

Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente

Renan Kobal de Oliveira Alves Cardoso, Helena Maura Torezan Silingardi e Arnaldo Alves Cardoso

Processos naturais e atividades antrópicas emitem material particulado e gases para atmosfera. Nem todo esse material se acumula na atmosfera: os gases que são solúveis em água acabam se dissolvendo nas gotículas de água que formam as nuvens. O mesmo acontece com o material particulado polar. Na ausência de nuvens, tanto o material particulado quanto os gases se depositam na superfície do planeta, processo conhecido como deposição seca. Os gases solúveis em água acabam se incorporando a superfícies úmidas como lagos, rios, florestas e solos. Apesar de tão importante quanto a chuva ácida, este tipo de remoção de poluentes da atmosfera é pouco discutido fora dos meios acadêmicos. Com o intuito de apresentar e ampliar a utilização desse importante conceito, propomos o uso de experimentos práticos e simples para simular as consequências da deposição a seco no ambiente, mostrando seus efeitos negativos nos seres vivos, em águas superficiais e nos objetos metálicos.

► experimentos, contaminação, poluição atmosférica ◀

Recebido em 05/08/2019, aceito em 01/06/2020

A chuva ácida é um tema relacionado com a poluição do ar bastante debatido nos meios de comunicação e mesmo no ensino. A chuva ácida é o resultado de um processo atmosférico de solubilização de gases e partículas com caráter ácido pelas gotículas de água que formam as nuvens. Como resultado, ocorre um aumento da concentração de íons hidrogênio (H^+) dissolvidos nas gotículas de água das nuvens. Quando as nuvens se transformam em chuva, o resultado é uma precipitação ácida. A dissolução de compostos químicos é um importante processo natural de limpeza do ar atmosférico e também um importante processo de circulação de materiais na natureza. Esse mecanismo, essencial nos ciclos biogeoquímicos, é responsável pelo transporte de diversos materiais presentes na atmosfera para o solo e águas superficiais. Em regiões onde a atmosfera está poluída por muitos compostos químicos, a chuva arrasta para o solo grande parte desses compostos, fato que passa a ser um problema para o local onde ela se deposita. A vida local pode ser afetada pela acidificação do solo e das águas

superficiais. Metais como o alumínio e o chumbo, entre outros, estão presentes naturalmente no solo na forma de óxidos insolúveis em água. O aumento da acidez favorece reações de solubilização destes íons metálicos, podendo afetar as plantas ou serem levados pela água da chuva para rios e lagos. Já uma maior acidez de águas superficiais faz aumentar a frequência respiratória dos peixes, fazendo com que eles venham à superfície em busca de ar para respirar. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão ligado ao Ministério do Meio Ambiente que estabelece padrões para o controle da poluição, o pH das águas de rios e lagos deve permanecer entre 6 e 9 para preservar a vida aquática.

Na maior parte das regiões do planeta, o clima ao longo do ano pode ser dividido em período seco e outro chuvoso. Assim, o processo de depuração da atmosfera pela chuva só ocorre em um período restrito do ano. Fora do período de chuva, outro processo colabora para manter a atmosfera limpa e circular material dentro do ciclo biogeoquímico. Nesse período de seca ocorre a deposição seca de compostos químicos. Neste trabalho, propomos dois experimentos simples que podem ser utilizados em sala de aula para discutir a deposição seca de gases ácidos, tal como ela ocorre na natureza.

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.

Emissão e remoção de compostos presentes na atmosfera

Processos naturais e atividades antrópicas emitem gases e material particulado para atmosfera (figura 1). Vulcões emitem gases como o dióxido de enxofre (SO_2) e ácido clorídrico (HCl), além de material particulado em abundância; plantas emitem compostos diversos como ácido fórmico (CHO_2H), ácido acético ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) e grãos de pólen; e os excrementos dos animais são fontes de gás amônia (NH_3). Indústrias, cidades e a agricultura emitem gases e material particulado de composição química diversa para atmosfera. Todo esse material emitido deveria se acumular na atmosfera principalmente em épocas de poucas chuvas, porém isso não ocorre.

Os principais gases com propriedades ácidas são: SO_2 , NO_2 , CO_2 . Em geral, quanto mais ácido for o gás, mais ele será solúvel em água. Mesmo em regiões não poluídas, a chuva é ácida, porque o CO_2 é um gás ácido e é um componente da atmosfera (0,035%). Ele se incorpora nas gotículas das nuvens e forma o ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$).

Na ausência de nuvens, a deposição seca passa a ser um importante processo de limpeza da atmosfera. A deposição seca é velha conhecida das pessoas responsáveis pela limpeza de ambientes fechados. O pó que se deposita sobre os móveis é uma forma comum de deposição de material particulado mais grosso. Essa deposição também ocorre no ambiente aberto, mas é difícil observar a deposição de pó sobre ruas, calçadas e jardins. Por outro lado, um carro parado na rua durante muitos dias apresenta logo um aspecto de sujo.

A deposição das partículas presentes na atmosfera depende do tamanho e da massa das mesmas: quanto maiores os valores dessas variáveis, mais rápida será a deposição e mais próxima à fonte de emissão. A deposição depende também da velocidade do vento: quanto menor ela for, mais rápida será a deposição. Os gases também podem sofrer deposição similar. O processo ocorre porque as moléculas dos gases e vapores estão sempre em movimento caótico. Imagine um liquidificador ligado com várias bolinhas duras, elas representam um modelo do gás na atmosfera. O movimento caótico de moléculas é conhecido como difusão molecular. As moléculas batem sobre uma superfície e podem ficar retidas, desde que haja interação superfície/molécula. Os gases solúveis em água, quando batem em uma superfície (a água de uma represa ou uma folha verde), podem ficar retidos. A retenção dos gases é favorecida pela umidade presente nessas superfícies. Dessa forma, ela ocorre preferencialmente sobre a superfície de lagos e rios, em florestas úmidas e, finalmente, no solo. Esse processo é conhecido como deposição seca. Contaminantes emitidos por uma cidade para atmosfera podem ser transportados pelos ventos que os levam para longe da fonte de emissão. As consequências para o ambiente dependem das propriedades químicas do gás depositado. No

Contaminantes emitidos por uma cidade para atmosfera podem ser transportados pelos ventos que os levam para longe da fonte de emissão. As consequências para o ambiente dependem das propriedades químicas do gás depositado.

caso de um ácido forte, ele diminui o pH do corpo de água, pode afetar o crescimento das plantas e acidificar o solo, ou seja, apresenta um efeito similar ao da chuva ácida.

A deposição seca é tão estudada pelos cientistas como a chuva ácida. Vamos descrever aqui um experimento que ajuda o aluno a conhecer o fenômeno da deposição seca e reconhecer suas consequências no ambiente. O experimento pode ser feito após o aluno ter conhecido os conceitos de ácidos e bases e suas propriedades.

Poluentes atmosféricos: ácidos fixos e não fixos

Para o desenvolvimento deste experimento o aluno deve saber identificar ácidos fixos e não fixos (voláteis). O ácido sulfúrico (H_2SO_4) é um ácido fixo, ou seja, apresenta baixa pressão de vapor, o que pode ser observado por meio de seu ponto de ebulição (P. E. H_2SO_4 : 300°C). Outro ácido fixo importante é o ácido fosfórico (H_3PO_4); já o ácido clorídrico apresenta elevada pressão de vapor, portanto é um gás volátil.

Outros ácidos voláteis são: o ácido nítrico, o ácido acético e o ácido fórmico. Os ácidos voláteis podem ser encontrados na atmosfera na forma de vapor, isto é, como moléculas isoladas diluídas no ar atmosférico. O ácido sulfúrico (H_2SO_4) só pode ser encontrado na atmosfera dissolvido nas gotas

de água que formam as nuvens. Os gases CO_2 , NO_2 e SO_2 são óxidos ácidos formados na combustão de combustíveis e queima de vegetação. Esses óxidos são os principais responsáveis pelas características ácidas da atmosfera. Eles formam seus respectivos ácidos reagindo com as microgotas de água que constituem as nuvens.



Os processos de emissão de gases provenientes das combustões para gerar energia, ou da queima de matas e florestas, estão contribuindo para um aumento dos compostos ácidos na atmosfera. A composição da atmosfera atualmente está sendo modificada pelo aumento dos gases ácidos, principalmente devido à ação humana. Quais serão as consequências para o ambiente? Este experimento evidencia possíveis efeitos para a biota, ambientes aquáticos e bens materiais.

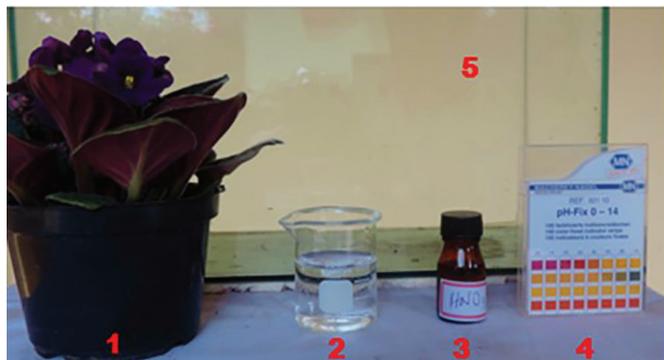
Procedimento Experimental 1

O procedimento simula o processo de deposição seca de um poluente atmosférico como ocorre na natureza.

O experimento pode ser desenvolvido com alunos que já viram o tópico geral sobre propriedades ácidas ou o

tópico sobre poluição. É recomendável que os professores de química e de biologia trabalhem em colaboração, discutindo os conceitos básicos de ambas as disciplinas envolvidos nos experimentos. É importante demonstrar a deposição seca como meio para retirada de poluentes da atmosfera. Para simular a ação da deposição seca sobre a vegetação será utilizado um vaso com flores, recipiente com água que irá simular um lago, e um pedaço de palha de aço para simular objetos metálicos (carros, portão, esquadrias de janelas, etc.).

Materiais e reagentes



384

Figura 1: Material utilizado para o primeiro experimento, que simula a deposição de ácidos voláteis a seco no meio biótico. 1. vaso com planta; 2. béquer de 50 mL com água suficiente para cobrir o fundo, ou frasco similar, desde que tenha a boca larga; 3. frasco de vidro contendo o HNO_3 ; 4. papel de tornassol ou outra fita indicadora de acidez; 5. aquário de vidro com tampa.

Vaso com planta (a violeta é indicada porque é fácil de encontrar e suscetível à ação de ácidos); béquer de 50 mL com água suficiente para cobrir o fundo, ou frasco similar, desde que tenha a boca larga; vidro de cerca de 30 mL contendo o HNO_3 concentrado, suficiente para cobrir o fundo (vidro usado de medicamento com 2 cm de diâmetro e 5 cm de altura); papel de tornassol ou outra fita para indicar se a solução está acida; aquário de vidro com tampa, ou pote de plástico com tampa.

No aquário, coloque o vaso com a planta, o béquer com água e o vidro (destampado) contendo o ácido nítrico. Faça a medição da acidez da água contida no béquer imediatamente após a montagem do experimento e então tampe o aquário. Após 48 horas verifique as folhas e as flores da planta e realize uma nova medição da acidez da água. Para a fixação do conhecimento, o professor pode pedir aos alunos para descreverem o experimento e seu resultado em um relatório.

É conveniente fotografar o vaso em dois momentos, antes de ele ser colocado no aquário e após os dois dias do experimento. Apenas o professor deve manipular o ácido concentrado, utilizando jaleco, luvas e óculos de proteção. Os alunos podem auxiliar no restante da montagem, desde que muito bem orientados pelo professor.

Resultados observados no experimento 1

A deposição do ácido nítrico ocorre sobre as estruturas aéreas da planta, causando um efeito prejudicial às folhas e flores (Figuras 2A e 2B). O tecido vegetal perece com a ação do ácido sobre células e tecidos (Figura 2C). No béquer, a acidez da água aumenta devido à deposição de HNO_3 .

Procedimento experimental 2

Materiais e reagentes

Dois vidros de relógio; dois pedaços de esponja de aço; béquer com água em quantidade suficiente para cobrir o fundo do béquer, ao qual foram adicionadas uma ou duas gotas de solução de NaOH $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$; uma gota de solução indicadora de fenolftaleína e tiras de papel de tornassol.

O segundo experimento evidencia o efeito da ação de ácidos voláteis nos elementos abióticos. O experimento é realizado colocando-se no aquário um vidro de relógio com um pedaço de esponja de aço seca e outro com um pedaço de esponja de aço umedecida em água. Observação: para facilitar a visualização da ação dos ácidos, pode ser adicionado um béquer com água e gotas da solução de NaOH e fenolftaleína, de forma que a solução fique levemente rosada.

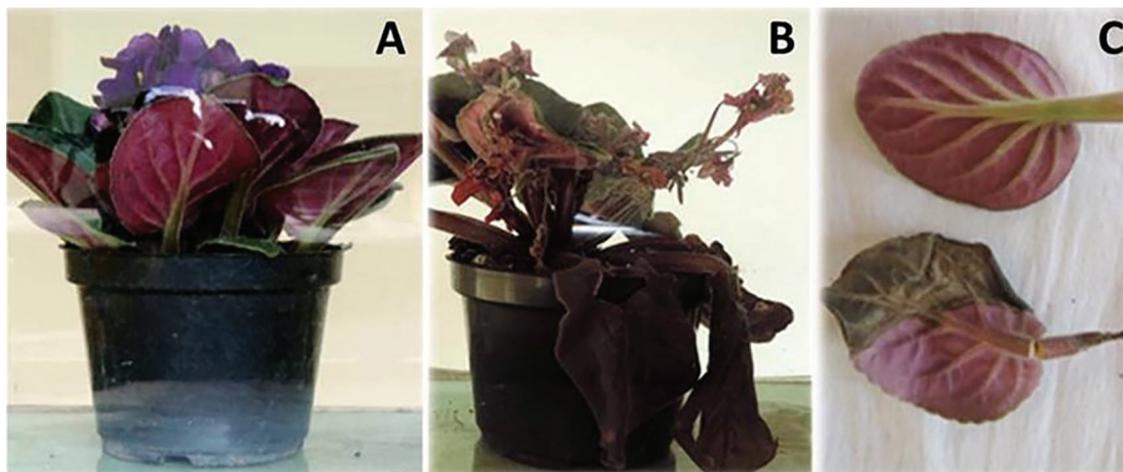


Figura 2: Planta no início do experimento em perfeito estado (A), e no final do experimento com folhas e flores mortas devido à deposição do ácido nítrico (B). Diferença entre uma folha sadia (acima) e uma folha severamente danificada pelo ácido (C).

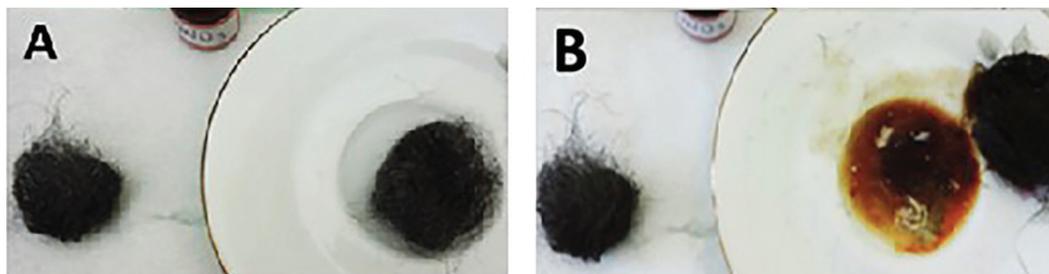


Figura 3: Antes (A) e depois (B) do experimento 2, com a palha de aço seca à esquerda e a outra palha de aço parcialmente imersa na água à direita.

Resultados observados no experimento 2

Após 48 horas, o ácido volátil é depositado na água em contato com uma das esponjas. A acidificação da água oxida (enferruja) a palha de aço (Figura 3B). De modo semelhante, essa ação ocorre com materiais metálicos como os carros, portões e janelas. Para confirmar que houve a deposição ácida na água onde a palha de aço estava parcialmente imersa, foi utilizado o papel de tornassol azul (Figura 4).



Figura 4: Comparação entre um papel de tornassol azul sem uso (acima) e outro utilizado para confirmar a acidificação da água usada no experimento (abaixo).

É importante o professor de química discutir a importância da água como corpo receptor preferencial dos ácidos voláteis, e o professor de biologia pode ressaltar a importância da água como solvente universal e indispensável para quase todos os processos bioquímicos nos seres vivos. Portanto, o experimento pode ser explorado sob vários aspectos: conceitos de ácido e base; diferenças entre ácidos fortes e fracos, além de voláteis e fixos; reação de ácidos com diferentes materiais; poluentes atmosféricos; o transporte de matérias entre solo, atmosfera e água (ciclos biogeoquímicos) e a água nas células vivas. O professor de biologia pode explorar o experimento utilizando diferentes plantas e discutindo como elas suportam os ambientes poluídos distintamente. Outros

ácidos podem ser testados para se notar suas diferentes intensidades e velocidades de dano nas plantas, como o ácido acético (volátil) e o ácido fosfórico (fixo).

Renan Kobal de Oliveira Alves Cardoso (recokc@usp.br), bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, mestre em Ecologia e Conservação dos Recursos Naturais pela Universidade Federal de Uberlândia, e doutorando no Programa de Pós – Graduação em Entomologia pela Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP – BR. **Helena Maura Torezan Silingardi** (hmsilingardi@gmail.com), licenciada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, mestre em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Uberlândia, doutora em Entomologia pela Universidade de São Paulo, é professora do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG – BR. **Arnaldo Alves Cardoso** (arnaldo.cardoso@unesp.br), bacharel, licenciado, mestre e doutor em Química pela Universidade de São Paulo, é professor titular da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pelo Instituto de Química de Araraquara, Araraquara, SP – BR.

Referências

- FRANCO, A.; CARDOSO, A. A. Algumas reações do enxofre de importância analítica e ambiental. *Química Nova na Escola*, n. 15, p. 39-41, 2002.
- GARCIA, G.; CARDOSO, A. A. A importância da deposição atmosférica seca como fonte de nitrogênio e fósforo para ecossistemas lacustres. In: *Ecologia de reservatórios e interfaces*. POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. . São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

Abstract: Acid gases in the atmosphere: sources, transport, deposition and their consequences for the environment. Abstract: Natural processes and anthropogenic activities emit particles and gases into the atmosphere. Not all this material does accumulate in the atmosphere: water-soluble gases and polar particles present in the atmosphere eventually dissolve in water droplets that form clouds. In the absence of clouds, both particulate matter and gases deposit on the planet's surface, a process known as dry deposition. Water-soluble gases eventually become incorporated into moist surfaces such as lakes, rivers, forests, and soils. Although as important as acid rain, this type of removal of pollutants from the atmosphere is little discussed. In order to present and extend the use of this important concept, we propose the use of practical and simple experiments to simulate the consequences of dry deposition on the environment, its negative effects on living beings, surface waters and metallic objects.

Keywords: experiments, contamination, air pollution