

Vida no nevoeiro

Equipe internacional identifica pela primeira vez bactérias e fungos vivos em gotículas de neblina amazônica

IGOR ZOLNERKEVIC

Um estudo envolvendo 36 biólogos, engenheiros ambientais, físicos, meteorologistas e químicos de instituições do Brasil e de seis outros países demonstrou pela primeira vez que o nevoeiro que recobre ocasionalmente a floresta amazônica abriga microrganismos vivos. Os pesquisadores identificaram em gotículas suspensas no ar, a mais de 40 metros (m) de altura, espécies como a bactéria *Serratia marcescens* e o fungo *Aspergillus niger*, normalmente encontradas no solo da floresta, onde decompõem madeira e folhas mortas, fornecendo nutrientes para a próxima geração de plantas. “Os nevoeiros transportam esses microrganismos, ajudando-os a colonizar novas áreas da floresta”, afirma o químico Ricardo Godoi, do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e líder da pesquisa.

É bem conhecida a presença de microrganismos vivendo em gotículas das nuvens, em grãos de poeira e outras partículas microscópicas suspensas no ar, conhecidas como aerossóis, inclusive na Amazônia. Quase nada, porém, sabe-se

sobre a vida microbiana em nevoeiros. Um estudo pioneiro publicado em 2019 na revista *Science of the Total Environment*, liderado pela bióloga norte-americana Sarah Evans, da Universidade Estadual de Michigan, nos Estados Unidos, mostrou que a diversidade de micróbios no ar aumenta durante eventos de neblina costeira na Namíbia (África), em comparação com períodos sem neblina. Já o novo estudo na Amazônia, publicado em fevereiro na revista *Communications Earth and Environment*, é o primeiro a confirmar que células vivas, aptas à reprodução, viajam em nevoeiros. De acordo com Godoi, as gotículas funcionam como abrigo contra a radiação ultravioleta do Sol e a desidratação. “A neblina é um habitat microbiológico”, conclui.

O interesse de Godoi pelos nevoeiros começou cerca de 10 anos atrás, quando sua então aluna de doutorado, a engenheira ambiental Cybelli Barbosa, coletou aerossóis no topo do Observatório de Torre Alta da Amazônia (Atto), uma estrutura de 325 m de altura instalada na reserva de floresta virgem de Uatumã, mantida pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), a 156 quilômetros a nordeste de



Manaus, e os institutos Max Planck de Química e de Biogeoquímica, da Alemanha. Entre os aerossóis, ela encontrou pólen, esporos de fungos e outras partículas de material biológico vindas do chão da floresta, como descreveu em artigo publicado em 2022 na revista *NPJ Climate and Atmospheric Science*. O resultado parecia impossível. Como essas partículas relativamente grandes teriam subido tão alto? “Aquilo me tirava o sono”, lembra Godoi.

Foi quando o próprio pesquisador subiu na torre do Atto e testemunhou uma neblina cobrindo a floresta até o horizonte. Impressionado, consultou colegas meteorologistas. Os nevoeiros costumam se formar à noite, quando o ar úmido da floresta esfria, condensando vapor-d’água em gotículas. Com o nascer do sol, o aquecimento do solo cria correntes de ar ascendentes que elevam o nevoeiro acima da copa das árvores, onde a evaporação e os ventos terminam de dissipá-lo.

Alguns anos depois, Godoi iniciou um projeto com outra aluna de mestrado, a engenheira ambiental Bruna Sebben, para descobrir se o nevoeiro poderia funcionar como uma espécie de elevador para partículas e microrganismos. Entre

2021 e 2023, ela realizou quatro campanhas de coleta de nevoeiro no Atto, cada uma ao longo de cerca de 45 dias. No escuro da madrugada, acompanhada de algum colega, ela caminhava de lanterna na mão por uma estrada (veículos a combustão são proibidos próximo ao experimento, para não interferir nas medidas atmosféricas), vestia os equipamentos de segurança e subia os degraus escorregadios da torre até 42 m de altura, pouco abaixo da copa das árvores. Ali permanecia das 3h às 7h, monitorando um equipamento cedido pelo meteorologista Fábio Gonçalves, da Universidade de São Paulo (USP), que suga as gotículas e as armazena em uma garrafa. Assim ela conseguiu registrar 13 eventos de nevoeiro, ao longo das estações seca e chuvosa da Amazônia.

A água de nevoeiro foi inicialmente analisada na UFPR, por meio de uma técnica chamada citometria de fluxo, que usa um feixe laser para contabilizar células: desde cerca de 3,5 mil até 80 mil células por mililitro de água. “A concentração poderia ter sido zero, pois não fazíamos ideia do que encontrar”, lembra Godoi. “Foi um momento de eureka.”

Os nevoeiros na Amazônia costumam formar-se ao anoitecer e estender-se a perder de vista



1

Usando corantes especiais que reagem com as células quando iluminadas por laser, a citometria revelou que muitas células apresentavam mitocôndrias ativas e DNA intacto. As amostras foram então enviadas ao Instituto Adolfo Lutz, em São Paulo, onde a bióloga Dulcilena Castro e Silva e o biomédico Valter Duo Filho isolaram e cultivaram as células, revelando oito espécies de bactérias e sete de fungos. Tanto a quantidade de células quanto a diversidade de espécies variaram, sem relação aparente com a estação (seca ou chuvosa). “Ainda é cedo para estabelecer conclusões sobre frequência ou distribuição das espécies”, afirma Castro, que já estudou fungos atmosféricos em florestas e cidades.

Além desses resultados, a equipe internacional também colaborou para entender as implicações da descoberta para o ecossistema da floresta. Os pesquisadores sugerem que o transporte por nevoeiro poderia explicar por que bactérias e fungos decompositores estão tão bem espalhados pela mata, reciclando nutrientes em toda parte. Por outro lado, eles preveem que o aumento de temperatura e a redução de umidade provocados por queimadas, desmatamento e mudanças climáticas devem reduzir drasticamente a geração de nevoeiros, diminuindo assim a capacidade da floresta de se regenerar.

“O artigo traz insights ótimos e a hipótese faz todo o sentido”, considera o ecólogo Bruno Rosado, do Departamento de Ecologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que não participou da pesquisa. “Ainda assim, a presença de microrganismos na neblina talvez não faça diferença na decomposição. Se eles já estiverem presentes em abundância na matéria orgânica em primeiro lugar, o efeito da neblina será apenas uma maior disponibilidade de água e não o enriquecimento da microbiota.”



2

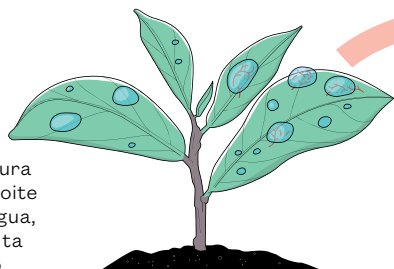
Para verificar o papel dos microrganismos da neblina na decomposição orgânica, Rosado propõe um experimento comparando a presença de espécies microbianas associadas à decomposição em quatro situações diferentes na floresta: sem neblina, com neblina natural, com neblina filtrada sem microrganismos e com neblina filtrada inoculada com microrganismos. Ele lembra que as plantas variam na capacidade de repelir água. “Folhas e tecidos de espécies diferentes podem apresentar ‘molhabilidades’ diferentes, de modo que os efeitos da neblina e de seus microrganismos não são os mesmos”, explica.

Muito acima do dossel da floresta, a torre de 325 m de altura permite estudar condições atmosféricas

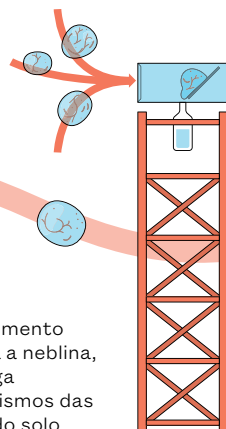
Carona pelo ar

Protegidos pela umidade, bactérias e fungos percorrem distâncias na Amazônia

1 A temperatura mais fria da noite condensa a água, que se deposita como orvalho

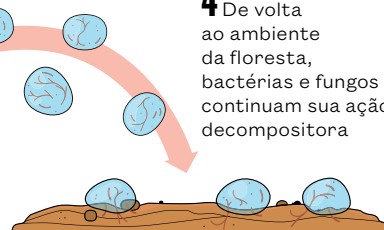


2 O aquecimento solar eleva a neblina, que carrega microrganismos das plantas e do solo



3 Protegida para não aquecer ou ressecar, a microbiota pode se distribuir por uma área ampla

4 De volta ao ambiente da floresta, bactérias e fungos continuam sua ação decompositora



FONTE RICARDO GODOI / UFPR



3

Os novos resultados se somam a trabalhos anteriores do grupo de Godoi, que já sugeriam a importância dos microrganismos atmosféricos para a Amazônia. Em 2021, uma análise metagenômica do DNA obtido de aerossóis coletados no Atto revelou uma abundância de bactérias dos gêneros *Beijerinckiaceae* e *Azospirillum*, de acordo com artigo liderado pelo biólogo Luciano Huergo, da UFPR, e publicado na revista *Science of the Total Environment*. Elas são capazes de transformar nitrogênio atmosférico em amônio, que funciona como fertilizante para as plantas. Em outro artigo, publicado em 2017 na revista *Atmospheric Chemistry and Physics*, a bióloga Joana Rizzolo, então estudante de doutorado de Godoi, coletou grãos de poeira vindos do deserto do Saara. A surpresa foi encontrar, nesses grãos que viajaram do norte da África à Amazônia de carona com os ventos Alísios, microrganismos que convertem ferro e fósforo minerais em compostos químicos capazes de serem absorvidos pelas plantas.

Godoi avalia o estudo recém-publicado como um passo importante em uma área de pesquisa ainda pouco explorada. Com a hipótese de que o nevoeiro deve abrigar muito mais espécies do que as já identificadas, a equipe pretende realizar um estudo de metagenômica, sequenciando todo o DNA encontrado na água coletada do nevoeiro. Planejam também usar a linha de radiação infravermelha Imbuia e a linha de raios X Carnaúba, do acelerador de luz síncrotron Sirius, em Campinas, para analisar as propriedades das partículas de aerossóis presentes entre as gotículas de nevoeiro. Os pesquisadores suspeitam que essas partículas contêm sódio e potássio ligados à matéria orgânica, que serviriam como núcleos de condensação de nuvens na atmosfera da região. ●



4

Instrumento (acima) coleta neblina de onde microrganismos, como fungos filamentosos, podem ser isolados e cultivados (à esq.)

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.