

CAPA

OS MISTÉRIOS DAS **ÁRVORES**



## No Amapá, a floresta atinge uma estatura ainda inexplicada e inesperada para uma zona neotropical

Maria Guimarães (TEXTO) e Léo Ramos Chaves (FOTOS), DO AMAPÁ | Alexandre Affonso (INFOGRÁFICOS)

**É** difícil andar mais de 15 minutos pela floresta amazônica amapaense, na região do Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (PNMT), sem deparar com uma espécie de paredão avermelhado revestido de escamas que se estende para cima a perder de vista entre as copas das outras árvores, atingindo alturas entre 60 e 80 metros (m) – como se fosse um prédio de 18 andares. É o angelim-vermelho (*Dinizia excelsa*), a mais imensa entre as grandes árvores que existem por lá. Há outras que se agigantam, mas raramente atingem estaturas acima de 60 m: piquiá (*Caryocar villosum*), maçaranduba (*Manilkara huberi*) e tauari (*Couratari guyanensis*), por exemplo.

É surpreendente porque até cerca de uma década atrás árvores com essa estatura não eram consideradas existentes nos trópicos. As mais altas conhecidas no mundo – chegando a 115 m – são as sequoias-vermelhas (*Sequoia sempervirens*) da Califórnia, nos Estados Unidos. A partir do entendimento que foi sendo construído sobre esses colossos vegetais documentados há tempos, surgiu um paradigma: só algumas regiões temperadas de clima mediterrâneo, onde não faz muito calor nem há uma estação seca muito marcada, poderiam abrigar árvores tão altas.

As californianas – como grandes árvores na Austrália e no Chile – vivem em condições muito especiais, perto do mar, onde as oscilações

de temperatura são menores e o frescor sobre a massa d'água ajuda a formar uma neblina crítica para evitar estresse hídrico na estação seca. “Essas árvores conseguem se hidratar pelas folhas e ramos, e não dependem tanto das raízes”, explica o biólogo Rafael Oliveira, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). “Isso favorece o crescimento em altura.” A temperatura também é importante porque o calor induz a uma respiração mais alta, que leva à perda de carbono e impõe restrições ao crescimento.

“O que temos é um desconhecimento da existência das árvores gigantes nos neotrópicos por muito tempo, até que por volta dos anos 2000 elas foram encontradas em Bornéu, na Malásia, e há poucos anos na Amazônia”, conta. O enigma é que as condições amazônicas são muito diferentes daquelas registradas nas regiões temperadas. “O fato de sabermos que lá existem árvores gigantes traz um elemento novo para o quebra-cabeça.”

A reportagem de *Pesquisa FAPESP* acompanhou no final de outubro uma expedição ao Amapá, dirigida pelo biólogo Paulo Bittencourt, pesquisador na Universidade de Exeter, no Reino Unido. O objetivo do trabalho é estabelecer as bases de uma pesquisa de longo prazo, com monitoramento mensal em parcelas permanentes cobrindo uma área entre 30 e 50 hectares (ha). Também está nos planos instalar uma estação meteorológica básica para medir temperatura, umidade e pressão do ar, precipitação, direção e

O tronco de um angelim-vermelho parece um muro na floresta

# GIGANTES DA AMAZÔNIA



Navegar pelo rio Amapari requer a perícia dos proeiros (abaixo) para superar as corredeiras

velocidade do vento e luminosidade, assim como equipamentos que monitorem a umidade do solo e aspectos da fisiologia e do crescimento das árvores. “Só acompanhando ano após ano é possível saber se elas crescem depressa”, exemplifica o biólogo.

Ele integra um projeto liderado pela ecóloga britânica Lucy Rowland, que se dedica a entender as reações fisiológicas da floresta amazônica às mudanças climáticas. Além dos dois pesquisadores, a equipe teve o apoio técnico da bióloga Danielle Ramos, também da Universidade de Exeter, e recorreu ao conhecimento dos guias locais, do engenheiro florestal Christoph Jaster, diretor do PNMT há 20 anos, e de um drone que decolava das poucas clareiras para elevar-se acima do dossel e localizar as copas mais altas.

Como gestor, Jaster se preocupa em chamar a atenção pública para a floresta única de que se orgulha. “O Parque Nacional do Itatiaia tem o pico das Agulhas Negras, o Parque Nacional da Tijuca tem o Corcovado, o Parque Nacional do Iguaçu tem as cataratas – eu procurava um marco”, conta. Só por volta de 2016, no contexto de um monitoramento de biodiversidade que se iniciou em 2014, a botânica Rafaela Forzza, à época no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), ressaltou a excepcionalidade da estatura das árvores do Tumucumaque. “Passei a andar sempre com o aparelho para medir as árvores e continuo procurando a mais alta”, diz ele, e revela o sonho: encontrar uma próxima aos 90 m.



“As imagens captadas pelo drone, que revelam copas muito destacadas no horizonte, poderão possibilitar achados importantes.”

“O que vemos em Tumucumaque é o dobro da estatura característica do resto da Amazônia, onde o dossel da floresta está a cerca de 20 m de altura e as árvores muito altas chegam a 40 m”, explica Bittencourt. Um dos objetivos da expedição foi verificar se as gigantes que ele e Oliveira avistaram em rápida viagem ao PNMT em 2019, quando instalaram equipamentos de monitoramento fisiológico em uma árvore, são exceção.

Não são. Perto da base do parque, a equipe encontrou várias delas em uma tarde de caminhada. Em certo ponto, 15 angelins-vermelhos muito próximos uns dos outros pareciam alcançar o céu depois de atravessar o dossel da floresta, que começa entre 30 e 40 m do chão. Em outro dia, a equipe explorou uma área 20 quilômetros (km) acima e ao longo do rio Amapari, por indicação de Jaster, e encontrou a mesma escala (ver infográfico na página 27). “Não faz sentido, elas são desproporcionais”, repetia Bittencourt, procurando enxergar através do teto formado pelas copas. Em quatro dias de trabalho, o grupo registrou mais de 80 árvores desproporcionais, a maioria (56) angelins-vermelhos.

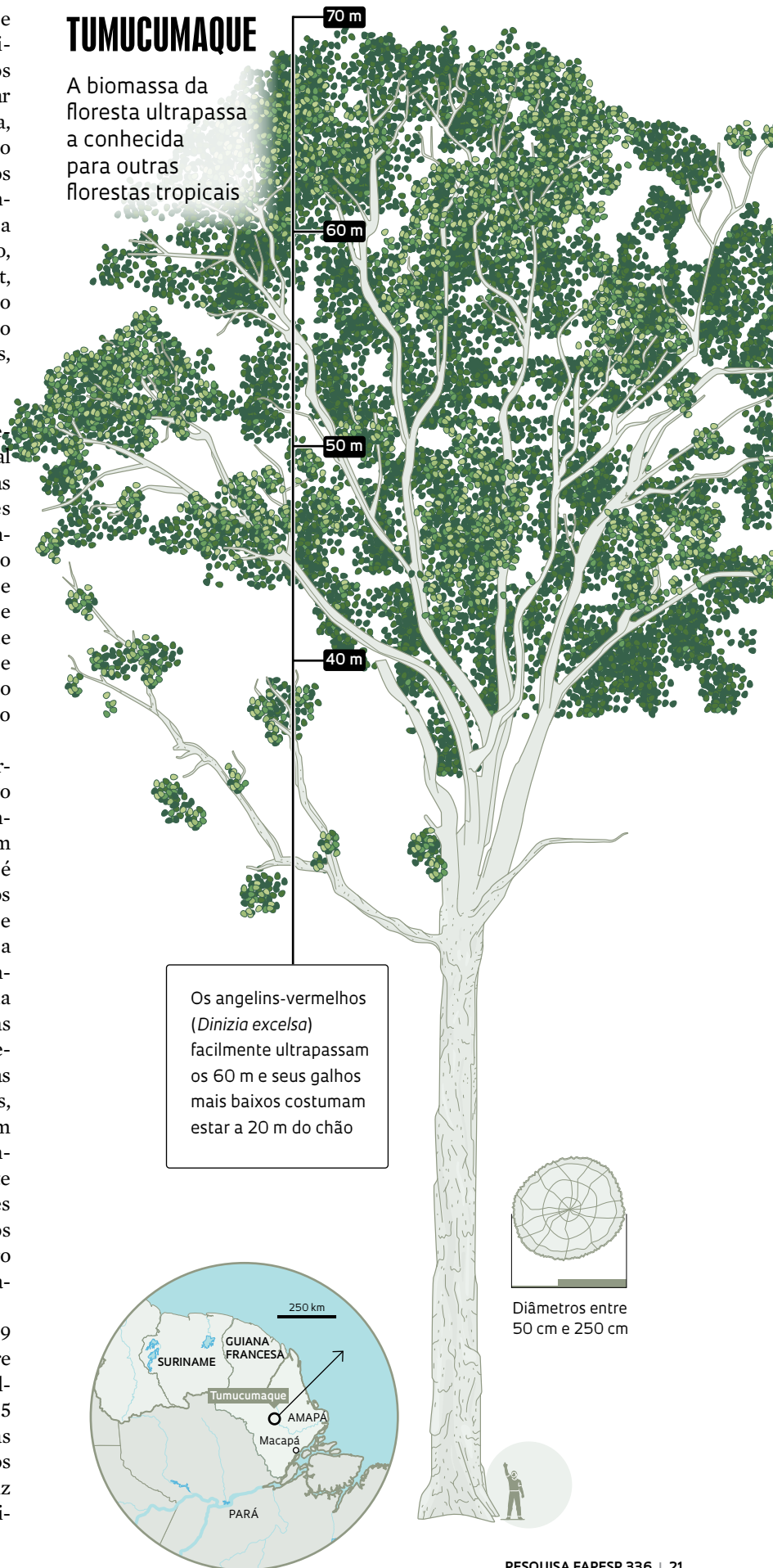
**M**ais marcante ainda é a discrepância de biomassa – o peso total das árvores – em relação a outras florestas. Enquanto as árvores estudadas pelo projeto AmazonFACE, próximo a Manaus, não costumam passar dos 30 m de altura e 70 centímetros (cm) de diâmetro, as de Tumucumaque com frequência ultrapassam os 70 metros de altura e chegam a 2,5 m de diâmetro. Um galho caído dessas árvores é facilmente confundido com uma enorme árvore tombada.

Na Reserva Florestal Kabili-Sepilok, em Borneu – onde Bittencourt participa de outro projeto de pesquisa –, as árvores gigantes são equivalentes às do PNMT em estatura, mas não passam de 1,5 m de diâmetro. Sua madeira também é menos densa em relação às amazônicas. “Temos no Amapá, potencialmente, a maior densidade de biomassa dos trópicos”, estima Bittencourt a partir de dados ainda preliminares. Entre as condições por trás do gigantismo parece estar uma certa estabilidade climática, com temperaturas médias entre 23 graus Celsius (°C) e 26 °C e precipitação acima de 2.300 milímetros (mm). Áreas com menor incidência de ventos fortes e raios, que causam danos às árvores, também parecem ser mais propícias. “Nossa região, especialmente o vale do Jari, tem um relevo moderadamente elevado e as áreas com a ocorrência de árvores gigantes geralmente estão protegidas de ventos fortes por grandes colinas”, explica o engenheiro florestal Robson Borges de Lima, da Universidade do Estado do Amapá (Ueap).

Ele já participou de seis expedições desde 2019 ao longo do rio Jari, que delimita a fronteira entre o Amapá e o Pará, registrando as árvores mais altas. A recordista, um angelim-vermelho com 88,5 m, está no Pará. “Subimos o rio por cinco dias até o acampamento final, de onde percorremos 20 km para dentro da floresta”, conta. Lima faz parte de um projeto coordenado pelos engenhei-

## TUMUCUMAQUE

A biomassa da floresta ultrapassa a conhecida para outras florestas tropicais





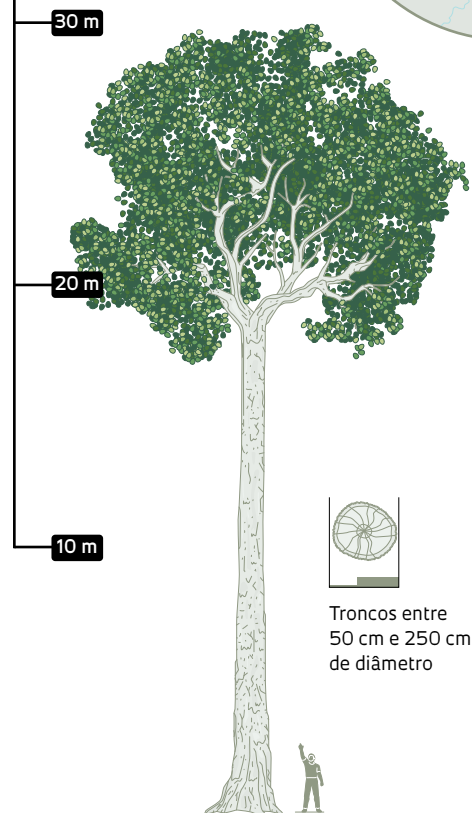
O diâmetro dos angelins-vermelhos precisa ser medido acima das saliências que contribuem para a sustentação



## AMAZONFACE

A floresta perto de Manaus é a mais estudada, por abrigar projetos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa)

Nessa região central da Amazônia, os angelins-vermelhos não passam dos 40 m de altura



ros florestais Diego Armando Silva, do Instituto Federal do Amapá (Ifap), e Eric Gorgens, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Minas Gerais, com foco nos fatores ecológicos que favorecem a existência de árvores gigantes.

**O** grupo tinha identificado a árvore recordista, rodeada por outras sete companheiras mais altas que 80 m, por meio de sobrevoos de avião equipado com a tecnologia óptica Lidar (detecção de luz e medida de distância) em quase 900 áreas, cada uma com 375 ha, de acordo com artigo publicado em 2019 na revista científica *Frontiers in Ecology and the Environment*, de que Gorgens é o primeiro autor. Ela está a 360 km do oceano Atlântico, longe da influência marítima que possibilitaria sua existência segundo o paradigma das árvores de clima temperado. O trabalho é um desdobramento do mapa da biomassa arbórea da Amazônia que resultou de 901 sobrevoos de aviões equipados com Lidar, publicado em setembro na revista *Scientific Data* pelo agrônomo Jean Ometto, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em parceria com Gorgens e outros, e destinado a ser uma referência para pesquisadores (ver infográfico na página 24).

Em parceria com dezenas de pesquisadores de várias instituições brasileiras – e algumas estrangeiras –, Lima analisou dados de mais de 100 mil árvores jovens, com diâmetro maior que 10 cm, e adultas, mais largas que 70 cm, em 65 áreas da Amazônia. Conforme dados publicados em setembro na revista *Global Change Biology*, a porção oeste da floresta abriga uma diversidade maior de espécies de árvores, mas o escudo das

Guianas (formação geológica no norte da Amazônia, incluindo o Amapá) se destaca no que diz respeito à variedade de árvores grandes.

Colhidos em solo, os dados de Lidar podem contribuir para desvendar a arquitetura das árvores e perceber como elas reagem a alterações ambientais. “A técnica está revolucionando as possibilidades de medir o peso, a estrutura e o conteúdo de carbono das árvores”, afirma o engenheiro florestal brasileiro Matheus Nunes, da Universidade de Maryland, nos Estados Unidos. Entender a arquitetura das árvores gigantes seria fundamental para ajudar a explicar seu tamanho, defende ele, que é coautor do artigo que identificou a recordista paraense. “Podemos medir a distância entre a base do tronco e as pontas dos galhos, estimando a distância que a água e os nutrientes percorrem; talvez as árvores mais altas precisem ter galhos relativamente curtos para reduzir essa distância”, especula.

Não é um palpite no vazio: outras experiências lhe dão base para formular hipóteses. Em artigo publicado em dezembro na revista *Nature Communications*, por exemplo, Nunes mostra o que acontece com a arquitetura das árvores em uma situação de desmatamento. Ele usou Lidar em solo nas parcelas permanentes do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF), mantido há 40 anos, próximo a Manaus, pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa). “Comparei as árvores mais altas nas bordas dos trechos de floresta, que já estavam lá e sobreviveram à fragmentação, com semelhantes no interior das parcelas”, explica.

Nunes viu que, na borda, as árvores que sobreviveram se tornaram mais simétricas – desse modo, mais resistentes ao vento – e com caminhos menores a serem percorridos por dentro dos ramos. “São provavelmente mecanismos de aclimação que reduzem o risco de embolismo”, interpreta. Ele se refere à entrada de ar nos vasos condutores que seguem por dentro do tronco, causada por estresse hídrico e que impede o transporte de água, e imagina que algo parecido aconteça com as árvores que sobressaem acima do dossel da floresta.

Mesmo assim, cerca de 10% das árvores sobreviventes na borda têm uma estatura muito menor do que seria esperado para o diâmetro do tronco, indicando que talvez tenham sido quebradas por ação do vento. “Isso leva à redução de seu volume em um terço”, calcula. Embora algumas árvores cresçam mais, cerca de 3 toneladas de carbono por ha voltaram à atmosfera em consequência da redução nas árvores, um efeito equivalente ao causado por secas extremas. “É a primeira vez que se mostra a conexão entre fragmentação, arquitetura das árvores e estoque de carbono.”

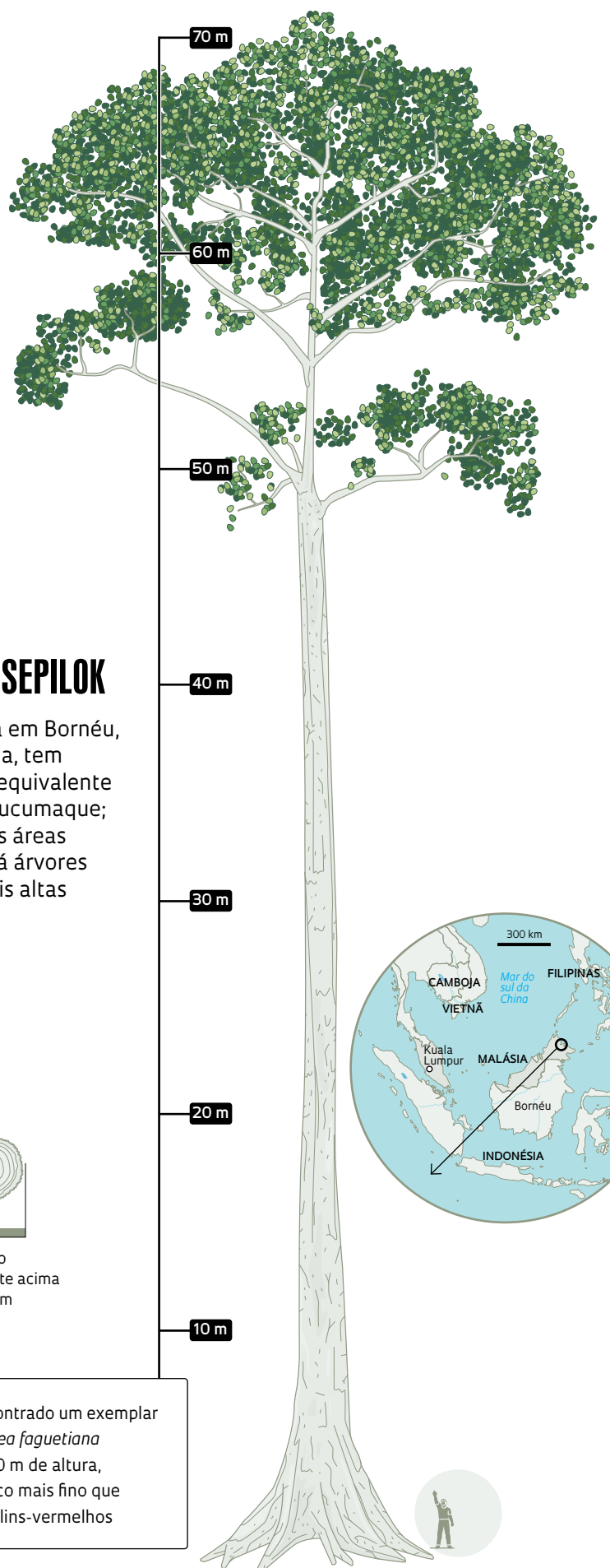
## KABILI-SEPILOK

A floresta em Bornéu, na Malásia, tem estatura equivalente à de Tumucumaque; em outras áreas do país há árvores ainda mais altas



Diâmetro raramente acima de 150 cm

Foi encontrado um exemplar de *Shorea faguetiana* com 100 m de altura, de tronco mais fino que os angelins-vermelhos

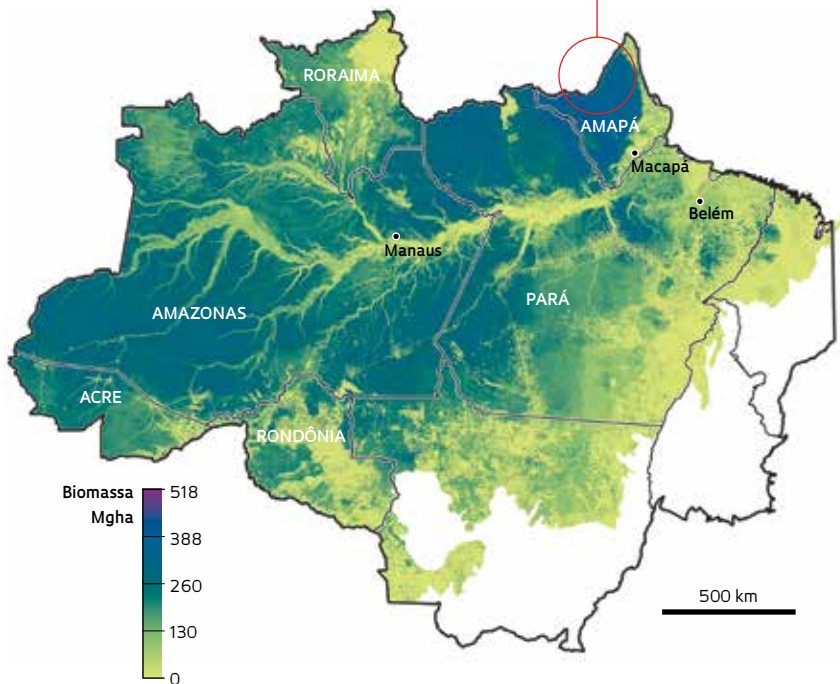




# CAMPEÃ DE BIOMASSA

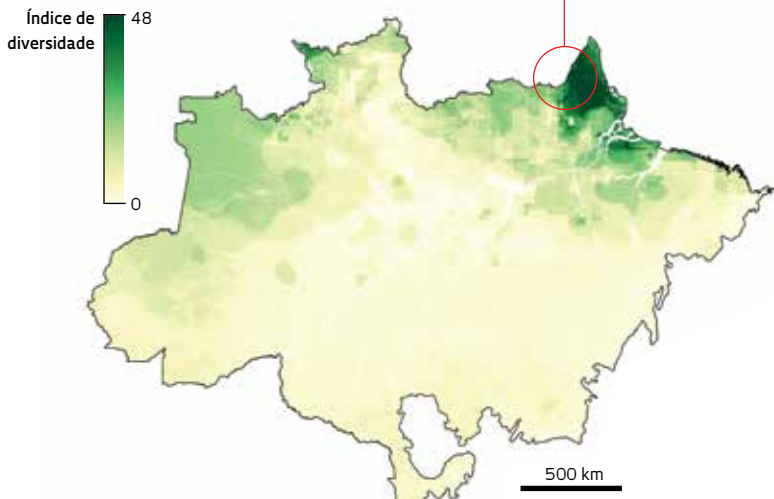
Levando em conta peso e biodiversidade, planalto das Guianas se destaca no gigantismo

Medições obtidas com a tecnologia óptica Lidar (detecção de luz e medida de distância) em toda a floresta amazônica mostram que o **escudo das Guianas** abriga a maior **biomassa** (e estoque de carbono, portanto), medida em toneladas por hectare



FONTE OMETTO, J. ET AL. SCIENTIFIC DATA. 2023

Dados de mais de 100 mil árvores indicam que a região do **Amapá** abriga a maior **diversidade de espécies** de árvores grandes



FONTE LIMA, A. R. B. ET AL. GLOBAL CHANGE BIOLOGY. 2023

Nunes recentemente foi contratado pelo grande projeto da agência espacial norte-americana (Nasa) e da Universidade de Maryland chamado Global Ecosystem Dynamics Investigation (Gedi), que visa mapear as florestas do mundo e sua dinâmica de carbono. O aparelho de Lidar, nesse caso, está mais longe: fica em órbita, a bordo da Estação Espacial Internacional. A missão do pesquisador é contribuir com perguntas ecológicas que possam ser respondidas pelas montanhas de dados constantemente gerados, e ele tem interesse em aplicar esse recurso para investigar as árvores gigantes.

**E**m 2015, Nunes fazia trabalho de campo em Bornéu durante o doutorado quando seu orientador, o ecólogo David Coomes, da Universidade de Cambridge, no Reino Unido, avisou que tinha identificado, usando Lidar, algumas árvores maiores do que o esperado, com cerca de 90 m. O brasileiro estava perto e foi conferir com um aparelho que mede distâncias com um feixe de laser, confirmando a medida surpreendente. “Eu não trabalhava com estatura de árvores”, relembra ele, que guardou da experiência o desejo de se envolver em pesquisa com gigantes desse tipo.

Bittencourt, o líder da expedição ao PNMT, atualmente também pesquisa as árvores gigantes de Bornéu como parte do projeto coordenado por Rowland. Ele tem visto, conforme artigo publicado em 2022 na revista *New Phytologist*, que características hidráulicas ajudam a explicar a distribuição e o funcionamento das espécies. Em áreas com solos arenosos e incapazes de reter umidade, as plantas exibem estratégias de conservação de recursos e são mais baixas, com vasos estreitos e curtos que conferem uma menor eficiência hidráulica. Seu xilema, por onde corre a água com nutrientes, é resistente à entrada de ar, ou embolismo. Para que as árvores da família dos dipterocarpos, como *Shorea faguettiana*, passem dos 70 m de altura, elas precisam de um sistema hidráulico robusto. Analisando o gradiente topográfico da Reserva Florestal Kabili-Sepilok, seu grupo viu que as árvores mais altas existem apenas onde não há restrição de água no solo e os nutrientes são abundantes.

As que crescem nas áreas mais favoráveis, no entanto, são mais suscetíveis a mudanças no padrão de umidade do solo, conforme proposto por Oliveira e Bittencourt em artigo de 2021 na revista *New Phytologist*. Essa ideia foi corroborada por outro artigo do grupo de Rowland, publicado em 2022 na revista *Functional Ecology*, indicando também que florestas sobre solos mais férteis são menos resistentes. Em solos pobres, a fotossíntese e a respiração se tornam limitadas, como estratégia de eficiência no uso de nutrientes. Em solos mais ricos, o sistema hidráulico é mais resiliente



Coleta de dados: escalador usando anel de saco de farinha; Bittencourt e Oliveira medindo árvores; e drone para buscar as copas mais altas



e menos resistente. “É como se cada tipo de árvore tivesse um engenheiro diferente”, compara Bittencourt, sobre como o sistema de transporte de água e de fotossíntese varia, adaptando-se às condições. “Cada uma resolveu o problema de forma específica.” Ele conta que algumas são mais vulneráveis e têm vasos que não resistem à entrada de ar em situações de seca; outras, não. Ainda não se sabe como elas fazem isso. A questão agora é descobrir se na Amazônia, onde há uma marcada sazonalidade entre a estação mais seca e a mais úmida, as estratégias e a variedade de recursos são semelhantes.

“A Amazônia é muito diferente do Sudeste Asiático”, pondera Bittencourt. “O principal fator é o solo, muito mais antigo e pobre, o que leva as árvores a evoluírem para estratégias de vida diversas das plantas da Malásia.” Em Tumucumaque, no Amapá, não há um gradiente de

tipos de substrato que possam ser comparados, mas ele espera encontrar, em comparação com o resto da Amazônia, um sistema de transporte de água diferente, um crescimento mais rápido e alta longevidade. “Para uma árvore ficar gigante, ela tem que crescer bastante e por muito tempo.”

Ele também quer investigar como a estrutura da árvore varia do chão ao topo, gradiente ao longo do qual enfrenta desafios físicos e fisiológicos bem distintos. “Entre um galho e outro pode haver mais de 30 m”, argumenta. Uma possibilidade para lidar com essas diferenças são estruturas anatômicas conhecidas como membranas de pontuações, que afetam a passagem de água e ar entre vasos. Suas propriedades determinam a capacidade de uma planta de resistir ao embolismo, ainda não se sabe bem como. O problema é enxergá-las, uma vez que seu tamanho se altera quando se corta uma amostra do tronco – sem falar na dificuldade de podar ramos a 80 metros do chão. Outro mistério é como as copas que se sobressaem resistem ao vento, muitas vezes letal a partir de determinadas estaturas.

“As sequeioias têm um mecanismo de válvulas reguladoras, que impedem a propagação de embolismos.” Bittencourt gosta de fazer uma analogia com o ato de usar um canudo para tomar uma bebida. Se entra ar, a boca recebe no máximo pequenos esguichos. “Imagine um canudo de





90 m de comprimento”, compara ele. E exagera: “A força necessária para fazer essa coluna d’água chegar às folhas das árvores é praticamente uma impossibilidade física”.

Impossível, claro, não é. Algumas árvores encontraram a solução e se esticam acima das vizinhas, graças a estruturas anatômicas microscópicas que fazem com que a água seja como uma corda puxada pela pressão negativa em relação à atmosférica. “Cada uma delas pode transportar até cerca de 500 litros de água por dia do solo à atmosfera”, ressalta Bittencourt. A questão é descobrir como funciona, para ajudar a entender os desafios que as florestas enfrentam diante das mudanças no clima. Em outros pontos da Amazônia, experimentos feitos no passado criaram uma situação artificial de seca e mostraram que as árvores maiores são as primeiras a sucumbir.

**A**s árvores gigantes amazônicas absorvem muito carbono: estima-se que cada uma delas retire 150 toneladas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera ao longo da vida. Na Floresta Nacional de Carajás, no Pará, troncos com mais de 1 m de diâmetro correspondem a menos de 1% das árvores, mas neles está um terço do estoque de carbono da área, segundo livro de 2023 organizado pela ecóloga Tereza Cristina Giannini, do Instituto Tecnológico Vale. A recordista naquela área é o cinzeiro (*Erisma uncinatum*), que atinge 30 m de altura com cerca de 2 m de diâmetro do tronco. Bittencourt completa que, no contexto tropical, as árvores com diâmetro maior do que 60 cm não passam de 4% das florestas, mas detêm quase metade do carbono armazenado acima da superfície do solo nessas regiões.

Uma mortandade poderia, portanto, causar consequências na atmosfera e dificultar muito os objetivos de contenção do aquecimento global. Por isso, e também porque ali estão estratégias



vegetais ainda por serem entendidas, os pesquisadores ressaltam a importância de proteger o escudo das Guianas. Estar em uma região remota, longe da fronteira agrícola, é uma vantagem. Reservas como o PNMT, que além de proteger a floresta e acolher pesquisa científica também fornece instrução e atividade econômica a habitantes da região, são fundamentais.

Os resultados desses projetos de pesquisa vêm deixando claro que não há uma reação uniforme da floresta aos fatores ambientais, especialmente diante do aumento da temperatura e da redução de umidade já sentidos. A parte mais estudada da Amazônia é bastante resistente à seca, de acordo com artigo da ecóloga Julia Valentim Tavares, pesquisadora em estágio de pós-doutorado na Universidade de Uppsala, na Suécia, publicado em abril na revista *Nature* – de que Oliveira e Bittencourt são coautores. Trata-se da região centro-leste, perto do rio Tapajós, onde a influência de eventos como El Niño pode ter levado à evolução de estratégias fisiológicas ligadas à resiliência hidráulica. O trabalho alerta para o risco de subestimar os efeitos da mudança climática ao achar que o que vale para a região do Tapajós vale para a Amazônia inteira. ■

*Dinizia excelsa* bebê e gigante: exemplares de tamanho intermediário não foram encontrados

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

Confira galeria com mais imagens da expedição





# ROTEIRO DE VIAGEM

Isolado de áreas urbanas, o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (PNMT) preserva uma floresta inalterada

## 1 DIA 1, 27/10

**Chegamos a Macapá**  
A capital do Amapá fica na linha do Equador e à margem do Amazonas



## 2 DIA 2

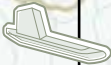
**Saímos de Macapá**  
A base do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) para o PNMT fica em Serra do Navio, município com cerca de 5 mil habitantes. Último ponto com sinal de celular



210 km de carro, cerca de 3 horas

## 3 DIA 3

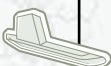
**Saímos de Serra do Navio**  
Com o nível do rio Amapari baixo devido à seca, apenas os pilotos e a cozinheira saíram em dois barcos (voadeiras) com a carga, é preciso ser leve e navegar com muito cuidado



Os demais integrantes da expedição fizeram o trecho de carro para embarcar nesse último ponto possível



**Saímos de Sete Ilhas**  
Embarcamos nas voadeiras – um grupo de 13 pessoas – com a carga, que incluía alimentos e um fogão. Em uma das corredeiras, um dos barcos entalou e precisou ser empurrado pelos passageiros



Chegamos à base Jupará já caída a noite. Foi um alívio instalar as redes onde todos dormiríamos



Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque

AMAPÁ

Base Jupará  
Sete Ilhas  
Serra do Navio

6 horas de barco

1h30 hora de carro

3-4 horas de barco

40-50 minutos subindo o Amapari de barco, 30 minutos de caminhada mata adentro

20 km pelo Amapari acima, cerca de 1h30

100 km



## 4 DIA 4

### Parcela 1

Na área junto à base, a equipe marcou oito angelins-vermelhos gigantes, além de algumas outras espécies. Um protótipo de monitoramento fisiológico instalado em 2019 em um angelim de 60 m de altura ainda estava lá, mas a maior parte dos dados corrompida



Mesmo percorrendo uma longa distância rio acima, a floresta se mantém gigante

## 5 DIA 5

### Parcela 2

Seguindo a mesma trilha do dia anterior, os pesquisadores mediram e marcaram a localização de nove angelins-vermelhos



### Parcela 3

A grande surpresa foi encontrar 17 angelins-vermelhos em um raio de 150 m, até mesmo em terreno inclinado

## 6 DIA 6

### Em busca da recordista

O objetivo de Bittencourt era procurar a árvore mais alta já avistada por Jaster; a medição feita com o drone indicou 80 m. A estatura da floresta nesse ponto mais distante deixou evidente que o gigantismo nos arredores da base não é exceção, mas a norma da região

