) desde 1979, ano em que começam as medições por satélites (gráfico 1), não se modificou muito. Uma observação mais

detalhada do gráfico 1 indica que, fora as fortes quedas que se seguiram, as erupções vulcânicas do El Chichón (México, Abril de 1982) e do Pinatubo (Filipinas, Junho de 1991), não houve, ao menos desde 1983, uma tendência clara a altas ou baixas. Ainda segundo Uriarte, nas latitudes de 35 a 60°N, observa-se um aumento desde 1993 até 2005, atribuídos principalmente a alterações na circulação estratosférica do mesmo nível de 1985 (HADJINICOLAOU et al, 2005 e URIARTE, 2003).

Gráfico 2

EVOLUÇÃO DA ESPESSURA MÉDIA DO OZÔNIO GLOBAL (ENTRE 65°N E 65°S), MEDIDA POR EQUIPAMENTO TOMS TRANSPORTADO POR TRÊS SATÉLITES-NIMBUS7, METEOR E EARTH PROBE (1979-2000)



Fonte: Uriarte, 2003

Conforme Uriarte, existem muitas incógnitas sobre o futuro do ozônio estratosférico:

Debido al posible enfriamiento de la estratosfera por causa del incremento del CO₂ (DAMERIS, 1998). El CO₂ no solamente es un eficiente absorbente de radiación infrarroja sino que también es un excelente emisor de este tipo de radiación. En los niveles estratosféricos la emisión de radiación infrarroja emitida por el CO₂ se escapa en gran parte hacia el espacio exterior. Por lo tanto, el CO₂ actúa allí enfriando la estratosfera. Probablemente este enfriamiento estratosférico provocado por el incremento del CO₂ y por el propio aumento del ozono troposférico (que atrapa en las capas bajas la radiación terrestre saliente) conlleve la formación de nubes polares estratosféricas más abundantes. Por eso es posible que la destrucción de ozono que se produce en estas nubes aumente y que sean más profundos los "agujeros" estacionales que se forman en las latitudes altas (URIARTE, 2003, s/p).

O mesmo autor complementa que o esfriamento da estratosfera, associado a uma provável redução dos compostos de cloro (Protocolo de Montreal), pode viabilizar um aumento do ozônio estratosférico, “pues allí se reduce la velocidad de las reacciones naturales de química homogénea (gas-gas) que destruyen el ozono y que equilibran el proceso de formación de ozono por la acción del Sol sobre el oxígeno” (URIARTE, 2003, s/p).

Outro aspecto importante, em relação às alterações na composição média do ozônio na estratosfera, estaria nas nuvens estratosféricas polares, como afirma Uriarte:

La frecuencia de nubes polares estratosféricas, y la consiguiente destrucción de ozono, es el incremento del vapor de agua. El metano es la principal fuente de humedad de la estratosfera, en donde su oxidación acaba produciendo dióxido de carbono y agua. A pesar de la escasez de las mediciones, hay indicios de que el vapor de agua en la estratosfera ha ido aumentando a razón de un 1% anual en las últimas tres décadas (OLTMANS, 2000). Una mayor concentración de agua en la estratosfera facilitaría la formación de nubes. Además, el vapor de agua provoca, al igual que el CO₂, un efecto neto de enfriamiento en la baja estratosfera (FORSTER, 1999), que también contribuiría a una mayor frecuencia de las nubes polares estratosféricas (URIARTE, 2003, s/p).

Outro aspecto de fundamental importância na química mobilizadora do ozônio está muito ligada aos cataclismos vulcânicos, o que segundo Deshler (1998), Berger et al (1989), entre outros, ainda reside em incógnitas, pois a grande massa de aerossóis sulfatados, que pode cobrir praticamente todas as latitudes, leva a uma redução de energia na ordem de 3 a 4 W/m², esfriando a troposfera como no caso do Pinatubo ou Santa Helena (TAZIEFF, 1999). Lucht (2002) aponta ainda a considerável redução na concentração de ozônio estratosférico. Isto demonstra uma forte relação do ozônio com as trocas verticais de energia e matéria na atmosfera.

Já foi comprovada a existência de muitos outros gases na estratosfera: hidrogênio, hélio, metano (CH₄), monóxido e dióxido de Cloro (ClO e ClO₂), os óxidos de nitrogênio (NOx), compostos a base de Bromo (altamente reagente), Flúor, Iodo, dióxido de carbono (CO₂), entre outros gases como o Argônio, Criptônio, Xenônio, etc., menos os CFC's. Este fato foi demonstrado por inúmeros cientistas, entre eles, Igor J. Eberstein, do *Goddard Space Flight Center* da NASA, entre outros cientistas desta área.

Assim, nesta atmosfera Antártica, um conjunto de reações provocadas pelos óxidos de nitrogênio, vapor de água e oxigênio, levam a uma rápida queda nos níveis de ozônio neste setor da atmosfera. Alguns estudos têm indicado que, dentro do vórtice, os níveis de vapor d'água, ozônio e óxidos nitrosos caem de maneira abrupta e elevam-se os níveis de cloro. E então vem a pergunta: de onde vem tanto cloro?

3.5. *As fontes de cloro*

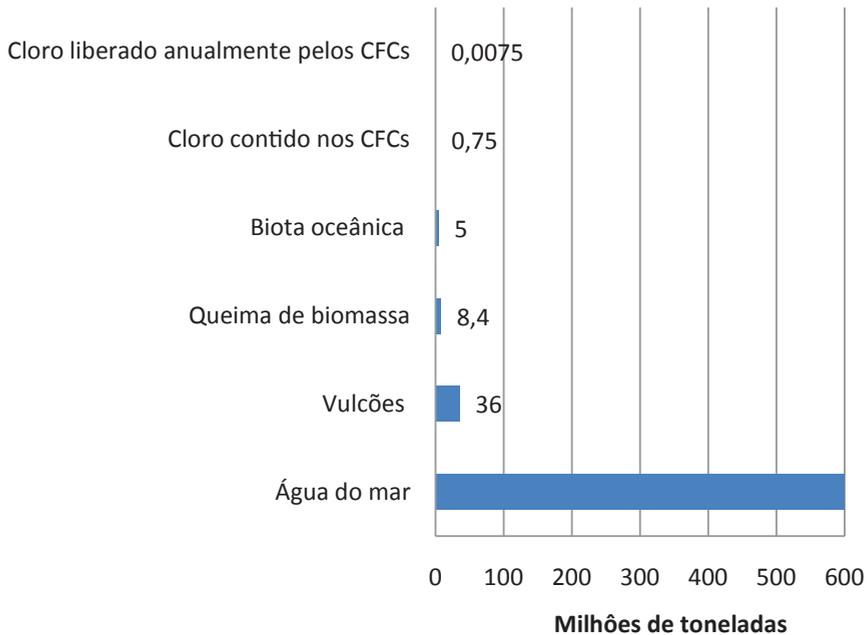
Pairando sobre o problema da redução sazonal ou efetiva da camada de ozônio, encontra-se um dos principais agentes apontados por todos os estudiosos do assunto: **o cloro**. O fato de haver uma grande presença deste elemento na atmosfera Antártica, especialmente dentro do vórtice, levou a postulação da sua dissociação, a partir dos CFC's, mas é justamente aí que reside uma das grandes polêmicas, e a menos elucidada delas. Cientistas, como o eminente químico Pierre Lutgen (2006), afirmam que seria necessário, aproximadamente, que cerca de 90% de toda a produção mundial de CFC's estivessem no hemisfério sul, sem contar aqui que nem tudo que é produzido, em termos efetivos, é liberado para a atmosfera, entre outros fatores envolvidos neste processo.

Na Antártida, existem dois vulcões, "O terror" e o Monte Erebus, sendo que apenas o segundo é ativo desde 1841 (FERREYRA, 2006). O Erebus está a 77°S e 168°E, muito próximo da base onde se realizam medições meteorológicas que embasam estudos científicos sobre o tema. Da base de McMurdo, são lançados constantemente sondas para medir a composição dos gases, e o eminente vulcanólogo Haroun Tazieff já realizou varias campanhas para estudar as emissões gasosas deste vulcão. Após avaliar detalhadamente o fenômeno, ele concluiu que são produzidas cerca de 1.000 toneladas de cloro, entre outros gases por dia, o que, em uma semana, produziria o cloro equivalente ao somatório de todos os CFC's produzidos no mundo em um ano, ou seja, 7.500 toneladas de CFC's contra cerca de 360.000 toneladas de cloro vulcânico do Erebus. Estes dados totais sobre produção dos CFC's estão em relatórios do IPCC e dados do professor

Tazieff, disponíveis em artigos científicos, facilmente pesquisados em bibliotecas digitais.

Vejamos, então, no gráfico 3, uma estimativa da produção anual do cloro segundo fontes diversas, fato que põe em xeque a teoria caótica dos CFC's.

Gráfico 3
ESTIMATIVAS DA PRODUÇÃO ANUAL DE CLORO SEGUNDO FONTES SELECIONADAS



Fonte: adaptado de Ferreyra, 2006

Tal informação impõe mais alguns questionamentos acerca deste problema e de suas implicações, como, por exemplo: O que levaria a condicionar de forma tão enfática a ínfima quantidade de cloro presente nos CFC's ao problema da camada de ozônio?

Seria ele, o cloro antropogênico, de fato o gatilho acionador da instabilidade ou rarefação cíclica do ozônio?

Qual seria o papel do cloro liberado de fontes naturais, que no caso do Monte Erebus chega a ser 48 vezes maior que toda a produção mundial provinda a partir dos CFC's?

Outros dados disponíveis põem em xeque a questão, pois, somadas todas as fontes de cloro, estas são 80.000 vezes maiores que as prováveis liberações a partir dos CFC's. E, na estratosfera, registra-se apenas uma concentração de cerca de 0,1 ppb. Estudiosos como Lutgen, Khalil e Rasmussen afirmam que a maioria do CFC produzido "são devorados por bactérias que se encontram no solo em todo mundo" (LUTGEN, 2006), bem como são dissolvidos no mar, pois, como observado anteriormente, estes são mais de 4,5 vezes mais pesados que o ar. Assim, é necessário atentar para a problemática com um olhar mais crítico, revendo os princípios dos postulados básicos e das fontes de informação.

3.6. *Contrapontos ao paradigma emergente*

Em 1988, publicações da NASA davam conta de que a camada de ozônio sobre os EUA e a Europa havia diminuído cerca de 3% entre 1969 e 1986, o que levaria a um aumento das radiações UV e conseqüente epidemia de câncer. Tal conclusão não foi unânime. Em 12 de fevereiro de 1988, a Revista *Science* publicou um interessante estudo de Joseph Scotto (1986), do *Biostatistic Branch* do *National Cancer Institute* dos EUA, que apresentou evidência científica, provando que a quantidade de radiação UV-B que chegava à superfície dos EUA havia diminuído cerca de 7% entre 1974 e 1985, o que, se comparado à variabilidade dos ciclos solares (WILSON; MORDVINOV, 2003), também pode ajustar-se com tal dado. Ele se baseou em uma rede de leituras diretas, em estações de monitoramento ao nível do solo, com medidores Robertson-Berger, que detectaram variações em declínio. Vale ressaltar que alguns dos dados hoje disponíveis são inferidos a partir de fontes orbitais, o que implica, certamente, em alguma espécie de desvio.

Os pesquisadores contrários às proposições de Scotto afirmaram estar ele equivocado por não levar em consideração que a produção fotoquímica do ozônio troposférico, especialmente nas grandes cidades, ou outras substâncias estivessem diminuindo a radiação pelo seu poder filtrante. Resultado, em outro número da mesma revista, Scotto diz que tal contaminação urbana não dispersaria os UV-B e argumenta que em Mauna Loa

(Hawaii), lugar relativamente livre de qualquer contaminação, as análises preliminares não mostraram qualquer aumento de radiação entre 1974 e 1985. O resultado deste polêmico debate foi: Scotto não pode mais continuar suas pesquisas e suas estações foram fechadas, impossibilitando, assim, a continuidade no fornecimento de seus dados, o que acabou projetando-o no cone de sombra da ciência, especialmente sobre esta temática.

Nos diversos debates que sucederam esta polêmica, Molina tentou explicar as reações químicas que levavam à brusca queda dos níveis de ozônio, mas um amplo conjunto de cientistas ainda contesta cabalmente as proposições dele, principalmente pelo fato de não explicar a origem do cloro em suas equações, o que é facilmente dedutível pelos dados anteriormente mostrados.

3.7. *A radiação ultravioleta*

A radiação ultravioleta é uma parte do espectro solar, e pode ser separada em três partes: UV-A, 320-400 nm (nanômetros); UV-C, 320-280 nm; e UV-B, < 280nm. O UV-C é totalmente absorvido na atmosfera terrestre, e por isto não é de maior importância para medidas feitas da superfície da Terra. O UV-A é importante, porque não é absorvido pela atmosfera, a não ser por espalhamento nas moléculas e partículas, e porque tem efeitos sobre a pele humana. A radiação UV mais importante, sem dúvida, é a UV-B. Esta radiação é absorvida na atmosfera pelo ozônio, na estratosfera. A pequena quantidade que passa pela atmosfera e atinge a superfície é muito importante, porque excessos desta radiação causam câncer de pele e são uma grande preocupação para os médicos dermatologistas, embora sem ela não exista vida nem a síntese de algumas vitaminas como a D pelos seres humanos.

Quatro pesquisadores citados por Lutgen (2006), estudando a radiação UV, afirmaram que entre 1974 e 1984 a variação de ozônio foi da ordem de -0,26 a +1,5%, completamente insignificante se forem consideradas as margens de erro do método utilizado. Os professores Larsem e Hendrikson estudaram dados desde os anos 1930 no Ártico e em 2000 publicaram artigo na *Nature*, mostrando não haver diminuição alguma na radiação

UV. Soukharev (apud LUTGEN, 2006), pesquisadora da Universidade de St. Petersburg por décadas seguidas, não registrou mudança na radiação UV em estações sob seu controle. Kelfens (2002), avaliando o efeito das mesmas radiações, chega a conclusões semelhantes.

Ferreyra (2006, s/p) afirma, após análise de diversas fontes, que:

Os valores típicos de radiação global médios são de ~ 300 watts/m² em Buenos Aires; próximos de 100 a 150 watts/m² na Terra do Fogo; e de ~ 100 Watts/m² na Antártida. Os níveis de radiação ultravioleta diretamente abaixo do "buraco de ozônio" não alcançam a metade dos níveis de Buenos Aires no mesmo momento.

De fato, sobre os dados e suas interpretações, residem muitas controvérsias, mas um substancial número de cientistas afirma que muitas estações de observação não estão detectando tal diminuição, apenas variações estacionais ou associações destas a fenômenos como manchas solares ou vulcanismo de larga proporção, como, por exemplo, o do Monte Pinatubo em 1991, que afetou o clima global por vários anos, com redução da temperatura. Neste contexto, novas indagações podem ser feitas, no que tange aos motivos de base político-econômica que permanecem por trás de algumas ideias largamente expostas.

3.8. *A tentativa de controle do sistema climático*

O sistema climático global é essencialmente um sistema não linear, cuja complexidade está ligada a fenômenos intrínsecos e extrínsecos à própria atmosfera. Os intrínsecos são bastante complexos, especialmente os ligados à relação oceano-atmosfera, variação no padrão de nuvens, albedo terrestre, emissões vulcânicas, entre outros. Já os extrínsecos estão ligados a fenômenos de ordem astronômica, essencialmente ciclos de manchas e de ventos solares, variação da eclíptica terrestre, oscilação do eixo, precessão axial, entre outros fenômenos que interferem na dinâmica climática global, criando pulsos, ritmos e variabilidades em diferentes escalas. As respostas globais da tecnosfera às possíveis ou prováveis mudanças nas características das emissões, especialmente na diminuição de gases do efeito estufa e outros reagentes com a camada de ozônio, por exemplo, levariam dezenas a centenas de anos para uma possível estabilização (JAWOROWSKI,

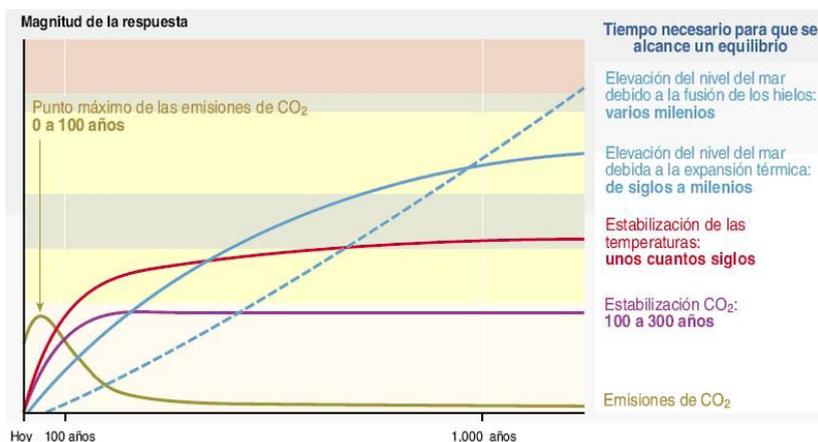
1997 e 2007). Mesmo considerando uma provável estabilização, fato pouco admissível diante das evidências evolutivas e dinâmicas do planeta, isto nada diz sobre sua resultante final: o retorno de condições geoambientais pré-industriais ou pretéritas e, no mínimo, uma ilusão lastreada sobre fatos que atentam contra postulados básicos da termodinâmica. As imensas alterações no albedo terrestre realizadas no ciclo histórico da produção do espaço, especialmente através da alteração do uso do solo, bem como o conjunto de fatores de ordem orbital, entre outros aspectos, não fazem parte do arcabouço de dados que circunstanciam o discurso majoritário, criando, assim, um ambiente quase que totalmente hipotético. Neste caso, e, se somente levássemos em conta a dinamicidade presente na biosfera, tais mudanças tecnológicas, como no caso dos CFC's, seriam de fato eficientes ao fim que se propuseram? A linearidade de tal ação-resposta é evidente, e altamente improvável em sua concretização.

Outro aspecto que corrobora com tal ideia associa-se às escolhas realizadas nos métodos de calibração dos modelos de previsão, especialmente na interface oceano-atmosfera (temperatura e transporte de calor), falhas na reprodução do ciclo hidrológico, especialmente no que tange às propriedades das nuvens, entre outros fatores apontados por Molion (2010), Gerard (1989), Uriarte (2003), Barron (1989), Schlesinger (1989), entre outros. Estes modelos apresentam muitas conjecturas, sobre cenários futuros, nos quais se trabalha com meras possibilidades que implicam em políticas públicas e ações regulatórias de amplo alcance e que resultam em beneficiários poderosos.

É altamente aceitável que se aplique o princípio da prudência e da precaução como normativa direcionadora de políticas de alcance global, mas estas não podem basear-se no excesso de incerteza. Tais especulações implicam em decisões no âmbito da esfera econômica, o que tem se revertido em fortes transformações e inversões de capitais em escala global, o exemplo do banimento dos CFC's é um caso emblemático no impacto sobre a produção, a distribuição e royalties a ele vinculados. Os créditos de carbono ou os direcionamentos do MDL no Protocolo de Kyoto também caminham no mesmo sentido. A título de exemplo acerca das incertezas propostas pelos modelos, vemos tratados, na figura 6, a reatividade do

sistema e o tempo de resposta a uma abrupta redução na emissão de CO₂ e as respostas das temperaturas, da expansão térmica dos oceanos e de sua elevação, graças à fusão do gelo polar ou de outras áreas.

Figura 6
RESPOSTAS DOS SISTEMAS AMBIENTAIS A UMA POSSÍVEL REDUÇÃO DE CO₂



Fonte: IPCC, 2005

Nota-se claramente, neste hipotético exercício de futurologia, que, mesmo na mais otimista das possibilidades, se as mudanças no âmbito do sistema climático global fossem possíveis, estas levariam décadas para o processo de adaptação, no caso de uma rápida e radical inibição das emissões de CO₂. A resiliência do sistema ambiental não responde de pronto às torpes equações matemáticas ou balanços de economistas ou outros técnicos de formação duvidosa que acreditam manipular um tubo de ensaio com reações previsíveis. Uma vasta gama de cientistas de renomada categoria reconhece os limites de determinadas ações e possibilidades de manipulação de sistemas complexos como o ambiental, mas afinal ainda nos perguntamos o porquê de tão forte embate e que questões estão em jogo nestas distintas defesas.

4. Algumas implicações políticas e econômicas

Os elementos de ordem política e econômica serão aqui tratados mediante a apresentação de um conjunto de questionamentos sobre o tema. Iniciemos com o entendimento de como se distribui em grupos de países, a produção dos compostos banidos e de seus substitutos e sua projeção de produção até 2015 (ver quadro 5).

Quadro 5
PRODUÇÃO DE AGENTES ESPUMANTES POR GRUPO DE PAÍSES

Agente espumante	1990 (toneladas)		2000 (toneladas)		2015 (toneladas)	
	Países desenvolvidos	Países em desenvolv.	Países desenvolvidos	Países em desenvolv.	Países desenvolvidos	Países em desenvolv.
CFC	1.532.000	201.100	1.485.000	419.800	1.031.450	196.600
HCFC	5.200	0	841.000	40.450	900.700	515.800
HFC	0	0	3.500	0	588.000	150
HC	1.150	0	178.400	31.900	903.000	329.000
Todos os agentes	1.538.350	201.100	2.507.900	492.150	3.393.150	1.041.550

Fonte: IPCC, 2005, modificado

Embora o quadro 5 mostre a produção apenas de agentes espumantes, as demais finalidades de uso dos compostos acompanham proporção semelhante e mostram a disparidade gritante entre os dois grupos de países. Obviamente, por esta simples mostra, poderíamos refletir sobre o ônus diferencial a ser arcado no sentido da mitigação do problema, se é que ele existe e no processo de substituição tecnológica forçado pela proibição dos CFC's pelo protocolo de Montreal.

A substituição dos antigos agentes refrigerantes tóxicos e inflamáveis pelos CFC's data dos anos 1929, após um rápido crescimento no seu uso. Por não ser inflamável, corrosivo ou tóxico, em 1991 os CFC's foram definitivamente acusados de vilões do ozônio. Seus substitutos, como HFC e PFC, chegam a ser 15 vezes mais caros e menos eficientes, como afirma Tazieff. As patentes dos substitutos estão ligadas à DUPONT: um de seus principais acionistas, Edgar Bronfman, realizou significativas doações a ONGs nos EUA. Ainda como enlace entre corporações e ONGs, Peter

Melchett (herdeiro da *Imperial Chemical Industries*) é diretor do Greenpeace na Inglaterra (FERREYRA, 2006).

A partir dos elementos colocados, podemos refletir em várias linhas, todas altamente imbricadas:

Qual foi o custo da proibição do uso dos CFC's e como ele foi compartilhado pelas várias nações signatárias?

Quanto seria o lucro das empresas detentoras das patentes dos substitutos aos CFC's?

Por que foi recentemente comemorado o fim do problema, se a vida útil das moléculas de CFC's são relativamente longas?

O próprio F. Sherwood Rowland afirmou categoricamente que a implementação do Protocolo de Montreal (1987), se cumprido na íntegra e mantidos os níveis de outras emissões, apenas aproximadamente em 2050 poderia proporcionar uma atmosfera tal qual Lovelock encontrou em 1970. Dada a longa vida útil e a instabilidade dos compostos, como seria possível comemorar o fim do “buraco da camada de ozônio” em tão pouco tempo? Quais são de fato as vinculações entre a ciência, os cientistas e a economia nesta questão? Embora muitas questões mais possam ser elaboradas, acreditamos que estas põem alguma reflexão sobre o tema.

5. Variabilidade da radiação na Bahia e outras relações

Uma primeira aproximação em relação a observações nos sistemas de dados produzidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1998) e em dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006), entre outras fontes, pode levar a inferir que o Estado da Bahia, especialmente o Oeste Baiano, sofreu significativas variações no que tange a radiação média anual típica analisada para os anos de 1985-1986 a 1995. Tal variação encontra uma profunda correlação com os índices de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), o qual afeta inúmeros sistemas atmosféricos, conforme explicado por Molion em inúmeros artigos científicos. O desvio da ODP próximo à zero apresenta comportamento semelhante à normal das médias anuais para o posto Barreiras para os anos-chave indicados. Tal observação

acerca desta variação deverá ser submetida futuramente a um conjunto de análises específicas, a fim de validar estas correlações.

Na mesma comparação para os dados de manchas solares a partir de informações de Wilson e Mordvinov (2003), Molion (2006), Uriarte (2003) entre outros autores, vê-se outro claro alinhamento de relações entre os dados anteriores e os índices de insolação média total global a partir de dados do IPCC.

Compreendendo o conjunto de relações a partir de uma concepção integrada em sistemas complexos de respostas, podemos realizar algumas aproximações, nas quais observamos tendências de respostas similares positivas ou negativas na variação dos sistemas ou nas tendências para as condições climáticas em escala regional.

Estudos na variação do índice normalizado de vegetação, em áreas que apresentam um comportamento mais ou menos constante em termos de uso do solo, devem indicar possíveis correlações com os dados obtidos em escala global. Tais conjecturas em vias de validação deverão mostrar profunda correlação entre as respostas destes diferentes sistemas.

6. Observações finais

Existem os equívocos provocados pelos limites da ciência e da técnica em se compreender algumas questões, seja por se constituir em novos campos da ciência, ou por tratar-se de fenômenos desconhecidos de elevada complexidade, sinergia e aleatoriedade, o que implica em limitação de compreendê-los e mensurá-los adequadamente. Para tais limites, apenas o avanço da ciência pode permitir novas leituras ou, como querem os mais precavidos, “novas aproximações”. O modelo atômico, os processos de evolução da vida e do planeta são bons exemplos, nos quais o avanço da ciência pôs fim a muitas dúvidas e também criou outras novas. Por outro lado, o uso da ciência como linguagem de manipulação traz retrocessos sem igual, pois não elucida as verdadeiras causas dos fenômenos e impõe uma lógica de ações sem efeitos concretos sobre o que se propõe resolver. Esta falta de eficiência de objetivos leva a prejuízos e à perda de tempo.

A questão das transformações dos sistemas ambientais é inevitável, e só com diagnósticos de qualidade é que poderemos realizar uma adaptação que dê respostas adequadas e eficientes, no sentido de mitigar inevitáveis custos socioambientais que ainda estão por vir.

Acreditamos que o parco, mas diverso, conjunto de informações que apresentamos, sobre a problemática dos CFC's, torne possível repensar algumas ideias sobre o tema, abrindo, assim, um campo de questionamento, para tantos problemas evidenciados em alguns dos paradigmas ambientais modernos. Outro aspecto importante desta temática é que ela demonstra a necessidade do raciocínio interdisciplinar para sua compreensão, necessitando exercitar diálogos com várias áreas do conhecimento, especialmente na compreensão de uma geografia física global, pois esta possui os requisitos necessários a uma visão mais totalizante das atuais questões que estão postas.

Nota

¹ Um (1) DU é a medida em unidades de centésimos de milímetro, que a coluna de ozônio poderia ocupar com temperatura e pressão padrões (273°Kelvin e 1 atmosfera).

² Linhas que unem pontos de igual pressão atmosférica, medidas em milibares (Mb) ou em milímetros mercúrio (mm/Hg).

Referências

AB'SABER, Aziz N. **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. MODENESI-GAUTTIERI, May Christine et al (Orgs.). São Paulo: Beca-BALL Edições, 2010. ISBN: 978-85-62768-05.

AB'SABER, Aziz N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos Glaciais quaternários. In: MODENESI-GAUTTIERI, May Christine et al (Orgs.). **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-BALL Edições, 2010.

AB'SABER, Aziz N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil Intertropical. In: MODENESI-GAUTTIERI, May Christine et al (Orgs.). **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-BALL Edições, 2010.

AB'SABER, Aziz N. Razões da retomada parcial de semiaridez holocênica por ocasião do optimum climático. **Revista Inter-facies**, São José do Rio Preto-SP, n. 8, p. 1-13, 1980.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BARRON, Eric J. Studies of Cretaceous Climate. **Geophysical Monograph**, UGG series, v. 52, p. 149-157, 1989.

BERGER, A. et al. Understanding Climate Change. **Geophysical Monograph**; 52/ UGG series; 7. ISBN 0-87590-457-2.

BODEKER G. et al. The global mass of ozone: 1978-1998. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 14, p. 2819-2822, 2001.

DESHLER T. et al. Correlations between ozone loss and volcanic aerosol at altitudes below 14 km over McMurdo Station, Antarctica. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 21, p. 2931-2934, 1998.

FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G.; SHANKLIN, J. D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. **Nature**, v. 315, n. 6016, p. 207-210, 1985.

FERREYRA, Eduardo. **Ecologia: Mitos y Fraudes**. FAEC, 2006. Disponível em <<http://www.cisle.org.mx/public/ecologia.htm>>. Acesso em abril 2006.

GEBHARDT, Sarah. **Biogenic Emission of Halocarbons**. Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Tese de Doutorado, 2008. Disponível em <http://ubm.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2008/1759/pdf/diss.pdf>. Acesso em novembro de 2010.

GÉRARD, J. C. Aeronomy and Paleoclimate. **Geophysical Monograph**, UGG series, v. 52, p. 139-148, 1989.

GUIRLET, M.; KECKHUT, P.; GODIN, S.; MÉGIE, G. Description of the long-term ozone data series obtained from different instrumental techniques at a single location: the Observatoire de Haute-Provence (43.9°N, 5.7°E). **Annales Geophysicae**, v. 18, n. 10, p. 1325-1339, 2000. Disponível em <www.aero.jussieu.fr/themes/DCAM>. Acesso em 11 de novembro de 2006.

HADJINICOLAOU P. et al. The recent turnaround in stratospheric ozone over northern middle latitudes: A dynamical modeling perspective. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 12, junho de 2005.

HECHT, Laurence. True CO2 Record Buried Under Gore. **Rev. EIRScience**, p. 4-9, mar 2007. Disponível em <<http://www.21stcenturysciencetech.com>>. Acesso em 15 de agosto de 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Atlas de irradiação solar de Brasil** (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície). Brasília-DF, Outubro de 1998. Disponível em http://www.lepten.ufsc.br/pesquisa/solar/atlas_de_irradiacao.pdf. Acesso em 16 de agosto de 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Índices teóricos da radiação UV-B, para as cidades Brasileiras**. 2006. Disponível em <<http://www.dge.inpe.br/ozonio/radiauvb.htm>>. Acesso em 26 de Agosto de 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). **Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis**. 2001. Disponível em <www.ipcc.ch>. Acesso 14 de maio 2004.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). **La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono**. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2005. Disponível em <www.ipcc.ch>. Acesso em 16 de novembro de 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). **La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial**: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. PNUMA OMM, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica. 2005. Disponível em <www.ipcc.ch>. Acesso em 21 de fevereiro de 2006.

JAMES, G. Tito. **Efeitos de Alterações em ozônio e do clima global** Disponível em <<http://www.ciesin.org/docs/001-535e/001-535e.html>>. Acesso em 21 de maio 2011.

JAWOROWSKI, Zbigniew. CO₂: The Greatest Scientific Scandal of Our Time. **Rev. EIRScience**, p. 38-53, mar 2007. Disponível em <<http://www.21stcenturysciencetech.com>>. Acesso em 11 agosto de 2008.

JAWOROWSKI, Zbigniew. Ice Core Data Show No Carbon Dioxide Increase Spring. **Rev. 21st CENTURY**, p. 42-62, spring 1997. Disponível em <<http://www.21stcenturysciencetech.com>>. Acesso em 16 julho 2004.

KELFENS, G. et al. **Ozone layer - climate change interactions. Influence on UV levels and UV related effects**. Maio de 2002. Disponível em <http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/410200112_main_report.pdf>. Acesso em 21 dezembro de 2010.

KHRGIAN, A. K.; KUZNETSOV, G.I.; KONDRATIEV, A.V. **Atmospheric Ozone**, Moscou, p. 30-35, 1975.

- LEGGT, Jeremy. **Aquecimento Global**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1992.
- LOMBARDO, M. A. O Processo de Urbanização e a Qualidade Ambiental: Efeitos Adversos do Clima. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 4, p. 161-166, 1990.
- LUTGEN, Pierre. **El Agujero de Ozono se Cierra**. 2006. Disponível em <<http://www.mitosyfraudes.org/Ozo/OzonoLutgen.html>>. Acesso em 02 de abril de 2006.
- LUCHT, W. et al. Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and Pinatubo effect. **Science**, v. 296, n. 5583, p. 1687-1689, May 2002.
- MARTINS, Fernando Ramos et al. Mapas de irradiação solar para o Brasil – Resultados do Projeto SWERA. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3137-3145. Disponível em <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/XIISBSR_2005_Goiania_3137_SWERA_FRMartins_etal.pdf>. Acesso em 10 de setembro 2010.
- McHUGH, C. A.; CARRUTHERS, D. J.; EDMUNDS, H. A. ADMS-Urban: an air quality management system for traffic, domestic and industrial pollution. **Environment and Pollution**, n. 8, p. 437-440, 1997.
- MOLINA, M. J.; ROWLAND, F. S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruction of ozone. **Nature**, v. 249, p. 810-812, June 1974.
- MOLION, Luiz C. B. **Considerações sobre o aquecimento global antropogênico**. Disponível em http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/conteudo/artigos_teses/Ciencias/Artigos/luizcarlosmolion_artigo.pdf. Acesso em 14 de julho de 2010.
- MOREIRA, Davidson; TIRABASSI, Tiziano. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, jul./dez. 2004
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Largest-ever ozone hole observed over Antarctica**. **NASA Goddard Space Flight Center**. 2001. Disponível em <<http://www.gsfc.nasa.gov/gsf/earth/enviro/ozone/ozone.htm>> [Geo-2-017]. Acesso em 12 de agosto 2004.
- OECD. **Towards Sustainable Development – Environmental Indicators**. OECD Publications, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, Paris, 1998. Disponível em <<http://lead.virtualcenter.org/pt/dec/toolbox/Refer/gf15677.pdf>>. Acesso em 19 de agosto de 2004.

PIDWIRNY, Michael. **Fundamentals of physical geographphy**. University of British Columbia Okanagan, 1999 (web book). Disponível em <<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/contents.html>>. Acesso em 22 de agosto de 2008.

ROWLAND, Sherwood. **Un Nóbel explica el mayor problema ambiental**. 2006. Disponível em <www.ambiental.net/noticias/cambioclimatico/CambioClimaticoRowlandEntrevista.html> . Acesso em 21 de agosto 2006.

SALGADO-LABORIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1994.

SCHLESINGER, Michael E. Quantitative Analysis of Feedbacks in Climate Model Simulations. **Geophysical Monograph**, UGG series, v. 52, p. 177-187, 1989.

SCOTTO, Joseph. Effects of changes in stratospheric ozone and global climate. 1986. In: **Stratospheric ozone**. Vol. 2 of Effects of changes in stratospheric ozone and global climate, Ed. J. G. Titus, p. 33-61. Proceedings of the United Nations Environment Programme (UNEP)/Environmental Protection Agency (EPA) International Conference on Health and Environmental Effects of Ozone Modification and Climate Change. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em <<http://www.ciesin.org/docs/001-535e/001-535e.html>>. Acesso em 12 março 2011.

STRAHLER, A. N. **Geografía Física**. Barcelona: Omega 1986.

TAZIEFF, Haroun. **Os Vulcões e a Deriva dos Continentes**. Edição/reimpressão: 1999. Editor: Europa-América. ISBN 9789721024052. 1999.

UNEP (United Nations Environment Programme). **The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer**. Nairobi-Kenya, 2000a. Disponível em <<http://www.unep.org/ozone>>. Acesso em 23 de julho 2005.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Report of the Twelfth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol**. UNEP Ozone Secretariat. 2000b. Disponível em <<http://www.unep.org/ozone/12mop-9.shtml>>. Acesso 08 de setembro 2005.

URIARTE, Antón. **Historia del clima de la Tierra**. 2003. Disponível em <http://web.me.com/uriarte/Historia_del_Clima_de_la_Tierra/Historia_del_clima_de_la_Tierra.html>. Acesso em 21 de março 2010.

WILSON, R.; MORDVINOV, A. Secular total irradiance trend during solar cycles 21-23. **Geophysical Research Letters**, v. 30, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Antarctic Ozone Bulletin**. Geneva. 2000. Disponível em <www.who.org>. Acesso em 07 de novembro de 2000.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts**. Villach, 9-15 October 1985; Geneva, 1986. Disponível em <www.who.org>. Acesso em novembro 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Air Quality**. Geneva, 1999. Disponível em <www.who.org/air_quality>. Acesso em julho de 2003.

Recebido em: 02/11/2011

Aceito em: 14/11/2011