

# Os senhores da chuva

Gás descoberto na atmosfera da Amazônia intensifica a precipitação, enquanto as queimadas a reduzem

CARLOS FIORAVANTI

**E**m dois artigos científicos publicados em edições sucessivas da revista *Science*, pesquisadores brasileiros, europeus, australianos e israelenses explicam fenômenos sobre o clima da Amazônia que intrigavam há muitos anos. O primeiro estudo, que saiu no dia 20 de fevereiro, mostra por que chove tanto na maior floresta tropical do mundo, que cobre pouco mais da metade do território brasileiro. Por meio de uma cadeia de reações químicas só agora identificada, um gás liberado em abundância pelas plantas, o isopreno, converte-se em outro, recém-descoberto na atmosfera, que se revelou um dos compostos-chave nos processos de formação das nuvens de chuva. O segundo trabalho, da sexta-feira seguinte, dia 27, revela por que o excesso de partículas inibe as chuvas na época de queimadas, entre agosto e novembro. As partículas resultantes da queima da floresta saturam o ar e levam à formação de nuvens mais altas que as formadas nos outros meses do ano, com gotas d'água bem menores, que, em vez de caírem na forma de chuva, permanecem em suspensão na atmosfera até evaporarem.

Para chover, não basta apenas a elevada concentração de umidade, que na atmosfera da Amazônia supera 90%, em contraste com regiões mais secas, como o Centro-Oeste, onde às vezes o vapor d'água disperso no ar não passa de 10% nos momentos mais críticos. Outro ingrediente indispensável são as partículas em suspensão no ar conhecidas como aerossóis, que atuam como núcleos de condensação de nuvens (NCN): atraem e condensam moléculas de água, crescendo até se tornarem pesadas o suficiente para caírem em forma de chuva. Mas havia um problema. Sempre que os pesquisadores do Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) – megaprojeto internacional de US\$ 80 milhões que reúne mais de 300 especialistas da América Latina, da Europa e dos Estados Unidos – quantificavam os núcleos de condensação, obtinham valores baixos, insuficientes para explicar por que a Amazônia é um dos lugares em que mais chove no mundo. A pluviosidade



da floresta varia de 2.500 milímetros por ano por metro quadrado em Manaus a 5 mil milímetros em São Gabriel Cachoeira, também no Estado do Amazonas. Para se ter uma idéia desse volume de água, na cidade de São Paulo caem de 1.500 a 1.800 milímetros de chuva por ano.

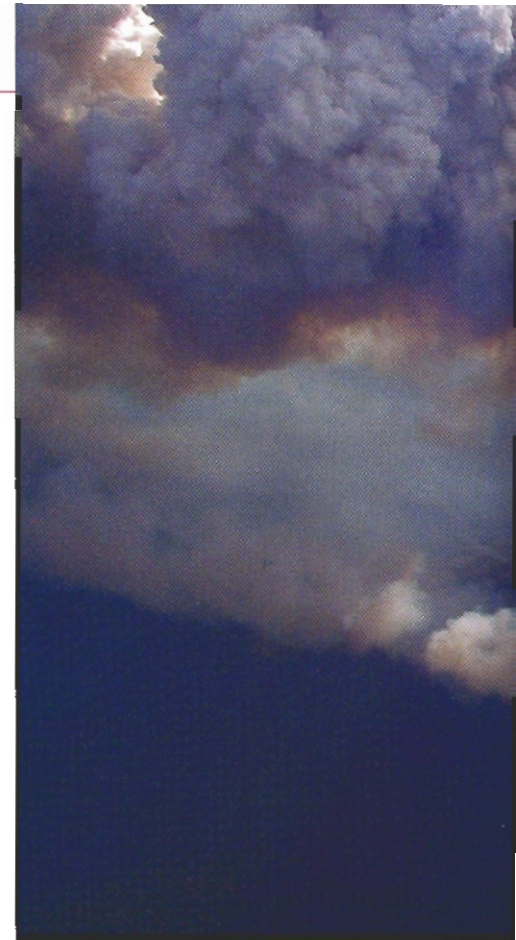
**A**s respostas começaram a aparecer com as análises das medições atmosféricas feitas em 1998 em uma das torres do LBA, a 70 quilômetros ao norte de Manaus. Foi quando os pesquisadores descobriram as transformações por que passa o isopreno, um gás já conhecido, produzido pelas plantas. Molécula simples, com cinco átomos de carbono e oito de hidrogênio, o isopreno sofre um conjunto de reações químicas sob a ação da luz solar – perde um átomo de hidrogênio e ganha quatro de oxigênio – e se converte em uma das duas formas estruturais de uma mesma substância, o 2-metiltreitol, até então desconhecida como composto atmosférico. Essa nova substância é agora vista como um dos principais formadores dos núcleos de condensação de nuvens por duas razões. Primeiro, por ser um álcool e, portanto, capaz de atrair moléculas de água. Segundo, por causa da quantidade em que é produzida. Embora apenas 0,6% do isopreno se converta nessa substância, não é pouco em termos absolutos. Estima-se que a Amazônia produza por ano cerca de 2 milhões de toneladas de 2-metiltreitol, o que torna esse novo composto um dos aerossóis de origem orgânica mais comuns produzidos pelas florestas tropicais no mundo.

“Ninguém imaginava que o isopreno, por ter uma massa molecular baixa, pudesse funcionar como precursor de um composto que, agora sabemos, é um dos componentes importantes dos núcleos de condensação de nuvens na Amazônia”, comenta Paulo Artaxo, pesquisador do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), que participou dos dois artigos da *Science*. Havia outra razão pela qual não se apostava nesse composto químico, produzido por todas as plantas em quantidades que variam de acordo com

cada espécie, e também industrialmente, como matéria-prima de alguns tipos de plástico. Até os pesquisadores conseguirem demonstrar as transformações do isopreno e sua importância sobre o ecossistema amazônico, acreditava-se que a tarefa de formar nuvens coubesse apenas a um composto orgânico comum nas florestas temperadas da Europa: o terpeno, uma molécula mais encorpada.

As florestas tropicais, mais quentes, úmidas e ensolaradas que as temperadas, funcionam de modo diferente, já que as populações de plantas são distintas. Segundo o físico da USP, em Balbina, a região do Amazonas em que as medidas foram feitas, de 40% a 60% das nuvens de chuva devem se formar a partir de uma forma ou de outra do 2-metiltreitol, enquanto o terpeno apresenta uma participação modesta, próxima a 20%. Nas matas de clima mais frio, o terpeno responde por algo em torno de 30% dos compostos orgânicos voláteis. Por fim, cerca de 10% das gotículas de nuvens nascem a partir de partículas orgânicas emitidas diretamente pela vegetação, como pólen, bactérias e fungos, igualmente capazes de atrair as moléculas de água.

**Medindo gotas** - Coordenado por Magda Claeys, esse primeiro estudo da edição da *Science*, que saiu na véspera do Carnaval, dia 20, alerta para as alterações climáticas causadas pela perda da floresta tropical, em decorrência de processos naturais ou da ação humana. Quanto menor a área de floresta, menor será a quantidade de vapor d'água e de isoprenos liberados pelas plantas. Portanto, haverá menos núcleos de con-



densação de nuvens e possivelmente menos chuva.

Mas a pluviosidade começa a diminuir já numa etapa anterior, como efeito das queimadas, que antecedem a formação de pastos e lavouras. “Descobrimos uma interação muito forte entre a fumaça das queimadas e as nuvens que está interferindo no ciclo hidrológico”, comenta Maria Assunção Silva-Dias, pesquisadora do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, diretora do Centro de Previsão de Tempo e Estu-

## OS PROJETOS

*Interações Físicas e Químicas entre a Biosfera e a Atmosfera da Amazônia no Experimento LBA*

**MODALIDADE**  
Projeto Temático

**COORDENADOR**  
PAULO EDUARDO ARTAXO  
NETTO – IF/USP

**INVESTIMENTO**  
R\$ 1.814.179,30  
(FAPESP)

*Mudanças de Uso da Terra na Amazônia: Implicações Climáticas e na Ciclagem de Carbono*

**MODALIDADE**  
Instituto do Milênio  
do Experimento LBA

**COORDENADOR**  
PAULO EDUARDO ARTAXO  
NETTO – IF/USP

**INVESTIMENTO**  
R\$ 4.200.000,00 (MCT)

*Interações entre Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia na Transição entre as Estações Seca e Chuvosa/LBA*

**MODALIDADE**  
Projeto Temático

**COORDENADORA**  
MARIA ASSUNÇÃO FAUS DA  
SILVA-DIAS – IAG/USP

**INVESTIMENTO**  
R\$ 1.538.922,32  
(FAPESP)





Queimadas: nuvens com gotículas d'água que evaporam em vez de cair na forma de chuva

Velho, no mesmo estado, passavam por Rio Branco e Cruzeiro do Sul, no Acre, e terminavam em Tabatinga, no Amazonas. À medida que seguiam de uma região de queimadas freqüentes para outras em que são mais raras, até aterrissarem em um ponto em que a floresta se mantém razoavelmente preservada, tornavam-se nítidas as diferenças na estrutura das nuvens. Em Ji-Paraná, predominavam as gotas pequenas e as nuvens altas, ao passo que em direção a Tabatinga as gotas grandes e as nuvens baixas é que se tornavam mais comuns.

**Menos chuva no Sul** - As medidas tomadas reiteram a estimativa de que as partículas resultantes das queimadas reduzem a quantidade de chuvas em até 30%, mas, segundo Assunção, ainda é preciso trabalhar um pouco mais para chegar a um valor mais exato: os aviões percorreram apenas as nuvens de chuva menores, evitando as maiores, que costumam incomodar os pilotos. "É possível que esse mesmo mecanismo possa também atrasar as chuvas, mas ainda não está demonstrado", diz ela. De todo modo, os contrastes já são nítidos: "Em Tabatinga chove todo dia, enquanto em Ji-Paraná chove menos do que choveria se não houvesse as emissões de queimadas", observa Artaxo. Já se sabia que as queimadas, por cobrirem o céu de fumaça, reduzem a temperatura da superfície em pelo menos 0,5° Celsius e a luminosidade em até 50% (veja Pesquisa FAPESP 86).

Os dados obtidos fortalecem a hipótese de que as queimadas na Amazônia possam ter um efeito muito mais abrangente e inibir as chuvas também em outras regiões da América do Sul, especialmente no Sul e Sudeste do Brasil, a pelo menos 2 mil quilômetros de onde são produzidas, já que as nuvens de fumaça são carregadas pelas correntes de ar nessa direção – outra parte vence as montanhas dos Andes e chega ao oceano Pacífico. A equipe do LBA já encontrou nos Andes e em São Paulo partículas de queimadas da Amazônia, mas ainda falta provar que elas chegam também a outras regiões e conseguem espantar a chuva. •

dos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e uma das autoras do segundo artigo da *Science*.

**Q**uando a floresta arde em chamas para dar espaço a pastos ou plantações, o céu muda de modo radical. Em feixes de fumaça, ganham o ar até 30 mil partículas por centímetro cúbico – uma concentração pelo menos mil vezes maior que em condições normais e cerca de cem vezes maior do que a verificada na cidade de São Paulo nos dias mais poluídos do inverno. Os pesquisadores do LBA, desta vez sob a coordenação de Meinrat Andreae, do Instituto Max Planck de Química, da Alemanha, demonstraram que a quantidade maior ou menor de partículas no ar faz toda a diferença no processo de formação das nuvens e das chuvas.

Um número reduzido de aerossóis, como acontece em condições naturais, sem a interferência humana, induz à formação de grandes gotas de chuva, com um diâmetro que varia de 30 a 50 micrômetros (1 micrômetro é a milésima parte do milímetro), que se aglomeram em nuvens baixas, com o topo distante

de 3 a 5 quilômetros do solo, e caem em poucas horas. Por outro lado, o excesso de partículas liberadas quando a floresta queima produz gotas d'água menores, de 10 a 20 micrômetros de diâmetro, que formam nuvens mais altas, de até 16 quilômetros de altura, e, por serem mais leves, evaporam em vez de ganharem peso e caírem na forma de chuva.

Os pesquisadores estabeleceram essas diferenças, já delineadas em termos mais gerais por meio de sensoriamento remoto, visitando as próprias nuvens, em cerca de 20 vôos em dois aviões Bandeirante, um paralelo ao outro, entre setembro e outubro de 2000. Em um deles estavam Andreae e Artaxo, coletando informações sobre as partículas que formam as nuvens. O outro avião, com pelo menos um pesquisador da Universidade Estadual do Ceará (Uece) – ora ia Alexandre Costa, ora João Carlos Parente de Oliveira – e, sempre, Daniel Rosenfeld, especialista da Universidade de Jerusalém, Israel, mergulhava nas nuvens com o propósito de analisar as gotas d'água que se formavam ali dentro. Do solo, Maria Assunção acompanhava as duas equipes, informando-as sobre o comportamento do clima.

Os vôos começavam em Ji-Paraná, em Rondônia, seguiam rumo a Porto

PAULO ARTAXO/USP