

QUÍMICA AMBIENTAL EM AÇÃO: UMA NOVA ABORDAGEM PARA TÓPICOS DE QUÍMICA RELACIONADOS COM O AMBIENTE

Jailson B. de Andrade e Pedro Sarno

Instituto de Química – UFBA – Campus de Ondina – 40.210 – Salvador, Bahia

Recebido em 12/02/90

In order to address the introduction of topics in Environmental Chemistry, in General Chemistry courses, for other non chemistry courses (Engineering, Physics, Biology, etc.) a series of papers on descriptive topics are presented. They include: acid rain, greenhouse effect, ozone, photosynthesis, pesticides, photochemical smog, radioactivity, Earth atmosphere, lead in the environment and environmental pollution by tobacco smoke. The papers correspond to the information collected from a number of sources and condensed into a length of two pages.

INTRODUÇÃO

Atualmente tem crescido bastante o interesse dos estudantes nas questões relativas ao ambiente, tornando-se necessário a introdução de cursos de Química Ambiental nos currículos de Química e de Tópicos de Química Ambiental nos cursos de Química Geral para os estudantes de outras áreas, exceto Química, (Engenharia, Física, Farmácia, Biologia, Agronomia, entre outras). Entretanto, a apresentação de material descritivo em formato apropriado, nos cursos de Química Geral, constitui um problema para professores e estudantes pois as informações estão espalhadas em artigos científicos, muitas vezes em periódicos de difícil acesso, ou em livros textos especializados, tornando difícil a compreensão dos aspectos mais relevantes e produzindo, geralmente, conceitos e interpretações errôneas.

Numa tentativa de facilitar a introdução de tópicos de Química Ambiental nos cursos de Química Geral para estudantes de outras áreas, produzimos uma série de textos onde são abordados os seguintes assuntos: chuva ácida, efeito estufa, ozônio, fotossíntese, agro-tóxicos, smog fotoquímico, radioatividade, atmosfera terrestre, chumbo no ambiente e poluição ambiental pelo fumo (tabaco). Esta série corresponde à informação coletada de várias fontes e condensada de forma concisa pois não é nosso objetivo produzir extensos tratados sobre o assunto. Cada texto tem a extensão de duas páginas datilografadas onde são descritos conceitos, propriedades dos compostos envolvidos, reações química e a importância/efeito no ambiente.

A apresentação dos textos é através de projeção de transparências onde os estudantes podem ler o assunto enquanto os vários aspectos relacionados com o tema são descritos e discutidos pelo professor.

Os que desejarem ter cópias da série "Química Ambiental em Ação" com cada texto no formato de duas-páginas impressas (cada página é do mesmo tamanho de uma transparência para retroprojeter) podem solicitar aos autores que enviarão sem nenhum custo para o solicitante.

CHUVA ÁCIDA

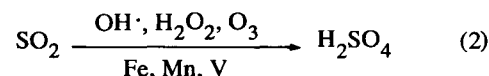
Em áreas geográficas não contaminadas por emissões antropogênicas o pH da chuva é aproximadamente 5,6.

Isso é devido ao equilíbrio entre $\text{CO}_2(\text{aq})$ e HCO_3^- na atmosfera. Quando o pH está abaixo desse valor a chuva é considerada ácida.

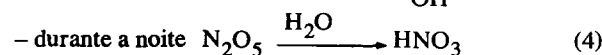
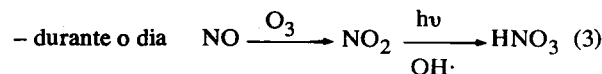


Na Europa e Estados Unidos já foram observadas amostras de chuva com $\text{pH} < 3$. No Brasil, em medidas efetuadas em amostras de chuva, coletadas em Niterói e no Rio de Janeiro, foram encontrados valores de pH entre 4,3 e 5,3.

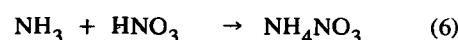
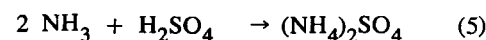
Vários compostos químicos têm grande influência na acidez da chuva. Dentre eles destacam-se o SO_2 , os óxidos de nitrogênio e os ácidos inorgânicos voláteis. O SO_2 atmosférico pode sofrer oxidação catalítica, através H_2O_2 , O_3 e/ou radicais $\text{OH}\cdot$, resultando na produção de ácido sulfúrico. A reação pode ocorrer em fase gasosa ou em fase líquida, quando o SO_2 está dissolvido em microgôtas de chuva, nuvens ou neblinas. Vários metais podem agir como catalisadores.



Os óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 e N_2O_5) participam de uma série de reações que produzem ácido nítrico. A presença ou não de radiação solar pode determinar a predominância de algumas reações:



Por outro lado, a amônia, que é produzida naturalmente por algas e bactérias através de processos biológicos, quando presente na atmosfera age como neutralizante dos ácidos fortes.



DANOS CAUSADOS PELA CHUVA ÁCIDA

Nos Estados Unidos, Suécia e Canadá verificou-se que valores de $\text{pH} < 5$ diminuiu sensivelmente o número de peixes

nos lagos. No Canadá, estudos recentes em lagos aos quais foi adicionado ácido, revelaram que, após 4 anos, devido ao aumento da acidez, o camarão desapareceu e as trutas apresentaram alterações morfológicas, apresentando inclusive formato de cobra.

A acidez da chuva provoca também um arraste de metais tóxicos do solo, como o Al e o Cu, que prejudica a microflora dos lagos, alterando a concentração de bactérias, algas e fungos, podendo conduzir à esterilização da vida animal.

Nas florestas, o efeito da acidez da chuva nas árvores através do solo é maior do que aquela que atinge a copa. No solo, as folhas e detritos vegetais oxidam o $\text{SO}_2(\text{aq})$ depositado o qual é somado aos aerossóis depositados na copa das árvores, que são arrastados para o solo pela chuva, contribuindo assim para o aumento da acidez. Esta, por sua vez, provoca uma diminuição na produção de humos, aumenta a produção de compostos de nitrogênio (que gera mais acidez) e lixivia o alumínio que é tóxico para as plantas.

Monumentos e edifícios também estão submetidos a duros ataques pela precipitação ácida. Estes possuem mármore ou estruturas metálicas passíveis de ataque por soluções ácidas.

No caso de monumentos de mármore, experimentos realizados em laboratório, mostraram que o CaCO_3 ($K_{ps} = 4,7 \times 10^{-9}$) é convertido em CaSO_3 pela reação com o SO_2 gasoso (o vapor d'água ou outros compostos presentes na atmosfera urbana podem acelerar a transformação). O sulfito de cálcio é então convertido rapidamente em CaSO_4 , o qual pode se hidratar, pela ação de água a $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($K_{ps} = 2,4 \times 10^{-5}$). O sulfato de cálcio é cerca de 20.000 vezes mais solúvel do que o carbonato de cálcio o que acelera a deterioração do mármore.

Apesar de não serem conhecidos efeitos diretos sobre a saúde humana vários pesquisadores têm chamado a atenção para a possibilidade do surgimento de problemas mentais causados por determinadas concentrações de alumínio e outros metais na água potável, como também a existência de problemas respiratórios e cardíacos causados pela presença de aerossóis contendo ácido sulfúrico.

LEITURA COMPLEMENTAR

Fedema, J. J.; Meierding, T. C., *Atmos. Environ.*, (1987) 21, 143.

Mello, W.Z.; Motta, J. S. T., *Ciência Hoje* (1987) 6, 40

EFEITO ESTUFA

Quando a radiação solar que chega à Terra, sob a forma de luz visível, atinge o solo, esta é convertida em outras formas de energia, inclusive a radiação infravermelha que está associada ao calor. Se a Terra absorvesse toda a energia solar que recebe, sua temperatura alcançaria níveis insuportáveis. Todavia, existe um ciclo envolvendo todo esse processo e que permite um equilíbrio entre a energia recebida, absorvida e refletida de volta para o espaço.

Quando a radiação solar incide sobre o nosso planeta, encontra em primeiro lugar a atmosfera. Esta é constituída principalmente de N_2 (78%) e O_2 (21%), além de outros gases (p. ex. CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 , etc.) em percentagens mínimas (1%) que permitem a passagem de 70% da radiação solar incidente, refletindo de volta os outros 30%. Da radiação que atravessa a atmosfera parte será absorvida, aquecendo o solo, os oceanos e a própria atmosfera, provocando a evaporação (com formação de nuvens e chuvas), ventos e correntes oceânicas.

Neste processo deve ser estabelecido um equilíbrio e parte desse calor, sob forma de radiação infravermelha, deve ser reemitido para o espaço. Para sair da ação da Terra, essa radiação deve atravessar a atmosfera. Entretanto, esta que era praticamente transparente à luz solar, retém a maior parte da radiação infravermelha, pois moléculas de CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 entre outras, têm uma estrutura que permite a elas vibrarem nas frequências correspondentes à da radiação infravermelha. Isso provoca uma maior absorção de calor pela atmosfera e conseqüentemente maior reflexão de calor para o solo. Apesar destas moléculas existirem em número relativamente pequeno (< 1%), elas estão na concentração adequada para manterem o equilíbrio da temperatura terrestre. Na ausência destas, a radiação infravermelha emitida pelo solo retornaria para o espaço, provocando muito frio à noite.

O mesmo ocorre, também, nos automóveis fechados, sob ação da luz solar: a radiação solar penetra no veículo, através dos vidros, provoca o aquecimento interno e ao tentar devolver parte desta energia, sob forma de radiação infravermelha, esta é retida pois só uma pequena parte consegue atravessar o vidro, que é isolante térmico. Deste modo a temperatura interna torna-se bem maior do que a externa. Este efeito corresponde ao que ocorre numa estufa e por isso é denominado de EFEITO ESTUFA.

Um dos fatores que podem alterar o equilíbrio térmico do ambiente é a concentração dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Desde meados do século passado, devido ao desenvolvimento tecnológico e à destruição de florestas, verificou-se um aumento na quantidade de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorcarbonetos (CFC), ozônio e outros gases de origem natural e antropogênica. Só a emissão de CO_2 causada pela queima de combustíveis fósseis foi avaliada em 5 bilhões de toneladas anuais, em todo o mundo, e mais 0,4 a 2,5 bilhões provocados pelo desflorestamento. Em 1880 a concentração de CO_2 na atmosfera era da ordem de 280 ppm, hoje os valores são cerca de 350 ppm e uma projeção para o ano 2050 prevê 500 a 700 ppm, caso nenhuma medida seja adotada.

O aumento da pressão parcial de CO_2 é preocupante, pois este gás é fundamental para processos como a fotossíntese, regulação da alcalinidade da água do mar, composição dos exo-esqueletos de animais marinhos, etc. Um aumento na concentração do CO_2 pode favorecer algumas culturas de alimentos e fibras, mas pode prejudicar o rendimento de outras. Mesmo nos casos em que poderá haver aumento na produção, existirá simultaneamente um maior consumo de nutrientes, cuja reposição se constituirá em sério problema para alguns países, pois forçaria o uso de adubos artificiais.

Os demais gases, ainda que presentes em concentrações bem menores, também são importantes devido às propriedades que apresentam: enquanto o CO_2 tem uma vida aproximada, na atmosfera, de 500 anos, a do CH_4 é 7-10 anos porém a sua capacidade de acumular calor é 20 vezes maior do que este gás; a molécula de um CFC dura cerca de 75-100 anos e retém 20.000 vezes mais calor do que o dióxido de carbono.

O aumento de temperatura causada pelo efeito estufa não seria uniforme, mas os seus efeitos afetariam todas as áreas do globo terrestre. Calcula-se que um aumento de 1 a dois graus Celsius seriam suficientes para provocar enormes danos. As conseqüências mais sérias que podem ser previstas são:

i) degelo das calotas polares, provocando um aumento no nível do mar, com inundação de muitas áreas costeiras e cidades;

ii) modificações graves na geografia econômica, pois terras atualmente férteis poderiam se transformar em desertos.

Esta situação impõe maiores estudos sobre o fenômeno efeito estufa em si mesmo, bem como a necessidade de medidas que restrinjam a emissão descontrolada de gases nocivos para a atmosfera.

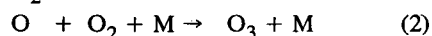
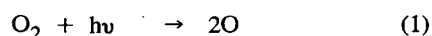
LEITURA COMPLEMENTAR:

Hileman, B.; *Chem. Eng. News*, (1989) 13, 25.

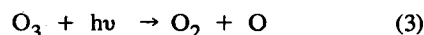
OZÔNIO

Ozônio na Estratosfera

A região que compreende a altitude entre, aproximadamente, 12Km e 50Km acima da superfície terrestre é denominada de estratosfera e é a responsável pela absorção da radiação ultravioleta (UV) emitida pelo sol ($190 \text{ nm} < \lambda < 320 \text{ nm}$). O ozônio é formado quando a radiação UV dissocia o oxigênio molecular em oxigênio atômico (1) o qual reage em seguida com O_2 (2).



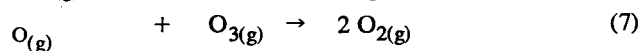
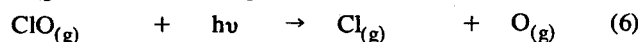
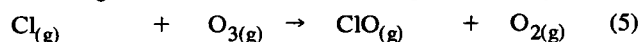
M representa uma molécula de oxigênio ou nitrogênio que permanece inalterada na reação. Por outro lado, a radiação ultravioleta também pode dissociar o ozônio (3). O O_3 através desta reação absorve a radiação UV, sem a qual a superfície terrestre seria atingida por esta radiação provocando, assim, danos nas formas de vida e contribuindo para o aquecimento global do planeta.



O nível de ozônio na estratosfera, aproximadamente 0,12 ppm, está diminuindo em todo o mundo, a uma taxa de 0,5% ao ano. Entretanto, o ozônio sobre a Antártica está diminuindo rapidamente a uma taxa de 2,5 % ao ano. Durante outubro de 1985 os níveis de ozônio nessa região diminuíram cerca de 50%, voltando, posteriormente a níveis próximos ao normal. Novamente, em 1987 foi observada, na mesma região e no mesmo período do ano, nova queda de 50% na concentração de O_3 . Esta enorme flutuação chamou a atenção dos cientistas, pois cada diminuição de 1% na camada de ozônio pode levar a um aumento de 2% nos casos de câncer de pele.

Na Antártica o inverno começa em abril, neste período a região permanece no escuro, os ventos (vortex polar) giram em círculos com velocidade de até 100 Km/h e atraem massas de ar de outras partes da Terra. Nessa época, a temperatura na estratosfera pode cair até -90°C , suficientemente frio para formar nuvens. Neste cenário, reações heterogêneas especiais envolvendo os clorofluorcarbonetos (CFC) e ozônio ocorrem na superfície das partículas das nuvens, quando os primeiros raios UV atingem a Antártica no fim do inverno, em setembro, provocando o buraco de ozônio. Além dos CFC vários radicais livres também podem destruir O_3 na estratosfera.

Os CFC (o freon-12, CCl_2F_2 , é o mais comum) são compostos inertes; porém na estratosfera em presença de radiação UV e das nuvens polares são liberados átomos de cloro que reagem diretamente com o ozônio:



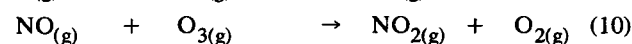
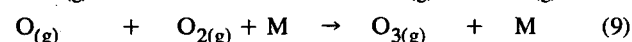
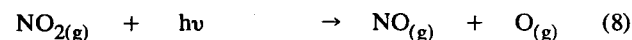
Torna-se necessário um corte substancial na fabricação e consumo dos CFC para diminuir a ameaça à camada de O_3 . Mesmo que hoje a produção dos CFC fosse totalmente paralisada a ameaça persistiria pelos próximos cem anos, pois a vida média, na atmosfera, dessa molécula é de 75 anos.

Um estudo recente realizado no Ártico detectou altas concentrações de ClO (aprox. 800 ppt) revelando que a camada de ozônio nesta região também está ameaçada.

OZÔNIO NA TROPOSFERA

Na troposfera, a região mais baixa da atmosfera terrestre e onde vivemos, a situação em relação ao ozônio é o inverso da estratosfera, onde este é bem vindo. O O_3 é um poderoso oxidante e como tal ataca as plantas, os pulmões, borrachas, obras de arte, etc., além de reagir com outros poluentes do ar formando substâncias irritantes para os olhos e pulmões.

A única rota conhecida de formação de O_3 na troposfera é através da fotólise do NO_2 . Por sua vez, o ozônio oxida o NO para formar NO_2 , não resultando em aumento na concentração de O_3 :



Entretanto, a fotólise e oxidação de compostos orgânicos produzem radicais livres que oxidam o NO sem destruir o ozônio, contribuindo assim para o aumento na concentração de O_3 na troposfera, o que é indesejável.

USOS INDUSTRIAIS DO OZÔNIO

Várias toneladas de ozônio são utilizadas diariamente na conversão de ácido oléico em ácido pelargônico, o qual é um intermediário na manufatura de plásticos e lubrificantes sintéticos. O ozônio é também empregado para quebrar ligações duplas de matérias-primas utilizadas na produção de hormônios esteróides, incluindo cortisona e hormônios sexuais femininos e masculinos.

Uma das aplicações recentes do ozônio tem sido no tratamento de água. Entretanto, pouco se conhece sobre os subprodutos formados, além do que, o consumo da água só deve ser feito após a decomposição deste, pois, quando presente, poderá atacar a flora intestinal.

LEITURA COMPLEMENTAR

Chock, P. D.; Heuss, J. N., *Environ. Sci. Technol.* (1987) 21, 1146.

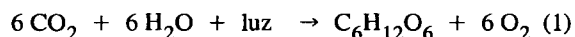
Zurer, P. S.; *Chem. Eng. News* (1987) 17, 7.

FOTOSSÍNTESE

O organismo humano é complexo e exige compostos orgânicos (carboidratos, gorduras e proteínas) como fontes de energia. Estas moléculas orgânicas são capazes de armazenar grandes quantidades de energia e ao ingerí-las o corpo humano pode utilizar cerca de 40% desta energia para manter a vida.

Como as plantas não têm acesso a qualquer tipo de molécula portadora de energia, elas são obrigadas a sintetizarem glicose e outras moléculas complexas, a partir do CO_2 e da H_2O , com o auxílio de uma fonte externa de energia, que é a luz solar. Este processo é conhecido como FOTOSSÍNTESE o qual pode ser efetuado não só pelas plantas verdes, como pelas algas e fitoplânctons.

A equação geral da fotossíntese é:



Julgava-se que a função da água, na reação acima, fosse fornecer oxigênio, mas sabe-se hoje que ela é responsável pela cessação de hidrogênio, de modo que uma outra equação geral pode ser escrita:



onde A é normalmente oxigênio mas podendo ser enxôfre ou mesmo estar ausente, quando houver apenas o hidrogênio.

Enquanto a fotossíntese é importante para nós porque produz carboidratos, para as plantas ela é fundamental em todas as etapas da vida. Os vegetais podem sintetizar também lípidios, proteínas, pigmentos, vitaminas e hormônios. Além disso, a fotossíntese é praticamente a única fonte importante de produção de oxigênio.

A maior parte das reações que se processam na fotossíntese ainda são desconhecidas, mas sabe-se que esta ocorre nos cloroplastos que existem em determinadas células. Os cloroplastos contêm enzimas e pigmentos capazes de converter a energia radiante da luz solar em energia química e armazená-la sob a forma de carboidratos. Com relação ao mecanismo pelo qual isso acontece, há uma teoria atual, de acordo com a qual uma unidade de energia luminosa é absorvida por um elétron da clorofila. Isto provoca um excitação do elétron que abandona a molécula. A clorofila que agiu como doador, passa a atuar como receptor de elétrons e nessa transferência eletrônica a energia poderá ser utilizada para reações que eventualmente produzirão carboidratos.

Melvin Calvin, ganhador do prêmio Nobel em 1961, estudou as etapas intermediárias da fotossíntese, desde a absorção do CO_2 até a molécula do carboidrato. Uma verificação preliminar mostrou que as reações são rápidas, sendo que algumas etapas se processam em minutos e até mesmo em segundos. Calvin e seu grupo mostraram que um dos primeiros intermediários era o ácido fosfoglicérico, produzido quando reagiam, nas células, o CO_2 e a ribose difosfato. Esta última se parte produzindo duas moléculas de ácido fosfoglicérico. Com a energia fornecida através da clorofila, o ácido é convertido em outros compostos. Após várias reações, parte destas moléculas é convertida em hexoses, entre elas a glicose.

Vários fatores podem influir negativamente no processo de fotossíntese. Entre outros, destacam-se o aumento de material particulado na atmosfera, o aumento da concentração de SO_2 e a queima de florestas.

O aumento do material particulado na atmosfera poderá comprometer o processo de fotossíntese, pois, quando a poeira, por exemplo, se deposita nas folhas, a capacidade fotossintética fica reduzida devido a estas absorverem mais radiação infravermelha do que as folhas limpas, o que provoca um maior aquecimento e perda de água pela folha. Além disso, devido à camada de pó, há uma maior reflexão da radiação de comprimento de onda entre 400 e 750 nm que é importante para a fotossíntese.

O SO_2 bloqueia a fotossíntese por destruição da clorofila. No interior das células o SO_2 reage com a água formando o H_2SO_3 , podendo atingir uma acidez bastante elevada que provoca o bloqueio da enzima ribulose difosfato carboxidismutase, fundamental para a fixação do CO_2 , e que também estimula a respiração. Os íons SO_3^{2-} podem combinarem-se com uma série de proteínas e com as membranas das células, perturbando não só o equilíbrio hídrico como o metabolismo das células; isto leva à alterações fisiológicas como a morte ou destruição de grupos de células.

A queima das florestas tem efeito devastador na fotossíntese pois além de reduzir a vegetação, emite grande quantidade de gases e material particulado para a atmosfera.

LEITURA COMPLEMENTAR:

Bering, C. L.; *J. Chem. Ed.* (1985) 62, 659.

Flenberg, G.; "Introdução aos Problemas de Poluição Ambiental" EDUSP, São Paulo (1980) pp. 28-67.

AGRO-TÓXICOS

O homem aprendeu, desde a pré-história, a praticar a agricultura, com a finalidade de assegurar o seu sustento. A partir daí convive com o problema das pragas que destroem as plantas, as colheitas e alimentos armazenados, geralmente em grandes quantidades, sendo que em certos países chega a 80% a perda do material estocado.

O combate às pragas é antigo e os Chineses há cerca de 1000 anos atrás utilizavam compostos de arsênio, como o sulfeto de arsênio (As_2S_5). Atualmente, o homem desenvolveu os agro-tóxicos, também chamados de defensivos agrícolas, praguicidas, pesticidas, etc. que podem ser substâncias naturais ou sintéticas, com o objetivo de controlar ou eliminar as pragas.

As principais pragas são: insetos, roedores, carrapatos, bactérias, fungos, ervas daninhas, etc. Conseqüentemente, os praguicidas compreendem os inseticidas, carrapaticidas, fungicidas, herbicidas, etc.

Os inseticidas pertencem, quimicamente, a três grandes grupos: o primeiro é o dos organoclorados (DDT, BHC, aldrin, etc.) o segundo grupo compreende os fosforados orgânicos (malathion, diazinon, TEPP, etc.) e carbamatos (carbofuran, carbasil, etc.) e o terceiro grupo são as piretrinas naturais ou sintéticas.

A ação dos inseticidas nos seres vivos depende de sua composição química. Assim, os organoclorados são absorvidos por via oral, respiratória e dérmica e afetam o sistema nervoso central. Os fosforados orgânicos e os carbamatos são inibidores da enzima acetilcolinesterase que afeta o sistema nervoso, podendo levar à morte. Aliás, 20% dos casos fatais resultantes do uso de inseticidas são provocadas por este grupo. As piretrinas são menos tóxicas mas os piretróides, que são sintéticos, são muito tóxicos para os mamíferos.

Um dos agrotóxicos mais utilizados foi o diclorodifeniltricloroetano (DDT), empregado por Paul Muller como inseticida a partir de 1939; como era considerado pouco tóxico e era muito eficiente no combate aos insetos, inclusive o anofelino transmissor da malária, foi utilizado indiscriminadamente em todo o mundo, tendo sido aplicadas milhões de toneladas, que salvaram, diga-se de passagem, milhões de vidas. Como sua degradação no solo era lenta ele provocava contaminação dos alimentos e da água. Atualmente, os praguicidas são encontrados no mercado sob a forma de mais de 10.000 preparados, baseados em cerca de 300 princípios ativos.

Um dos campos de ação mais importantes dos praguicidas é sem dúvida a proteção às plantações, daí porque não podem ser simplesmente descartados. Desde as sementes, a planta, frutos, etc., todas as fases necessitam de defensivos, de acordo com a espécie. O problema maior, de ordem prática, é que em sua maioria os praguicidas não possuem atividade específica contra determinada praga que se deseja combater e sua ação se estende a todos organismos vivos que estejam nas vizinhanças. Por exemplo, inseticidas utilizados para combater uma praga de gafanhotos eliminará as abelhas, que são insetos desejáveis, que existirem na região. Daí o impacto ambiental do uso indiscriminado dessas substâncias.

A utilização de pesticidas não é apenas um problema relativo ao local de sua aplicação. Estes podem ser transportados na atmosfera através de longas distâncias. Recentemente, foi demonstrado que resíduos de pesticidas aplicados no Marrocos foram transportados, pela atmosfera, sobre o Oceano Atlântico sendo detectados em Barbados.

Devido ao fato de muitos agro-tóxicos possuírem grande estabilidade, isto gera problemas ambientais como:

- i) permanência prolongada no solo mantendo sua toxidez por muito tempo, afetando plantas e animais;
- ii) possibilidade de serem arrastados para coleções d'água, rios, lagos e oceanos, com conseqüente destruição da vida aquática e marinha (vegetal e animal);
- iii) desenvolvimento de resistência aos praguicidas, através de mutações genéticas, obrigando a utilização de maiores doses do agro-tóxico e, portanto, causando maiores danos para o ambiente.

Considerando a impossibilidade de se eliminar o uso de defensivos agrícolas os cientistas buscam novas soluções, inclusive a obtenção de praguicidas de ação específica, melhoria genética das plantas, seleção de insetos, fungos, bactérias, etc., que sejam inimigos de determinadas pragas, esterilização de insetos machos, uso de feromônios sexuais para atrair insetos, etc., procurando assim diminuir a contaminação do meio ambiente por estas substâncias tóxicas.

LEITURA COMPLEMENTAR:

Zambronon D. A. F.; Santiago, J. P. C.; Afres, A; Naidin, L. C.; Menezes, F. A. F.; Kucinski, B.; Lara, W.; *Ciência Hoje* (1986) 22, 42.

Benn, F. R.; McAuliffe, C. A., "Química e Poluição", Livros Técnicos e Científicos, RJ: EDUSP, SP, 1981, pp. 41-66.

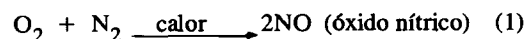
SMOG FOTOQUÍMICO

A partir de 1940 observou-se um novo tipo de poluição ambiental, que se processava sobre grandes concentrações

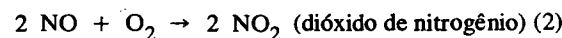
urbanas possuidoras de um número elevado de veículos automotores. Deu-se a esta poluição o nome de SMOG (de smoke - fumaça e fog - nevoeiro). Esta é caracterizada pela presença de substâncias irritantes, coloração castanha (devido à presença de NO₂) e constitui, na realidade, um aerosol formado por material particulado e gases diversos. Este material pode prejudicar o organismo humano, causando ou complicando doenças pulmonares e também aos vegetais, provocando danos imensos à agricultura. Outro efeito importante é a redução da visibilidade para cerca de 4,5 km.

Devido ao número imprevisível de reações envolvidas na atmosfera durante o smog fotoquímico é impossível conhecer-se ao certo as reações que ali ocorrem. Todavia sabe-se que o papel mais importante é desempenhado por reações fotoquímicas, que se iniciam pela absorção de fótons da luz solar. Esta é a razão pela qual para haver smog, tem que existir, na região, forte irradiação solar e também o porque do nome smog fotoquímico.

A existência de um grande número de automóveis é importante, porque é no interior dos motores a explosão que o processo se inicia: parte do oxigênio reage com o nitrogênio do ar, formando NO:



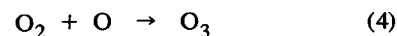
que é expelido para a atmosfera, onde o NO reage com oxigênio:



A molécula de NO₂ é capaz de absorver fótons com tanta eficiência que a molécula se parte:

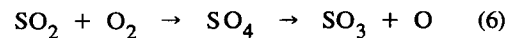
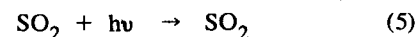


As moléculas de NO, por sua vez reagem com mais O₂, gerando mais NO₂. Os átomos de oxigênio liberados pela reação fotoquímica podem reagir com moléculas de O₂, formando ozônio:



Várias reações podem ocorrer quando NO₂, O e O₃ estão em presença de moléculas de hidrocarbonetos. Quando os motores dos veículos eliminam combustível não queimado, hidrocarbonetos, aldeídos e óxidos de nitrogênio, fornecem um conjunto de reagentes capazes de formar centenas de outros compostos orgânicos, a maioria deles prejudiciais à vida. Um caso típico é o da formação do PAN (nitrato de peroxiacetila), um agente lacrimogêneo e fitotóxico.

Outro tipo de smog foi constatado na cidade de Londres, onde, devido a condições especiais, como proximidade do litoral, baixas temperaturas, etc., pode ocorrer normalmente a presença de nevoeiros. Quando ao nevoeiro se junta uma grande quantidade de SO₂, este pode reagir com o oxigênio do ar, formando SO₄, que se decompõe:



A espécie O oxida outra molécula de SO₂ a SO₃, que por sua vez reage com o vapor d'água, formando ácido sulfúrico.

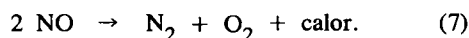
Um smog deste tipo é praticamente um aerosol de ácido sulfúrico.

Em cidades como Los Angeles, em que a maior poluição é causada por automóveis, verifica-se que há uma variação na concentração dos diversos poluentes. Assim CO e NO atingem seus níveis máximos às 7:00 hs. da manhã, quando é maior a intensidade do tráfego, um pico menor é observado no período da noite. Os hidrocarbonetos também apresentam o mesmo perfil. O pico de NO₂ pela manhã se estende por 3 horas, enquanto o do O₃ dura cerca de 5 horas. À noite o pico de NO₂ é pouco discernível e não há qualquer pico para o O₃.

A explicação para este fato reside em que o NO₂ e o O₃ não são emissões primárias e sim produtos formados fotoquimicamente na atmosfera. A produção destes gases só se dá quando há forte incidência de irradiação solar. À noite, mesmo com tráfego intenso, não há praticamente formação de smog.

Como o smog pode ser redutor ou oxidante e pode também conter um número variado de substâncias em suspensão, os efeitos causados nos organismos vivos dependem da sua constituição. Por exemplo, em Londres (1952) morreram cerca de 4.000 pessoas, durante um episódio de smog, devido à presença do SO₂ no ar (1,34 ppm), pois apesar de estar abaixo dos limites prescritos (5 ppm), o gás se associou às partículas de poeira do ar e penetrou até os alvéolos pulmonares, ao invés de ficar retido nas mucosas úmidas das vias respiratórias superiores, como normalmente ocorre. Nos alvéolos houve uma ação corrosiva, provocando edema pulmonar levando à morte.

Para a eliminação do smog pensou-se, a princípio, que seria suficiente eliminar os hidrocarbonetos emitidos pelos motores, mas isto provocava um aumento na concentração de NO, resultando na produção de mais smog. A solução será a exclusão de ambos. Entretanto para a eliminação do NO necessita-se desenvolver um catalisador que permita reverter a reação que gerou o NO



LEITURA COMPLEMENTAR:

Manahan, S. E., "Environmental Chemistry", Willard Grant Press, Massachusetts 1972.

RADIOATIVIDADE

A radioatividade natural, descoberta por Henri Becquerel, em 1896, ocorre quando um núcleo atômico instável se transforma em um produto mais estável e neste processo pode haver emissão de:

- radiação de alta energia (raios-x ou raios gama)
- partículas sub-atômicas (partículas alfa, partículas beta, pósitrons ou neutrons).

As radiações, em geral, produzem efeitos biológicos relevantes e mesmo em pequenas quantidades podem romper ligações químicas importantes podendo agir sobre o DNA, nos cromossomos das células, resultando, em muitos casos, na destruição ou divisão descontrolada das mesmas, agindo pois como agente mutagênico.

Os efeitos das radiações sobre os tecidos é medido pelo **rad** (dose adsorvida de radiação) que é equivalente a 0,01 joule de energia absorvida por quilograma de tecido e pelo **ram**

(equivalente roentgen no homem) que serve para equalizar as várias espécies de radiações quanto aos seus efeitos nos organismos.

Um **ram** é igual ao **rad** multiplicado por um fator que varia com cada tipo de radiação e que é chamado **RBE** (efeito biológico efetivo), de tal modo que:

$$\text{rem} = \text{rad} \times \text{RBE} \quad (1)$$

O **RBE** para as radiações beta e gama correspondem a 1, para a radiação do neutron é igual a 5 e para a radiação alfa igual a 10. Neste caso é necessário que a radiação alfa esteja em um órgão interno, pois se absorvida pela pele praticamente não tem ação nociva. Além da intensidade da radiação absorvida, o tempo de exposição também é muito importante para quantificar efeitos mutagênicos.

As radiações às quais estamos expostos, podem ser **naturais**: raios cósmicos, radônio, isótopos radiativos nas rochas, no solo, na água, no ar e nos alimentos ou **induzidas**: aparelhos de raios-x, televisão, explosões nucleares, resíduos de usinas nucleares e isótopos radioativos utilizados para fins médicos.

Considerando-se um período de tempo relativamente curto, são os seguintes os efeitos prováveis da radiação, em **rems**, recebido pelo organismo humano:

0 - 25	→ não há qualquer efeito detetável
25 - 50	→ leucopenia (diminuição do número de leucócitos)
100 - 200	→ leucopenia acentuada, vômitos, geralmente não há ocorrências fatais.
200 - 400	→ os sintomas anteriores, mais diarreia, manchas vermelhas na pele, queda de cabelos, 20% de casos fatais.
400 - 500	→ sintomas idênticos aos anteriores, só que mais severos e 50% de mortalidade dentro de 1 mês.
500 - 800	→ os mesmos sintomas, com maior intensidade, mortalidade de quase 100% no espaço de 1 mês.

Uma dose considerada **segura** é de aproximadamente **6 rems/ano**. Para efeito de comparação, os valores de radiações diárias são:

0,000002	- passagem pelos raios-x em aeroportos
0,004	- assistir televisão a cores, 2 horas por dia/ano
0,020	- raios-x dental (por exposição)
0,200	- raios-x dos pulmões (por exposição)
0,30	- média de exposição, por cidadão/ano, nos EEUU
9,00	- fumo (1,5 maços de cigarros por dia/ano)

A **energia nuclear** é o resultado do uso da radioatividade para a produção de energia. Enquanto um mol de metano (16 g) produz cerca de 9 eV por molécula, um quilograma de urânio tem, como combustível, um valor correspondente a 3.000 toneladas de carvão.

Inicialmente só eram conhecidas as reações nucleares espontâneas, mas o homem conseguiu dominar esta tecnologia e provocar a instabilidade dos núcleos atômicos. Verificou-se que o urânio-235, quando sofria um bombardeio com nêutrons, partia-se em duas partes (não obrigatoriamente iguais),

em um processo chamado **fissão nuclear**. Este processo é acompanhado de liberação de uma enorme quantidade de energia. Esta liberação pode ser controlada, como acontece nos reatores nucleares ou não controlada – permitindo uma explosão como ocorre nas bombas atômicas. A energia produzida nos reatores nucleares é usada para aquecer água, que passa ao estado de vapor e este é utilizado como fonte útil de energia.

O controle das reações no interior de um reator nuclear é feito com o uso de água pesada (D_2O), grafite, cádmio, boro, etc., que são capazes de absorver os nêutrons e iniciar ou cessar o processo.

Não há possibilidade de um reator atômico sofrer uma explosão nuclear. Os acidentes ocorridos em Three Mile Islands (EUA) e Chernobyl (URSS) decorreram de problemas no sistema de refrigeração, fazendo que vapor d'água altamente aquecido provocasse rompimento das estruturas internas do reator, projetando material radioativo para a atmosfera.

Em Chernobyl o reator foi soterrado por toneladas de areia, concreto, etc., mas ele continua vivo, isto é, irá gerar energia por muitos séculos. Fatos como este deram origem à chamada “**Síndrome da China**” que acena para a possibilidade de um reator nuclear, nestas condições, atravessar o globo terrestre atingindo a superfície oposta.

LEITURA COMPLEMENTAR:

Pearson, E. F.; Wilkins, C. C.; Hunter, N. W.; *J. Chem Educ.*, (1988), 65, 716.

A ATMOSFERA TERRESTRE

A atmosfera terrestre é um manto protetor que favorece a vida na Terra e a protege contra o ambiente hostil do espaço externo. Sua importância é evidente quando se leva em consideração suas funções principais:

- fonte de CO_2 para a fotossíntese;
- fornece N_2 que é utilizado pelas bactérias fixadoras de nitrogênio e pelo homem para produzir nitrogênio fixado, essencial para a vida;
- transporta a água do mar para a terra, funcionando como “condensador” de um vasto destilador que utiliza o sol como fonte de energia;
- exerce o efeito tampão sobre o pH dos oceanos
- absorve a maioria dos raios cósmicos provenientes do espaço externo, protegendo a vida dos seus efeitos;
- absorve a maior parte da radiação eletromagnética do Sol;
- filtra radiações ultravioleta abaixo de 300 nm que são prejudiciais à vida;
- mantém o equilíbrio de calor na Terra, absorvendo a energia remetida pela terra e evitando variações bruscas da temperatura.

O nitrogênio e o oxigênio constituem cerca de 99% da atmosfera ($N_2 = 78,08\%$ e $O_2 = 20,95\%$). Os demais constituintes (menos que 1%) são: argônio, dióxido de carbono, neônio, hélio, metano, etc., com proporções variáveis.

As características da atmosfera variam muito, particularmente com a altitude. Outros fatores também podem ser levados em conta, como estação do ano, latitude, hora do dia e mesmo atividade solar. A temperatura varia de $-138^\circ C$ a mais

de $1700^\circ C$ e a pressão atmosférica vai de 1,00 atm ao nível do mar até $3,0 \times 10^{-7}$ atm a 100 km acima do nível do mar.

A atmosfera pode ser dividida em regiões, segundo critérios diversos. De acordo com a composição química as regiões são denominadas de homosfera e heterosfera;

a) atmosfera inferior ou homosfera, vai do nível do mar até cerca de 80–100 km e sua característica é o fato da composição ser relativamente homogênea. Isto é devido à movimentação intensa das espécies que constituem esta região;

b) na heterosfera a variação na composição química se deve à fotodissociação das moléculas presentes no ar atmosférico, produzida pela radiação solar. Isto provoca uma diminuição no peso molecular médio do ar e uma alta concentração de elétrons e íons positivos, sendo a densidade eletrônica máxima à altitude de 300 km. Por esta razão esta camada é também denominada de ionosfera.

Com base na variação da temperatura, a atmosfera pode ser dividida nas seguintes regiões:

Região	Temperatura faixa, $^\circ C$	Altitude faixa, km	Espécies químicas mais importantes
Troposfera	15 a -56	0 a 11	N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O
Estratosfera	-56 a -2	11 a 50	O_3 ,
Mesosfera	-2 a -92	50 a 85	O_2^+ , NO^+
Termosfera	-92 a 1200	85 a 500	O_2^+ , O^+ , NO^+

Troposfera – na ausência de poluição sua composição é bastante homogênea. A temperatura decresce com a altitude e o gradiente médio da temperatura é de $6,5^\circ C/km$. A troposfera recebe a energia térmica da superfície terrestre a qual absorve a radiação solar. O aquecimento do ar pela radiação infravermelha emitida pela superfície causa movimentos verticais intensos (convecção). Esta transporta calor, vapor d'água e outros traços constituintes da superfície para níveis mais altos da troposfera. Nestas correntes ascendentes o ar se resfria provocando a condensação do vapor d'água. Assim, o ciclo da água se dá, essencialmente, na troposfera. Como neste processo os gases solúveis e os aerossóis são absorvidos pelas nuvens e pela precipitação (remoção úmida), ele controla as trajetórias de muitos outros constituintes traço.

Estratosfera – caracteriza-se pelo aumento da temperatura com o aumento da altitude. Isto ocorre devido à presença de O_2 e O_3 . O ozônio pode chegar a 10 ppm em volume na região mediana da estratosfera e juntamente com o O_2 ele absorve energia sob a forma de radiação ultravioleta e causando um aumento na temperatura.

Mesosfera – nela a temperatura cai à medida que cresce a altitude, devido a diminuição dos níveis das espécies que absorvem a radiação, principalmente o ozônio. É a região que atinge menor temperatura.

Termosfera – as espécies desta região absorvem radiação altamente energéticas de comprimento de onda menor que 200 nm e que elevam a temperatura até $1200^\circ C$.

Devido ao delicado equilíbrio existente na atmosfera, qualquer modificação mais profunda na sua composição provoca efeitos negativos, como chuva ácida, smog, efeito estufa, etc., todos com efeitos danosos para os seres vivos.

LEITURA COMPLEMENTAR

Manahan, S. E.; – “Environmental Chemistry”, Willard Grant Press, Massachusetts, 1972.

Mézáros, E.; – “Atmospheric Chemistry: Fundamental Aspects”, Elsevier Sci. Pbl. Co, New York, 1981.

CHUMBO NO AMBIENTE

O chumbo é encontrado, em condições naturais na terra, ar e água. É um dos elementos conhecidos desde a Antiguidade pois sua baixa temperatura de fusão e a facilidade relativa de encontrar os seus minérios, permitiu o seu uso desde cedo pela humanidade. Seus minérios mais comuns são: galena (PbS), cerusita (PbCO₃) e anglesita (PbSO₄).

Cerca de um terço do chumbo produzido é consumido na manufatura de acumuladores. A segunda grande aplicação deste metal é como aditivo anti-detonante em combustíveis. Este também é utilizado na fabricação de pigmentos para tintas, esmaltes e cerâmicas, em cabos aéreos, ligas para solda elétrica, etc. O arseniato de chumbo, por ser muito tóxico, foi utilizado como inseticida.

Devido à grande quantidade de chumbo utilizada pela indústria, verificou-se um grande aumento deste metal no ambiente. Assim, medidas efetuadas em geleiras na Groelândia, revelaram que até 1750 existiam 20 ug de Pb/tonelada de gelo. A partir de 1860 a concentração aumentou para 50 ug/ton, em 1940 passou para 80 ug/ton, em 1950 atingiu 120 ug/ton e em 1965 era de 210 ug/ton. Atualmente o chumbo se encontra entre os elementos causadores de poluição e pode ser encontrado nos alimentos, na água, solo e ar.

As principais fontes de poluição com Pb são os produtos manufaturados: pesticidas, incineração de refugos, combustão de carvão e gasolina, a qual utiliza compostos de chumbo (em quantidades que variam de 0,5 a 1,0 g/l) como aditivo anti-detonante. Deste modo, os veículos movidos à gasolina, contendo chumbo tetraetila, são a principal fonte de emissão deste metal para a atmosfera. Os motores de combustão a gasolina eliminam chumbo finamente dividido e resíduos não queimados de chumbo tetraetila. Considerando um consumo de combustível da ordem de 10 Km/l, a emissão de chumbo é da ordem de 0,2 a 0,3 mg/Km, por veículo. Por exemplo, em 1972 os Estados Unidos da América consumiram cerca de 1.000.000 de toneladas de Pb sendo estimada uma emissão de 300.000 toneladas para a atmosfera.

Até 1950 as tintas domésticas possuíam, indiscriminadamente, chumbo e quando as paredes descascavam, disseminavam partículas de material contendo este metal. Um fragmento do tamanho de uma unha pode conter 50 a 100 mg de Pb. Isto foi uma grande causa de intoxicação, principalmente em crianças, devido a ingestão de tintas. Atualmente, o dióxido de titânio tem substituído os compostos de chumbo como pigmentos em tintas o que tem contribuído para a diminuição das emissões deste metal.

A utilização de utensílios domésticos contendo chumbo é remota e persiste até nossos dias. No tempo dos Romanos e na Idade Média, o chumbo era utilizado para adoçar o vinho, na canalização de água e em utensílios domésticos. Muitos autores afirmam que uma das causas do declínio do império Romano foi a utilização intensiva do Pb. Uma das bases desta afirmação foram os altos níveis de chumbo encontrados nos esqueletos dos nobres Romanos. Atualmente o uso de utensílios de estanho impuro podem provocar o desprendimento de traços de Pb. Também a produção ilegal de bebidas, onde se utilizam radiadores de automóveis como condensadores, resultam em produtos contaminados.

Em relação à saúde humana, o chumbo pode ser absorvido pelo trato alimentar, respiratório e pela pele. O chumbo tetraetila (ou tetrametila) é altamente volátil podendo ser absorvido pelos pulmões e pela pele. Também, o chumbo emitido

pelos veículos para a atmosfera é absorvido através dos pulmões. Um indivíduo ingere, em média, 300 ug de Pb por dia, variando estes valores com o tipo de alimentação ingerida. Desta quantidade, 5 a 10% são absorvidos pelo organismo. A depender do nível de absorção este pode ficar depositado nos ossos ou provocar intoxicações nos rins, sistema nervoso central (cérebro) e sangue. Uma quantidade ingesta de Pb segura corresponde a que mantenha uma concentração no sangue abaixo de 0,8 ug/mL. Como o chumbo era relacionado com Saturno, pelos alquimistas, a intoxicação com este metal ficou conhecida como "Saturnismo".

O chumbo também inibe a fixação do ferro nos eritrócitos e reduz assim a capacidade de oxigênio pelos glóbulos vermelhos, o que leva à anemia. Esta pode ser detectada pelo aparecimento de um depósito acinzentado nas gengivas.

As intoxicações por chumbo são combatidas com a ajuda de agentes quelantes, como o EDTA, que se ligam ao chumbo solúvel removendo-o dos tecidos moles e impedindo que este se deposite na superfície dos glóbulos vermelhos.

Na era nuclear o chumbo ganhou importância, porque devido às suas propriedades físicas, como alta resistência à corrosão, pequena dureza e alta densidade este passou a ser utilizado como blindagem contra as radiações.

LEITURA COMPLEMENTAR:

Hall, K. S.; *Environ, Sci. Technol.*, (1972) 6, 31.

POLUIÇÃO AMBIENTAL PELO FUMO (TABACO)

O hábito de fumar remonta à Antiguidade e sabe-se que os fumantes sempre estiveram conscientes dos danos causados a saúde, quando inalavam a fumaça dos cigarros, cachimbos ou charutos.

Nos últimos anos, todavia, foi sendo constatado que, além do prejuízo causado a si mesmo, o fumante não só incomoda os que convivem ao seu redor, principalmente em ambientes confinados, como também provoca danos relativamente severos a estas pessoas.

Quando alguém fuma, ele inala e expira a fumaça, ao mesmo tempo em que, nos intervalos entre as inalações, o cigarro continua a ser queimado e estas duas operações poluem fortemente o ambiente devido à alta concentração de produtos tóxicos lançados ao ar. Estes produtos estão sob a forma de gases ou de material particulado e bastam poucos cigarros para poluir o ambiente, vez que o volume de ar é normalmente pequeno em locais fechados.

Sob a forma de gases, o cigarro lança para o ambiente dentre outros, o monóxido de carbono, etino, isopreno, óxidos do nitrogênio, ácido nítrico, ácido nitroso, amônia, nicotina, piridina, 3-etinil-piridina, miosmina, dióxido de enxofre, benzo(a)pireno, alcatrão, fuligem, etc.

O material particulado, contém entre outros compostos, o solanesol, benzo(a)pireno, álcool trisesquiterpenoide, nicotina, miosmina, colesterol, campesterol, stigmaterol, nicotireno, ânions (cloretos, nitritos, nitratos, sulfatos) e cátions (potássio, cálcio, titânio, bário, vanádio, ferro, zinco, cobre, cobalto, etc.

Como o cigarro possui um certo teor de umidade, o calor e o vapor d'água produzidos provocam uma verdadeira destilação das substâncias contidas no fumo, calculando-se que mais de 1.000 produtos sejam lançados no ambiente.

A poluição ambiental causada pelo fumo é proporcional ao número de cigarros consumidos e os não fumantes são também afetados, estando relacionados, dentre outros, os seguintes efeitos nocivos sobre a saúde:

a) as crianças que são filhas de fumantes estão sujeitas a bronquites, pneumonia, doenças respiratórias e infecções, tosse crônica e secreção, e infecções crônicas do ouvido médio com maior frequência do que os filhos dos não fumantes;

b) aumento do risco de ter câncer do pulmão; o cônjuge fumante tem cerca de 3 vezes mais probabilidade de contrai-lo do que o não fumante;

c) presença de nicotina na urina do não-fumante.

d) irritação dos olhos e das narinas, dor de cabeça, falta de ar e até mesmo angina, no caso dos cardíacos;

e) aceleração dos batimentos cardíacos em fetos, cujas mães sejam fumantes ou permaneçam em ambientes poluídos pelo fumo. Se a mãe é fumante e consome muito cigarros, há um aumento na possibilidade de um parto prematuro e o peso dos seus filhos, ao nascerem, é via de regra, menor do que os das não-fumantes.

Um dado preocupante é o de que a fumaça expelida pelo cigarro que se queima, entre as inalações do fumante, contém substâncias irritantes, cancerígenas ou venenosas, em concentrações até 70 vezes maior do que na fumaça inalada pelo fumante. Conseqüentemente, o fumo é tão perigoso para o fumante, como para quem está ao seu lado.

Há uma relação direta entre a quantidade de cigarros fumados e a probabilidade de ocorrer câncer dos pulmões (devido principalmente ao benzo(a)pireno). Um consumo médio de até 40 cigarros por dia dá ao fumante uma probabilidade 18 vezes maior do que o não-fumante, enquanto que o uso de mais de 40 cigarros, em média, eleva este valor para 60 vezes.

O monóxido de carbono (que existe também na atmosfera gerado por outras fontes) diminui a capacidade de transporte do oxigênio pelo sangue, calculando-se esta redução de 10 a 20%. Cerca de 2,5% da hemoglobina de não-fumantes está combinada com CO, formando a carboxihemoglobina. Também a fumaça do cigarro contém traços de níquel, que pode se combinar com o CO, formando o tetracarbonil níquel que é uma substância fortemente cancerígena, mesmo em pequenas quantidades.

A afinidade da hemoglobina pelo CO é cerca de 210 vezes maior do que para o oxigênio. Logo, quando em presença destes dois gases haverá, prioritariamente, a formação de carboxihemoglobina. Verificou-se que 60 ppm de CO no ar corresponde a 10% de carboxihemoglobina no sangue, 130 ppm a 20%, 200 ppm corresponde a 30%, etc., havendo também uma correspondência no aumento da gravidade dos sintomas, que podem ir de uma leve dor de cabeça até o coma. Esta diminuição na capacidade de oxigenação, causada pelo fumo, torna evidente que um fumante terá menor capacidade atlética do que um não-fumante.

A concentração de CO nas cidades com tráfego intenso, atinge freqüentemente 50 ppm, podendo chegar a 140 ppm durante engarrafamentos, ao passo que o CO inalado de cigarros corresponde à concentração de 400 ppm na fumaça. Por exemplo, o teor de carboxihemoglobina (COHb) no sangue de não fumantes é cerca de 1,3%, nos fumantes com freqüência de 0,5 a 2 maços por dia este varia de 3,0% a 4,7% e nos que fumam mais de dois maços por dia o teor de COHb no sangue é de 6,2%.

LEITURA COMPLEMENTAR:

Flenberg, G. "Introdução aos Problemas de Poluição Ambiental" EDUSP, São Paulo (1980).

Eatough, D. J.; Benner, C. L.; Bayona, J. M.; Richards, G.; Lamb, J. D.; Lee, M. L.; Lewis, E. A.; Hansen, L. D.; *Environ. Sci. Technol.* (1989) **23**, 679.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, em todo o mundo a palavra QUÍMICA tem sido utilizada como sinônimo de PERIGOSO, RUIM, NOCIVO, etc, levando a sociedade a relacionar a QUÍMICA com a devastação do ambiente. Entretanto, a ênfase nos aspectos culturais e sociais da QUÍMICA poderá ajudar a reverter esta tendência. ESTE É O DESAFIO DA COMUNIDADE DE QUÍMICA.

AGRADECIMENTOS

A André Gomes Alay Esteves pela ajuda na preparação dos textos e ao CNPq.