

## CAPÍTULO 4. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA ATMOSFERA

Ednaldo Oliveira dos Santos

### 4.1. Introdução

A atmosfera é a camada gasosa, relativamente fina, que envolve o Planeta, sendo fundamental à vida na Terra. Ela é constituída por uma mistura mecânica de **gases**, **vapor d'água** e **partículas sólidas** em suspensão (Figura 4.1). Esta mistura que circunda a Terra acompanha os seus movimentos de rotação e translação, devido à atuação da força da gravidade sobre a atmosfera (AYOADE, 1986).



**Figura 4.1:** Imagem mostrando a atmosfera da Terra. **Fonte:** <https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/atmosfera-terrestre-e-a-dinamica-climatica-do-planeta/>.

Não existe um limite superior para a atmosfera, no sentido físico, verificando-se apenas progressiva rarefação do ar com a altitude. Em relação à Meteorologia, normalmente se considera que a atmosfera terrestre possui cerca de 80 a 100 km de espessura. Deve-se considerar que essa camada, predominantemente gasosa, é muito delgada quando comparada com o raio médio do Planeta (6.371,229 km). Realmente, a espessura da atmosfera representa apenas cerca de 1,6% desse raio. Porém, a parte mais

importante da atmosfera, sob o ponto de vista meteorológico (Troposfera) não atinge 20 km de altitude e, representa somente 0,3% do raio do Planeta (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Portanto, a atmosfera atua como sede dos fenômenos meteorológicos, sendo também determinante na qualidade e quantidade da radiação solar que atinge a superfície terrestre (PEREIRA *et al.*, 2002).

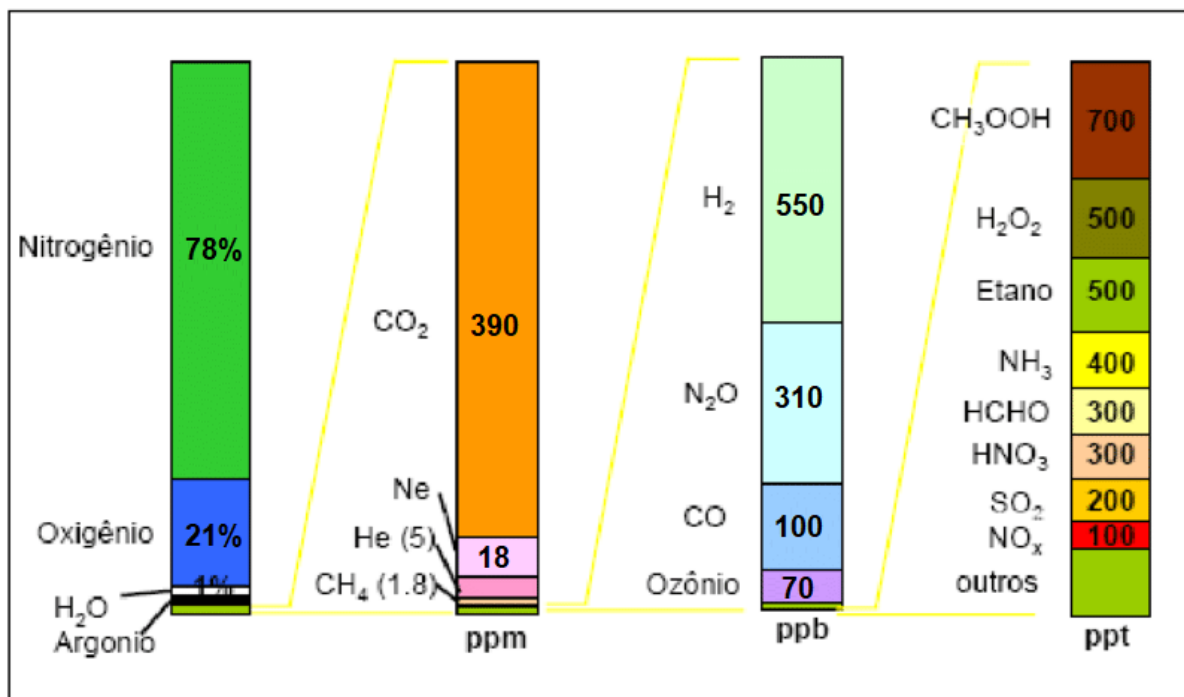
#### **4.2. Composição da Atmosfera**

A maior parte da atmosfera é constituída por reduzido número de elementos gasosos, contudo existe um número elevado de constituintes num volume pequeno. Além disso, a atmosfera pode ser caracterizada por um grupo de gases com concentração aproximadamente **constante** no tempo e no espaço, denominado de “**fixos**” ou **matriz atmosférica** e, outro grupo, **sem concentração constante**, chamados de “**variáveis**”. A matriz atmosférica possui tempo de residência longo, na ordem de milhões de anos para o Hélio (He), o mais curto dentre eles. Contudo, existem outros gases chamados de variáveis, que participam dos ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrogênio, entre outros) e apresentam tempo de residência relativamente curto (décadas ou menos) (Figura 4.2) (VIANELLO & ALVES, 2000).

Assim, a atmosfera pode ser considerada composta por dois conjuntos de gases: componentes fixos (matriz) e componentes variáveis.

- ✓ **Componentes Fixos:** mistura de gases, com predominância do nitrogênio – N<sub>2</sub> (78%) e do oxigênio – O<sub>2</sub> (20,9%). Os demais gases nobres (hélio, neônio, argônio, xenônio e criptônio) somados constituem menos de 1% do total.
- ✓ **Componentes Variáveis:** composto principalmente por vapor d’água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>).

Na análise da composição do ar é conveniente suprimir o vapor d’água, exatamente porque sua concentração é extremamente variável (0 a 4% do volume da atmosfera) no espaço e no tempo, e assim, altera as proporções dos demais constituintes. Quando se desumidifica totalmente o ar, obtém-se o chamado “ar seco” (Capítulo 6). A composição média do ar seco é praticamente constante até cerca de 25 km de altitude (Tabela 1).



**Figura 4.2:** Composição gasosa presente na atmosfera terrestre. Fonte: Adaptado de <https://www.mundoecologia.com.br/natureza/quais-sao-os-gases-que-compoem-a-atmosfera/>.

Tabela 1. Composição do ar seco na atmosfera Terrestre.

Gás	Volume (ar seco)	
	Porcentagem (%)	Partes por milhão por volume (ppmv)
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	78,00	780.000,0
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	21,00	209.460,0
Argônio (Ar)	0,93	9.340,0
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0,039	360,0
Neônio (Ne)	0,0018	18,18
Hélio (He)	0,00052	5,24
Metano (CH <sub>4</sub> )	0,00018	1,79
Criptônio (Kr)	0,00011	1,14
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0,00003	0,31
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0,00005	0,55
Ozônio (O <sub>3</sub> )	0,000007	0,07
Xenônio (Xe)	0,000009	0,09
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0,000002	0,02
Iodo (I)	0,000001	0,01
Amônia (NH <sub>3</sub> )	Traços	Traços

**Gases não incluídos na alta atmosfera (amostra isenta de água):**

Vapor d'água (H <sub>2</sub> O)	~0,4 % em toda a atmosfera, normalmente entre 1% e 4% na superfície terrestre.
---------------------------------	--

**Nota: a fração do volume é igual à fração molar para apenas gases ideais.**

Eventuais desvios da composição média do ar seco são devidos, principalmente, às variações observadas na concentração do dióxido de carbono (próximo à superfície) e do ozônio (em níveis elevados).

Para fins meteorológicos é importante avaliar os processos que ocorrem na Troposfera, camada localizada da superfície até cerca de 20 km de altitude. É na Troposfera que ocorrem os principais fenômenos meteorológicos: chuvas, furacões, entre outros, além da formação de nuvens. A temperatura nessa camada sofre variação à medida que ocorre o aumento de altitude. Em média, para cada 100 metros de altitude (com o ar estacionário) ocorre diminuição de 0,6 °C na temperatura do ar.

Além de gases, a atmosfera terrestre contém também pequenas partículas sólidas em suspensão com diâmetro entre  $10^{-3}$  a  $10^2$   $\mu\text{m}$ . No caso das partículas sólidas, com exceção do gelo, usa-se normalmente o termo **aerossol**. A maior concentração de aerossóis é observada na baixa atmosfera (Troposfera), próximo a sua fonte principal, à superfície da Terra (continentes e oceanos).

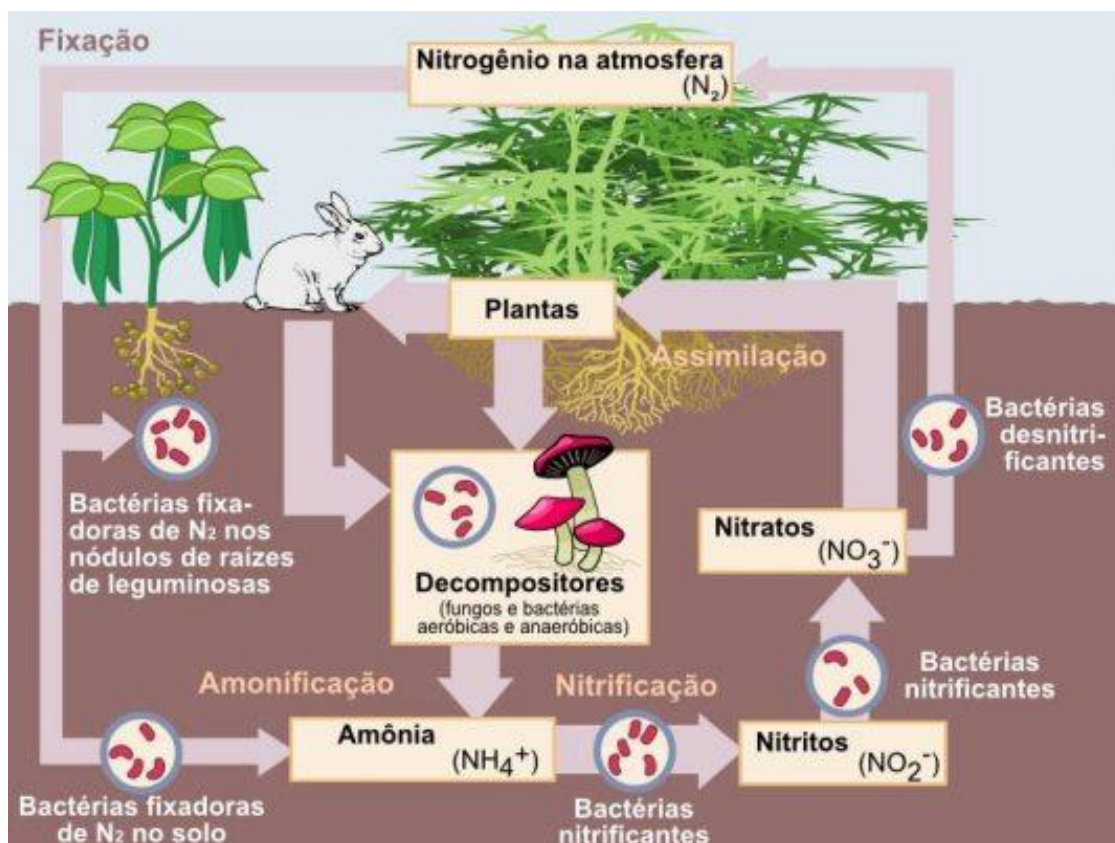
Os aerossóis podem originar-se de cristais de sais marinhos dispersos pelas ondas, emissões vulcânicas, erosão do solo pelo vento, incêndios florestais e por atividades agrícolas e industriais. Além disso, alguns aerossóis tem origem na parte superior da atmosfera, como a poeira dos meteoros que se desintegram.

Embora a concentração dos aerossóis seja relativamente pequena, eles participam de processos meteorológicos importantes. Em primeiro lugar, alguns aerossóis agem como núcleos de condensação para o vapor d'água e são importantes para a formação de nuvens, nevoeiros e precipitação. Em segundo lugar, alguns podem absorver ou refletir a radiação solar e absorver a radiação terrestre (Capítulo 5), e assim, influenciarem no balanço de radiação e na temperatura do ar; por exemplo, quando ocorrem erupções vulcânicas com expressiva liberação de poeira, a radiação solar que atinge a superfície da Terra pode ser sensivelmente alterada. Em terceiro lugar, a poeira no ar contribui para um fenômeno ótico conhecido como espalhamento, que entre outros resulta, por exemplo, nas várias tonalidades de vermelho e laranja no nascer e pôr-do-sol (GRIMM, 2007).

A seguir são apresentadas informações acerca dos principais gases presentes na atmosfera. 4.2.1. Nitrogênio ( $N_2$ )

Embora seja o constituinte mais abundante da atmosfera (representa cerca de 78%), o **nitrogênio**, paradoxalmente, desempenha pequeno papel relevante, em termos químicos ou energéticos, nas proximidades da superfície terrestre. Na alta atmosfera, no entanto, esse gás absorve certa quantidade de energia solar de pequeno comprimento de onda (principalmente no ultravioleta), passando à fórmula atômica.

Contudo, deve resaltar que, em geral, o nitrogênio presente na molécula de vários compostos orgânicos vegetais (proteínas) não é oriundo da atmosfera, mas do solo. São conhecidos apenas alguns seres vivos que têm capacidade de fixar esse elemento químico a partir do nitrogênio atmosférico. Citam-se, dentre estes, algumas algas, as rizobactérias (normalmente encontradas nos nódulos das raízes de plantas das leguminosas) e determinados microrganismos do solo (Figura 4.3).



**Figura 4.3:** Processos relacionados ao ciclo do nitrogênio. Fonte: <https://descomplica.com.br/artigo/o-que-sao-os-ciclos-biogeoquimicos/4Lm/>

#### 4.2.2. Oxigênio (O<sub>2</sub>)

O **oxigênio** representa aproximadamente 21% da composição da atmosfera terrestre, sendo encontrado, principalmente, na forma molecular (O<sub>2</sub>). Ele é um dos elementos mais importantes da química orgânica, participando de maneira relevante no ciclo energético dos seres vivos, sendo essencial para a respiração celular dos organismos aeróbicos. Isso ocorre porque, com exceção de alguns seres anaeróbicos, todos os organismos vivos necessitam dele para suas funções metabólicas.

Nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP)<sup>1</sup>, o oxigênio se encontra no estado gasoso, formando moléculas biatômicas de fórmula molecular (O<sub>2</sub>). Essa molécula é formada durante a fotossíntese das plantas e, posteriormente, utilizada pelos seres vivos no processo de respiração (Figura 4.4).

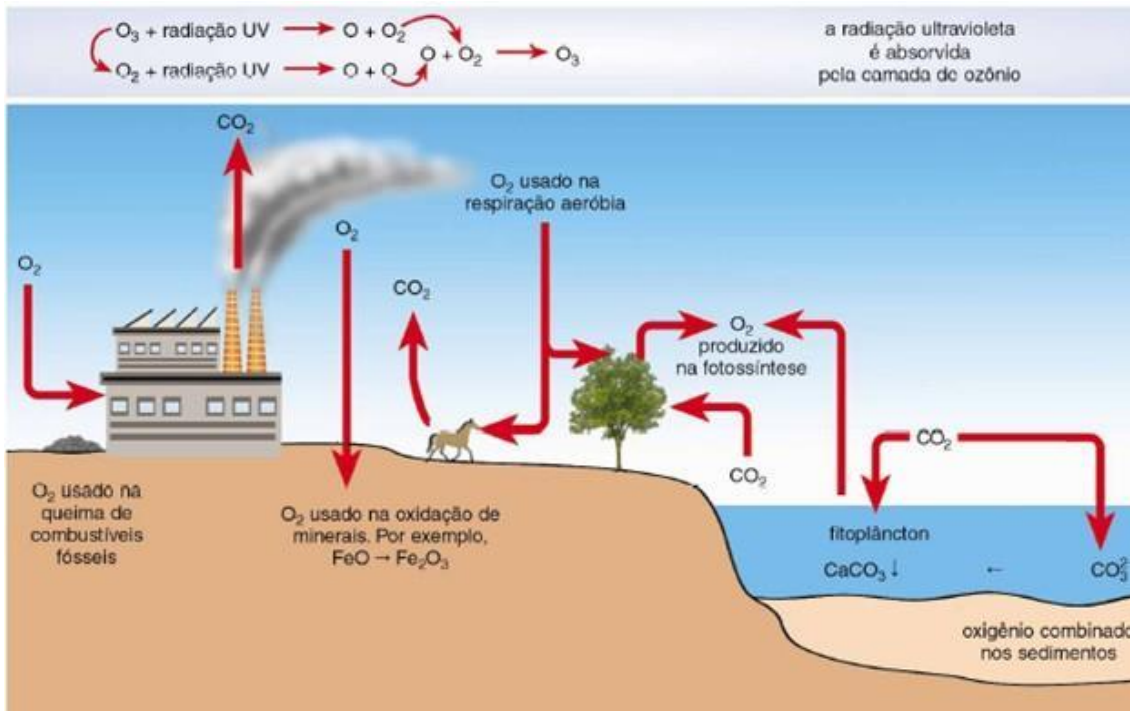
O oxigênio, tanto em estado líquido como em estado sólido, tem uma coloração ligeiramente azulada e, em ambos os estados, é paramagnético<sup>2</sup>. O oxigênio líquido é usualmente obtido a partir da destilação fracionada do ar líquido, junto com o nitrogênio, e reage praticamente com a totalidade dos metais, exceto com os metais nobres como ouro, platina, provocando a corrosão. Já o oxigênio sólido é formado numa pressão atmosférica normal e numa temperatura menor que 54,36 K (-218,79 °C); por isso torna-se particularmente interessante, pois em pressões muito elevadas, ele deixa de ser um isolante térmico e passa para um estado metálico; em temperaturas muito baixas, torna-se inclusive num supercondutor (SHIMIZU et al., 1998).

O oxigênio gasoso, que abastece hospitais e indústrias, comercialmente vendidos em cilindros de alta pressão, pode ser obtido por meio de um processo de separação do ar, utilizando peneira molecular, chamado adsorção com alternância de pressão. Ele também pode ser gerado no local de utilização por meio de máquinas que utilizam compressores, filtros, secadores de ar e concentradores de oxigênio com peneira molecular.

---

<sup>1</sup> Refere-se à condição experimental com temperatura e pressão de 273,15 K (0 °C) e 101.325 Pa (101,325 kPa = 1,01325 bar = 1 atm = 760 mmHg), respectivamente. Esta condição é geralmente empregada para medidas de gases em condições atmosféricas (ou de atmosfera padrão).

<sup>2</sup> São materiais que possuem elétrons desemparelhados e que, na presença de um campo magnético, alinham-se, fazendo surgir um ímã que tem a capacidade de provocar um leve aumento na intensidade do valor do campo magnético em um ponto qualquer, porém sendo fracamente atraídos pelos ímãs.



**Figura 4.4:** Principais processos ligados ao oxigênio. **Fonte:** <https://descomplica.com.br/artigo/o-que-sao-os-ciclos-biogequimicos/4Lm/>.

#### 4.2.3. Vapor D'Água (H<sub>2</sub>O)

A concentração de **vapor d'água** na atmosfera, embora relativamente pequena, pois raramente ultrapassa 4% em volume, é bastante variável e, geralmente, diminui com a altitude. Ele encontra-se principalmente na Troposfera (75% de todo o vapor d'água está abaixo de quatro mil metros de altitude).

Apesar de sua baixa concentração (0 – 4 %), o vapor d'água é um constituinte atmosférico muito importante por influenciar na distribuição da temperatura no Planeta:

- ✓ Participa ativamente dos processos de troca de calor sensível pela atmosfera (condensação);
- ✓ Atua como transporte de energia ao transferir calor latente (evaporação) de uma região para outra, o qual é liberado como calor sensível, quando o vapor se condensa e terceiro o vapor d'água na atmosfera atua como termorregulador em função do elevado calor específico da água.



Além disso, deve-se ressaltar que o vapor d'água é o único constituinte da atmosfera que muda entre os três estados da matéria (líquido, sólido e gasoso - vapor d'água) em condições naturais e, em consequência disto, é o responsável pela origem das nuvens (Figura 4.5) e por uma vasta série de fenômenos hidrometeorológicos importantes (orvalho, chuva, neve, entre outros) (Capítulo 8). Adicionalmente, sua proporção na atmosfera determina o nível de conforto ambiental.

O ar, em algumas áreas, como desertos, pode estar praticamente isento de vapor d'água, enquanto em outras pode chegar ao nível de saturação, algo muito comum nas regiões equatoriais ou nos trópicos úmidos, onde a precipitação pluvial é constante todo o ano.



**Figura 4.5:** Exemplo de vapor d'água na atmosfera. **Fonte:** <http://cienciahoje.org.br/artigo/caca-aos-rios-voadores/>

#### 4.2.4. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

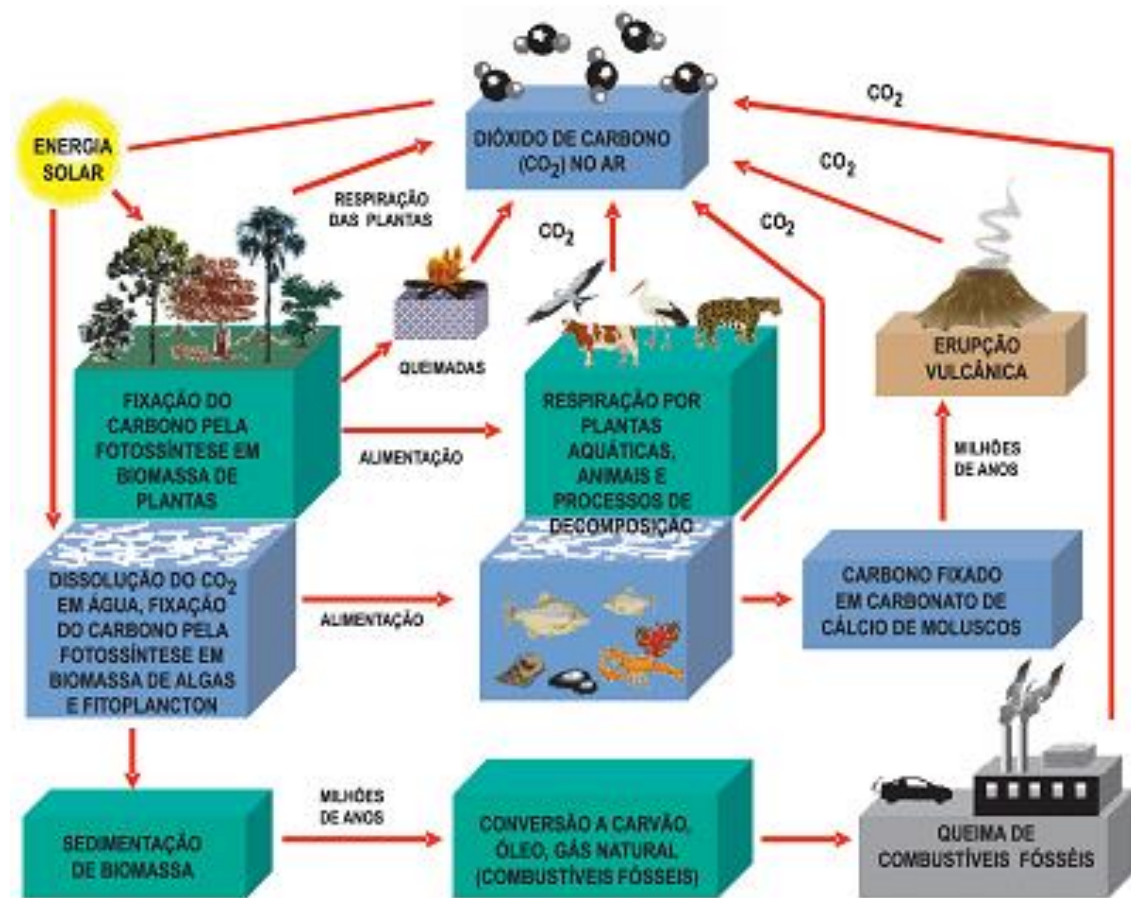
O **dióxido de carbono** é essencial à vida no Planeta visto que é um dos compostos essenciais para a realização da fotossíntese - processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química. Esta energia química, por sua vez é distribuída para todos os seres vivos por meio da cadeia alimentar. A fotossíntese é uma das fases do ciclo do carbono e é vital para a manutenção dos seres vivos (Figura 4.6).



O carbono é um elemento básico na composição dos organismos, tornando-o indispensável para a vida no Planeta. Este elemento é estocado na atmosfera, nos oceanos, solos, rochas sedimentares e está presente nos combustíveis fósseis. Contudo, o carbono não fica fixo em nenhum desses estoques. Existe uma série de interações por meio das quais ocorre a transferência de carbono de um estoque para outro.

Muitos organismos nos ecossistemas terrestres e nos oceanos, como as plantas, absorvem o carbono encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esta absorção se dá através do processo de fotossíntese. Por outro lado, os vários organismos, tanto plantas como animais, liberam dióxido de carbono para a atmosfera mediante o processo de respiração. Existe ainda a troca de dióxido de carbono entre os oceanos e a atmosfera por meio da difusão.

A liberação de dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra (desmatamentos e queimadas, principalmente) realizada pelo homem constituem importantes alterações nos estoques naturais de carbono e tem participação fundamental na mudança do clima do Planeta.



**Figura 4.6:** Esquema do ciclo do carbono. **Fonte:** [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_do\\_carbono#/media/Ficheiro:CicloC.png](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono#/media/Ficheiro:CicloC.png).

#### 4.2.5. Metano (CH<sub>4</sub>)

O **metano** se forma a partir da fermentação de resíduos orgânicos pela ação de bactérias, como a decomposição do lixo orgânico nos aterros sanitários, emissão de larvas de vulcões, digestão de herbívoros, extração de combustível mineral, metabolismo de certas espécies bacterianas, a decomposição de vegetais nos pântanos (sendo por isso chamado de gás dos pântanos), entre outros processos (Figura 4.7).

Embora o gás metano não seja tóxico, sua combustão parcial produz substâncias tóxicas, como o monóxido de carbono, por exemplo, e por isso é considerado como um asfixiante simples. O gás metano também forma misturas explosivas quando em contato com oxidantes, halogênios e interalogênios. A inalação do metano pode levar à inconsciência e prejudicar o sistema nervoso central. O contato desse composto no estado líquido com pele e olhos causa queimadura por congelamento.

Juntamente com o dióxido de carbono, o metano é um dos principais gases de efeito estufa intensificado pelo ser humano, por isso, atualmente está se discutindo sua contribuição para o aquecimento global. As emissões desse gás para a atmosfera são feitas principalmente por atividades antrópicas, em especial, pela criação de gado bovino. Estima-se que a quantidade de metano na atmosfera seja de 1,7 ppm (partes por milhão).



**Figura 4.7:** Exemplo de atividades relacionadas à emissão do metano. **Fonte:** <https://sitesustentavel.com.br/gas-metano/>.

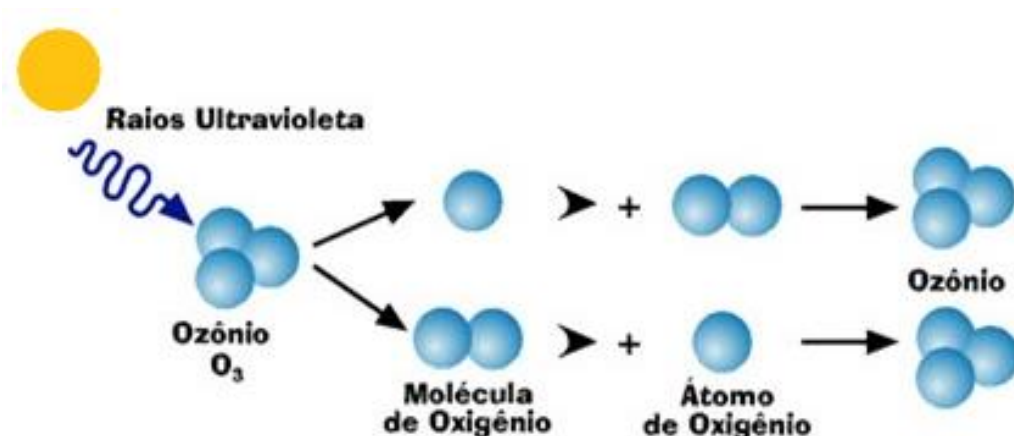
#### 4.2.6. Ozônio (O<sub>3</sub>)

O **ozônio** é uma molécula composta por três átomos de oxigênio. Forma-se quando as moléculas de oxigênio (O<sub>2</sub>) se dissociam ('rompem') devido à absorção de radiação ultravioleta (fotodissociação), e os átomos separados combinam-se individualmente com outras moléculas de oxigênio (Figura 4.8). Ele é um gás à temperatura ambiente, instável, altamente reativo e oxidante.

Uma notável característica deste gás é sua capacidade de absorver radiação ultravioleta, na faixa de comprimento de onda entre 220-320 nm, o que o torna um 'escudo' natural da Terra (camada de ozônio) para os seres humanos e a outras formas de vida, visto que esses comprimentos de onda estão associados a elevadas quantidades de energia, sendo nocivos aos seres vivos.

O ozônio é encontrado desde níveis próximos a superfície terrestre até cerca de 100 km de altitude. A camada compreendida entre 10 e 70 km, por ser a de maior concentração em ozônio, é conhecida como Ozonfera localizada na Estratosfera. A concentração desse gás varia com a latitude, com a época do ano, com a hora do dia e, ainda, com a maior ou menor disponibilidade de radiação solar e maiores ou menores temperaturas do ar. Quando se considera a média espaço-temporal para todo o Planeta, a maior parte da concentração de O<sub>3</sub> se situa em torno de 35 km de altitude (DOBSON, 1968).

As descargas elétricas que se observam na atmosfera também produzem ozônio, porém, a quantidade formada é insignificante quando comparada àquela devido ao processo de reação fotoquímica.



**Figura 4.8:** Representação esquemática do processo de formação do ozônio. **Fonte:** <https://blogdoenem.com.br/quimica-enem-camada-ozonio/>.

#### 4.2.7. Partículas Sólidas (PS)

As partículas sólidas em suspensão englobam todas as matérias sólidas existentes no ar. Elas podem ser de origem **inorgânicas - mineral (sílica, carbono resultante de combustões incompletas, fibras de vidro, entre outros)** ou **orgânica (polén, sementes, algumas fibras, fungos, bactérias, entre outros)**.

✓ **Partículas inorgânicas:**

- Mineral: óxidos de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e de ferro ( $\text{FeO}$ );
- Produtos de combustão: C,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Sais: NaCl,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ;
- Poeiras de origem vulcânicas: vulcões.

✓ **Partículas orgânicas:**

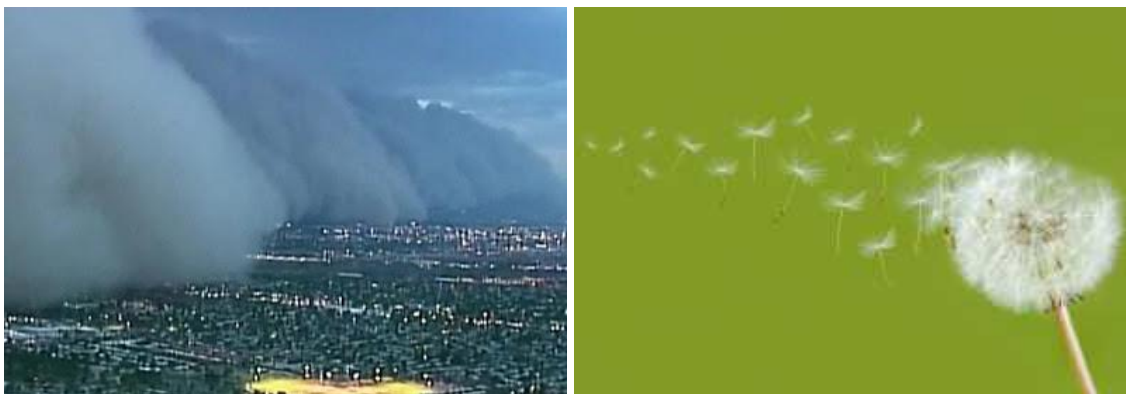
- Microorganismos: fungos e bactérias;
- Pólem.

As principais fontes emissoras de partículas sólidas podem ser **naturais (partículas de terra ou areia transportadas pelo vento, incêndios florestais, erupções vulcânicas)** ou **artificiais (partículas resultantes da combustão, tanto industrial como urbana ou residencial)** (Figura 4.9).

A quantidade de partículas no interior dependerá da quantidade destas no meio exterior, que é variável segundo as condições climáticas, a atividade industrial das proximidades e a densidade de tráfego.

As principais partículas orgânicas e inorgânicas tendem a cair pelo seu próprio peso, sendo, no entanto, impedidas pelas correntes ascendentes.

Além disso, elas têm influência sobre: (i) Visibilidade – diminuem a transparência da atmosfera – logo após uma chuva o ar se torna mais limpo, isso porque as partículas sólidas são arrastadas para o solo; (ii) Temperatura do ar – aquecimento da atmosfera – o ar puro é diatérmico, isto é, pode ser atravessado pelo calor do Sol, sem se aquecer, enquanto que as partículas sólidas absorvem este calor.



**Figura 4.9:** Exemplos de partículas sólidas. **Fonte:** <http://tvsbuna.com.br/tempestade-de-areia-atinge-phoenix/> e <https://www.atlasdasaude.pt/publico/content/niveis-de-polen-muito-elevados-nos-proximos-dias>.

### Núcleos de Condensação (NC)

Dentre as partículas sólidas suspensas na atmosfera, os núcleos de condensação são os mais importantes.

Na atmosfera existem inúmeros tipos de partículas em suspensão, oriundas do oceano, do próprio solo, de erupções vulcânicas, de meteoritos, entre outras e, evidentemente, da combustão e de outras atividades humanas (poluição). Quando o processo de condensação (ou sublimação) se inicia na superfície dessas partículas costuma-se dizer que elas se tornaram ativas. Assim, estas partículas são denominadas genericamente como núcleos de condensação.

Os principais exemplos de NC são: cloreto de sódio e de magnésio (sais marinhos) e óxidos de ferro e enxofre (Figura 4.10). Observa-se que os núcleos de cloreto de sódio são provenientes da evaporação de gotículas d'água salgada retiradas do oceano pela ação do vento, enquanto que aqueles de óxidos de ferro e enxofre seriam derivados dos produtos de combustão, principalmente industrial e do setor automotivo, além de no caso do enxofre, das erupções vulcânicas.

Os núcleos de condensação podem originar gotículas d'água a temperaturas superiores ou inferiores a 0°C (gotas sobrefundidas). Na alta Troposfera é comum a existência de gotas d'água sobrefundidas a temperatura tão baixa quanto -10°C, ou mesmo -40°C.





**Figura 4.10:** Exemplos de núcleos de condensação. **Fonte:** <http://talencoimoveis.com.br/espaco-talenco/viver-no-litoral/como-evitar-a-maresia-na-casa-de-praia> e <https://www.dw.com/pt-br/trânsito-caótico-e-poluição-matam-milhões-por-ano-nas-grandes-cidades/a-17086737>

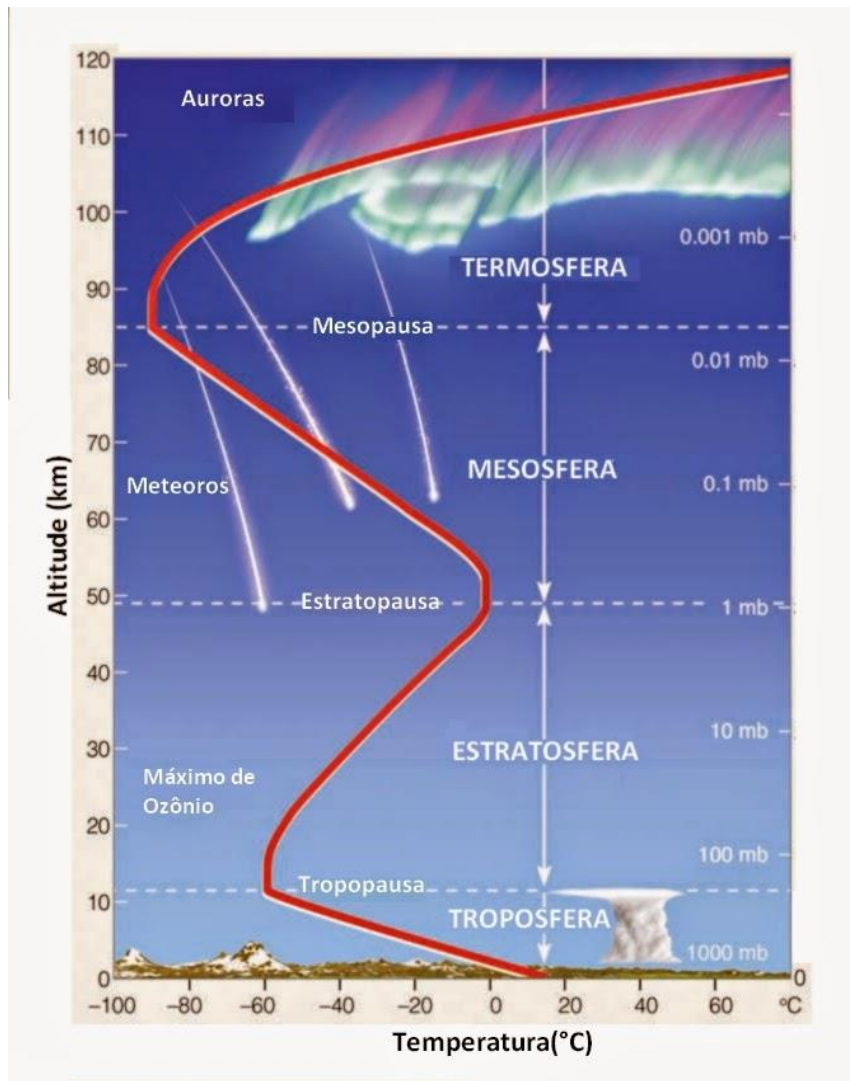
### **4.3. Estrutura Vertical da Atmosfera**

As camadas da atmosfera interagem entre si, trocando propriedades (calor, vapor d'água e outros gases), por isso, não existe um limite físico rígido para a atmosfera. Segundo critério térmico, as camadas da atmosfera se localizam da superfície até 110 km.

Para a Meteorologia, baseada no critério térmico, a atmosfera terrestre é dividida em quatro camadas ou esferas isotérmicas: **Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera**, separadas por três zonas de transição, Tropopausa, Estratopausa e Mesopausa, respectivamente.

Cada camada é caracterizada por uma mudança uniforme de temperatura em função da altitude. Em certas camadas ocorre diminuição da temperatura com aumento da altitude, enquanto em outras a temperatura aumenta quando a altitude se eleva. O topo de cada camada é denotado por uma "pausa", onde a temperatura não varia com a altitude (isotérmica), como mostrado na Figura 4.11.





**Figura 4.11:** Camadas da Atmosfera segundo critério térmico. **Fonte:** Adaptado de AHRENS (2008).

#### 4.3.1. Troposfera

A **Troposfera** contém aproximadamente 80% da massa da atmosfera, e é a parte de atmosfera em que vivemos e onde ocorrem os principais fenômenos meteorológicos. Nesta camada a temperatura do ar diminui com a altitude, isto é conhecido como resfriamento adiabático, ou seja, diminuição de temperatura causada por diminuição na pressão. Em termos médios para todo o Planeta, a temperatura do ar na Troposfera diminui com altitude a aproximadamente  $6,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$ .

O perfil térmico da Troposfera é resultado principalmente do aquecimento da superfície terrestre pela radiação solar incidente. Os raios solares aquecem a superfície do Planeta, que por sua vez aquece a base da Troposfera; a ascensão do calor através desta camada é feita então por uma combinação de convecção e turbulência.

Esta camada é mais propensa à mistura vertical causada por transferências convectivas e turbulentas do que outras camadas da atmosfera. Devido aos movimentos verticais e a abundância de vapor da água fazem da Troposfera a camada mais importante para ocorrência dos fenômenos meteorológicos.

Outra característica notada é que a espessura da Troposfera varia com a latitude e com a época do ano. Nos pólos, oscila entre 6 km no inverno e 10 km no verão, em média, enquanto que na região Tropical sua espessura é de 15 km a 20 km, respectivamente (Figura 4.12). Estudos relevam que grandes perturbações atmosféricas (como os ciclones) podem estar associadas à elevação ou redução da espessura da Troposfera.



**Figura 4.12:** Na troposfera ocorrem a maioria dos fenômenos meteorológicos, por exemplo tempestades. **Fonte:** <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-dinamica-atmosfera.htm>.

#### 4.3.2. Tropopausa

A **Tropopausa** é o nome da região intermediária entre a Troposfera e a Estratosfera, situada a uma altura média em torno de 17 km no equador, sendo caracterizada por isoterma (temperatura não varia com a altitude). Nas latitudes médias a temperatura da tropopausa varia de -50 a -55°C, e sua espessura é da ordem de 3 km.

A distância da Tropopausa em relação à superfície varia conforme as condições climáticas da Troposfera, da temperatura do ar, latitude, entre outros fatores. Se existe na Troposfera uma agitação atmosférica, com muitas correntes de convecção, a Tropopausa tende a se elevar. Isto se deve ao aumento do volume do ar na troposfera, este aumentando, por consequência, empurrará a tropopausa para cima. Ao subir a tropopausa esfria, pois o ar acima dela está mais frio.

#### 4.3.3. Estratosfera

Ao contrário da Troposfera, a temperaturas na **Estratosfera** é o resultado da absorção direta da radiação solar e aumentam com altitude crescente. Apresenta pequena concentração de vapor d'água e temperatura constante até a região limítrofe, denominada Estratopausa.

Outra característica distinta da Estratosfera é a absorção de radiação ultravioleta pelo ozônio (O<sub>3</sub>). Esta absorção é maior ao redor de 50 km, próximo a Estratopausa, que é também onde as temperaturas atingem valor máximo (0 °C no topo), dependendo da latitude e estação.

Quanto aos movimentos atmosféricos, vale ressaltar que, nesta camada, devido ao seu perfil estável de temperatura – “frio” por baixo, e “quente” por cima, observa-se ausência quase completa de movimentos verticais. É nesta camada que circulam os aviões a jato (Figura 4.13).



**Figura 4.13:** Imagem mostrando avião a jato voando na Estratosfera. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-dinamica-atmosfera.htm>.

#### 4.3.4. Estratopausa

A **Estratopausa** é a região de transição que está situada entre a Estratosfera e Mesosfera. Caracteriza-se, em relação à temperatura, pela isotermia, com temperatura em torno de 0°C, e tendo sua espessura média entre 3 a 5 km.

#### 4.3.5. Mesosfera

Na **Mesosfera** a temperatura diminui substancialmente com a altitude, chegando até a -90° C em seu topo. Esta camada situada entre a Estratopausa em sua parte inferior e a Mesopausa em sua parte superior, encontra-se entre 50 a 85 km de altitude.

Ressalta-se que é na Mesosfera que ocorre o fenômeno da aeroluminescência<sup>3</sup> das emissões da hidroxila, que geralmente é confundida com as auroras. Além disso, é a camada que nos protege contra meteoritos vindos do espaço (Figura 4.14).

---

<sup>3</sup> Aeroluminescência, ou quimiluminescência, é o fenômeno da luminescência na atmosfera diurna; é causada pela emissão de fótons pelos átomos ou moléculas de oxigênio, em especial devido à absorção da radiação ultravioleta e raios-X.



**Figura 4.14:** Imagem mostrando a ocorrência da combustão de meteoritos na Mesosfera. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-dinamica-atmosfera.htm>.

#### 4.3.6. Mesopausa

A **Mesopausa** é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular. Ela apresenta isotermia e espessura média de 10 km, com limites de 80 e 90 km.

#### 4.3.7. Termosfera

Acima da Mesopausa, está a **Termosfera**, onde a temperatura é inicialmente isotérmica e depois aumenta rapidamente com a altitude, como resultado da absorção de ondas muito curtas da radiação solar por átomos de oxigênio e nitrogênio. Ela estende-se por centenas de quilômetros em direção ao espaço, sendo seu limite superior considerado como o “Topo da Atmosfera”, a 1.000 km de altitude.

Embora as temperaturas atinjam valores muito altos, estas temperaturas não são exatamente comparáveis àquelas experimentadas próximas a superfície da Terra. Isso ocorre porque as temperaturas são definidas em termos da velocidade média das moléculas. Como as moléculas dos gases na termosfera se movem com velocidades muito altas, a temperatura é obviamente alta, por isso que ela é também conhecida como Ionosfera. Contudo, a densidade é tão pequena que poucas destas moléculas velozes colidem com um corpo estranho; portanto, só uma quantidade insignificante de energia seria transferida. Assim, a temperatura de um satélite em órbita seria determinada principalmente pela quantidade de radiação solar que ele absorve e não pela temperatura do ar circundante. É nesta camada que ocorrem os fenômenos das auroras (Figura 4.15).



**Figura 4.15:** Imagem mostrando fenômenos ópticos conhecidos como aurora boreal e aurora austral que ocorrem na termosfera. **Fonte:** <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-dinamica-atmosfera.htm>.



#### **4.4. Importância da Atmosfera**

A atmosfera terrestre, por sua composição e estrutura, interage simultaneamente com a radiação solar e terrestre e com a superfície terrestre, e assim, estabelece um sistema de trocas energéticas que explica diversos fenômenos que afetam a vida no Planeta.

Desta forma, ela é essencial para a vida e o funcionamento ordenado dos processos físicos e biológicos sobre a Terra. Isso ocorre porque a atmosfera protege os organismos da exposição de níveis danosos em relação à radiação ultravioleta, além de conter gases necessários para os processos vitais de respiração celular e fotossíntese e fornecer a água necessária para a vida.

Na ausência da atmosfera, a vida de nosso Planeta seria bastante difícil, pois teríamos um aquecimento significativo durante o dia e resfriamento durante a noite. Isso só não ocorre devido à presença de certos gases na atmosfera, que devido à sua natureza química, principalmente estrutura molecular, absorvem e reemitem uma fração significativa da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Esses gases são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE). Desta forma, se não existisse o efeito estufa a temperatura média do Planeta seria aproximadamente 34°C inferior a temperatura média observada atualmente, que é de 15°C. Portanto, este Efeito é de extrema importância para a manutenção da vida em nosso Planeta.

Os principais gases naturais de efeito estufa são: vapor d'água, causando cerca de 36-70% do efeito estufa sobre a Terra (não incluindo as nuvens); dióxido de carbono, com 9-26%; metano, com 4-9% e ozônio, tendo cerca de 3-7%. Há outros gases de efeito estufa, tais como, óxido nitroso, hexafluoreto de enxofre, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e clorofluorcarbonos.

Cabe ressaltar que não é possível dizer com certeza que certo gás cause determinada porcentagem do efeito estufa, porque as influências dos vários gases não são aditivas. Em síntese, grande parte do efeito estufa natural se deve à presença da concentração da água na atmosfera: vapor d'água (85%) e partículas de água (12%).

**Referências do Capítulo**

AHRENS, D. C., 2008. Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment. Cengage Learning, 9th Edition, 624 p.

AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Difel, 1986.

DOBSON, G. M. B. Exploring the Atmosphere. Oxford University, London, 1968.

GRIMM, A. M., 2007. Meteorologia Básica. Apostila de curso. Universidade Federal do Paraná. 110p. Versão Digital disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo>.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C., 2002. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba, Agropecuária.

SHIMIZU, K.; SUHARA, K.; IKUMO, M.; EREMETS, M. I.; AMAYA, K., 1998. Superconductivity in oxygen. Nature. 393 (6687): 767–769.

VAREJÃO SILVA, M. A., 2006. Meteorologia e Climatologia. INMET: Brasília. 515p. Versão digital disponível em [www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R., 2000. Meteorologia básica e aplicada. Viçosa: Imprensa Universitária-Universidade Federal de Viçosa.

**Exercícios Resolvidos**

1) De que é constituída a Atmosfera Terrestre?

**Resposta:** É constituída por um conjunto de gases, vapor d'água e partículas sólidas.

2) Quantos e quais são os conjuntos de gases que compõe a atmosfera?

**Resposta:** São dois: Componentes Fixos (Matriz), com predominância do nitrogênio e oxigênio, e os Variáveis, compostos principalmente por vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>).

3) Qual o gás de efeito estufa que possui a maior concentração na Atmosfera?

**Resposta:** Vapor d'Água, pois a sua concentração pode alcançar até 4% na atmosfera, enquanto que outros gases de efeito estufa no máximo alcançam 0,04%.

4) Como se classificam as partículas sólidas em termos de origem?

**Resposta:** Elas poderão ser de origem mineral - inorgânica (sílica, carbono resultante de combustões incompletas, fibras de vidro, etc.) ou orgânica (pólen, algumas fibras, etc.).

5) Quantas e quais são as camadas da atmosfera terrestre em relação a temperatura?

**Resposta:** São quatro: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera.

**Exercícios Propostos**

- 1) Qual a camada atmosférica onde ocorrem os principais fenômenos meteorológicos?
- 2) Por que na análise da composição do ar o Vapor d'Água é suprimido?
- 3) Qual o único constituinte atmosférico que muda de estado em condições naturais?
- 4) Quais os processos que as partículas sólidas influenciam?
- 5) O ozônio é formado em que camada da atmosfera?
- 6) Qual a importância da atmosfera para o nosso Planeta?