

Química da atmosfera
Atmosfera: a vida no planeta Terra

Arnaldo Alves Cardoso

Este documento tem nível de compartilhamento de acordo com a licença 3.0 do [Creative Commons](http://creativecommons.org).



<http://creativecommons.org.br>
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/br/legalcode>

Química da atmosfera Atmosfera: a vida no planeta Terra

“A Terra é azul”! Foi o que disse, em 1961, Yuri Gagarin, o primeiro astronauta que viajou ao espaço a bordo da nave Vostok 1 e pôde ver a Terra de longe. O que ele viu foi a atmosfera que recobre a Terra. Comparado com os outros planetas vizinhos, o nosso é realmente bonito, azul intenso, manchado com o branco das nuvens. A atmosfera do nosso planeta é muito diferente da dos vizinhos. Por que essa diferença? O nosso planeta possui vida, e é ela que trabalha na manutenção diária da nossa atmosfera. Quando comparamos a concentração dos gases da nossa atmosfera com a do planeta Marte encontramos valores completamente diferentes (Tabela 1). Mas quando comparamos com a atmosfera da Terra antes dela possuir vida, é incrível! Nosso planeta possuía atmosfera muito similar à do planeta Marte de hoje. A nossa vida depende da atmosfera e a composição da atmosfera depende da vida. Diariamente, a cada segundo, material produzido pela vida entra na atmosfera. É o oxigênio (O_2) produzido pelas plantas durante a fotossíntese, o gás amônia (NH_3) do xixi dos homens e animais, o perfume das flores, o cheiro da mata, pedaços de folhas, pólenes, pelos de animais. A lista é enorme, e qualquer um de nós é capaz de acrescentar vários exemplos. Tudo isso acaba fazendo parte da atmosfera. A emissão de componentes produzidos por seres vivos é conhecida como **biogênica**. Não é só vida que emite material para atmosfera, toda a natureza, os ventos, levantam a poeira do solo, rios, lagos e oceanos perdem água pela evaporação, os vulcões lançam grandes quantidades de poeira e gases como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dióxido de enxofre (SO_2), o ácido clorídrico (HCl). As ondas que quebram na superfície do mar formam gotas pequenas que são arrastadas pelo vento. Tudo o que é emitido pela vida e pela natureza para a atmosfera é conhecido como **emissão natural**. Quando a emissão é proveniente de alguma atividade humana, a emissão é conhecida como **antrópica**. A Figura 1 apresenta algumas emissões e deposições naturais, mais comuns entre a atmosfera e a superfície da Terra.

Gases	Terra sem vida %	Terra atual %	Marte %
Oxigênio	traços	21	0,13
Nitrogênio	1,9	77	2,7
Dióxido de carbono	98	0,038	95

Tabela 1. Composição da atmosfera da Terra sem vida, Terra atual e Marte

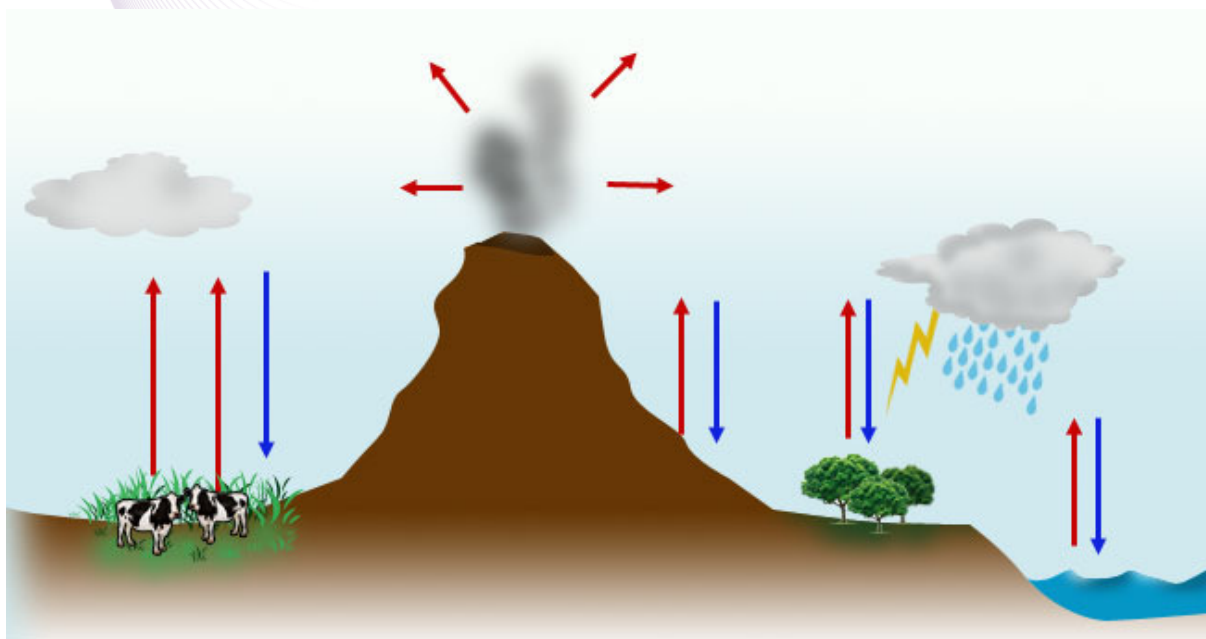


Figura 1: Interação entre fontes naturais de materiais e atmosfera. As setas em vermelho indicam o sentido da emissão da fonte para a atmosfera e as setas em azul, a deposição da atmosfera para a superfície do planeta.

A atmosfera, por sua vez, depois de um tempo, devolve o material para a superfície da Terra. A chuva é o retorno da água evaporada dos rios, lagos e oceanos; a poeira também se deposita no solo. Os gases são assimilados pelo solo ou água. O exemplo mais fácil de verificar que a atmosfera interage com a água são os peixes. O peixe respira oxigênio contido na água. Parte do oxigênio é proveniente de algas que fazem a fotossíntese, mas a maior parte vem mesmo da atmosfera. O oxigênio presente no ar em contato com a água se dissolve e, posteriormente, é usado pelos peixes na respiração. É comum quem cria peixes em aquário colocar uma bomba para borbulhar ar no aquário para garantir que não vai faltar oxigênio para os peixes. É importante olhar para a atmosfera e entender que ela está em constante renovação, resultado de uma troca constante de materiais que estão em contato com ela.

As camadas da atmosfera

A atmosfera se inicia sobre o solo e oceanos e acaba no espaço. Quanto mais próxima do solo, mais concentrados são os gases que formam a atmosfera e quanto mais subimos, ela vai ficando mais diluída (Figura 2). Na realidade, não existe um limite ou fronteira no final da atmosfera, ela vai ficando cada vez mais tênue, até que praticamente deixa de existir. A pressão atmosférica depende do número de partículas que chocam com as paredes de uma superfície. Dessa forma, a pressão atmosférica que depende diretamente da concentração dos gases diminui com a altitude.

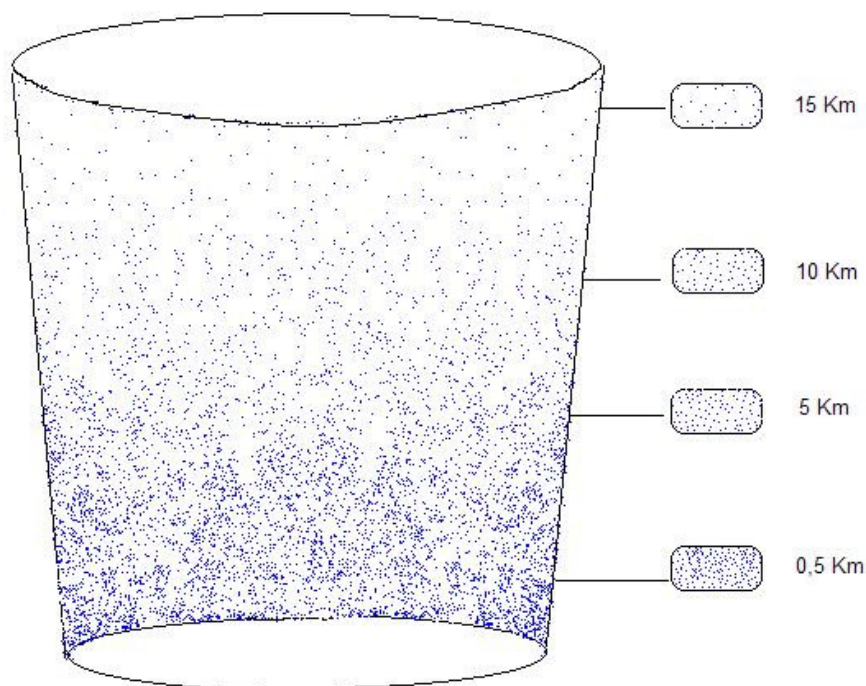


Figura 2: Concentração dos gases em diferentes alturas da troposfera, a parte mais baixa da atmosfera.

Outras propriedades físicas também se modificam ao longo da atmosfera. Bastante característica é a variação de temperatura. Inicialmente, ela vai diminuindo conforme aumentamos a altitude. Posteriormente ela volta a aumentar com a altitude e depois inverte novamente. A variação de temperatura é resultado de interações entre moléculas e energia, que ocorrem de forma diversa nas diferentes alturas. Para facilitar o estudo dos fenômenos que acontecem na atmosfera, ela foi dividida em camadas. E essas camadas são definidas pelas inversões nas variações de temperatura (Figura 3). A troposfera é a camada mais próxima do solo e sua altura chega até próximo de 12-15 Km. Depois, inicia-se a estratosfera, onde está situada a famosa camada de ozônio. A troposfera é a camada mais estudada, porque é onde vivemos e fazemos nossas principais atividades. Mesmo a cadeia de montanhas como o pico Everest, o mais alto do mundo, não passa de 8.848 metros de altura. A poluição atmosférica é um fenômeno típico da troposfera, com exceção da destruição da camada de ozônio.

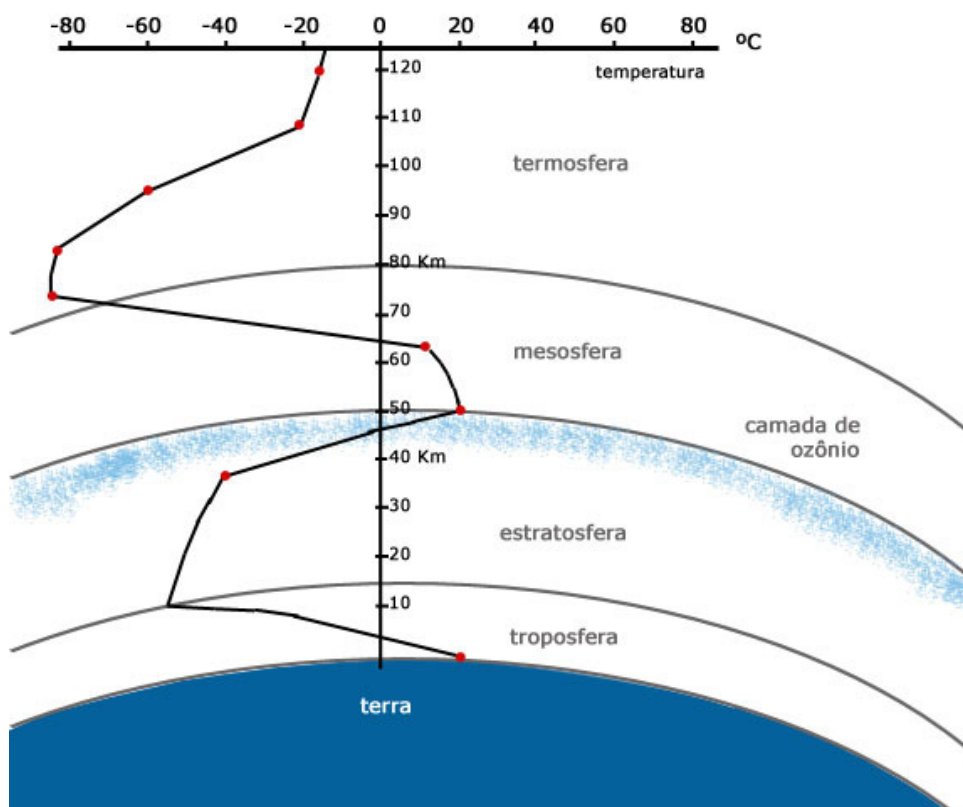


Figura 3: As camadas da atmosfera definidas pela mudança na variação da temperatura ao longo da atmosfera.

Os principais gases da atmosfera

A atmosfera é composta de diferentes gases e partículas. A parte gasosa é composta de nitrogênio (N_2), que contribui com 78,08 % e o oxigênio (O_2) com 20,95%. Isso significa que se pegássemos aleatoriamente 1.000 moléculas de gases da atmosfera, 780 seriam de moléculas de nitrogênio e 209 de moléculas de oxigênio. Com a soma: $780 + 209 = 989$, as onze moléculas que faltam para completar 1.000 são completadas pelas moléculas conhecidas como **gases minoritários da atmosfera**. A Tabela 2 lista alguns componentes minoritários da atmosfera e sua presença na composição relativa. O gás oxigênio possui um papel importante na atmosfera, que é manter a vida aeróbica, isto é, aquela que respira oxigênio. Porém, os gases minoritários também são importantes para manter a vida. Gases como o dióxido de carbono, o metano e o óxido de dinitrogênio são responsáveis por manter a temperatura do planeta em uma faixa conveniente para abrigar a vida como conhecemos. Essa propriedade é conhecida como **efeito estufa**.

Composto	Número de moléculas do gás presente em amostra de dez bilhões de moléculas de ar
Dióxido de carbono, CO ₂	3 600 000
Metano, CH ₄	16 000
Óxido de dinitrogênio, N ₂ O	3100
Oxido nítrico, NO	1
Amônia, NH ₃	10
Dióxido de enxofre, SO ₂	1
Formaldeído, HCOH	10
Argônio, Ar	9 340 000
Neônio, Ne	181 800
Helio, He	52 400
Hidrogênio, H ₂	5 000

Tabela 2: Composição relativa de alguns gases minoritários presentes na atmosfera limpa

O controle da temperatura pelo efeito estufa

Gases como o dióxido de carbono, o metano e o óxido de dinitrogênio possuem a propriedade de interagir com o calor e posteriormente refletir o calor em todas as direções. Esse efeito é fundamental para a vida em nosso planeta e é conhecido como **efeito estufa**. Os gases que possuem essa propriedade são conhecidos como **gases estufas**. Para entender como isso acontece, é preciso saber que a energia do sol atravessa a atmosfera e atinge a superfície da terra, e é nesse momento que ela se transforma em calor (radiação infravermelha). O calor tende a se dispersar na atmosfera e, posteriormente, perder-se no espaço. Mas, quando calor encontra uma molécula estufa, ele interage com a molécula presente na atmosfera e parte do calor é refletido de volta à superfície (Figura 4). Sem o efeito estufa, durante o dia a temperatura no solo seria próxima de vinte graus Celsius e já a altura da cabeça de um ser humano, a temperatura não passaria de menos dez graus Celsius, inviável para a vida na Terra. Os **gases estufas** funcionam semelhantes a um cobertor usado em uma noite de frio: não é o cobertor que aquece, mas o calor do nosso próprio corpo que fica retido entre o nosso corpo e o cobertor. O acréscimo de gases estufas na atmosfera modifica a quantidade do calor retido pelo planeta da mesma forma que colocar muitos cobertores poderia deixar a temperatura ao nosso redor insuportável. O principal gás estufa é o dióxido de carbono, porque ele aparece em maior proporção e sua quantidade tem crescido muito na atmosfera, comparado com os outros gases estufas (Tabela 2).

Atualmente, o aumento de todos os gases estufas na atmosfera tem resultado no aquecimento global e mudanças climáticas. A única forma de não provocarmos um colapso no clima do planeta é deixar de emitir grandes quantidades de gases estufas para atmosfera.

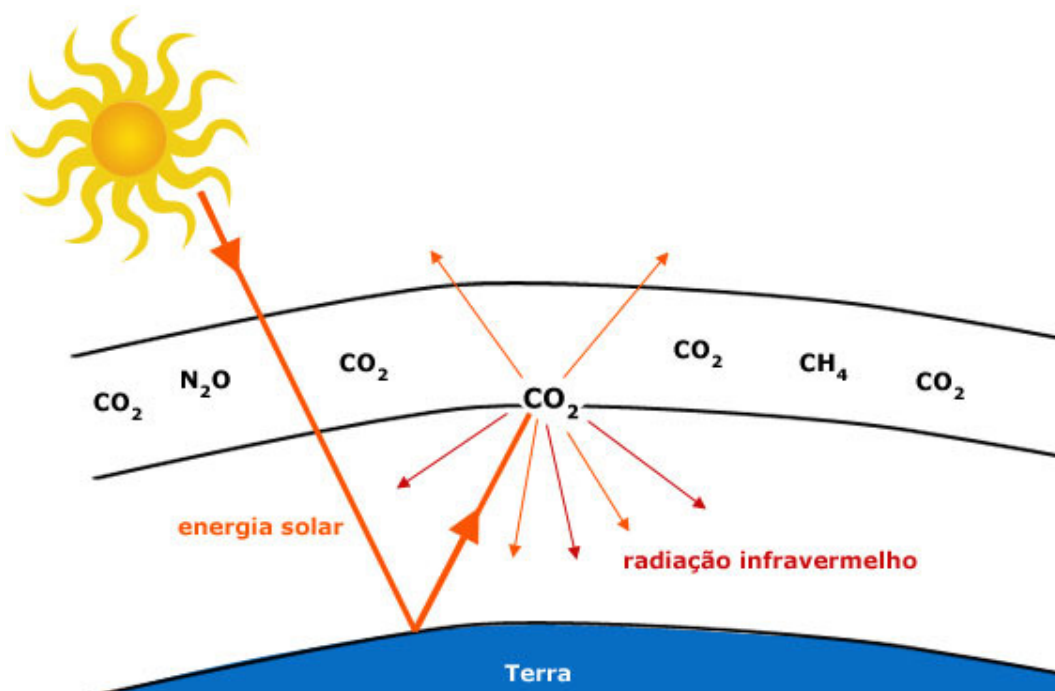


Figura 4: A ação dos principais gases estufas na atmosfera no aquecimento do planeta. A energia solar é transformada na superfície da Terra em radiação infravermelha (calor).

Os principais gases estufas são:

O dióxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não é tóxico para a vida. Ele também é estável sob o aspecto químico e por isso pouco interage com os componentes da atmosfera. Essa propriedade favorece sua permanência na atmosfera por mais de 4 anos. O gás emitido no ano de 2009 e que foi para a atmosfera só será eliminado depois do ano de 2013, tempo suficiente para ele se dispersar e acumular na atmosfera do planeta. Principais fontes de emissão do dióxido de carbono para atmosfera são a queima de combustíveis e de florestas.

O metano é também gás incolor, inodoro e não é tóxico para a vida. É formado na decomposição de matéria orgânica em locais com pouco oxigênio, como em águas poluídas. O arroz plantado dentro de áreas alagadas é uma atividade que produz muito metano. O gado também é uma fonte de metano significativa, porque os ruminantes digerem o capim em uma parte do estômago chamada rúmen, onde o capim sofre uma pré-digestão com produção de metano. O gado arrota o metano produzido

para a atmosfera e assim contribui para o aquecimento global. Cada boi arrota em média 58 quilos de metano por ano, e como o rebanho brasileiro é de cerca de 170 milhões de cabeças, a emissão anual é aproximadamente 10 milhões de toneladas de metano. A permanência do metano na atmosfera é de mais de 8 anos. O gás metano emitido no ano de 2009 e que foi agora para a atmosfera só será eliminado depois do ano de 2017. O potencial de uma molécula de metano em reter calor é 24 vezes maior que o de uma molécula de dióxido de carbono.

O óxido de dinitrogênio é produzido por águas poluídas e pela decomposição natural de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura. Ele também é muito estável e o gás emitido no ano de 2009 e que foi agora para a atmosfera só será eliminado depois do ano de 2094. A permanência do óxido de dinitrogênio na atmosfera é de mais de 85 anos. O potencial de uma molécula de óxido de dinitrogênio em reter calor é 270 vezes maior que o de uma molécula de dióxido de carbono.

A emissão de dióxido de carbono, metano e óxido de dinitrogênio proveniente do Brasil e de cada um dos países afeta toda a atmosfera do planeta devido ao elevado tempo de permanência deles na atmosfera. Dessa forma, não adianta apenas alguns países reduzirem a emissão de gases estufa. O controle da emissão de gases estufas deve ser feito por acordos internacionais, como o de Kyoto, com todos os países empenhados em minimizar a emissão desses gases.

A poluição atmosférica

A poluição atmosférica é resultado do aumento da concentração dos gases minoritários e de partículas na atmosfera. O aumento da concentração de gases pode ser global, como o aumento do efeito estufa, ou localizada, como é o caso da poluição sobre as cidades. Para efeito de comparação, poderíamos pensar na poluição como uma doença. Existem doenças que atingem todo o organismo (por exemplo: uma gripe forte) e outras que só atacam uma região (acidez no estômago). Os sintomas, efeitos e tratamentos devem ser diferentes para os diferentes tipos de doenças e o mesmo acontece com a poluição.

A poluição pode ser produzida pela natureza. Um vulcão em atividade emite gases e poeiras que podem destruir cidades próximas de forma devastadora. Algumas erupções vulcânicas foram tão intensas que a poeira se espalhou por toda a atmosfera do planeta. A poluição mais comum é a provocada pelas atividades do homem no planeta. Esse tipo de atividade é conhecido como **antrópica** para diferenciar da **natural**.

A principal atividade antrópica que afeta a atmosfera é a queima de combustível e florestas. Os principais combustíveis queimados são: o carvão e os derivados do petróleo.

A formação do petróleo na natureza é similar à do carvão e é um processo natural que demora milhões de anos. A matéria orgânica compactada por solo e rochas sofre transformações em condição anaeróbica (ausência de oxigênio) e pressão elevada. Estudos recentes indicam que o carvão é proveniente de matéria vegetal e o petróleo é de matéria orgânica de origem animal – grande quantidade de micro-organismos que viviam nos oceanos e deram origem ao petróleo. Produzir petróleo em grande escala e de forma artificial é impossível e dessa forma o petróleo é considerado uma fonte de **energia não renovável**. O álcool e o biodiesel são produtos de fonte de **energia renovável** porque a cana ou a soja, matérias-primas desses combustíveis, podem ser cultivadas e produzir o biocombustível em um curto espaço de tempo.

O processo de combustão, a geração da energia e implicações ambientais

O homem urbano moderno usa o processo de combustão para gerar energia utilizada nos meios de transportes, residências e indústrias. Os materiais mais abundantes para serem usados como combustível são aqueles ricos em átomos de carbono ligados ao hidrogênio (**C-H**), presentes nos compostos de origem no petróleo e gás natural ou ligado a outro átomo de carbono (**C-C**), como o presente na estrutura do carvão. A consequência é que na combustão desses materiais forma-se sempre o dióxido de carbono e esse composto é um gás que acaba sempre indo para a atmosfera (Figura 5).

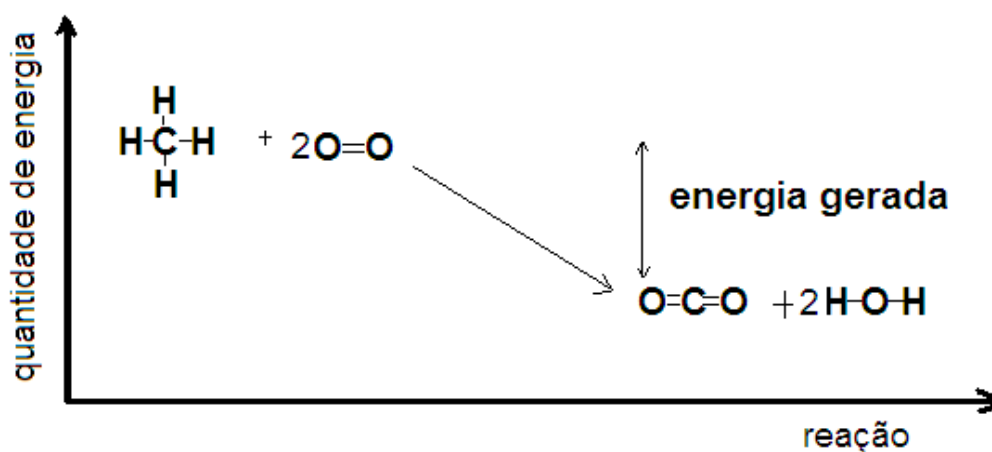


Figura 5: Obtenção de energia pela queima de combustível

O uso intensivo de combustíveis contendo átomos de carbono na sua estrutura aumenta a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. Como podemos observar na Figura 6, existe apenas um sentido para as setas que indicam a direção do transporte dos átomos de carbono presentes no petróleo e no carvão. Inicialmente encontrados no subsolo, acabam seguindo para a atmosfera.

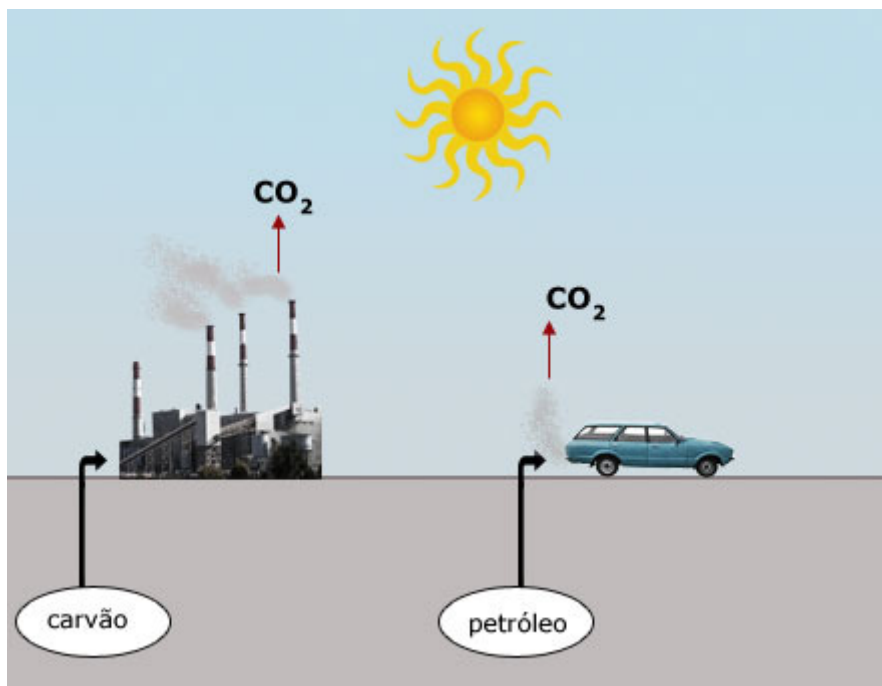


Figura 6: O carvão e o petróleo, quando utilizados como fonte de energia, transportam o carbono contido nesses materiais do subsolo para a atmosfera.

A emissão de dióxido de carbono para a atmosfera é, na maior parte, resultado de processos de combustão derivados do petróleo e carvão. Os países desenvolvidos são os principais consumidores de energia e grandes emissores de dióxido de carbono para a atmosfera. Com apenas 20% da população do planeta vivendo nessas regiões, esses países emitem cerca de 51% de todo o dióxido de carbono que chega à atmosfera. Como resultado dessa condição, um morador dos Estados Unidos emite, em média, 2,5 vezes mais dióxido de carbono que um europeu, 5 vezes mais que um sul-americano e 8 vezes mais que um africano. Em nações em desenvolvimento, como o Brasil e países da África, a emissão de dióxido de carbono é principalmente resultante de atividades de queima de áreas naturais de florestas ou cerrados (savanas na África). O Brasil, em 2002, queimou uma área de floresta que emitiu 535 milhões de toneladas de CO_2 e o setor industrial queimou combustível que emitiu 300 milhões de toneladas de CO_2 .

Poluição atmosférica sobre as cidades

Além do aumento do efeito estufa, que é um problema global relacionado à queima de combustível e emissão de dióxido de carbono, existe a poluição sobre cidades também relacionada à combustão de combustível. Relatório da CETESB sobre a poluição na região metropolitana de São Paulo durante o ano de 2008 mostra o crescimento da concentração de ozônio, gás altamente tóxico na baixa atmosfera, e também mostra a expansão das áreas críticas com poluição elevada. Para entender o problema precisamos voltar a olhar a combustão e ter consciência de que **toda combustão produz subprodutos na forma de gases e partículas que acabam na atmosfera**. Existem três grandes inconvenientes na combustão:

1. Os combustíveis podem conter impurezas diversas, como compostos de enxofre, nitrogênio e metais. A combustão dessas impurezas geram compostos muito agressivos ao ambiente;
2. No mundo real, a combustão não ocorre de forma 100% completa e algumas moléculas de combustível apenas se fragmentam, e essas são emitidas para a atmosfera na forma de vapor ou partícula;
3. A combustão ocorre em presença de ar, que é uma mistura de nitrogênio e oxigênio, e o calor gerado faz com que esses gases reajam entre si gerando óxidos de nitrogênio (NO e NO₂).

Na atmosfera, os óxidos de nitrogênio atuam sobre os fragmentos de moléculas de combustível (COV) e em presença da luz solar (energia) formam o gás ozônio (O₃) (Figura 7). Ele é altamente tóxico a animais e plantas e ataca diversos materiais como borracha e corantes. O ozônio e todos os outros subprodutos da combustão são compostos altamente poluentes para atmosfera e com ação local ou regional. É importante não confundir o papel protetor do ozônio na atmosfera. Uma propriedade importante da molécula de ozônio é que ela filtra os raios solares muito energéticos, conhecidos como luz ultravioleta. Essa luz é responsável pelas queimaduras da pele quando ficamos no sol. Felizmente, pouca luz ultravioleta chega até nós. A maior parte fica retida na camada de ozônio, que atua de forma similar, como um protetor solar que passamos sobre o corpo antes de ir ao sol. Para funcionar, o protetor solar precisa estar sobre a pele e não ingerido misturado no suco de fruta! De forma similar, o ozônio protetor, para funcionar, precisa estar na estratosfera a cerca de 40-50 Km de altura e não na atmosfera que respiramos.

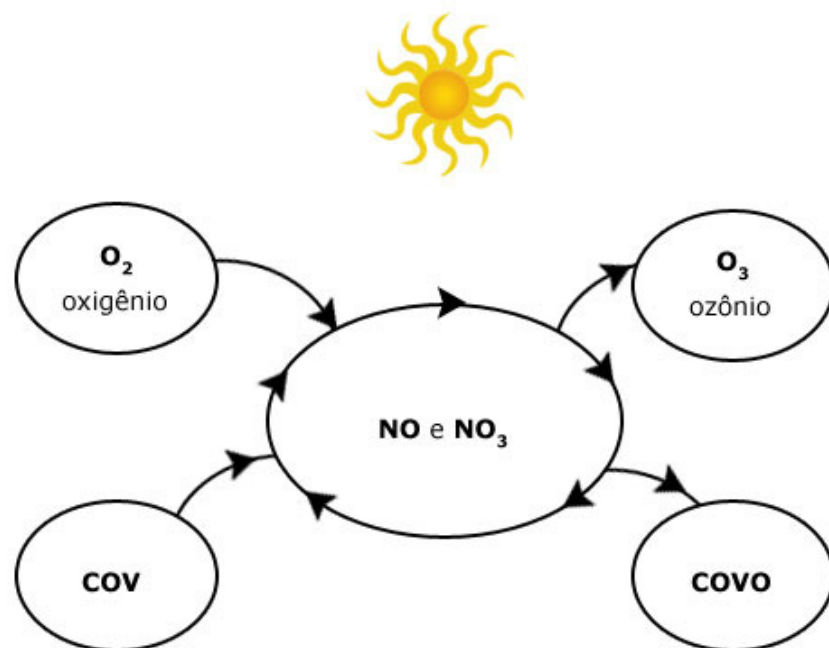


Figura 7: A queima de combustível resulta em subprodutos da combustão que são os principais causadores da poluição atmosférica sobre as cidades. Compostos orgânicos voláteis (COV) em presença de luz solar e catalisada pelos óxidos de nitrogênio geram ozônio e outros compostos.

O dióxido de enxofre SO_2 é outro subproduto da combustão de combustíveis. Ele é proveniente da combustão de contaminantes contendo enxofre no combustível. A gasolina e o diesel vendidos no Brasil possuem grande quantidade de enxofre quando comparados aos mesmos combustíveis vendidos em outros países. Por outro lado, o álcool combustível quase não possui enxofre. O dióxido de enxofre é um gás que afeta o sistema respiratório das pessoas e agrava diversas doenças respiratórias.

Outro problema de poluição causado pelo uso de combustível é a emissão de material particulado, isto é, pequenas partículas. A fumaça são as partículas visíveis, mas muitas partículas são tão pequenas que não são visíveis ao olho humano. Estudos sobre a poluição causada pelas partículas sugerem que quanto menor, mais elas afetam o sistema respiratório e até circulatório. Um automóvel é um grande emissor de partículas para atmosfera, que ocorre principalmente pelo cano de escapamento, quando o freio é acionado (desgaste do freio) e com o movimento do automóvel que levanta material pelo vento que cria na sua passagem.

Gases como ozônio (O_3), óxidos de nitrogênio (NO , NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado são os principais componentes da poluição atmosférica que ataca as cidades e esses gases estão crescendo invariavelmente em todas as cidades do planeta. Os fortes episódios de poluição atmosférica

que ocorrem em cidades da China quase inviabilizam a Olimpíada. E o mesmo acontece em todos os continentes, cidades ricas e pobres que usam queimar muito combustível, especialmente no transporte individual, vivenciam episódios de poluição crescente.

Mas o que ocorrem com os gases poluentes após eles poluírem as cidades? Os gases NO, NO₂ e SO₂ são gases solúveis em água e com propriedades ácidas. Com o tempo, esses gases vão sendo incorporados a gotículas de água presentes na atmosfera. As nuvens são formadas por essas gotículas. Os gases NO, NO₂ reagem e se transformam em ácido nítrico (HNO₃), e o gás SO₂ se transforma em ácido sulfúrico (H₂SO₄). Quando a nuvem se transforma em chuva, ela cai como a chuva ácida! Como todo o processo de incorporação de gases em nuvens e formação de chuva depende de várias etapas, a chuva ácida pode ocorrer distante do local de emissão. A emissão de gases NO, NO₂ e SO₂ feitas no Estado de São Paulo pode provocar chuva ácida no Estado de Minas Gerais.

A poluição que afeta a cidade ou estados vizinhos requerem legislação local (leis feitas nas Câmaras de Vereadores (cidade), leis estaduais (Assembleia Legislativa) e leis brasileiras (Câmara dos Deputados). É importante conhecer as causas e o alcance da poluição para saber a quem cobrar por leis de controle de poluição.

O que você pode fazer para minimizar a poluição atmosférica? Caso sua preocupação seja com o planeta, evite ao máximo emitir dióxido de carbono e não queime combustível ou a mata próxima da sua casa. Apóie todas as ações que evitam a queima da floresta. Não esqueça da cidade onde você vive, economize combustível. Procure sempre usar transporte público, ou melhor, use uma bicicleta e também ande a pé! Mas cuidado com o trânsito. Não esqueça de exigir dos políticos e da agência estadual de controle de poluição (todo Estado deve ter a sua agência), não só leis de controle de emissão de poluentes, mas mecanismos para aplicar a lei. Na sua cidade, exija e divulgue um número de telefone para fazer reclamações sobre poluição. Procure saber se o candidato que você vai votar possui proposta para melhorar o transporte público oferecendo um serviço limpo e de qualidade. Cuidado para não ser enganado com propaganda. Plantar árvores na cidade melhora a temperatura; pela sombra oferecida, a árvore cria um ambiente agradável, mas não melhora a poluição atmosférica na cidade. Para melhorar a poluição atmosférica, é necessário minimizar emissões de gases e partículas.

O biocombustível é uma solução?

O uso do biocombustível tem sido apresentado como uma solução para a poluição atmosférica. Mas o que existe de verdade com relação ao uso do biocombustível? Qual seria o princípio que sustenta essa ideia? O princípio é: o biocombustível, quando queimado, não aumenta a quantidade do dióxido de carbono na atmosfera e não intensifica o efeito estufa.

Sob o aspecto do aumento do efeito estufa, o uso do biocombustível possui realmente essa relevância ambiental. Para entender o processo, é preciso fazer a conta de quanto dióxido de carbono entra e quanto sai da atmosfera ao longo de um ano. Por que um ano? Porque é o tempo necessário para uma planta germinar, crescer e ficar pronta para produzir o biocombustível. Fazendo essas considerações, o dióxido de carbono produzido na queima do combustível tem como destino final a atmosfera. Porém, a mesma quantidade de dióxido de carbono sai da atmosfera no processo de fotossíntese para formação da nova planta. Como resultado, a quantidade de dióxido de carbono **ao longo de um ano** não se altera na atmosfera e possui balanço zero. A Figura 8 apresenta um esquema sobre a diferença entre os combustíveis com relação ao dióxido de carbono (CO_2). No caso do biocombustível, existe um ciclo fechado para o gás CO_2 , e para o combustível proveniente do petróleo existe apenas uma direção para o CO_2 que termina na atmosfera.

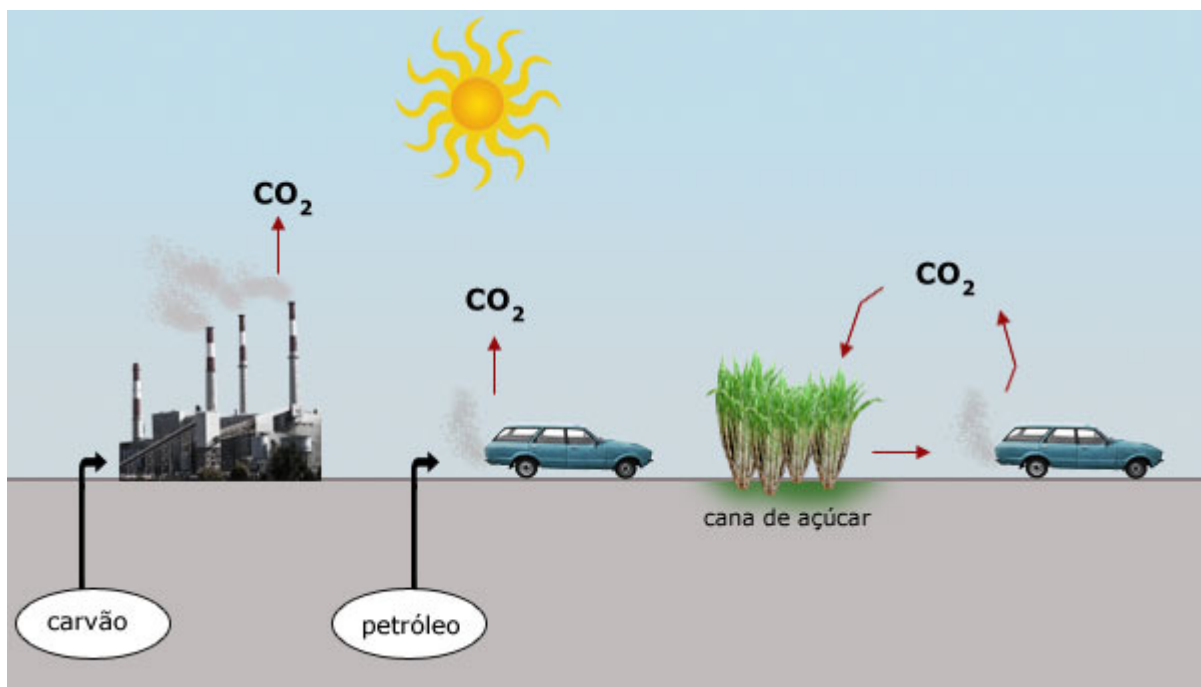


Figura 8: O uso do carvão e do petróleo como fonte de energia transporta o carbono do subsolo para a atmosfera. O uso do biocombustível produz um ciclo fechado para o carbono e, com isso, não existe acúmulo do mesmo na atmosfera.

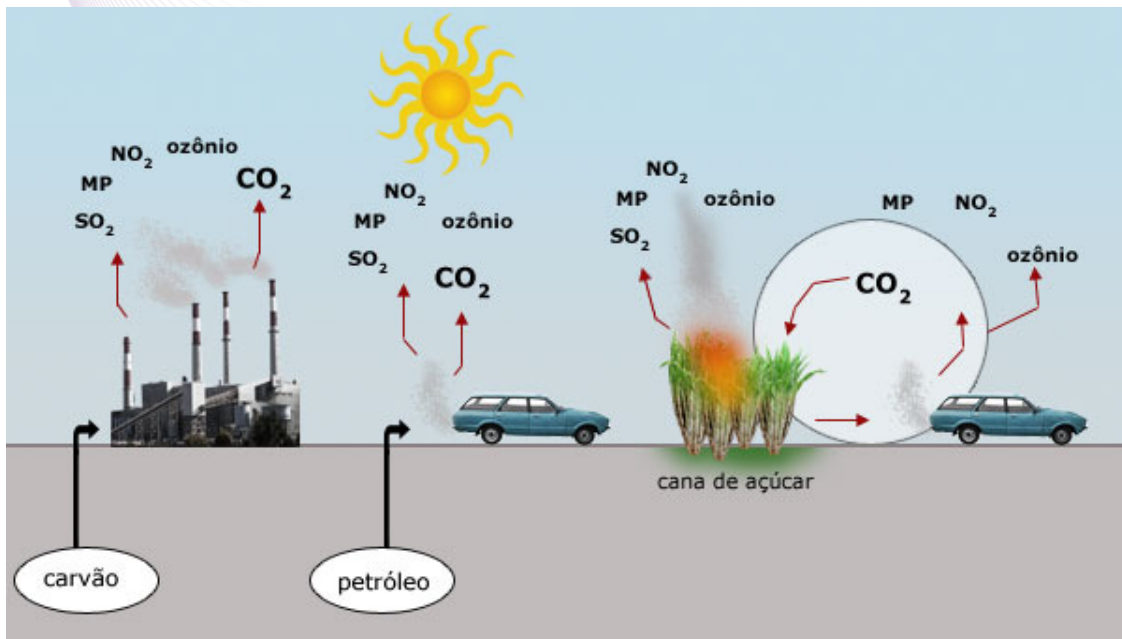


Figura 9: Os diversos produtos formados durante a combustão de combustível e que poluem a atmosfera.

Questões para pensar

1. Por que evitar comer carne vermelha pode ajudar a evitar o aumento do efeito estufa?
2. Por que quando a seleção brasileira vai jogar em uma cidade alta, como Quito, no Equador, os jogadores reclamam que falta "ar"? Por que o goleiro reclama que além de tudo a bola chutada "pega" mais velocidade?
3. Qual a vantagem de diminuir a contaminação de enxofre nos combustíveis?
4. Plantar árvores ajuda mais a minimizar o efeito estufa ou a poluição atmosférica nas cidades?