

A Atmosfera

Objetivos:

1. Conceituar e destacar as funções básicas da atmosfera;
2. Descrever a estratificação da atmosfera;
3. Conhecer a composição química da atmosfera;
4. Destacar a importância dos principais constituintes da atmosfera.

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Funções da Atmosfera
 3. Estrutura Vertical da Atmosfera
 4. Composição Química da Atmosfera
 5. Conclusões
 6. Exercícios Propostos
 7. Bibliografia Citada e Recomendada
-

1. Generalidades

- A atmosfera terrestre é uma mistura de gases, vapor d'água e partículas sólidas em suspensão.
- Cerca de 90% da massa total da atmosfera estão confinados nos primeiros 20 km e 99,9% nos primeiros 50 km. Acima de 100 km de altitude, existe apenas cerca de um milionésimo da massa total da atmosfera.

2. Funções da Atmosfera

No geral, destacam-se as seguintes funções:

- a) proteger a biosfera da radiação ultravioleta proveniente do Sol;
- b) fornecer O₂ para manutenção da vida dos seres aeróbicos (macro e microorganismos);
- c) proteger a Terra de variações excessivas de temperatura, pela incidência direta dos raios solares;
- d) equalizar as temperaturas das camadas mais próximas da superfície terrestre através da dinâmica e movimentação de massas de ar.

3. Estrutura Vertical da Atmosfera

A estrutura vertical da atmosfera é comumente apresentada tendo-se como principal critério a variação da temperatura com a altitude. Nesse sentido, os estratos da atmosfera são: Troposfera, Tropopausa, Estratosfera, Estratopausa, Mesosfera, Mesopausa e Termosfera. Cada estrato ou camada apresenta regime térmico e composição química específicos. A temperatura apresenta em cada estrato uma variação predominantemente linear com a altura, como se pode deduzir da [Figura 1](#). A Tropopausa, Estratopausa e Mesopausa são camadas de transição.

Algumas características mais detalhadas de cada camada são apresentadas a seguir: (VIANELLO e ALVES, 1991; VAREJÃO-SILVA, 2001; ZUÑIGA, 1985 e HEUVELDOP et al., 1986):

Troposfera

- é a camada mais próxima do solo.
- é conhecida como a "camada do tempo", pois praticamente todos os fenômenos meteorológicos e climáticos que afetam aos seres vivos têm lugar nesta camada.
- a temperatura do ar diminui com a altitude (de -6 a -8°C a cada 1.000 m). Causa: emissão radiativa terrestre que aquece a camada de baixo para cima. Temperatura decrescente com a altura constitui situação normal, podendo, no entanto, sob certas condições haver inversão do gradiente, com a temperatura do ar aumentando com a altura.
- o seu limite superior é a Tropopausa. Este limite encontra-se a 8 km de altitude nos pólos onde a temperatura alcança -45°C, de 10 a 11 km de altura nas zonas temperadas (-50°C) e em torno de 17 km de altura (-60°C) sobre os trópicos. Espessura média, portanto, em torno de 12 km.
- a velocidade dos ventos na Troposfera normalmente aumenta com a altura devido ao efeito da fricção com a superfície do planeta.
- é a camada atmosférica mais importante para a vida em suas diferentes formas. Os seres vivos, sejam estes terrestres ou aquáticos, são grandemente afetados tanto pela composição química quanto pela dinâmica desta camada.
- A Troposfera contém cerca de 75% da massa total da atmosfera.

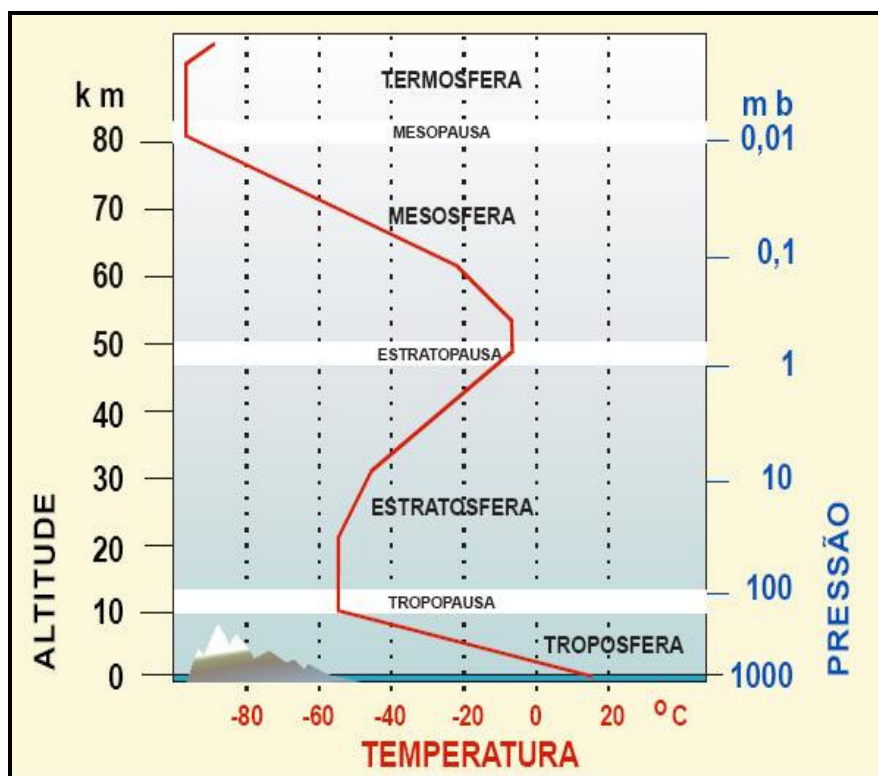


Figura 1. Estrutura vertical da atmosfera terrestre até 110 km de altura. (Fonte VIANELLO e ALVES, 1991).

Tropopausa

- camada de transição, corresponde ao limite superior da Troposfera e inferior da Estratosfera.
- não há variação de temperatura com a altura (gradiente térmico = zero).

Estratosfera

- não apresenta condensação de água, com exceção de certos tipos de nuvens.
- os ventos alcançam velocidades maiores que 100 km/h.
- a temperatura do ar aumenta com a altura, alcançando um máximo em torno de 0°C no seu limite superior, a Estratopausa.
- o ozônio O₃, um dos principais constituintes da atmosfera, é encontrado em maior concentração na Estratosfera/Estratopausa.

Estratopausa

- é o limite superior da Estratosfera e inferior da Mesosfera
- não há variação de temperatura com a altura

Mesosfera

- encontra-se entre 50 e 80 km de altitude.
- volta a predominar uma variação decrescente de temperatura.
- no limite superior, a temperatura alcança valores próximos a -95°C.

Mesopausa

- é o limite superior da Mesosfera e inferior da Termosfera;
- não há variação de temperatura com a altura

Termosfera

- nesta camadas os gases não estão homogeneamente misturados, mas formam camadas.
- a camada inferior é constituída por N₂ que é o gás mais pesado; encima se encontram de forma sucessiva uma camada de oxigênio atômico, gás hélio e hidrogênio.
- o aumento da temperatura é rápido com o aumento da altura, justificando o termo Termosfera.

O gradiente de temperatura (G_{VT}) na atmosfera na direção vertical representa a mudança da temperatura da atmosfera com a altitude, sendo matematicamente indicado pela equação 1:

$$G_{VT} = \frac{\partial T}{\partial A} \cong \frac{\Delta T}{\Delta A} = \frac{T_2 - T_1}{A_2 - A_1} \quad (1)$$

onde G_{VT} = gradiente vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$), T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e A = altitude (km).

Exemplo Prático 1) Com base na Figura 1, checar o gradiente térmico na Troposfera entre os limites de -6 a -8°C a cada 1.000 m.

4. Composição Química da Atmosfera

- Até aproximadamente 80 km de altura, a composição da atmosfera é praticamente constante, com exceção do vapor d'água e do dióxido de carbono cujas concentrações são bastante variáveis, nas proximidades da superfície terrestre.

Tabela 1. Composição do ar seco até 25 km de altitude (Fonte VAREJÃO-SILVA, 2001).

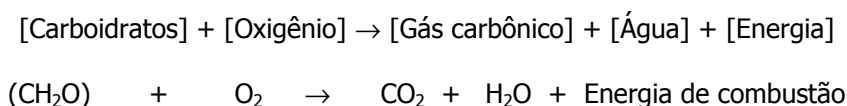
Constituinte	Fração molar (% do volume)	Massa molecular (g mol ⁻¹)
Nitrogênio (N ₂)	78,084	28,013
Oxigênio (O ₂)	20,946	31,999
Argônio (A)	0,934	39,948
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,031	44,010
Neônio (Ne)	$1,8 \cdot 10^{-3}$	20,183
Hélio (He)	$5,24 \cdot 10^{-4}$	4,003
Criptônio (Kr)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	83,800
Hidrogênio (H ₂)	$5 \cdot 10^{-5}$	2,016
Xenônio (Xe)	$8 \cdot 10^{-6}$	131,300
Ozônio (O ₃)	$1 \cdot 10^{-6}$	47,998
Radônio (Rn)	$6 \cdot 10^{-18}$	222
Massa molecular média (aparente)		28,964

Seguem-se alguns comentários que ilustram a importância dos principais constituintes do ar seco.

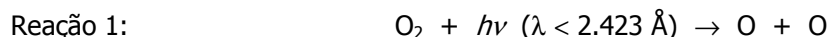
Nitrogênio → é o constituinte mais abundante. Apesar disso não desempenha nenhum papel relevante, em termos químicos ou energéticos, nas vizinhanças da superfície terrestre. Na alta atmosfera, no entanto, esse gás absorve um pouco de energia solar de pequeno comprimento de onda (na faixa do ultravioleta), passando à forma atômica (VAREJÃO-SILVA, 2001).

O N é fixado por alguns microorganismos do solo, que o retira da atmosfera do solo, constituindo assim, a base para a estruturação de moléculas de vários compostos orgânicos, entre eles as proteínas e ácidos.

Oxigênio → o oxigênio desempenha um papel fundamental para os seres vivos, ou seja, torna possível a vida aeróbica no planeta. A ele deve-se a oxidação de compostos orgânicos, através do processo fisiológico da respiração, como mostra a equação a seguir:



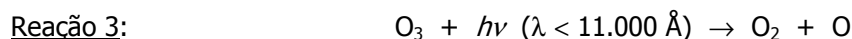
Um outro aspecto importante do O₂ na atmosfera é a formação do ozônio, O₃. A explicação modernamente aceita para a formação do ozônio na atmosfera é a Teoria Fotoquímica de Chapman (VIANELLO e ALVES, 1991), apresentada resumidamente a seguir:



Esta reação, denominada fotodissociação do oxigênio, ocorre a uma altitude de aproximadamente 50 km, onde a radiação ultravioleta é quase toda absorvida e a temperatura atinge cerca de 280 K. (h = constante de Planck e ν = frequência da radiação eletromagnética; $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).



Esta reação ocorre predominantemente entre 15 e 30 km de altitude, e exige a presença de oxigênio atômico liberado na primeira reação. A temperatura nessa camada é da ordem de 220 K. Nesta reação M é um catalisador (uma molécula não-ativa). O O₃ formado é instável (tempo de vida curto) durante o dia, em razão da fotodissociação que ocorre a seguir:



Esta reação representa a fotodissociação do O₃. Em virtude da presença de O₂ em grande quantidade entre 15 e 30 km, o oxigênio atômico liberado nesta reação pode voltar a combinar com o O₂, formando O₃, de acordo com a reação 2.



Esta última reação ocorre principalmente nos níveis mais elevados da atmosfera, e representa a destruição do ozônio por colisões com oxigênio atômico.

Descargas elétricas na atmosfera também produzem ozônio, mas a quantidade formada é insignificante quando comparada ao processo fotoquímico acima (VAREJÃO-SILVA, 2001). O ozônio é encontrado desde níveis próximos da superfície terrestre até cerca de 100 km de altitude. A Figura 1 destaca a camada mais rica em O₃, denominada ozonoesfera.

O equilíbrio dinâmico do O₃ na atmosfera é fundamental aos seres vivos. A ozonoesfera protege os da incidência direta e em alta quantidade de raios ultravioletas (radiação de alta frequência e energia) causadora de queimaduras que podem evoluir para patologias mais graves. Por outro lado, segundo VAREJÃO-SILVA (2001), se a concentração de O₃ aumentasse a ponto de absorver totalmente a radiação ultravioleta oriunda do Sol, não haveria formação de vitamina D no organismo animal e, como consequência, estaria comprometida a fixação do cálcio e do fósforo.

Os conhecidos perigos advindos do desequilíbrio nos processos naturais de formação e destruição do O₃, fruto da intervenção humana, têm provocado protestos e movimentos de alerta em vários países. A constante poluição atmosférica por substâncias ozonolíticas, como os CFC's (Freon-11 e Freon-12) usados em *sprays* e na indústria de refrigeração, bem como a liberação de fumaça, igualmente ozonolítica, por aeronaves que trafegam na alta atmosfera, têm sido as principais causas apontadas como responsáveis pela comprovada redução dos níveis aceitáveis de O₃ na atmosfera. As reações a seguir esquematizam o efeito dos CFC's:



Gás Carbônico → apesar de se apresentar em concentração bastante reduzida na atmosfera (Tabela 1), o CO₂ é um componente dos mais importantes. É um dos principais reagentes da fotossíntese, processo bioquímico este essencial ao crescimento das plantas clorofiladas (OMETTO, 1981). A sua concentração no dossel vegetativo varia entre a noite e o dia em função da fotossíntese (fixa CO₂) e respiração (libera CO₂) das plantas. O carbono integrante das moléculas sintetizadas pelos vegetais, portanto, provém do CO₂ atmosférico.

Segundo VAREJÃO-SILVA (2001) há um intercâmbio contínuo de gás carbônico entre a atmosfera e os seres vivos (respiração e fotossíntese), os materiais da crosta (combustão e oxidação) e os oceanos. Esses são os maiores depositários de CO₂ do planeta, na forma de bicarbonato. A concentração do CO₂ na atmosfera é relativamente constante, no entanto, seu valor vem aumentando graças à poluição atmosférica, desmatamento e queima da madeira e combustíveis fósseis.

O CO₂ também desempenha um papel de destaque na energética do sistema Terra-Atmosfera, absorvendo energia solar e terrestre de determinados comprimentos de onda. Por outro lado, emite energia (radiação de onda longa) em direção à superfície terrestre, como será visto no capítulo referente a radiação solar. O aumento do CO₂ atmosférico, pelas causas já vistas, provoca o chamado efeito estufa, contribuindo para aumentar a temperatura média do planeta.

Contaminantes → contaminantes são constituintes quimicamente inertes ou ativos, de variada composição e que se encontram em suspensão na atmosfera. Os quimicamente inertes são chamados de aerossóis. Estes são partículas muito pequenas transportadas pelos ventos e sobre as quais a força de gravidade exerce pouca influência. Estes elementos são indispensáveis como núcleos de condensação do vapor d'água na formação da chuva. Os aerossóis são produto de erupções vulcânicas, industrialização e erosão eólica (HEUVELDOP et al., 1986; OMETTO, 1981).

Outros elementos contaminantes são quimicamente ativos, como por exemplo: derivados de nitrogênio (nitritos e nitratos), sulfatos e compostos carbônicos, que dão origem a compostos de caráter ácido no ar (HEUVELDOP et al., 1986). São também originados de erupções vulcânicas e processos industriais; porém os incêndios, o tráfego de automóveis e o uso doméstico de combustíveis também aumentam suas concentrações.

5. Conclusões

A atmosfera terrestre, tanto em estrutura física quanto química, evoluiu ao longo dos milênios até alcançar o estado atual. A atmosfera é uma mistura de gases. A concentração individual desses gases vem sendo alterada principalmente depois do advento da revolução industrial no século passado (XIX) e especialmente nas últimas décadas do século XX com a intensificação da industrialização e desmatamento e queima da vegetação natural em grandes extensões de terra, principalmente nas regiões tropicais do mundo.

A agricultura em todas as partes do mundo é extremamente dependente das condições atmosféricas locais, bem como de sua dinâmica temporal. Essa dinâmica não é passível de ser controlada pelo homem, de forma que tecnologias para aumentar a produção agrícola são desenvolvidas com o objetivo de reduzir os impactos negativos do tempo meteorológico sobre as plantas.

6. Exercícios Propostos

EP.01. Ler e fazer uma análise crítica do trabalho em anexo intitulado *Emissão de Gases de Efeito Estufa por Magda Aparecida de Lima* (Embrapa Meio-Ambiente, Jaguariúna, SP).

EP.02. Partindo de uma temperatura de 20°C ao nível do solo, plote num gráfico a variação teórica da temperatura com a altitude nas diferentes camadas da atmosfera. Considere os gradientes constantes em cada camada. Para construir o(s) gráfico(s) use uma planilha de cálculo.

EP.03. Faça uma pesquisa sobre a formação e destruição do O₃ na atmosfera. Pesquisa sobre o princípio da Teoria Fotoquímica de Chapman. Quais seriam as consequências imediatas e em longo prazo da destruição da camada de O₃ para a biosfera?

EP.04. Faça uma pesquisa sobre chuvas ácidas. Quais as consequências para as plantas e solo?

EP.05. Que diferenças se apresentam entre uma zona de floresta e uma desmatada quanto a concentração de O₂ e CO₂ na camada atmosférica mais próxima do solo?

EP.06. Uma sondagem atmosférica forneceu os dados relacionados a seguir:

Altitude (km)	Temperatura (°C)
5,50	-6,2
4,20	2,2
3,50	4,9
2,60	13,0
1,50	15,6
0,70	20,7
0,01	29,4

Pede-se: a) computar o G_{VT} de cada camada e compará-lo ao G_{VT} médio da Troposfera, e
b) estimar a temperatura do ar nos níveis de 2 e 3 km.

7. Bibliografia Citada e Recomendada

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres. 1981. 425 p.

HEUVELDOP, J.; J. P. TASIES; S. Q. CONEJO; L. E. PRIETO. *Agroclimatología tropical*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1986. 394 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia-Ministério da Agricultura. 2001. 515 p.

ZUÑIGA, A. C. *Agroclimatología*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1985. 520 p.