

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

José Félix Manfredi

RESUMO

Ao longo dos últimos duzentos anos o Homem empreendeu um processo de alteração da face do planeta sem paralelo na História. Rios foram represados, pântanos drenados, cidades inteiras erguidas e vias de comunicação traçadas através de florestas, desertos e montanhas. A industrialização, a necessidade de transporte de pessoas e mercadorias e a incorporação de um novo ritmo de vida, faminto de energia, aceleraram a depleção de reservas, o esgotamento de recursos naturais e a poluição do planeta. Até então, apenas a Natureza houvera sido capaz de alterar as características da biosfera e as condições de equilíbrio do ecossistema. As alterações causadas pela ação humana apenas agora começam a ser equacionadas, seus efeitos avaliados e providências encaminhadas no sentido de restaurar as condições mais favoráveis do equilíbrio ecológico. Neste artigo são abordados aspectos pertinentes à interferência da atividade humana sobre a atmosfera da Terra.

Palavras-chave: Ecologia, poluição, atmosfera, ambiente, equilíbrio.

ABSTRACT

During the last two centuries Man has developed intense changes on the Earth's surface without parallel in history. Dams were built, swamps were drained, entire towns were erected and roads were opened across forests, deserts and mountains. Industrialization, necessity of transportation for people and goods and development of a new, energy-demanding life style, accelerated the depletion of our reserves, the exhaustion of natural resources and the planet pollution. Till then, only Nature was capable of changing the characteristics of the biosphere and the balance conditions of the ecosystem. Changes produced by men are now being solved, its effects are being evaluated and measures are being adopted in order to restore more favorable conditions for the ecological balance. In this article we will discuss the aspects related to the intervention of the human activity on the Earth atmosphere.

Key-words: Ecology, pollution, atmosphere, environment, balance.

POLUIÇÃO

A poluição do ar é a condição em que a concentração de uma espécie na atmosfera causa um efeito nocivo. Pode causar irritação nos olhos e mucosas, dificultar a respiração, diminuir a visibilidade e prejudicar o aspecto e a segurança de estruturas, causando prejuízos de extensão variada ao homem, animais e vegetais. Deve ser feita distinção entre fontes poluidoras *naturais* (erupções vulcânicas, decomposição de materiais, ação animal, tempestades e outras manifestações) e *antropogênicas* (provocadas por ação humana).

José Félix Manfredi é Professor de Química do Curso de Graduação em Ciências Biológicas e Coordenador do Curso de Pós Graduação em Biotecnologia das Faculdades Padre Anchieta.

A atmosfera sempre serviu de depósito de material descartado, recebendo gases de fogueiras e fermentadores, dispersando e sedimentando material particulado, digerindo substâncias pela ação solar e devolvendo ao solo o produto de seu trabalho, através das chuvas. Um incremento local na concentração de qualquer dessas espécies causa um desequilíbrio natural, que afeta em cadeia os diversos elementos do meio e os mecanismos de resposta desenvolvidos por eles ao longo de eras de equilíbrio interativo. As atividades humanas interferem nessa ação ao acrescentarem ao ambiente milhões de indivíduos concentrados numa área muito pequena, consumindo recursos exógenos e descartando, de forma maciça, resíduos que não encontram na Natureza meios de destruição ou transformação na mesma velocidade em que são gerados.

A poluição do ar se constitui de um tripé interativo: *fonte* geradora de resíduos, meio *dispersor* aéreo e elementos *receptores*. A fonte pode ser *contínua*, como a chaminé de uma termelétrica, ou *intermitente*, como uma queimada agrícola. A dispersão é afetada pelas condições atmosféricas, sujeita a zonas de alta ou baixa pressão, inversões térmicas, correntes de convecção e regime de ventos. Quanto aos receptores, concentração, natureza e tempo de exposição aos poluentes determinam a extensão dos efeitos. Um organismo vivo processa e elimina algumas substâncias estranhas, enquanto outras permanecem e apresentam efeito cumulativo.

FONTES

As fontes podem ser *puntuais*, como uma coqueria siderúrgica, ou *dispersas*, como os milhões de escapamentos de veículos de uma megalópole, embora nem sempre a fonte pode ser associada a um ponto específico de emissão, como os citados. Um depósito de lixo a céu aberto constitui uma área extensa de emissão, assim como um amplo edifício pode emitir fumaça de cigarro por suas janelas, ou uma estrada não pavimentada, levantando partículas de poeira ao longo de quilômetros, são classificados como fontes de emissões *fugitivas*. Uma vez lançado na atmosfera, o poluente original pode transformar-se, como os gases sulfurados, que caem sobre nós como chuva ácida, ou seja, solução aquosa de ácidos, como o sulfúrico.

DISPERSÃO

Os ventos são o principal meio de dispersão dos poluentes na atmosfera. A partir da rosa dos ventos local, é possível avaliar direção e destino dos poluentes gerados numa zona de alta taxa de emissões, bem como os períodos de baixa

dispersibilidade, devidos à estabilidade atmosférica, que pode ser medida a partir da taxa de variação térmica com a altitude. A topografia regional e a existência de obstáculos ao vento, como montanhas, adensamentos de edifícios altos ou grandes árvores, determinam os caminhos preferenciais dos ventos. A localização das fontes junto ao mar ou grandes massas de água, ou nas proximidades de escarpas, ou nas imediações de grandes áreas construídas (concreto e asfalto) define os gradientes térmicos dos períodos dia/noite e os fluxos verticais das massas de ar. O balanço da radiação solar tem influência direta sobre esse fator. A temperatura do ar diminui com a altitude, em taxas que variam com a latitude, estação do ano, regime de ventos e relevo e, quanto mais acentuada essa variação, maior a dispersibilidade dos poluentes. Nos casos em que não há variação de temperatura com a altitude, ou quando ocorre *inversão térmica*, com camadas de ar quente sobrepostas a bolsões de ar frio, a dispersão é prejudicada, com acúmulo de poluentes junto às fontes. As inversões formam bolsões de 300 a 2000 metros de altitude e são comuns em regiões subtropicais, como São Paulo ou Los Angeles, tendo sua origem ligada à irradiação do calor do solo ao final dos períodos de insolação, causando rápido resfriamento da camada de ar mais baixa.

O acompanhamento de focos de poluição é feito com base na distribuição (gaussiana) de concentração, determinada pela difusão das espécies no ar, tanto vertical como horizontalmente. Considerando o tamanho das partículas, as maiores sedimentam nas vizinhanças da fonte, enquanto as menores e os gases espalham-se por área maior, sendo removidos pelas chuvas ou por mecanismos de *absorção/adsorção* no solo. Por ocasião das chuvas, as partículas menores, ainda suspensas, tornam-se núcleos de formação de gotas (condensação) ou são arrastadas por gotas já formadas.

RECEPTORES

São os homens, animais, vegetais, materiais, o solo, os corpos líquidos superficiais e a própria atmosfera. O modo como o homem sente a poluição atmosférica varia muito de um indivíduo para outro, em função da saúde, idade e susceptibilidade individual. No caso de animais e vegetais, depende da espécie e das condições individuais, e a tolerância aos poluentes é função direta da concentração e do tempo de exposição.

ATENÇÃO PÚBLICA E GERENCIAMENTO

As principais reclamações da maioria das pessoas quanto à poluição do ar são referentes a aspectos visíveis, como fumaça e precipitação de fuligem, ou sensí-

veis, como irritação nos olhos ou garganta, odores e agravamento de sintomas respiratórios pré-existentes. Tais fenômenos são mais perceptíveis nas grandes cidades, nas localidades que congregam grande atividade industrial, e nas áreas urbanas contíguas a zonas agrícolas que promovem queimadas sazonais, concentrando-se nas épocas do ano em que ocorrem inversões térmicas, pouco vento e preparo da terra para plantio ou colheita (caso específico da cana). Em tais condições, a concentração de poluentes pode atingir níveis críticos. Casos extremos ocorreram em Londres, em 1952, em Nova Iorque, em 1953, e continuam a ocorrer em Los Angeles, São Paulo, Cubatão, além de outros lugares menos divulgados. O controle de emissões industriais e veiculares é o primeiro passo em qualquer tentativa de controle de qualidade do ar. Um programa de gerenciamento deve determinar os efeitos dos poluentes sobre os receptores, sua concentração e a duração das ondas de ocorrência para, em seguida, avaliar, dentre os efeitos identificados, quais são os mais nocivos, que receberão tratamento prioritário, possibilitando o estabelecimento de metas a serem atingidas, de acordo com padrões reconhecidos e aceitos e permitindo a implantação de um plano de ação, que se inicia, invariavelmente, pelo implemento dos meios de *monitoramento*. São estabelecidas metas de redução para cada área considerada, pelo levantamento e identificação das fontes, e propostos padrões aceitáveis de emissão para cada uma, a serem atingidos num prazo determinado. Metas cada vez mais estreitas são estabelecidas para prazos crescentes, sob monitoramento.

PRESERVAÇÃO

O desenvolvimento de uma comunidade implica na adoção de meios de produção modernos, transporte rápido e eficiente e comodidades urbanas e domésticas, atividades que consomem energia e utilizam insumos potencialmente poluidores, o que exige soluções de equilíbrio entre os aspectos econômico, social e ambiental, preservando a harmonia progresso/conservação. A manutenção da qualidade do ar está ligada a três fatores: padrão de desempenho das novas fontes, inclusão de critérios conservacionistas na ocupação dos espaços, e precauções contra a degradação das condições pré-existentes.

As novas fontes devem incorporar tecnologias limpas de produção e controle de emissões, compatíveis com padrões atualizados, objetivando manter as condições do ar próximas das ideais, e não apenas abaixo do limite máximo permitido pela legislação, e os mesmos critérios são empregados na reciclagem e recondicionamento de fontes já instaladas. O rigor conservacionista deve ser usado como fator limitante na ocupação de áreas novas e na restauração da qualidade de vida em áreas antigas. A seleção e a distribuição das fontes permitem melhor dispersão dos poluentes que sua concentração numa área restrita, enquanto áreas residenciais ou de preservação não devem avizinhar-se de centros geradores de

tráfego ou corredores de alta densidade. Nas áreas em que esse problema já existe, restrições à circulação e ao estacionamento de veículos particulares são paliativos úteis. A preocupação com a preservação futura inclui cuidados especiais com áreas particularmente atraentes, do ponto de vista estético ou comercial, com estabelecimento de padrões rígidos, que devem ser usados como inibidores da especulação e disciplinadores do uso. Tais áreas devem ser incluídas num plano de zoneamento, que a elas reserve os padrões mais limitantes, com concentrações máximas permitidas próximas das idealizadas.

OS POLUENTES DO AR

O primeiro grupo de poluentes é o dos *regulamentados* (óxidos de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, particulados, oxidantes fotoquímicos), englobando aqueles que podem causar dano à saúde pública e são provenientes de diversas fontes. As normas e os padrões de qualidade do ar foram instituídos para controlá-los, enquanto as fontes existentes são monitoradas com o propósito de mantê-los dentro dos limites legais. O segundo grupo, o dos *perigosos* (mercúrio, amianto, cloreto de vinila, berílio), é onde ficam os poluentes capazes de aumentar a taxa de mortalidade ou a incidência de doenças graves. Não são seguidos dados epidemiológicos ou toxicológicos para sua limitação regulamentar, mas são estabelecidos limites baixos, de forma a oferecer ampla margem de segurança. No terceiro grupo, o dos poluentes *designados* (compostos sulfurados de fábricas de celulose, fluoretos e fosfatos de fábricas de alumínio, ácido sulfúrico de fábricas de ácidos), são classificados os que não são cobertos pela legislação genérica, nem considerados perigosos, mas apenas escolhidos para controle de tipos determinados de fontes. Além dos citados, muitos outros poluentes são encontrados na atmosfera, como os pesticidas e os solventes de tintas, lançados propositalmente, e outros provenientes de vazamentos não desejados, como gás cloro numa fábrica de soda cáustica, ou amônia num frigorífico.

PARTICULADOS

São sólidos ou líquidos constituídos de moléculas ou íons isolados (0,002 mm), agregados moleculares ou iônicos, ou partículas visíveis a olho nu (500 mm), como grãos de areia. A queima de carvão produz particulados de 1 a 200 mm, enquanto um forno siderúrgico gera partículas de 0,001 a 100 mm (CADLE, 1965). A superfície marinha lança cristais de sal, a partir da água borrifada e rapidamente evaporada, de 0,03 a 0,5 mm, enquanto o pólen das flores fica entre 10 e 100 mm. Quando lançadas na atmosfera, as partículas sofrem dispersão pelo seu padrão de tamanho. O tempo médio de permanência em suspensão, para partículas menores que

1 mm, é de 100 a 1000 horas, enquanto partículas entre 1 e 10 mm ficam suspensas de 10 a 100 horas (ESMEN & CORN, 1971), e as maiores que 40 mm são forçadas pela gravidade a uma sedimentação acelerada. Partículas são removidas da atmosfera por *sedimentação*, por *captura* por uma gota de chuva passante, por *nucleamento* de uma gota de chuva, por impacto contra uma superfície, seguido de *adsorção*, ou por uma combinação dos modos citados.

Os principais particulados antropogênicos são fuligem de chaminés industriais ou residenciais e queimadas agrícolas, e poeira de asfalto e borracha, produzida pelo atrito dos pneus. Os meios naturais de maior contribuição à concentração de particulados na atmosfera são os vulcões, ventos em áreas não recobertas por vegetação, ventos sobre superfícies líquidas, *geisers* e evaporação a partir de vegetais. Embora as partículas com mais de 5 mm constituam a maior parte da massa em suspensão, as menores que 3 mm são as mais perigosas para a saúde. Quando inaladas, as partículas grandes ficam retidas na cavidade nasal, enquanto as pequenas penetram até os brônquios e alvéolos pulmonares, superfícies desprotegidas e sensíveis. A queda nos níveis de insolação e diminuição de visibilidade são conseqüências diretas do excesso de partículas no ar.

ENXOFRE

O dióxido e o trióxido de enxofre, seus ácidos correspondentes (sulfuroso e sulfúrico) e seus sais (sulfitos e sulfatos) são provenientes majoritariamente de combustíveis fósseis. Os sulfurados chegam a 20% do material particulado em atmosferas urbanas, interferem na visibilidade, provocam irritação respiratória e precipitam-se como chuva ácida.

MONÓXIDO DE CARBONO

O motor térmico é o grande gerador de monóxido de carbono, ao queimar combustível fóssil em quantidade nem sempre suficiente de oxigênio. A produção de CO no motor de um automóvel aumenta em regimes de baixa rotação (marcha lenta), tornando críticos os engarrafamentos em áreas já poluídas, como os túneis urbanos. O CO pode migrar para a alta atmosfera, ou ser incorporado ao solo e metabolizado por microrganismos e plantas, ou absorvido pelos oceanos ou, ainda, adsorvido sobre superfícies diversas. A concentração natural de CO na atmosfera situa-se entre 0,01 e 0,2 mg/m³, enquanto nos centros congestionados das grandes cidades já foram registrados 47 mg/m³ (JUNGE, 1963). Picos de concentração são observados nos horários de maior movimento, pela manhã e à tarde, sendo o da manhã mais intenso, quando o solo ainda está frio e não há correntes de ar ascendentes agindo na dissipação. O CO é absorvido pelos pulmões e incorporado

à hemoglobina, concorrendo em vantagem cinética com o oxigênio e diminuindo o transporte deste pelo sangue, o que resulta no comprometimento da oxigenação celular. Os efeitos do CO sobre a saúde são particularmente sentidos pelos fumantes (ativos e passivos), para quem a fumaça de cigarro é a maior fonte de exposição. Não são registrados efeitos do CO sobre materiais, nem efeitos crônicos facilmente diagnosticáveis sobre humanos, animais ou vegetais, embora os efeitos agudos possam ser persistentes (HUSAR & WHITE, 1976).

ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) são produzidos tanto pela queima de carvão e derivados de petróleo em alta temperatura, como pela decomposição de fertilizantes. O NO₂ é o único poluente gasoso majoritário visível (gás castanho-avermelhado) e é o responsável pela cor característica das nuvens de poluição urbana. Os óxidos de nitrogênio ocorrem na Natureza como parte do ciclo de crescimento orgânico, estimando-se em 500 milhões de toneladas a produção anual, uma ordem de grandeza acima do total anual gerado por ação humana (EPA, 1974). Aviões supersônicos, voando na estratosfera, produzem NO, que reage com ozônio, liberando gases inertes (N₂ e O₂) e contribuindo para a depleção da camada protetora contra radiação ultravioleta. A remoção dos óxidos de nitrogênio da atmosfera se dá pela sua transformação em ácido nítrico e precipitação como nitrato, com tempo de residência de alguns dias.

HIDROCARBONETOS

O controle de emissões de hidrocarbonetos para a atmosfera objetiva reduzir a concentração de oxidantes fotoquímicos. São monitorados compostos aromáticos e alcenos, principalmente. Embora o metano não participe do processo de formação de oxidantes, ele existe na atmosfera em concentração apreciável, proveniente de dutos de transporte de gás natural, ação digestiva de cupins e de ruminantes, e como resultado da decomposição natural de celulose. A evaporação de combustível automotivo e de solventes de uso industrial e doméstico, e a má combustão em motores, são fontes apreciáveis de poluição.

OXIDANTES FOTOQUÍMICOS

São espécies formadas na atmosfera por reações seqüenciais estimuladas pela luz do sol, sendo as mais comuns o ozônio e o dióxido de nitrogênio. O ozônio é formado na atmosfera por ação da luz ultravioleta sobre o oxigênio, e pela ação de

descargas eletromagnéticas, em baixas altitudes. Embora o ozônio seja benéfico, quando disperso na alta atmosfera, ele é nocivo na biosfera, onde é gerado a partir de NO_x e hidrocarbonetos, por reações fotoquímicas, com concentração usual na superfície do planeta de 0,01 a 0,07 ppm, enquanto áreas urbanas altamente poluídas atingem 0,5 ppm. Nuvens de ozônio podem migrar até 80 km do núcleo urbano gerador, contaminando áreas rurais distantes (WHITE, 1977). Os oxidantes têm efeito nocivo sobre os vegetais e materiais, prejudicando as culturas de folhas, como fumo e hortaliças, e afetam o bem estar humano. Quanto aos materiais, a borracha é particularmente vulnerável, passando a apresentar trincas superficiais que comprometem sua integridade e funcionalidade. A partir de 0,1 ppm a principal manifestação sobre o organismo humano é o ardor nos olhos.

POLIALOGENADOS (CFC)

Os derivados de carbono polialogenados (SOLOMONS, 1996) são amplamente empregados em sistemas de refrigeração por compressão, como propelentes em frascos de aerossol e como gases de expansão na fabricação de espumas de poliuretano e isopor. São quimicamente inertes e passam para a atmosfera por liberação proposital (moldes de espuma e latas de aerossol) ou acidental (serpentinhas de refrigeração). Foram registradas reações na estratosfera (MOLINA & ROWLAND, 1974) causadas por radiação ultravioleta, com liberação de átomos de cloro iniciadores de reações em cadeia de consumo de ozônio e liberação de oxigênio. Essas reações não acontecem nos níveis mais baixos da atmosfera, pela ausência dos raios iniciadores, absorvidos pelo ozônio estratosférico. Um efeito secundário dos CFC é uma pequena contribuição para o efeito estufa, devido à sua absorção de luz na região do infravermelho. Os CFC têm distribuição vertical lenta e atingem a estratosfera, com longo tempo de residência, o que lhes confere ação residual duradoura, mesmo depois de cessadas as emissões. A redução da concentração de ozônio entre 10 e 40 km de altitude começou a ser detectada na década de 1970, e o buraco da camada sobre o Pólo Sul atingiu 7 milhões de km^2 nos anos oitenta.

AMIANTO

A mineração, industrialização e sujeição ao atrito são os principais modos de introdução de amianto na atmosfera, na forma de particulado fibroso. O amianto causa, como doença ocupacional, silicose (pulmões) e câncer (estômago e pulmões). A ocorrência desses males em indivíduos que não trabalham com amianto trouxe a preocupação com o contato eventual com produtos derivados, como revestimentos térmicos. Tem efeito cumulativo, de forma que uma longa exposição a

baixas concentrações tem o mesmo efeito que uma exposição rápida a alta concentração.

MERCÚRIO E CHUMBO

O mercúrio é lançado na atmosfera a partir de duas fontes principais: fábricas de cloro e soda cáustica, e mineração de ouro. O mercúrio é um líquido, nas condições ambientes, existindo em equilíbrio com seu vapor, e os gases das instalações que o utilizam devem ser tratados para evitar sua expulsão para a atmosfera. O emprego de fungicidas à base de mercúrio, em tintas e preservação de sementes e tecidos, é limitado aos casos imprescindíveis. O mercúrio tem efeito cumulativo no organismo animal, com baixíssima velocidade de eliminação, e provoca alterações funcionais no sistema nervoso. Alguns microrganismos eliminam o mercúrio depositado junto ao lodo sedimentar incorporando-o a moléculas gasosas, como o metilmercúrio, que escapam para a atmosfera e são mais nocivas que o metal puro.

Parte significativa da presença de chumbo na atmosfera provinha do uso de *chumbo tetraetila* na gasolina, aditivo empregado como antidetonante e hoje proibido na maioria dos países. A combustão de carvão e as fundições de chumbo são fontes secundárias. A concentração de chumbo na atmosfera urbana chegou à faixa de 0,02 a 19 mg/m³ na década de 1960 (McMULLEN, 1970), quando o chumbo tetraetila tinha emprego difundido no mundo todo, guardando estreita relação com a densidade de tráfego. O chumbo particulado é removido da atmosfera principalmente por sedimentação, com metade dele depositando-se a até 100 m da fonte, enquanto o restante é removido pelas gotas de chuva. O chumbo é um contaminante dos alimentos, por precipitação sobre o solo e plantações, acumulando-se no sangue e articulações dos animais que o ingerem, não havendo registro de ação cumulativa onde a concentração atmosférica é baixa.

POLICÍCLICOS

Os compostos policíclicos (McMURRY, 1997) formam particulados suspensos na atmosfera, a partir da combustão incompleta de hidrocarbonetos e, principalmente, carvão. Muitos deles têm ação carcinogênica e respondem pelo segundo lugar (logo depois do cigarro) como causadores de câncer pulmonar (AMABIS & MARTHO, 1997). A substituição do carvão no aquecimento doméstico e a introdução de catalisadores nos escapamentos dos veículos reduziram sua concentração urbana à metade, comparativamente aos valores observados em 1960. A manifestação mais evidente da combustão ineficiente é a fumaça, combatida com rigor nos países civilizados.

FLUORETOS

Os vulcões são a principal fonte natural, enquanto a mineração de fosfatos (fertilizantes), a metalurgia do alumínio (fundente), fluxos para solda, produção de tijolos, telhas, cerâmicos e cimento por calcinação de argila respondem pela contribuição antropogênica. A vegetação adsorve os fluoretos do ar, repassando-os ao homem e animais. Embora altas doses de fluoreto na forragem possam causar coxeadura nos animais, o consumo de carne e leite não acarreta problemas ao homem, pois a quantidade assimilada deste modo é muito menor que a ingerida na água potável, em que a adição de flúor demonstra resultados benéficos, com redução de até 50% na incidência de cárie dentária infantil e perda de dentes na população jovem (UCKO, 1992).

DIÓXIDO DE CARBONO

O CO₂ é nocivo ao homem e animais apenas quando acumulado em ambiente fechado. As principais fontes do CO₂ atmosférico são a decomposição de rochas carbonáceas para produção de cimento, a respiração animal, a respiração vegetal noturna, a combustão de matéria orgânica e a transformação fotoquímica do metano produzido na superfície. O CO₂ é removido do ar pela respiração diurna dos vegetais (fotossíntese), por adsorção pelo solo e por absorção pela água, tanto de chuva como superficial, gerando ácido carbônico em solução, bicarbonatos e carbonatos, solúveis ou precipitados. A concentração de CO₂ no ar aumentou a partir do consumo sistemático de combustíveis fósseis, passando de 290 ppm (1900) para 330 ppm (1950) (CALLENDAR, 1958) e ultrapassando 400 ppm, em algumas áreas centrais, nos anos noventa. O efeito perverso da poluição por CO₂ reside na sua transparência à luz visível, deixando entrar os raios solares, e opacidade aos raios infravermelhos (calor), provocando o (des)conhecido efeito estufa, que tende, segundo uma corrente de interpretação, a elevar gradualmente a temperatura do planeta, com conseqüências que variam do maior rendimento agrícola, pela fotossíntese favorecida, ao alagamento das cidades costeiras do planeta, principalmente pela dilatação térmica dos oceanos, mas, também, pelo derretimento de geleiras polares. Não existe, até o momento, modelo confiável de interpretação do fenômeno como um todo, e o assunto tem-se prestado a todo tipo de especulação mal fundamentada.

ODORES

Um componente odorífero da atmosfera passa a ser assim considerado a partir de seu *limiar de percepção* (concentração a partir da qual todos os membros de um

grupo de pessoas notam, pelo cheiro, a presença do componente), que varia de um composto para outro. Como exemplos, a trimetilamina começa a ser detectada a partir de 0,00021 ppm, e o cloreto de metileno a partir de 214 ppm (LEONARDOS, 1969). A percepção humana à presença de um agente odorífero é aproximadamente proporcional ao logaritmo da concentração do mesmo, o que significa que a intensidade do cheiro não é uma boa referência quantitativa da presença do agente. Uma fonte inquestionável de odor é a indústria de celulose de tecnologia tradicional, devido à emissão de mercaptanas. Nas áreas urbanas, as principais fontes são os motores desregulados, expelindo fumaça e óxidos de enxofre (motores diesel) ou aldeídos (motores a álcool). Em ambientes fechados, o tabagismo, aliado à falta de educação de alguns fumantes, responde pela maior taxa de poluição do ar, com efeitos residuais igualmente nocivos aos não viciados.

A QUÍMICA DO AR E O FUTURO

Nem todos os poluentes permanecem na atmosfera na forma como a ela chegaram. Como exemplo, os óxidos de enxofre passam a sulfatos, NO se transforma em NO₂, por ação da luz solar em presença de matéria orgânica catalítica, NO₂ volta a NO, produzindo ozônio, em reação com o oxigênio. Nesta última reação, produz-se oxigênio atômico, como intermediário, que reage com moléculas orgânicas e gera radicais livres (ALLINGER, 1997), que atacam o NO e formam NO₂. Como o pico de emissões pelos automóveis acontece pela manhã e final da tarde, e o máximo de intensidade solar se dá no meio do dia, o pico de concentração de oxidantes na atmosfera urbana ocorre no meio do dia. O fenômeno não se repete à tarde, por falta da luz solar ativadora do processo. A formação de ozônio cessa com o anoitecer, mas continua a liberação de óxidos de nitrogênio pelos veículos, provocando o consumo do ozônio formado durante o dia na atmosfera das cidades. O ozônio estratosférico não recebe NO, permanecendo na mesma concentração do final do dia. Providências internacionais no sentido de restringir a fabricação, a comercialização e o uso dos CFC, até sua completa proibição, em 2007, começam a mostrar resultado, e a expectativa é que o buraco da camada de ozônio comece a diminuir progressivamente, constituindo-se num exemplo espetacular de sucesso das campanhas preservacionistas bem conduzidas e amparadas por ações públicas responsáveis.

A atmosfera, como se pode perceber, apresenta um ciclo dinâmico de renovação, amparada em perenes quantidades de energia solar. Os poluentes lançados pelo homem têm tempos de residência e efeitos variados, mas encontram **sempre** um destino dentro do equilíbrio natural. As perturbações ambientais são reversíveis, condição postulada e comprovada pela Química, e sua extensão e duração dependem fundamentalmente do grau de envolvimento e conscientização técnica e cívica das populações, de sua pressão sobre os agentes políticos e econômicos e, portanto, de sua vontade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLINGER, N.L. et alii. (1997) *Química Orgânica*. Rio de Janeiro: LTC. 246-247.
- AMABIS, J.M. & MARTHO, G.R. (1997) *Fundamentos da Biologia Moderna*. São Paulo: Moderna. 588.
- CADLE, R.D. (1965) *Particle Size, Theory and Industrial Applications*. New York: Reinhold. 234.
- CALLENDAR, G.S. (1958) *Tellus* 10, 243.
- EPA-450/2-74-012 (1974) *1972 National Emissions Report*. EPA. 1.
- ESMEN, N.A. & CORN, M. (1971) *Atmos. Environ.* 5, 571.
- HUSAR, R.B. & WHITE, W.H. (1976) *Atmos. Environ.* 10, 199.
- JUNGE, C.E. (1963) *Air Chemistry and Radioactivity*. New York: Academic Press. 154.
- LEONARDOS, G. (1969) *J. Air Pollut. Assoc.* 1991.
- McMULLEN, T.B., et alii. (1970) *J. Air Pollut. Control Assoc.* 20, 369.
- McMURRY, J. (1997) *Química Orgânica*. Rio de Janeiro: LTC. 539.
- MOLINA, M.J. & ROWLAND, F.S. (1974) *Nature* 249, 810.
- SOLOMONS, T.W.G. (1996) *Química Orgânica*. Rio de Janeiro: LTC. 414.
- UCKO, D.A. (1992) *Química para as Ciências da Saúde*. São Paulo: Manole. 468.
- WHITE, W.H., et alii (1977) *International Conference on Photochemical Oxidant Pollution and its Control, Proceedings, EPA-600/3-77-001a, Vol. 1, EPA. 237-247.*