



Algumas Reações do

Enxofre

de Importância Ambiental

Arnaldo Alves Cardoso e Alexandre Franco

Atualmente, a poluição, especialmente a atmosférica, tem recebido destaque nos cursos de Química. Entretanto, ainda faltam experimentos específicos que demonstrem a relação entre a Química e os fenômenos que ocorrem na atmosfera e como se pode fazer a determinação de um composto gasoso presente na atmosfera.

Este artigo discute algumas reações de interesse ambiental envolvendo a química do enxofre e apresenta um experimento no qual essas reações podem ser acompanhadas e relacionadas com reações que ocorrem no ambiente e nos procedimentos de análise de gases atmosféricos discutidos no texto.

► poluição atmosférica, dióxido de enxofre, química atmosférica do enxofre ◀

Recebido em 3/8/01, aceito em 4/4/02

Um curso introdutório de Química deve fornecer subsídios para que o aluno entenda e discuta o papel da Química no mundo moderno. Nos dias de hoje, tem sido muito exigido dos cursos de Química discussões sobre os aspectos relacionados à poluição.

A poluição, especificamente a atmosférica, é um problema que se agrava no início do século XXI; raro é o dia em que pelo menos uma notícia não é divulgada sobre essa questão pelos meios de comunicação. A poluição atmosférica, em alguns aspectos, é problema global, resultado de processos de difusão e mistura gasosa na atmosfera. Este é um comportamento que está relacionado com as propriedades gerais dos gases.

Apresentamos aqui as principais reações de interesse ambiental envolvendo a química do enxofre atmosférico, bem como um experimento no qual essas reações podem ser acompanhadas e

relacionadas com reações que ocorrem no ambiente e nos procedimentos de análise de gases atmosféricos discutidos no texto.

A química do enxofre na atmosfera

O gás dióxido de enxofre é um dos principais poluentes atmosféricos que afeta a vida do homem. Sua presença na atmosfera resulta em danos aos vegetais, aos corpos de águas superficiais, aos bens artísticos e arquitetônicos e à saúde dos seres vivos.

A principal fonte de emissão desse gás para a atmosfera é a combustão de materiais que contenham enxofre na sua composição. Na maioria das vezes, o enxofre está

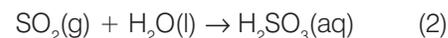
presente no material como contaminante e sua eliminação é economicamente inviável, já que envolveria gastos proibitivos que elevariam o preço do produto final. É o caso

do enxofre presente nos combustíveis fósseis. Quando se queima um combustível que contém enxofre, forma-se

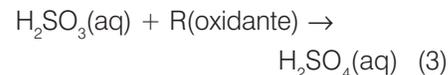
o gás dióxido de enxofre, que é emitido junto com os outros gases de exaustão. Embora o enxofre se apresente na forma de diferentes compostos, a reação pode ser representada pela seguinte equação geral:



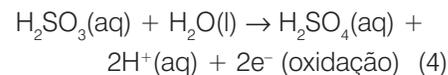
Como o gás dióxido de enxofre é solúvel em água, ele pode ser incorporado às gotículas de água que formam as nuvens, formando o ácido sulfuroso.



Outras substâncias (R) presentes na atmosfera podem também ser incorporadas às gotículas de água das nuvens e oxidar ou servir como catalisador para a reação de oxidação do ácido sulfuroso a ácido sulfúrico.

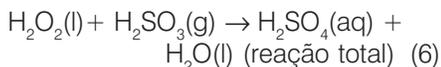
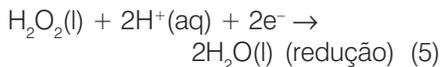


A água oxigenada é um dos principais oxidantes que existe na atmosfera e participa da formação do ácido sulfúrico. A reação pode ser representada pelas seguintes etapas:



A presença do gás dióxido de enxofre na atmosfera resulta em danos aos vegetais, aos corpos de águas superficiais, aos bens artísticos e arquitetônicos e à saúde dos seres vivos

A seção "Experimentação no ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola. Neste número a seção apresenta três artigos.

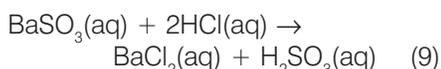
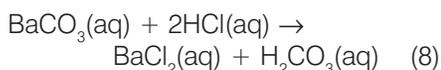
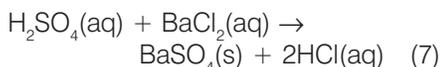


Este é um dos caminhos conhecidos para a formação da “chuva ácida”, resultado final do processo que ocorre quando as gotículas das nuvens se juntam e formam gotas pesadas o suficiente para cair como chuva.

Reações de identificação e quantificação dos compostos de enxofre

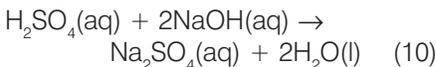
Reconhecer a presença dos diferentes compostos de enxofre e determinar sua quantidade é um trabalho freqüente dos profissionais responsáveis pelo controle da poluição da atmosfera. Um dos métodos para quantificar o dióxido de enxofre atmosférico é fazer que ele se transforme em ácido sulfúrico. A oxidação do dióxido de enxofre é feita usando água oxigenada. As reações são as mesmas que ocorrem no ambiente (reações 2, 4, 5 e 6).

A solução de ácido sulfúrico formada possui propriedades ácidas, que podem ser testadas com papel de tornassol. Pode-se também testar a presença do íon sulfato, adicionando-se a parte da solução gotas de solução de cloreto de bário (BaCl_2) e gotas de solução de ácido clorídrico. A formação de um precipitado branco, mesmo em presença de meio ácido, confirma a precipitação de sulfato de bário (BaSO_4). Outros precipitados brancos possíveis de se formar como produto da reação com o íon bário seriam o carbonato de bário (BaCO_3) e o sulfito de bário (BaSO_3), mas estes se decompõem em meio ácido. As representações das reações seriam:



O ácido sulfúrico formado (reação 6) pode ser quantificado por titulação

com uma solução de base de concentração conhecida. Pode-se usar, por exemplo, solução de hidróxido de sódio. A reação pode ser representada por:



Nessa reação, cada mol de H_2SO_4 reage com (equivale a) 2 mols de NaOH . Portanto, conhecendo-se a quantidade de matéria de NaOH que reagiu para neutralizar todo o ácido sulfúrico na titulação, pode-se calcular a quantidade de matéria do ácido sulfúrico e a sua massa.

Avaliação da quantidade de dióxido de enxofre no ar

Determinar a quantidade de dióxido de enxofre presente na atmosfera é uma forma de conhecer quanto a atmosfera está poluída por gases provenientes de combustão de combustíveis fósseis. O dióxido de enxofre, além de ser um formador da chuva ácida, pode afetar a saúde dos seres vivos. Quando no ar existe dióxido de enxofre e material particulado, forma-se uma mistura que tem a

propriedade de potencializar o efeito da poluição. Esse fenômeno é conhecido como *efeito sinérgico*. O ar que contém dióxido de enxofre e material particulado possui um efeito adverso à saúde que é, muitas vezes, maior que o efeito do ar que contém só dióxido de enxofre ou só material particulado. Isto é, seus efeitos não se somam, mas sim se multiplicam. A Figura 1 mostra essa propriedade com exemplos. Material particulado ou aerossol são poeiras e gotículas de diferentes tamanhos que estão em suspensão na atmosfera.

Para quantificar o dióxido de enxofre presente na atmosfera, o analista químico inicialmente monta um sistema para coletar o dióxido de enxofre da atmosfera. Para isto, ele pode usar um borbulhador, isto é, um frasco contendo solução de água oxigenada onde o ar atmosférico é borbulhado com auxílio de uma bomba que aspira o ar. A Figura 2 mostra um modelo de borbulhador e um conjunto de equipamentos usado na coleta da amostra. Para calcular a concentração, é importante também medir o volume de ar que foi amostrado. Para isto, usa-se um

Reconhecer a presença dos diferentes compostos de enxofre e determinar sua quantidade é um trabalho freqüente dos profissionais responsáveis pelo controle da poluição da atmosfera. Um dos métodos para quantificar o dióxido de enxofre atmosférico é fazer que ele se transforme em ácido sulfúrico

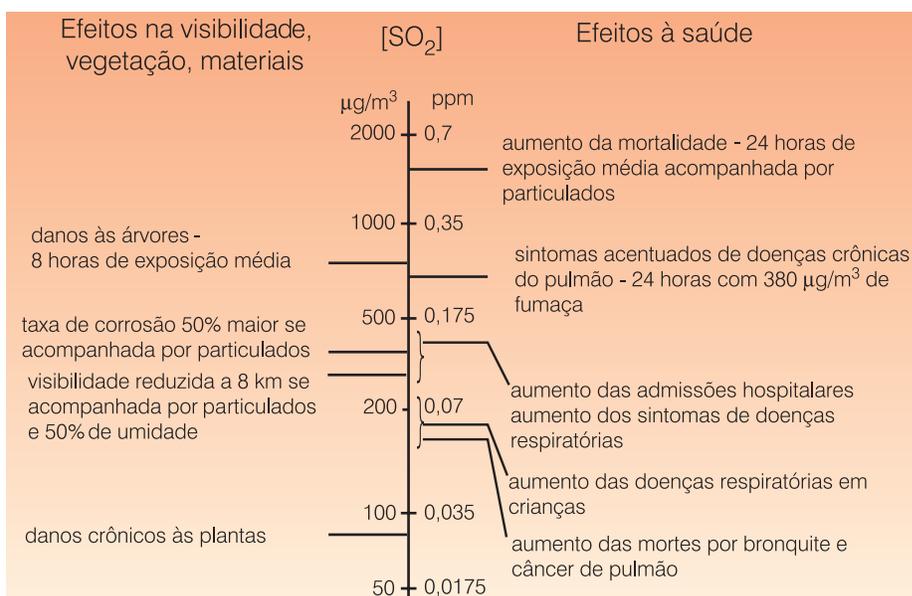


Figura 1: Efeitos do dióxido de enxofre associado ao material particulado [modificada de Moore e Moore, 1976].

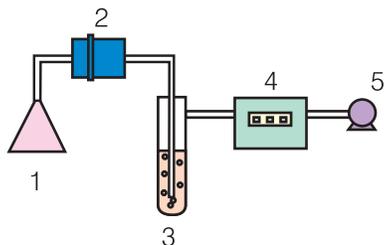


Figura 2: 1 - entrada de ar em forma de funil; 2 - filtro para retenção das partículas; 3 - borbulhador contendo solução de água oxigenada; 4 - totalizador de volume para medida do ar total amostrado; 5 - bomba para aspirar o ar.

totalizador de volume, que mede todo o ar que passou pelo borbulhador. Esse equipamento é muito semelhante a um medidor de consumo de gás existente em residências servidas por gás encanado. Após finalizada a amostragem, o analista químico determina a quantidade de ácido sulfúrico formado no borbulhador e calcula a quantidade proporcional de dióxido de enxofre. Usando o volume total do ar amostrado, é possível, então, calcular a concentração de dióxido de enxofre.

Parte experimental

Neste procedimento, mostra-se como ocorrem as principais reações do enxofre que foram acima discutidas. O experimento pode ser apresentado como exemplo das reações que ocorrem na atmosfera ou nos procedimentos para determinação do gás dióxido de enxofre.

Materiais e reagentes necessários

Para conhecer as reações do enxofre descritas acima, serão necessários os seguintes materiais:

- 1 frasco de cerca de 200 mL com tampa de rosca;
- fio de cobre (20 cm);
- 1 lápis ou caneta;
- palitos de fósforo;
- enxofre sólido;
- água oxigenada 10 volumes;
- NaOH 0,1 mol/L;
- indicador fenolftaleína;
- solução de água oxigenada um volume (solução absorvente): em

um béquer de 100 mL, coloque 10 mL de H₂O₂ 10 volumes e complete o volume com água destilada.

Procedimento experimental

Enrole parte de um fio de cobre na ponta de um lápis ou de uma caneta, para formar um cone onde será colocado enxofre em pó para ser queimado. O cabo do cone de cobre deve ser longo o suficiente para manter o cone com o enxofre queimando dentro do frasco de vidro. A Figura 3 mostra o resultado esperado deste procedimento.

Adicione, em seguida, 20 mL da solução de água oxigenada no frasco. Coloque uma ponta de espátula de enxofre em pó dentro do cone de fio de cobre. Com a chama de um palito de fósforo, inicie a combustão do enxofre. Coloque a chama do enxofre dentro do frasco e segure a tampa sobre a boca do frasco para que os gases emanados da combustão fiquem confinados dentro do mesmo. Quando a chama se apagar, rapidamente retire o suporte de fio de cobre e tampe o frasco. Agite o frasco vigorosamente para que a solução entre em contato com a fumaça branca. Abra o frasco para que o excesso de fumaça saia. Retire algumas gotas de solução e teste a presença de sulfato com solução de cloreto de bário em meio de ácido clorídrico. Transfira o restante da solução para um erlenmeyer, adicione 3 gotas de fenolftaleína e titule com solução de NaOH 0,1 mol/L até que a solução se torne rosa.

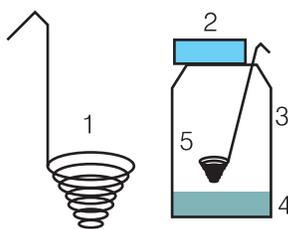


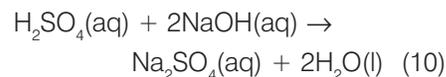
Figura 3: 1 - fio de cobre enrolado na ponta de um lápis, 2 - tampa com rosca, 3 - frasco de vidro, 4 - solução de água oxigenada, 5 - suporte com enxofre.

Cálculos

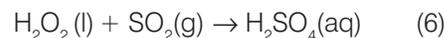
Cálculo da concentração de H₂SO₄

Conhecendo a concentração e o volume gasto da solução de NaOH na titulação, pode-se obter a concentração de ácido sulfúrico que foi formado.

De acordo com a estequiométrica das reações:



e



para cada mol de SO₂ forma-se 1 mol de H₂SO₄ que, por sua vez, reage com 2 mols de NaOH. Assim, a quantidade de matéria de SO₂ será à metade da de NaOH. Usa-se o volume de solução de NaOH e sua concentração para calcular a concentração do ácido formado. Para calcular a concentração do SO₂ no ar contido no frasco pode-se dividir a quantidade de matéria (ou massa) de SO₂ pelo volume de ar que foi amostrado.

Arnaldo Alves Cardoso (aacardoso@iq.unesp.br), bacharel e licenciado em Química, doutor em Química pela USP, é docente do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química de Araraquara (Unesp).

Alexandre Franco é bacharel e mestre em Química pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp.

Referência bibliográfica

MOORE, J. W. e MOORE E.A. *Environmental chemistry*. Nova Iorque: Academic Press, 1976. p.183-253.

Para saber mais

CARDOSO, A.A. e PITOMBO, L.R.M. Contribuição dos compostos reduzidos de enxofre no balanço global do estoque de enxofre ambiental. *Química Nova*, v. 15, p. 219, 1992.

GEPEQ (Grupo de Pesquisa e Educação em Química). *Interações e transformações II - Reelaborando conceitos sobre transformações químicas (cinética e equilíbrio)*. São Paulo: EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, 1996.

Abstract: *Some Sulfur Reactions of Environmental Importance* – Currently, pollution, specially atmospheric, has received attention in chemistry courses. However, specific experiments that demonstrate the relationship between chemistry and the phenomena that occur in the atmosphere and how one may carry out the determination of a gaseous compound present in the atmosphere are still lacking. This paper discusses some reactions of environmental importance involving the chemistry of sulfur and presents an experiment whereby these reactions may be followed and related to reactions that occur in the environment and in the analysis procedures of atmospheric gases discussed in the text.

Keywords: atmospheric pollution, sulfur dioxide, sulfur atmospheric chemistry