

# A REDUÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO EFEITOS SOBRE O BRASIL

Volker W.J.H. Kirchhoff

**Medidas recentes usando várias técnicas, por grupos diferentes, mostram que a camada de ozônio está diminuindo, o que deve implicar em menor proteção contra a radiação ultravioleta. Embora variações maiores sejam esperadas para latitudes maiores, mostra-se através de cálculos simples que nas latitudes equatoriais o efeito será também significativo, o que recomenda a governantes e à sociedade científica uma atenção cada vez maior para melhor estudar o fenômeno, principalmente no levantamento de dados sobre a incidência de câncer de pele.**

da associação do oxigênio atômico ao molecular. O processo de perda mais importante na estratosfera é a reação com os nitrogenados.

O ozônio tem características diferentes na estratosfera e na troposfera. Este é um detalhe importante, em geral confundido por leigos. Enquanto na estratosfera o ozônio representa uma proteção à vida, na troposfera, isto é, na camada da atmosfera próxima à superfície, o ozônio em grande quantidade é prejudicial à vida, sendo um gás tóxico que pode prejudicar o funcionamento de vários órgãos de animais e plantas. Outra grande diferença entre as duas regiões é que na estratosfera, produtos de poluição destroem o ozônio, ao passo que na troposfera produtos poluentes podem produzir ozônio. Em ambos os casos o efeito de poluentes em relação ao ozônio é indesejável.

Acredita-se que poluentes que chegam à estratosfera são responsáveis, por exemplo, pela criação do buraco de ozônio da Antártica. Já excessos na concentração de ozônio de superfície prejudicam o crescimento e desenvolvimento das lavouras.

## INTRODUÇÃO

A atmosfera é uma mistura de gases. Alguns destes gases existem em grande quantidade. São os gases majoritários como o oxigênio  $O_2$  e o nitrogênio,  $N_2$ . Os gases minoritários são os que existem em proporções muito pequenas comparados com os majoritários. São, em geral, moléculas que reagem quimicamente entre si com grande facilidade. Alguns constituintes da atmosfera com propriedades semelhantes entre si são agrupados em famílias. Entre estas destacam-se a família dos hidrogenados (cujos constituintes tem o átomo de hidrogênio em sua molécula), a família dos nitrogenados (onde o átomo comum é o nitrogênio) e a família dos clorados (sendo o cloro o átomo comum). Como exemplo dos hidrogenados temos os radicais OH, HO  $O_2$ . Entre os nitrogenados destacam-se NO,  $NO_2$ , e o  $HN\dot{O}_2$ . O próprio Cl e ClO são os mais importantes clorados.

O ozônio pode ser considerado o elemento central em química da atmosfera. Esta molécula é produzida naturalmente numa seqüência de dissociação (separação) do  $O_2$  através de radiação solar ultravioleta na estratosfera, seguida

## OZÔNIO E CAMADA DE OZÔNIO

O ozônio é um gás natural que existe misturado aos demais gases de atmosfera. Seu símbolo químico é  $O_3$ . Pode-se dizer que a concentração do gás  $O_3$  é muito pequena em comparação, por exemplo, com os gases nitrogênio e oxigênio. É conveniente dividir-se a atmosfera em camadas. A mais baixa, em contato com a superfície, é a troposfera.

A partir de 15 Km até cerca de 50 Km de altura, tem-se a estratosfera.

A concentração do ozônio não é constante com altura, sendo máxima na estratosfera, em torno de 28 Km de altura, onde atinge a concentração relativa de ppmv (partes por milhão por volume). A concentração do  $O_3$  diminui rapidamente para baixo e para cima e, por isso, a maior parte das moléculas de  $O_3$  estão situadas próximo a 28 Km de altura. É por isto que se define aí a camada de ozônio, isto é, a fatia da atmosfera onde a concentração é significativa, como mostra a Figura 1.

Ao contrário de outros gases da atmosfera que não têm

influência direta sobre a vida, o ozônio exerce uma função extremamente importante: impede a penetração de raios ultravioleta até a superfície. O ozônio, portanto, presente na estratosfera, funciona como um escudo protetor invisível. Normalmente, a camada de ozônio tem concentração suficiente para absorver a radiação indejável. Em termos ecológicos, esta é a propriedade mais importante do ozônio.

O buraco de ozônio da Antártica é talvez o fenômeno geofísico mais extraordinário dos últimos vinte anos. A priori pode ser interpretado como a materialização indesejável da destruição da camada de ozônio na atmosfera, hipótese prevista há mais de vinte anos por pesquisadores americanos preocupados com os constantes aumentos de injeções de gases poluentes na atmosfera.

Existem outras correntes de interpretação que preferem atribuir o buraco a fenômenos geofísicos naturais. Porém, a recente superexpedição científica que a Nasa organizou para a Antártica em setembro e outubro de 1987 encontrou elevadas concentrações de monóxido de cloro, pondo fim à especulação: a causa é mesmo química.

Mas, seja qual for sua origem, o buraco de ozônio na Antártica é um fato. E mais do que isto, há fortes indícios científicos de que toda a atmosfera está mudando.

A diminuição ou destruição da camada de ozônio teria conseqüências desastrosas para a humanidade. O aumento da radiação ultravioleta, que com a destruição da camada de ozônio chegaria até a superfície, aumentaria o número de casos de câncer da pele, teria influência direta sobre o suprimento de alimentos com a redução do rendimento das safras agrícolas, e poderia certamente matar muitas espécies de larvas de várias espécies de frutos marinho, caranguejos e camarões entre eles. Mas também na atmosfera superior, na estratosfera, as conseqüências seriam imprevisíveis. Com a ausência da camada de ozônio não teríamos a estratosfera e haveria grandes mudanças na distribuição térmica e na circulação da atmosfera. Na troposfera, também, a ausência ou diminuição do ozônio teria um grande impacto sobre toda a química da atmosfera, não só por ser uma das moléculas mais reativas, mas também por participar na produção do radical mais reativo da baixa atmosfera, o oxidante mais poderoso da troposfera, o radical OH. A conseqüência disso seria um possível aumento nas concentrações de metano,  $CH_4$ , e monóxido de carbono, CO, o que seria indesejável.

## MEDIDAS DE OZÔNIO

Em 1978 foi iniciado em Natal, RN (6°S, 35°W) um programa de medidas de ozônio em colaboração com a NASA. Natal é um dos poucos locais no Brasil de onde se pode lançar foguetes, e por este motivo foi escolhido para iniciar um programa de longa duração para medir  $O_3$  usando

sondas químicas em balão e sondas ópticas em foguetes. Com as duas técnicas pode-se medir  $O_3$  desde a superfície até cerca de 35 Km de altura.

Além das medidas de  $O_3$  de Natal, mede-se de superfície em vários locais, como São José dos Campos (SP), Cuiabá (MT), Belém (PA), e Fortaleza (E). Medidas do conteúdo total de  $O_3$  usando espectrofotômetros Dobson são feitas em Natal e Cachoeira Paulista.

Várias técnicas e aparelhos podem ser usados para medir  $O_3$ , mas a maioria usa um princípio óptico (atenuação

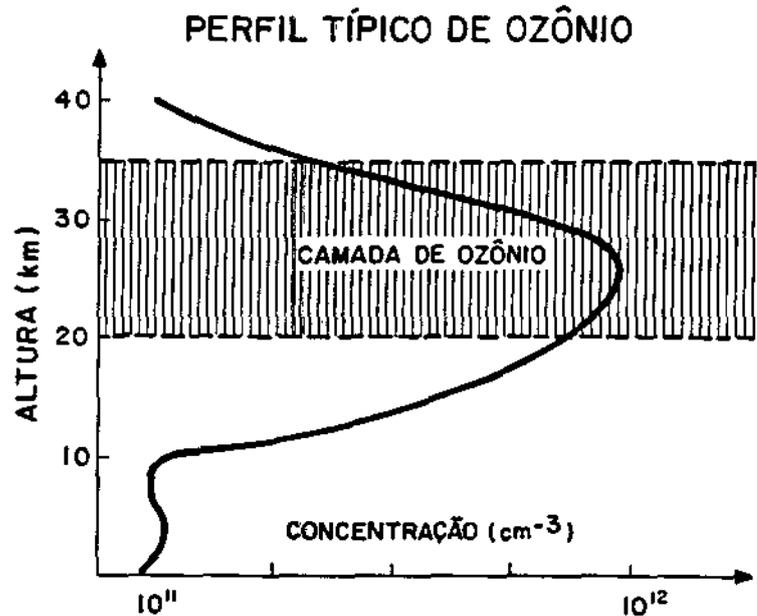


Fig. 1 - Perfil típico de concentração de ozônio

de luz) ou química (reação química) para detectar o  $O_3$ .

As medidas de superfície para determinar a concentração local de  $O_3$  são basicamente células de absorção onde um feixe de luz UV é atenuado pela presença de  $O_3$ , e um sistema de fotometria medindo com precisão a atenuação da radiação pode assim indicar a concentração de  $O_3$  na amostra. Estas medidas podem ser feitas quase que contínuas no tempo e assim podem ser usadas para estudar variações temporais rápidas.

Os espectrofotômetros Dobson também são operados na superfície, mas não indicam a concentração de  $O_3$ , e sim a integral da concentração com altura, ou o conteúdo total de ozônio. Seu princípio de funcionamento também é óptico, fazendo a medida da luz natural do sol em pelo menos dois comprimentos de onda. A atenuação permite deduzir o conteúdo total. O instrumento é relativamente simples, adequado para uso de campo, e requer pouca manutenção. É um dos instrumentos mais antigos, tendo já muito contribuído para o estudo do ozônio da atmosfera.

As medidas de maior interesse são as que determinam a variação da concentração de  $O_3$  com a altura, isto é, seu perfil vertical. As técnicas mais usadas são do tipo in situ, onde um sensor é lançado verticalmente em balão ou foguete. A sonda química, lançada em balão, atinge alturas entre

3 - Os cálculos e modelos são de modo geral consistentes com as observações.

4 - O buraco de Ozônio da Antártica é uma realidade.

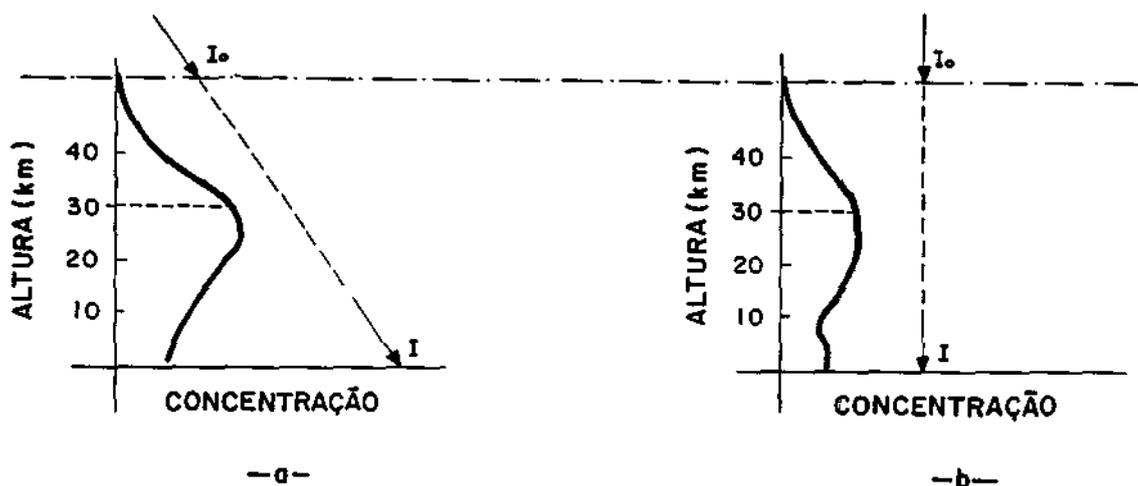


FIGURA 2 - Atenuação da radiação em latitude média ou alta.

35 e 40 Km. A sonda óptica é lançada por foguete, e cobre a região mais alta entre 30 e 55 Km.

A sonda química aspira o ar local através de um pequeno tubo, dirigindo a amostra de ar contendo  $O_3$  para uma solução química situada entre dois eletrodos. A molécula de  $O_3$ , estando presente, reage com a solução liberando um elétron que é atraído ao catodo. Os elétrons assim liberados constituem uma corrente elétrica proporcional à concentração local do  $O_3$ , e este sinal é transmitido via rádio para um receptor na superfície. O sensor óptico levado na ogiva do foguete mede a atenuação de luz solar natural com o que se pode determinar a concentração local de  $O_3$ . Todos estes tipos de medida são feitos sistematicamente no Brasil.

### AVALIAÇÃO RECENTE

Durante o ano de 1988 vários cientistas trabalharam no sentido de avaliar o estado da camada de ozônio, no sentido global. A Comissão Internacional de Ozônio (IOC) da Associação Internacional de Meteorologia e Física da Atmosfera (IAMAP), da qual o autor faz parte, em companhia de mais 37 cientistas, emitiu o seguinte parecer, após o Simpósio Internacional de Ozônio de Göttingen, de 1988:

1 - Desde 1970, o ozônio da atmosfera diminuiu de 4% nos meses de inverno e 1% nos meses de verão, para latitudes entre 30 e 64°N, com base nas medidas Dobson.

2 - Nas mesmas latitudes, observa-se um aumento de cerca de 1% ao ano na concentração do ozônio da troposfera.

5 - Mesmo que as substâncias artificiais contendo cloro fossem totalmente banidas hoje, a recuperação da camada de ozônio deverá levar várias décadas.

### EFEITOS EM BAIXAS LATITUDES

As variações naturais na camada de ozônio são maiores em latitudes maiores. Além disso, o buraco de ozônio ocorre próximo da região polar sul. Pode-se esperar, portanto, uma redução menor na camada de ozônio, nas regiões equatoriais e, com isto, esperar um efeito negativo menor. Os cálculos que são mostrados a seguir mostram que este raciocínio não é correto e que os países equatoriais deveriam se preparar melhor para possíveis aumentos na radiação UV-B.

### RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta interceptada pelo ozônio é chamada de UV-B, entre 280 e 320 nm do espectro eletromagnético. A atenuação da radiação é diferente em latitudes diferentes como mostra o esquema da Fig. 2. As duas diferenças fundamentais são: 1 - na região equatorial a radiação incide quase que verticalmente; 2 - a integral da concentração do ozônio, isto é, o conteúdo total, é naturalmente maior em latitudes maiores. O caso de latitude média ou alta está ilustrado na Fig. 2a. Na Fig. 2b está esquematizado o caso equatorial.

A atenuação de luz obedece à lei de Beer.

$$I = I_0 \exp(-\lambda \times C)$$

onde  $I$  é a intensidade atenuada quando  $I_0$  se desloca de  $x$  dentro de um meio onde a concentração é  $C$  e a seção reta de absorção é  $\lambda$ . A quantidade  $Cx$  é o conteúdo total, para incidência vertical. Para latitudes diferentes de zero deve se levar em conta o caminho óptico maior. As tabelas 1 e 2 mostram o resultado de um cálculo simples que visa evidenciar 2 resultados interessantes.

**TABELA 1** - Número relativo de fótons, I, que chegam à superfície em diferentes latitudes na faixa do UV-B por 1000 fótons incidentes.

LATITUDE (graus)	CONTEÚDO (Dobson)	TOTAL ( $\text{cm}^{-2}$ )	I
0	280	$7.5 \times 10^{18}$	77
40	320	$8.6 \times 10^{18}$	22
50	350	$9.4 \times 10^{18}$	7

**TABELA 2** - Número de excessos de fótons, I, que chegam à superfície, por redução da camada de ozônio.

LATITUDE (graus)	CONTEÚDO TOTAL (Dobson)	REDUÇÃO (%)	$\Delta I$
0	280	5	11
0	280	2	5
40	320	5	5
50	350	5	2

1 - A radiação UV-B é bem maior na região equatorial.

2 - O número de fótons adicionais que deverão incidir na superfície terrestre por causa de uma diminuição da camada de ozônio é maior nas latitudes baixas.

O primeiro resultado é consequência da distribuição natural de ozônio no globo terrestre. O conteúdo total sendo maior em latitudes maiores, permite a incidência maior do UV-B nas latitudes equatoriais. Na Tabela 1 calculamos o número de fótons que incidem na superfície entre 1000 fótons incidentes no topo da atmosfera. Os valores usados para o conteúdo total são valores típicos. Pode-se ver que a 50° norte, por exemplo, o número de fótons que penetram totalmente a camada de ozônio é 11 vezes menor do que para o equador.

Na a tabela 2 calcula-se o excesso de fótons que resultariam de uma certa redução na camada de ozônio. Para o equador simulou-se uma redução de 2% e de 5%. O resultado mostra que mais uma vez é na região equatorial que incidirá o maior número de fótons resultantes de uma destruição parcial da camada de ozônio. Mesmo que a destruição seja menor na região equatorial, como é esperado, ainda o efeito é grande, como mostra o cálculo para uma redução de 2%, isto é, o excesso de fótons produzido na região equatorial, 5, é igual ao número gerado na latitude de 40°

onde foi simulada uma região de 5% na camada de ozônio.

## CONCLUSÕES

O ozônio da atmosfera terrestre está sendo atacado por substâncias químicas que reduzem sua concentração, com a tendência de continuar a diminuir durante décadas futuras, com o que haveria um aumento significativo de radiação UV-B chegando à superfície terrestre, o que causaria inúmeros transtornos para a vida. Os países equatoriais não estão imunes a este processo. Pelo contrário, é nas baixas latitudes que o excesso de fótons UV-B será maior em consequência de uma redução da camada de ozônio.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Kirchhoff, V.W.J.H. et alii. Equatorial ozone characteristics as measured at Natal, J. Geophys. Res., 88, 6812-6818, 1983
- 2) Kirchhoff, V.W.J.H. e A.G. Motta, Medidas de ozônio na troposfera e estratosfera de Natal, Rev. Bras. de Geofis., vol. 2, 25-30, 1983.
- 3) Logan, J.A. e V.W.J.H. Kirchhoff, Seasonal variations of tropospheric ozone at Natal, Brazil, J. Geophys. Res., 91, 7875-7881, 1986.
- 4) Kirchhoff, V.W.J.H., Ozônio, ameaça sobre a Antártica, Rev. Bras. Tecnologia, 4, 55-58, 1988.