

Química Atmosférica

2025/65

Os poluentes atmosféricos, apesar de estarem presentes no ar, podem ser encontrados sob a forma gasosa, líquida ou sólida, a depender das condições ambientais de pressão e temperatura. Em alguns ^{certos} casos, sob a forma de vapor. Portanto, os poluentes podem ser encontrados em qualquer estado físico.

Quando o poluente é sólido, há uma preocupação especial em relação aos materiais particulados, os quais possuem granulometrias variadas. Os programas de monitoramento ambiental do Brasil e do mundo costumam investigar os materiais particulados abaixo de 2,5 micrômetros e os abaixo de 10 micrômetros de granulometria. Embora ambos sejam poluentes ambientais, a investigação à parte da fração inferior a 2,5 micrômetros se deve ao fato de seu impacto negativo sobre a saúde humana. Pois, partículas tão pequenas, atingem o homem no âmbito alveolar. No que tange às partículas até 10 micrômetros, há o exemplo das partículas finas do solo do deserto do Saara, que são transportadas até a Espanha, promovendo aquecimento como uma estufa, gerando ondas de calor em território espanhol. Neste caso, o impacto na saúde humana não ocorre pela inalação de material sólido, mas por sua acumulação atmosférica em uma determinada região. Todo material sólido reside um certo período na atmosfera, podendo ser depositado na hidrosfera ou litosfera por via úmida ou seca. As chuvas de verão do sudeste brasileiro protagonizam um exemplo de deposição de poluentes por via úmida, sendo a água da chuva líquida e os poluentes atmosféricos podem ser originalmente de qualquer estado físico da matéria. Esses poluentes podem estar dissolvidos na água da chuva ou podem estar em suspensão. Logo, ~~observa-se~~ observa-se que há

②

uma perturbação no equilíbrio das fases para que a água presente nas nuvens precipite. Entende-se que há uma condição de equilíbrio da água nas nuvens, envolvendo todas as fases físicas. Quando a ^{perturbação} física é intensa, precipita-se sob a forma de chuva ou granizo. Ao precipitar, a chuva ou o granizo carrega consigo os poluentes dissolvidos ou em suspensão. Quanto ao fato dos poluentes estarem dissolvidos ou em suspensão, estes podem se apresentar em qualquer estado físico. E não necessariamente na mesma espécie química de origem. Pois os poluentes são substâncias químicas capazes de interagir com as demais substâncias preexistentes no meio, o que inclui a possibilidade de reações químicas. Assim, acrescenta-se a importância do estudo do equilíbrio químico. Para que uma reação química ocorra, o equilíbrio químico precisa ser perturbado. A condição de equilíbrio ocorre quando a produção de produtos é igual a de reagentes, atuando numa mesma velocidade. Por exemplo, na reação química $A + B \rightleftharpoons C + D$, a velocidade de produção de A+B equivale a de C+D; $V_1 \propto [A][B] = V_2 \propto [C][D]$, onde A é um poluente que interage com uma substância espécie química preexistente qualquer. Considerando que a constante de equilíbrio $K_{eq} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$, pode-se favorecer a manutenção de A

na atmosfera com o acréscimo na concentração de C ou D, ou então com a remoção de B. Por outro lado, o favorecimento do esgotamento de A ocorre com o acréscimo na concentração de B ou a remoção de C ou D.

Um exemplo dessa importância de estudo da condição de equilíbrio químico na atmosfera é a chuva ácida. O gás carbônico (dióxido de carbono) é naturalmente pro-

duzido pela biota humana e não-humana por meio da respiração, que resultam na geração de CO_2 e H_2O .

A Terra por um período teve a condição de equilíbrio químico perturbada após a industrialização (Revolução Industrial), quer regionalmente e segundo as Nações Unidas, quer globalmente.

O acréscimo de CO_2 das atividades produtivas antropogênicas, além de gerar gases de efeito estufa, favoreceu a produção de chuva ácida, onde $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$.

O incremento de CO_2 favorece a acidificação do meio, ~~pois~~ em razão da produção de H^+ a partir do consumo de CO_2 .

Diante disso, verifica-se que a Química Atmosférica considera as transformações físicas e as transformações químicas, ~~no caso das~~ da mobilidade dos poluentes uma vez que o meio é dinâmico e interativo. As espécies As soluções e as misturas podem manter ou mudar de fase. E, as espécies químicas envolvidas podem reagir entre si. Em certos casos, a reação química gera um produto de estado físico distinto dos reagentes.

Convém destacar a relevância da deposição seca. Os poluentes podem ser transportados e precipitados em condições de baixa umidade. Nas savanas africanas, ocorrem as tempestades de areia, com fortes ventos depositando partículas sólidas. Em relação a poluentes atmosféricos no Brasil, o semi-árido e as zonas de crescente desertificação merecem atenção para um tipo de precipitação. Nesses ambientes, a evaporação é ~~favorecida~~ ~~dos mate-~~ ~~rios~~ das substâncias químicas, principalmente da troposfera, é favorecida por um clima mais seco e escassez de chuvas. Há de Ressalta-se que a temperatura influencia na velocidade das reações químicas, pois a constante de velocidade K varia com a temperatura. Ex.: $K = A(T) + \exp(E/RT)$, onde K é a constante de velocidade, E é a energia potencial, R é a constante universal dos gases e T é a temperatura. O fator A , quando independe da temperatura,

④

figura a forma de Arrhenius. Neste exemplo de gases, ilustra-se a dependência da cinética química atmosférica da temperatura. No caso do Brasil, a cinética química, o equilíbrio químico e o equilíbrio de fases são estudos e áreas indissociáveis para a política de monitoramento, controle e mitigação de poluentes atmosféricos. A dinâmica dos ventos e das chuvas variam com espacialmente no Brasil, em razão assim como a temperatura do ar, o que influencia na dispersão horizontal e deposição vertical dos poluentes. A umidade implica ainda na difusão. Naturalmente, a radiação solar sobre o continente e o oceano acarreta na incidência de ventos alísios sobre a zona costeira. Como ilustração, os ventos migram do nordeste em direção à região amazônica. Na Amazônia, ocorre o encontro com a massa de ar proveniente dos Andes e com as emissões atmosféricas naturais da evapotranspiração florestal da floresta amazônica. O resultado é o vento. Há chuvas locais e migração de vento até o sudeste brasileiro, onde há o encontro com a massa fria do sul, acarretando nas chuvas do sul e sudeste brasileiro. Portanto, naturalmente, a região de chuvas e de ventos no Brasil estão interligados. Alguns autores comparam a rios, vulgarmente chamando o processo de rios voadores. No entanto, as ações antrópicas como desmatamento e queimadas na Amazônia estão influenciando na dinâmica dos rios voadores, tanto em razão da questão física da temperatura, quanto da questão química da emissão de poluentes. Recentemente, a fumaça das queimadas tem sido percebida até mesmo por populares no sudeste brasileiro. Assim como os poluentes das queimadas percorrem distâncias com assim como na Amazônia, na Caatinga e no Cerrado, o solo tem sido exposto com a supressão da vegetação, proporcionando mudanças

2025165

na temperatura, umidade; conseqüentemente, no clima e regimes de chuva e vento; por conseguinte, implicando na cinética química, equilíbrio químico e equilíbrio de fases na atmosfera.

Para a análise das soluções e misturas presentes na atmosfera e das reações químicas associadas, faz-se necessário realizar o balanço de massas por meio da estequiometria química, que considera o princípio de Lavoisier:

"Na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma". Isso remete à lei da conservação das massas.

Por meio do balanceamento das equações químicas é que se estima os produtos de reação gerados. Como muitos deles são gases, as massas molares podem ser convertidas em volumes molares, a fim de facilitar os cálculos. A equação dos gases ideais é comumente aplicada, onde $PV = nRT$, sendo P a pressão, V o volume, n é o número de mols, R é a constante universal dos gases e T é a temperatura. Como n e R são constantes, tem-se $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$, onde 0 é o índice zero é a condição inicial e 1 é a final.

Nestes casos, convém aplicar as pressões parciais dos gases, que estão associadas às frações molares das espécies químicas analisadas.

Salienta-se que os poluentes podem ser inorgânicos como os óxidos de carbono (CO_2 , CO), de nitrogênio (N_2O_5) e de enxofre (SO_2 , SO_3), mas também podem ser orgânicos como os hidrocarbonetos (C_xH_y) e compostos aromáticos diversos. Estes materiais podem interagir com o meio e por questões termodinâmicas podem reagir quimicamente, ou por interações intermoleculares com as moléculas que colidirem no meio, unire-se a elas, quer por adsorção, quer atração eletrostática entre outras interações químicas moleculares. Portanto, pode haver

6

dissolução, complexação, reações químicas, formação de ra.
Vale lembrar das reações por ~~se~~ meio de formação e
interação com radicais livres, reações em cadeia.
E também, das reações nucleares, que na emissão
atmosférica, neste caso específico, de ~~rad~~ radioelementos
da série do urânio e do tório, pode decair em
Radônio, que é um gás, diferente dos demais
radioelementos da série.