

CAPA


Um oceano nos ares

Radares e sobrevoos detalham os mecanismos de formação de chuva e o efeito da poluição urbana sobre o clima da Amazônia

TEXTO **Carlos Fioravanti**, de Manaus

FOTOS **Eduardo Cesar**





Aqui em Manaus e por esta vasta região Norte chove muito o ano todo, mas as chuvas são diferentes. No início do ano – fevereiro e março – chove quase todo dia, com poucos relâmpagos, e o aguaceiro lava a floresta e as cidades durante horas seguidas. Já no final do ano – de setembro a novembro – as tempestades são mais intensas, com muitos relâmpagos, acordando medos atávicos, e as chuvas são localizadas e mais breves. Para confirmar e detalhar os mecanismos de formação da chuva – diferente em cada região do país e mesmo dentro de uma mesma região – e o efeito da poluição de Manaus sobre o clima da Amazônia, um grupo de 100 pesquisadores do Brasil, dos Estados Unidos e da Alemanha começou a escrutinar o céu da região de Manaus com radares e aviões, por meio do programa Green OceanAmazon (GOAmazon). Lançado oficialmente no dia 18 de fevereiro em Manaus, o GOAmazon conta com orçamento de R\$ 24 milhões e apoio financeiro da FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam) e Departamento de Energia e Fundação Nacional de Ciência (NSF) dos Estados Unidos.

A expressão *green ocean* nasceu em 1999, na primeira grande campanha do programa Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). Sobrevoando a floresta de Ji-Paraná, em Rondônia, os pesquisadores – muitos deles integrantes deste novo programa – notaram que as nuvens não se comportavam como o esperado. Nessa região da Amazônia já próxima à Bolívia, imaginava-se que as nuvens tivessem até 20 quilômetros (km) de altura e apresentassem alta concentração de material particulado e de gotas pequenas de chuva, características das chamadas nuvens continentais. Em vez disso, elas tinham características

O mundo das águas:
nuvens escuras
cobrem o rio Negro e
Manaus no dia 18 de
fevereiro de 2014,
antecipando mais
uma chuva amazônica

Nuvens formadoras de chuva

Os três tipos principais ocorrem em todas as regiões estudadas, em diferentes proporções



NUVENS QUENTES – Mais poluição, menos chuva



Nas nuvens convectivas, o efeito da poluição pode ser oposto

- Gota líquida
- Cristal graupel
- Cristal colunar
- Cristal dendrito

QUENTE
Predomínio de gotas grandes em baixa concentração

ESTRATIFORME
Predomínio de gotas pequenas. A precipitação depende da concentração do gelo que derrete

CONVECTIVA
Mais profunda, com diversos tipos de gelo (graupel, colunar, dendrito-neve etc.)

As águas do céu do Brasil

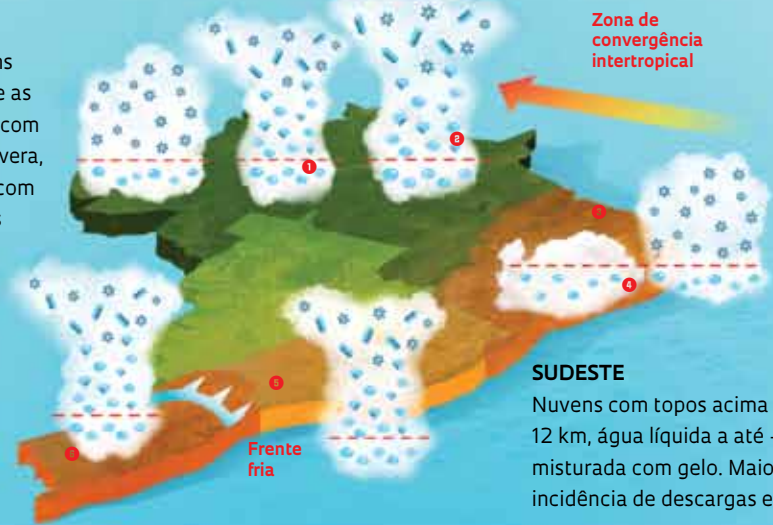
Composição, formato e altitude das nuvens variam por região

NORTE

No verão predominam nuvens estratiformes e convectivas e as chuvas são de longa duração, com poucos relâmpagos. Na primavera, tempestades mais intensas, com muitos relâmpagos, e chuvas localizadas e mais breves

SUL

Nuvens similares às do Sudeste, mas em grandes grupos e com mais granizo e organizadas de forma circular, com centenas de quilômetros de extensão



NORDESTE

Nuvens quentes, com topo abaixo da isoterma de 0°C, e convectivas e estratiformes com poucas descargas elétricas

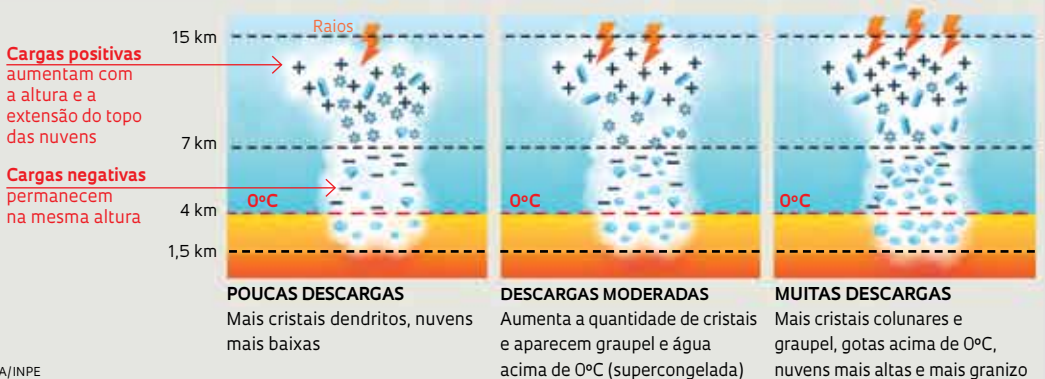
SUDESTE

Nuvens com topos acima de 12 km, água líquida a até -20°C misturada com gelo. Maior incidência de descargas elétricas

- Pontos de coleta de informações do Projeto Chuva**
- Manaus
 - Belém
 - Alcântara
 - Fortaleza
 - Vale do Paraíba
 - Santa Maria

A origem dos raios

As descargas elétricas são mais comuns em nuvens com uma diversidade maior de cristais de gelo e água supercongelada



FONTE LUIZ A. T. MACHADO/ PROJETO CHUVA/INPE

das nuvens oceânicas, com pouco material particulado, de formação mais rápida e topos relativamente baixos, como em áreas oceânicas – era um oceano, não azul, mas verde, por estar sobre a floresta. Antonio Manzi, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), que participou daquela e de outras expedições do LBA e agora integra o GOAmazon, lembra-se de que foi também em 1999 que verificaram que as chamadas nuvens quentes, que não formam cristais de gelo, eram as predominantes na região – um fato inesperado em áreas continentais.

O volume de chuva que cai sobre a bacia amazônica equivale a um oceano. Segundo Manzi, são em média 27 trilhões de toneladas de água por ano. Em termos mais concretos, a chuva, se se acumulasse em vez de escoar no solo, formaria uma lâmina d'água com uma espessura de 2,3 metros ao longo dos 6,1 milhões de quilômetros quadrados da bacia amazônica, que se espalha pelo Brasil e por vários países vizinhos. Luiz Augusto Machado, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), calculou o volume médio da água de chuva em todo o país: são 14 trilhões de toneladas por ano. Caso se acumulasse, essa água da chuva formaria uma camada de 1,7 metro de altura cobrindo todo o país. Machado é também o coordenador do Projeto Chuva, que integra o GOAmazon e fará agora em Manaus a última etapa de um levantamento sobre os tipos e distribuição de nuvens de chuva no Brasil.

Ainda não está claro como esse oceano aéreo se forma. “As nuvens podem ou não gerar chuva”, diz Gilberto Fisch, do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), de São José dos Campos, e pesquisador do Projeto Chuva. “Costuma-se dizer que, quando há vapor-d'água, a chuva se forma e cai, mas não é bem assim.” A maioria das gotículas que formam as nuvens, com dezenas de micrômetros de diâmetro, se dispersa na forma de vapor. Só uma minoria consegue ganhar volume e se transformar em gotas com diâmetro de 1 a 5 milímetros e cair, por ação da gravidade. Entender como as nuvens se formam e crescem e em quais a chuva efetivamente se forma é uma das metas da equipe do GOAmazon.

Em um dos locais de coleta de informações, no município de Manacapuru, 80 km a oeste de Manaus, 120 equipamentos estão funcionando dia e noite – alguns expostos, outros no interior de 15 contêineres – para levantar informações sobre o clima na região, com o reforço dos balões meteorológicos, soltados a cada seis horas. Sobre um dos contêineres está um radar com alcance de 100 km que examina o formato e a constituição de nuvens formadoras de chuva e, desde 2010, fez o mesmo serviço em outras cidades brasileiras. As informações apuradas sobre as nuvens serão confrontadas com as do satélite

Se a água de chuva se acumulasse, em um ano formaria uma camada de 1,7 metro cobrindo todo o país

GPM, que deve ser lançado em 27 de fevereiro do Japão e permanecer em uma órbita de 400 km de altura, enviando informações sobre as nuvens de chuva em quase todo o planeta. “O GPM vai passar duas vezes por dia sobre Manaus, complementando nossas informações”, diz Machado.

Um avião de pesquisa vindo dos Estados Unidos chegou a Manaus no dia 16 de fevereiro com a previsão de começar a voar nos dias seguintes para examinar diretamente os tipos de cristais de gelo do interior das nuvens e os teores de gás carbônico (CO₂) e material particulado. O avião norte-americano e outro da Alemanha devem sobrevoar a cidade e a floresta em setembro para medir as eventuais alterações do clima na estação seca.

Os experimentos, previstos para terminarem em dezembro de 2015, devem resultar em previsões meteorológicas de curto prazo (duas horas) e modelos computacionais de circulação atmosférica mais apurados. Em algumas regiões do país o monitoramento do volume de chuvas, dependente de satélites meteorológicos, ainda é muito impreciso, adiando as medidas de alerta que poderiam salvar vidas antes de as chuvas fortes chegarem.

UMA METRÓPOLE NA FLORESTA

Com forte base industrial, uma frota de 700 mil veículos e quase 2 milhões de habitantes, Manaus, capital do estado do Amazonas, é a maior metrópole tropical do mundo cercada por centenas de quilômetros de floresta. Como a pluma de poluentes produzida por essa megacidade no centro da Amazônia altera o ciclo de vida dos aerossóis e das nuvens em áreas de mata preservada e como esses elementos interagem na atmosfera e provocam mais ou menos chuvas na região?

Essas são as questões centrais que o experimento internacional GOAmazon tentará responder nos próximos anos. Um conjunto detalhado de medidas sobre aerossóis, gases traço (gás carbônico, metano e outros) e nuvens será realizado em seis diferentes sítios. Três se encontram a leste, antes de o vento passar por Manaus, e, portanto, sua atmosfera ainda não foi contaminada pela pluma de poluição da capital. Um quarto posto de medição será na própria metrópole e os dois últimos se situam em Iranduba e Manacapuru, a oeste, onde a atmosfera já carrega a influência dos poluentes emitidos em Manaus.

“Não há outra cidade com uma situação similar à da capital do Amazonas”, afirma Paulo Artaxo, coordenador de projeto temático ligado ao GOAmazon. “Sabemos que a poluição altera a precipitação, mas em que tipo de nuvem e em que circunstância?” Os estudos de Scott Martin, pesquisador da Universidade Harvard e integrante do GOAmazon, indicaram que o efeito dos aerossóis sobre o clima da Amazônia varia de acordo com a época do ano. Já se viu também que as nuvens que passam sobre a cidade recebem poluição e apresentam uma refletividade maior que as sem poluição. As nuvens da floresta têm uma carga de material particulado equivalente à da era pré-industrial.

Maria Assunção da Silva Dias, pesquisadora do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) que coordenou a campanha do LBA em 1999, vai modelar a influência da brisa fluvial originada pelos rios Negro, Solimões e Amazonas sobre o vento que carrega a pluma de poluentes da capital amazônica. A brisa sopra do rio para a terra durante o dia. À noite, ela inverte o sentido. “Em rios com margens largas, como o Negro, a brisa pode ser um fator capaz de alterar a direção e a intensidade dos ventos, modificando o regime de chuvas em áreas próximas”, diz Maria Assunção, que em 2004 realizou um estudo semelhante sobre a brisa do rio Tapajós, em Santarém, no Pará.

NEVE NO NORDESTE

Dispostos a entender melhor a formação de chuva pelo país e a evitar tragédias climáticas, a equipe do Inpe coletou nos últimos quatro anos dados em cinco pontos de amostragem: Alcântara, no Maranhão; Fortaleza, no Ceará; Belém, no Pará; São José dos Campos, em São Paulo; e Santa Maria, no Rio Grande do Sul. Um radar e outros equipamentos agora instalados em Manaus medem o tamanho das gotas nas nuvens e os tipos de cristais que as formam. As formas das gotas, a propósito, são bem diferentes: podem ser horizontais, elípticas ou oblongas, mas todas longe do formato abaulado com que normalmente se representam as gotas de chuva.

“Esse é o primeiro recenseamento da distribuição de gotas de chuvas e cristais de gelo no território nacional”, diz Machado. O que se notou, em linhas gerais, é que diferentes tipos de nuvens (mais altas ou mais baixas), com diferentes tipos de cristais de gelo (em forma de estrela, coluna ou cone), se formam e se desfazem continuamente em todas as regiões do país. Tam-

A diversidade de cristais de gelo e água líquida a -20°C explica a alta incidência de raios na região Sudeste



bém se viu que há particularidades regionais, que indicam processos distintos de formação de chuvas e fenômenos surpreendentes. As formas e os humores da chuva pelo país ao longo do ano são diversificados a ponto de lembrarem o poema *Caso pluvioso*, no qual o poeta Carlos Drummond de Andrade descobre que Maria é que chovia (ele não conta quem era Maria) e a chama de chuvadeira, chuvadonha, chuvinhenta, chivil e pluvimedonha. E em seguida: “Choveu tanto Maria em minha casa / que a correnteza forte criou asa / e um rio se formou, ou mar, não sei, / sei apenas que nele me afundei”.

A realidade também exibiu um pouco de poesia. “Detectamos neve nas nuvens mais altas sobre a cidade de Fortaleza”, diz Machado. Para decepção dos moradores locais, porém, a neve derrete e cai como chuva comum. No Nordeste predominam as nuvens quentes, assim chamadas porque o topo está abaixo do limite de temperatura de 0°C e, por essa razão, nelas não se formam cristais de gelo, como nas regiões mais altas dos outros tipos de nuvens. Por não abrigarem gelo, essas nuvens passam despercebidas pelos satélites meteorológicos e pelos equipamentos de micro-ondas usados para prever a formação de chuvas, resultando em medições imprecisas. As medições de nuvens quentes feitas por radar em Alcântara indicaram que os valores de volume de água, comparados com as medições feitas por satélite, estavam subestimados em mais de 50%, como descrito por Carlos Morales, pesquisador da USP que integra o Projeto Chuva.



Varrendo o céu:
o radar de nuvem
(esquerda) e o de
chuva, instalados
em Manacapuru, a
80 km de Manaus

O limite – ou isoterma – de 0°C separa cristais de gelo (acima) e água líquida (abaixo): é uma espécie de porta invisível da chuva, onde o gelo derrete e forma água. Não é lá muito rigorosa, porque no Sudeste, por causa das fortes correntes ascendentes, a água permanece líquida a temperaturas de até 20 graus negativos, acima da camada de derretimento do gelo. “A combinação entre água e gelo em altitudes mais elevadas é a principal razão da maior incidência das descargas elétricas na região Sudeste”, diz Machado.

Por meio do radar, pode-se examinar a proporção de água e de gelo no interior das nuvens, desse modo obtendo informações que escapam dos satélites usados na previsão do tempo. “Os satélites não detectam as gotas grandes de água e de baixa concentração que vêm do Atlântico e formam as nuvens das regiões Nordeste e Sudeste”, Machado exemplifica. No Nordeste as nuvens, que se concentram na zona costeira, são alimentadas pelas massas de ar vindas de regiões próximas ao equador, que se movem do oceano para o continente. Já no Sul e no Sudeste as chuvas se devem principalmente às massas de ar frio (frentes frias) que vêm da Argentina. Os especialistas dizem que os satélites também não detectam fenômenos que não escapariam ao radar, como a transformação de um vento quente que veio do oceano, esfriou rapidamente ao encontrar as regiões mais frias do alto das serras no Sul do Brasil e desabou como uma chuva impiedosa sobre Blumenau e toda a região leste de Santa Catarina em 2008.

O radar de dupla polarização, em conjunto com outros instrumentos, envia ondas horizontais e verticais que, por reflexão, indicam o formato dos cristais de gelo e das gotas de chuva, desse modo elucidando a composição das nuvens e os mecanismos de formação e intensificação das descargas elétricas (raios) durante as tempestades. Os pesquisadores verificaram que as nuvens com muitos raios são mais altas e abrigam uma diversidade maior de cristais de gelo e mais granizo (pedras de gelo) do que aquelas que produzem menos raios. Além disso, de acordo com esse levantamento, as cargas elétricas negativas permanecem na mesma altura, logo acima do limite de 0°C, e as positivas podem ficar mais altas, acompanhando o topo das nuvens e o aumento da intensidade da descarga elétrica (*ver detalhes no infográfico*).

“Quem não quer saber onde vai chover antes de sair de casa?”, indaga Machado. Os especialistas acreditam que os dados coletados, combinados com a modelagem computacional já utilizada para a previsão do clima, podem criar uma base sólida de conhecimento teórico e aplicado sobre a chuva continental. Em uma das ramificações do Projeto Chuva – o SOS, Sistema de Observação de Tempo Severo –, o grupo do Inpe trabalhou com equipes da Defesa Civil e de universidades em cada uma das cidades em que se instalaram com os equipamentos para prever a chegada de chuvas com duas horas de antecedência e uma resolução espacial que define possíveis pontos de alagamentos nos bairros, complementando as previsões fornecidas por supercomputadores como o Tupã, instalado no Inpe. Com base nessas experiências, Machado acredita que o radar, acoplado a um sistema de informação geográfica (SIG) e às tecnologias já em uso de previsão de chuva em alta resolução, da ordem de centenas de metros, viabiliza a previsão imediata de tempestades e desastres climáticos, para que o morador de um bairro possa saber, antes de sair de casa, se está chovendo no bairro vizinho, para onde está indo. “Para isso”, ele diz, “precisamos conhecer o tamanho das gotas de chuva e dos fenômenos que se passam no interior das nuvens, como já estamos fazendo”. Eles continuam trabalhando, enquanto agora, como na canção de Tom Jobim, chegam as águas de março, fechando o verão. ■

Com colaboração de Marcos Pivetta

Projetos

1. Processos de nuvens associados aos principais sistemas precipitantes no Brasil: uma contribuição a a modelagem da escala de nuvens e ao GPM (medida global de precipitação) (nº 2009/15235-8); **Modalidade** Projeto Temático; **Pesquisador responsável** Luiz Augusto Toledo Machado – Inpe; **Investimento** R\$ 2.188.914,06 (FAPESP).
2. GoAmazon: interação da pluma urbana de Manaus com emissões biogênicas da floresta amazônica (nº2013/05014-0); **Modalidade** Projeto Temático; **Pesquisador responsável** Paulo Eduardo Artaxo Netto – IF-USP; **Investimento** R\$ 3.236.501,79 (FAPESP).