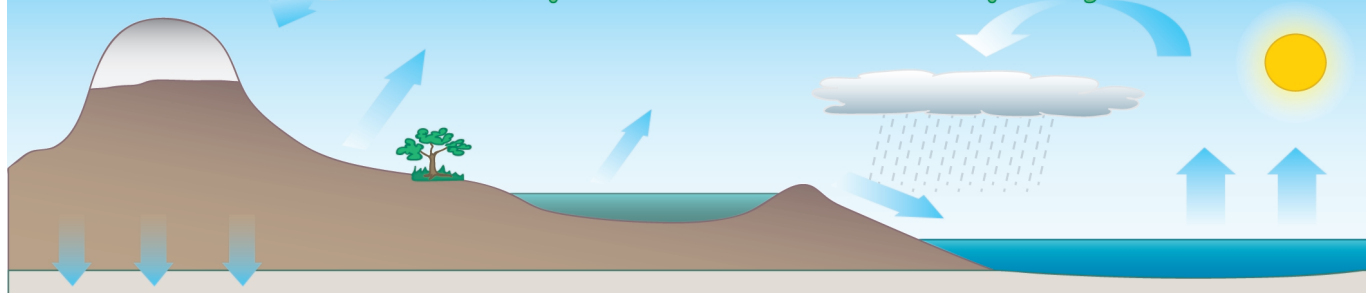


Fatores Ambientais que Afetam a Precipitação Úmida



Erika Pereira Felix e Arnaldo Alves Cardoso

A água tem um papel de extrema importância para a natureza, pois a existência de qualquer forma de vida está relacionada com este recurso fundamental. Grande quantidade de água circula entre a atmosfera e a crosta terrestre, sendo que sua forma mais estável é encontrada nos oceanos, lagos, rios e outros reservatórios. Parte dessa água, ao ser evaporada, alcança a atmosfera e é condensada para formação das chuvas. A condensação do vapor acontece sobre partículas sólidas em suspensão no ar, pois as mesmas apresentam grande capacidade de aglutinar gotas d'água. O objetivo deste artigo é mostrar como as partículas podem ser geradas na atmosfera e o seu papel na formação da chuva. Mostraremos também a influência da temperatura, pressão e superfície de evaporação sobre a formação de chuvas.

► chuva, núcleo de condensação, cloreto de amônio ◀

Recebido em 5/1/04, aceito em 29/3/05

A quantidade total de água no planeta Terra (1386 milhões de km³) tem permanecido aproximadamente constante nos últimos 500 milhões de anos. A distribuição dos volumes estocados nos principais reservatórios de água da Terra mostra que 97,5% do volume total constitui os oceanos e mares e somente 2,5% é de água doce. Porém, a maior parte dessa água ou se encontra congelada nas calotas polares e nas geleiras ou se situa no subsolo. Assim, somente 0,3% encontra-se acessível, podendo ser utilizada pelo ser humano para irrigação e usos gerais (Rebouças *et al.*, 1999).

As condições ambientais do planeta Terra possibilitam que a água seja encontrada nos três estados físicos. Sua distribuição nos três reservatórios principais - oceanos, continentes e atmosfera - é mantida devido a uma troca contínua entre os estados físicos e constitui-se no que se conhece como *ciclo da água* ou *ciclo hidrológico* (Tundisi, 2003). A energia necessária à mudança de fase que resulta no transporte da água entre os compartimentos que formam o ciclo hidrológico é fornecida pelo Sol.

Esse ciclo pode ser definido como uma seqüência fechada de fenômenos através dos quais a água passa da superfície da crosta terrestre para a atmosfera e regressa àquela na forma de precipitação (Figura 1).

A precipitação pode ocorrer nas fases líquida (chuva ou chuveiro) ou sólida (neve, granizo). A água precipitada na fase sólida apresenta estrutura cristalina, no caso da neve, e estrutura granular, no caso do granizo. A neve e o granizo são formados quando o vapor d'água da atmosfera se condensa a uma temperatura inferior a 0 °C e passa diretamente para o estado sólido. Porém, se a condensação for lenta e progressiva, o gelo toma formas cristalinas mais ou menos regulares, simples ou complexas, que constituem a neve. Caso a solidificação seja rápida ou gerada a partir de pequenas gotas líquidas super-resfriadas, o gelo é produzido em massas disformes ou com pequenos traços de cristali-

zação, resultando assim na formação do que conhecemos como granizo (*Investigando a Terra*, 1973).

A água que precipita nos continentes pode ter vários destinos. Uma parte é devolvida diretamente à atmosfera por evaporação; a outra se concentra formando os cursos de água; e o restante pode penetrar no interior do solo, subdividindo-se numa parcela que se acumula na parte superior, podendo voltar à atmosfera por evapotranspiração, e em outra que caminha em profun-

dididade até atingir os lençóis aquíferos, constituindo o escoamento subterrâneo. Tanto o escoamento superficial quanto o subterrâneo alimentam os cursos de água que desagüam nos lagos e oceanos. O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela, e o escoamento subterrâneo, em especial quando se dá através de meios porosos, é extremamente lento e con-

A distribuição da água nos seus três reservatórios principais - oceanos, continentes e atmosfera - é mantida devido a uma troca contínua entre os estados físicos e constitui-se no que se conhece como ciclo da água ou ciclo hidrológico

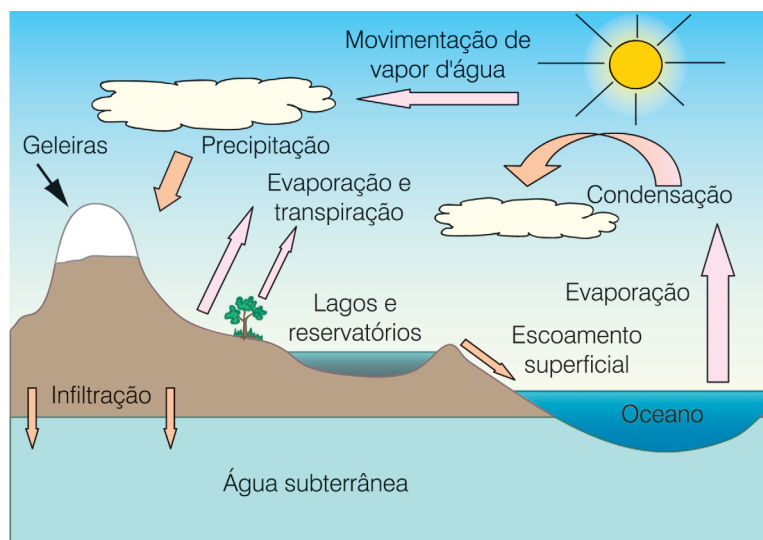


Figura 1: Ciclo hidrológico. Esquema simplificado do ciclo da água, mostrando os principais compartimentos com a água nos seus estados físicos.

tinua a alimentar os cursos de água por longos períodos após ter terminado a precipitação que o originou (Rebouças *et al.*, 1999).

O aquecimento da superfície do planeta pela radiação solar é responsável pela evaporação contínua da água dos oceanos, rios e lagos. O vapor é transportado para outros lugares distantes pela circulação geral da atmosfera. Durante esse transporte, parte desse vapor vai sendo condensado devido ao arrefecimento, formando as nuvens que podem originar a precipitação.

Formação das nuvens e chuvas

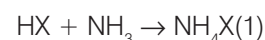
A ocorrência de chuvas está diretamente relacionada com o processo de evaporação da água que acontece nos mares, rios, lagos e em outros reservatórios de água do planeta. Mudanças ambientais, como o aumento da temperatura e a diminuição da pressão atmosférica, favorecem a passagem da água líquida para o estado de vapor (evaporação). A tendência das moléculas de água na forma de vapor é espalharem-se homogênea na atmosfera, resultado da difusão das moléculas e ação dos ventos. Isto é o que deveria ocorrer caso a atmosfera fosse composta apenas de gases. Porém, mesmo na atmosfera natural e limpa da Terra, existem pequenas partículas higroscópicas que funcionam como núcleos de condensação para o va-

por de água. Essas partículas ficam recobertas por uma fina camada de água e são responsáveis pela formação das nuvens. A existência de partículas na atmosfera é essencial para a formação da nuvem e, conseqüentemente, da chuva. Esse fenômeno da necessidade de superfície para condensação de gotas de água é presenciado por nós sempre que observamos uma tampa sobre uma panela de água fervendo.

Para formação de chuvas é necessário que as gotículas de água cresçam em volume suficiente para caírem. Para que ocorra o crescimento, é indispensável o aporte de massa de ar úmida e condições de temperatura e pressão que favoreçam a condensação do vapor de água. As partículas responsáveis pela ocorrência das nuvens são higroscópicas, isto é, têm afinidade por água. Essas partículas são formadas principalmente através de reações ácido-base que ocorrem na atmosfera.

Vários ácidos são encontrados na atmosfera e podem ser emitidos através de atividades humanas ou por fontes naturais (Lehane, 1987). Já a única base presente na atmosfera em quantidade significativa é a amônia (NH_3). As moléculas do gás ácido (por ex., cloreto de hidrogênio - HCl) reagem com as moléculas do gás básico amônia e como resultado se formam pequenos cristais do sal cloreto de amônio

(NH_4Cl). O esquema geral dessas reações está mostrado a seguir e se relaciona com a capacidade que a amônia atmosférica tem de neutralizar ácidos. Uma parte substancial dos ácidos atmosféricos gerados pela oxidação do SO_2 e NO_x é neutralizada pela amônia e os produtos finais são os sais de amônio higroscópicos, na forma de material particulado. Essas partículas formam a fração de menor tamanho do material particulado total presente na atmosfera (Felix e Cardoso, 2004).



Neste experimento, propõe-se inicialmente observar a formação das partículas na atmosfera e como elas podem ser utilizadas como núcleo de condensação, para posteriormente estudar a influência da temperatura, pressão e superfície de evaporação sobre a formação e ocorrência das chuvas. Os experimentos envolvidos são bastante simples e possibilitam que se relacione de forma clara a importância das reações químicas na atmosfera em fenômenos meteorológicos que ocorrem naturalmente e são fundamentais para todos nós, como é o caso das chuvas. Mostra também o papel desempenhado pelos ácidos na formação de nuvens e permite que se pense nos possíveis efeitos do excesso de gases ácidos (poluição) na atmosfera, que é a conhecida chuva ácida (Gaffney *et al.*, 1987; vide também artigo de Maia *et al.*, nesta edição).

Material e reagentes utilizados

- Frascos de vidro
- Bexigas de borracha
- Forma de alumínio ou plástico
- Palitos de madeira
- Algodão
- Água
- Ácido clorídrico concentrado (HCl 37%, m/m)¹
- Hidróxido de amônio concentrado [solução aquosa de amônia, $\text{NH}_3(\text{aq})$ 25%, m/m]

O ácido clorídrico e o hidróxido de amônio devem ser cuidadosamente acondicionados em um pequeno frasco conta-gotas e apenas manipula-

dos pelo professor.

Cuidados a serem tomados

Faça os experimentos em locais bem ventilados, a fim de possibilitar uma maior dispersão dos gases liberados. Se os testes forem feitos em ambientes com pouca ventilação natural, deve haver um sistema de exaustão funcionando durante o período de trabalho.

Use equipamentos de proteção individual apropriados, como óculos, luvas descartáveis de borracha e avental. Além disso, deve-se evitar contato com a pele e olhos e não respirar diretamente ao abrir os frascos dos reagentes.

HCl(aq) e NH₃(aq) em contato com a pele podem causar irritação se não forem removidos por meio de lavagem com água. Como ambos são voláteis, os seus vapores, se inalados, podem provocar efeitos irritantes nas vias respiratórias, como tosse, sensações de engasgo e queimadura da garganta. Porém, se mesmo com todos os cuidados tomados houver algum tipo de contato acidental com a pele, deve-se lavar imediatamente com muita água. Em caso de inalação, deve-se remover a pessoa para local fresco e arejado. Entretanto, é importante ressaltar que, como nesses experimentos são manipuladas quantidades muito pequenas dos reagentes, os riscos são baixos.

Procedimento experimental

Formação do material particulado atmosférico

Utilize dois palitos de haste longa, cujas pontas foram enroladas com um pequeno chumaço de algodão.

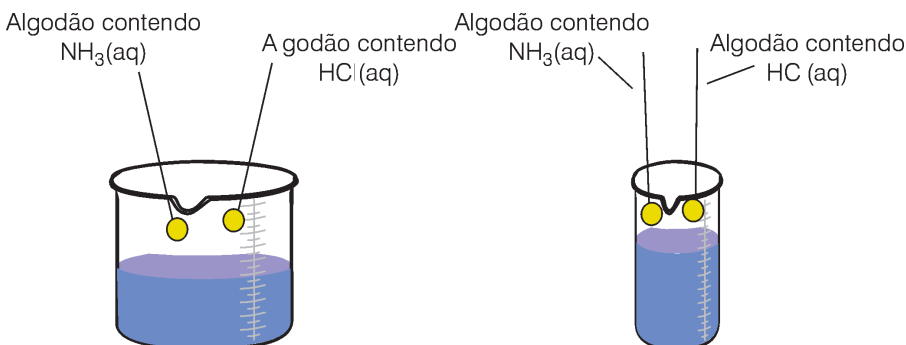


Figura 2: Efeito da superfície de evaporação sobre a ocorrência de chuvas.

Coloque uma gota de HCl(aq) concentrado em um deles e uma gota de NH₃(aq) concentrada no outro. Aproxime lentamente as pontas dos palitos sem que elas se toquem. Observe a formação do material particulado.

Efeito da superfície de evaporação

Coloque em dois frascos de vidro de diâmetros diferentes uma mesma quantidade de água e, em seguida, tampe-os por aproximadamente 10 minutos, para que o ar contido dentro deles fique saturado de vapor d'água. Remova as tampas e introduza dois palitos com pontas enroladas em algodão, contendo respectivamente HCl(aq) e NH₃(aq) concentrados e tampe-os novamente (Figura 2). Faça essas operações o mais rápido possível e evite contato entre os palitos. Observe em quais dos frascos foi possível a melhor visualização das nuvens e formação das chuvas.

Efeito da pressão

Sabe-se que a variação da pressão provoca mudanças no estado gasoso da água. Com base nisso, é possível realizar experimentos que mostrem como a pressão influencia esses fenômenos. Utilize novamente os palitos para formar o material particulado e repita o mesmo procedimento anterior, desta vez tampando o frasco com uma bexiga de borracha, com o propósito de variar a pressão no interior do frasco. Em seguida, empurre e puxe a bexiga várias vezes e observe se a condensação do vapor d'água foi favorecida quando houve aumento ou diminuição da pressão (Figura 3).

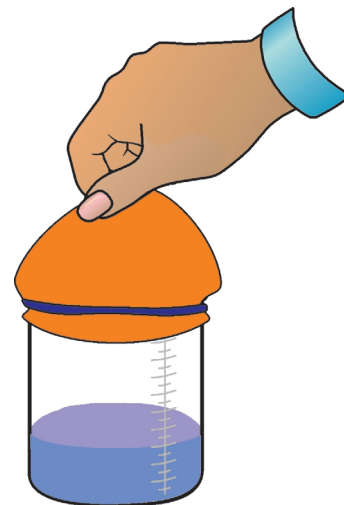


Figura 3: Efeito da pressão sobre a ocorrência de chuvas.

Efeito da temperatura

A temperatura é um fator importante na formação de chuvas. Regiões quentes e próximas ao mar são favorecidas pelas chuvas, porque a alta temperatura possibilita a evaporação da água e, além disso, o mar é uma fonte de partículas, principalmente NaCl. Essas partículas são originadas pelo movimento das ondas que se quebram e formam pequenas gotículas de água que são arrastadas pelo vento para a atmosfera. O resultado é a criação de uma condição favorável para formação de chuva. É possível simular o efeito da temperatura sobre a formação das nuvens e chuvas. Para isso, pegue dois frascos, semelhantes àqueles onde foram obtidos os melhores resultados nos experimentos anteriores, e coloque um deles em uma forma contendo água morna (Figura 4), mantendo o outro em temperatura

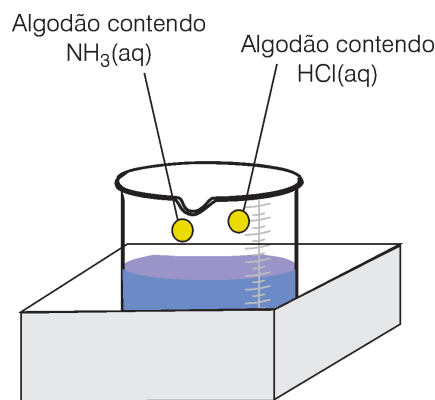


Figura 4: Efeito da temperatura sobre a ocorrência de chuvas.

ambiente, a fim de comparar os resultados. Após 2 min, abra rapidamente e introduza os palitos com algodão contendo o HCl e o $\text{NH}_3(\text{aq})$ concentrados. Após a formação das partículas, feche rapidamente o frasco e observe. Repita o procedimento com tempo de espera de cerca de 10 min.

Resultados e discussão

Efeito da superfície de evaporação

Apesar dos dois frascos terem a mesma quantidade de água, é possível uma melhor visualização das gotículas no frasco de diâmetro maior, pois este, por ter uma maior superfície, permite a evaporação de maior quantidade de água na atmosfera do vidro, o que favorece a formação das chuvas.

Efeito da pressão

Observa-se que é necessário inicialmente puxar a bexiga, para diminuir a pressão no interior do frasco, a fim de possibilitar uma evaporação mais rápida. Em seguida, um melhor resultado pode ser obtido quando a pressão é aumentada, ou seja, a bexiga é empurrada para dentro do frasco, pois, nesse caso, a condensação ocorrerá de forma mais eficiente.

Efeito da temperatura

Comparando os dois frascos, nota-se que o aumento da temperatura favorece a formação de gotas d'água, que correspondem às chuvas. Entretanto, isto só é possível em tempos de aquecimento inferiores a 5 minutos, pois a evaporação é mais completa. Em tempos de aquecimento maiores acontece o inverso, porque as condições não são adequadas à condensação do vapor d'água, já que a atmosfera também se aquece e isto dificulta a condensação do vapor d'água.

Conclusões

De acordo com experimentos realizados anteriormente, pôde-se observar que a visualização das gotículas de água na ausência de núcleos de con-

densação não ocorre de forma satisfatória. Melhores resultados são obtidos quando partículas higroscópicas estão presentes, pois estas são responsáveis pela formação das nuvens, visto que funcionam como núcleos de condensação de vapor d'água.

Esses conhecimentos adquiridos aqui são usados pelos "semeadores de chuva", que ganham dinheiro produzindo chuva em locais escolhidos. Utilizando aviões ou foguetes, eles lançam em nuvens saís finamente divididos, com o objetivo de fazer chover. É comum em grandes áreas poluídas observar a mudança no regime de chuvas. Uma possível explicação é que a poluição atmosférica é caracterizada pelo aumento de material particulado na atmosfera. O aumento do número de partículas na atmosfera pode aumentar ou diminuir o regime de chuvas. Nesse último caso, um aumento muito grande no número de partículas pode criar um número tão grande de gotículas que não será possível seu crescimento até que elas atinjam o tamanho suficiente para chover. Com base nisso, pode-se constatar que chover não tem relação com você marcar para ir à praia ou fazer piquenique. É apenas vapor d'água, partículas que atuam como núcleos de condensação, mudança de pressão e temperatura... e bom fim-de-semana!

Questões para discussão

- Comente a importância do material particulado na formação das chuvas e se é possível a ocorrência de precipitação sem a presença desses núcleos de condensação.
- Discuta como o aumento na emissão de gases para a atmosfera influencia na formação de partículas, que posteriormente podem resultar na precipitação úmida.
- Como uma cidade com poucas praças e muito concreto e asfalto afeta o ciclo hidrológico local? Quais as conseqüências?
- Todo ácido que vai para atmos-

fera passa a ser um vilão do meio ambiente?

Nota

1. Pela lei de vigência atual, HCl concentrado só pode ser comprado com autorização da Polícia Federal, especificando o porquê do uso do produto.

Erika Pereira Felix é doutoranda no Instituto de Química de Araraquara da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Unesp (IQA-UNESP). **Arnaldo Alves Cardoso** (acardoso@iq.unesp.br), bacharel e licenciado em Química, mestre e doutor em Química (Química Analítica) pela USP, é docente do Departamento de Química Analítica do IQA-UNESP.

Referências bibliográficas

- FELIX, E.P. e CARDOSO, A.A. Amônia (NH_3) atmosférica: Fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. *Química Nova*, v. 27, p. 123-130, 2004.
- GAFFNEY, J.S.; STREIT, G.E.; SPALL, W.D. e HALL, J.H. Beyond acid rain. *Environ. Sci. Technol.*, v. 21, p. 519-524, 1987.
- Investigando a Terra*. Trad. D. Celoria et al. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, ca. 1973. v.1, p. 206-207.
- LEHARNE, S. The chemistry of acid precipitation. *Education in Chemistry*, v. 24, n. 5, p. 141-144, 1987.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B. e TUNDISI, J.G. *Capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.
- TUNDISI, J.G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, ano 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

Para saber mais

- BRANCO, S.M. *Água: Origem, uso e preservação*. São Paulo: Editora Moderna, 2001.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H. e CARDOSO, A.A. *Introdução à Química Ambiental*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- Esses livros são interessantes pois apresentam uma série de informações sobre disponibilidade de água no mundo, bem como as transformações no ciclo hidrológico. Também é comentada a importância que o material particulado desempenha na formação das chuvas, o que está em concordância com os experimentos realizados neste trabalho.

Abstract: *Environmental Factors that Affect Wet Precipitation* – Water has a role of extreme importance for nature, since the existence of any life form is related to this fundamental resource. A large amount of water circulates between the atmosphere and the terrestrial crust, its most stable form being found in the oceans, lakes, rivers and other reservoirs. Part of this water when evaporated reaches the atmosphere and is condensed for the formation of rain. The condensation of water vapor occurs around solid particles suspended in air, since they have a great capacity for agglutinating water drops. The goal of this article is to show how such particles can be generated in the atmosphere and their role in the formation of rain. The influence of temperature, air pressure and evaporation surface on the formation of rain will also be shown.

Keywords: rain, condensation nucleus, ammonium chloride