
Nota técnica

An artistic illustration featuring two hands, one at the top and one at the bottom, holding a stylized map of Brazil. The map is composed of various colorful shapes and patterns, including red, blue, yellow, green, and pink, set against a dark blue background with white wavy lines. The hands are rendered in a soft, painterly style with warm tones.

**Caio Mattos
Paulo N. Bernardino
Bruna Stein
Gabriela Prestes Carneiro
Julia Tavares
Adriane Esquivel-Muelbert
Silvio Barreto
André Braga Junqueira
Arie Staal
Marina Hirota**

Manutenção das Terras Indígenas é fundamental para a segurança hídrica e alimentar em grande parte do Brasil

Caio Mattos^{1,9}, Paulo N. Bernardino^{2,9}, Bruna Stein^{3,9}, Gabriela Prestes Carneiro^{4,9}, Julia Tavares^{5,9}, Adriane Esquivel-Muelbert^{6,9}, Silvio Barreto^{7,9}, André Braga Junqueira^{7,9}, Arie Staal⁸, Marina Hirota^{1,9}

1. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Brasil
2. Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY, Estados Unidos
3. Cedeplar, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
4. Muséum National D'Histoire Naturelle, França
5. Department of Ecology and Genetics, University of Uppsala, Sweden
6. School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Reino Unido
7. Rede de diálogos entre ecologias da academia e ecologias indígenas, Instituto Serrapilheira
8. Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Utrecht, Netherlands
9. Grupo de pesquisa em ecologia tropical do Instituto Serrapilheira

Endossam este documento:

1. Carlos A. Nobre, Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo
2. Paulo Artaxo, Instituto de Física, Universidade de São Paulo
3. Manuela Carneiro da Cunha, Departamento de Antropologia, Universidade de São Paulo e Universidade de Chicago
4. Ronaldo Seroa da Motta, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
5. Mercedes Bustamante, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília

1

As **Terras Indígenas da Amazônia** influenciam as chuvas que abastecem 80% da área das atividades agropecuárias no país. Isso acontece por meio dos chamados “rios voadores”: a umidade reciclada nas florestas das Terras Indígenas amazônicas é transportada pela atmosfera e se torna chuva em outras regiões do Brasil.

2

A **agricultura e a pecuária estão entre as atividades que mais consomem água no Brasil**, ou seja, a chuva é condição fundamental para o exercício dessas atividades. A renda econômica do setor agropecuário dos estados mais beneficiados por essa chuva totalizou, em 2021, **R\$338 bilhões – cerca de 57% da renda agropecuária nacional**.

3

Além disso, a **participação da agricultura familiar no valor da produção total** supera os 50% em vários estados influenciados. Ou seja: as chuvas **provenientes dessas Terras Indígenas (TIs) contribuem diretamente para a segurança alimentar nacional**, já que grande parte da produção desses **pequenos produtores** é destinada ao mercado interno.

4

O desmatamento e a degradação das florestas nas Terras Indígenas causam a redução dessas chuvas e, com isso, acarretam **riscos graves à segurança hídrica, alimentar, energética e econômica do país**. A **conservação** dessas florestas é crucial não só para garantir a segurança hídrica e alimentar do país, mas também **a cadeia produtiva do agronegócio** e, portanto, a produção econômica de uma significativa parcela da economia nacional. **Rondônia e Mato Grosso, por exemplo, figuram entre os nove estados mais influenciados por essa chuva, mas ao mesmo tempo estão entre os estados que mais desmataram florestas desde 1985**.

Introdução

As Terras Indígenas (TIs) desempenham um papel fundamental para a conservação da biodiversidade e a provisão de serviços ambientais para o Brasil e para o planeta. Ocupando aproximadamente 23% da Amazônia Legal, elas incluem mais de **450 territórios** (ISA, 2024), abrigando cerca de **403,6 mil pessoas** (IBGE, 2024) e atuando como barreira ao desmatamento ao longo da história (Gonçalves-Souza et al., 2021). Dos 4,4 milhões de hectares desmatados no bioma Amazônia entre 2019 e 2023, por exemplo, **apenas 3% (130,2 mil hectares) ocorreram dentro de TIs** (Mapbiomas, 2024a).

Esses valores são baixos porque grande parte das atividades desenvolvidas em TIs são em geral realizadas de maneira integrada ao ecossistema, envolvendo formas diversificadas de uso e manejo que não necessariamente implicam na **remoção da vegetação nativa** (Gonçalves-Souza et al., 2021; Levis, et al., 2024). Existe, pois, uma relação intrínseca entre a **proteção territorial de Povos Indígenas e a conservação de ecossistemas**.

Além de promover a conservação dos biomas nativos, o uso e o manejo histórico dos ecossistemas pelos Povos Indígenas também resultam em transformações significativas na estrutura e composição de espécies, gerando paisagens heterogêneas que abrigam ampla diversidade de espécies e plantas domesticadas. Em outras palavras, os Povos Indígenas também contribuem para a geração da diversidade de espécies e ecossistemas amazônicos (Junqueira et al., 2010; Levis et al., 2017; Coelho et al., 2021; Levis et al., 2024).

Apesar da reconhecida importância dos Povos e Terras Indígenas para a conservação da sociobiodiversidade nacional, a manutenção de territórios já demarcados (ou em processo de demarcação), assim como novas demarcações, têm sido ameaçadas por propostas de

abertura de TIs para exploração econômica e obras de infraestrutura e pela Tese do Marco Temporal (Lei 14.701/2023). Tais iniciativas questionam os direitos dos Povos Indígenas a seus territórios, desconsiderando sua presença milenar e processos históricos de exclusão e marginalização a que foram submetidos, constituindo grave ameaça a seus modos de vida e sobrevivência (Rocha et al., 2014; 2021; Neves, 2022).

Na Amazônia Brasileira, 27,5% das florestas maduras estão localizadas em Terras Indígenas (cerca de 90 milhões de hectares; MapBiomias 2024b), que cumprem um papel crucial na regulação do ciclo da água em escalas locais, regionais e continentais (Flores et al., 2024). Assim, a manutenção das TIs e o fortalecimento do processo de demarcação – na Amazônia e em outros biomas – é essencial não só para assegurar os direitos de Povos Indígenas a seus territórios, mas também para a provisão da água que abastece a população, e que é utilizada na geração de energia (e.g., Pinto et al., 2024), na indústria e em atividades agropecuárias no Brasil e em outros países da América do Sul.

A presente nota técnica **apresenta resultados da quantificação da importância das TIs amazônicas em prover a umidade (vapor d'água) que gera chuvas em regiões de produção agropecuária no Brasil.**

A Amazônia é responsável por “irrigar” grande parte do país, por meio da água transportada pela atmosfera, responsável por parte das chuvas que abastecem o Centro-Oeste e o Sul do Brasil (Arraut et al., 2012). Assim que entra no continente, a água evaporada no oceano Atlântico chove nas florestas do leste amazônico. Uma vez infiltrada no solo das florestas, ela é bombeada de volta para a atmosfera pelas árvores, em um processo chamado de **reciclagem de umidade** (Nobre et al., 1991; Aragão, 2012). Os processos que sustentam a reciclagem de umidade por toda a Amazônia (Fig. 1) são:

- Localmente, as árvores bombeiam água desde o solo até a atmosfera, e quando esse vapor d'água (umidade) atinge níveis mais altos da atmosfera, forma nuvens que promovem chuvas localmente;
- A umidade excedente à formação de nuvens é transportada pelos ventos alísios de leste para oeste, disponibilizando umidade para a formação de nuvens e, conseqüentemente, chuva, sobre as florestas do interior amazônico;
- Esse processo de reciclagem (atmosfera – solo – atmosfera) é repetido até que os ventos encontram uma barreira: a cordilheira dos Andes;
- Ao atingirem os Andes, os ventos são redirecionados ao sul/sudeste do continente, transportando umidade em um fluxo com magnitude análoga à do rio Amazonas, mas que ocorre na atmosfera (fenômeno popularizado como “rios voadores”);
- Tal fluxo leva a umidade que gera chuvas e “irriga” naturalmente áreas remotas à Amazônia, como o Pantanal, a bacia do rio da Prata e outras partes do Sudeste da América do Sul.

NA PÁGINA SEGUINTE → Fig. 1 - Ilustração do fluxo de umidade de leste para oeste que transporta água pela atmosfera através dos ventos alísios. Ao encontrarem a cordilheira dos Andes, esses ventos são canalizados e direcionados para sul-sudeste, afetando áreas do Centro- Oeste e Sul do Brasil, transportando umidade em um fluxo com magnitude análoga à do rio Amazonas, mas que ocorre na atmosfera (fenômeno popularizado como “rios voadores”).

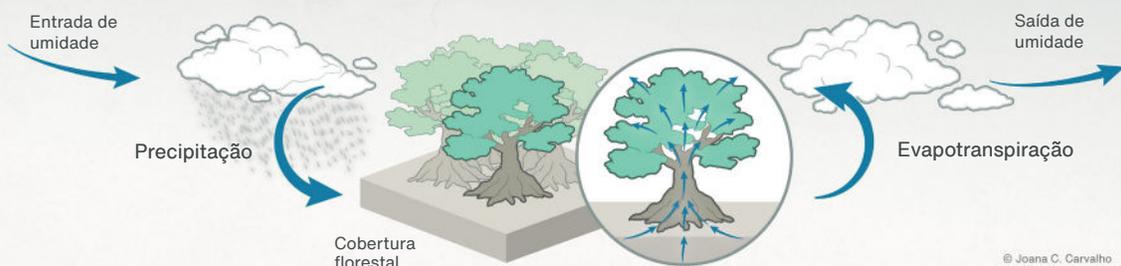
Terras Indígenas da Amazônia “irrigam” grande parte do Brasil

1. Árvores da Amazônia reciclam a chuva através da evapotranspiração.

2. Os ventos alísios encontram a Cordilheira dos Andes e são redirecionados para Sudeste, levando consigo a umidade reciclada pela Amazônia.

3. A água da Amazônia chove sobre o Centro-Oeste e Sul do Brasil, alimentando áreas agropecuárias e outros biomas como o Pantanal.

Reciclagem e transporte da água



Esse mecanismo natural de geração de chuva depende da manutenção de áreas de florestas nativas conservadas, responsáveis pelo bombeamento de umidade para a atmosfera. O aumento da temperatura global tem induzido secas mais frequentes e mais intensas (p. ex., 2015-16, 2023-24 em diferentes regiões da Amazônia), o que diminui a água disponível para reciclagem de umidade (Marengo et al., 2021; IPCC, 2021). Assim, a escalada do desmatamento (levando diretamente à diminuição de árvores), aliada ao aquecimento do planeta (diminuindo indiretamente a disponibilidade de água), pode **quebrar esse ciclo de reciclagem**, acarretando o **colapso das florestas** do interior da Amazônia e a **redução significativa da umidade** que é redistribuída para outros países da América do Sul e para diversas regiões do Brasil (Zemp et al., 2017; Staal et al., 2018, 2023).

A diminuição da chuva no Brasil põe em risco um sistema que já opera **sob déficit**: estimativas recentes indicam que as áreas de agricultura de sequeiro (sem irrigação) já sofrem **37% de déficit hídrico médio, impedindo a plena produção** – 30% desse déficit incide ao longo do período mais crítico de crescimento das culturas agrícolas (ANA, 2020). Tendo em vista que estimativas da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) projetam que atividades relacionadas ao agronegócio representarão cerca de 21,8% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 2024 (CNA, 2024), a conservação da Amazônia é crucial não só para garantir a segurança hídrica e alimentar do país, mas também a cadeia produtiva do agronegócio e, portanto, a produção econômica de uma significativa parcela da economia nacional.

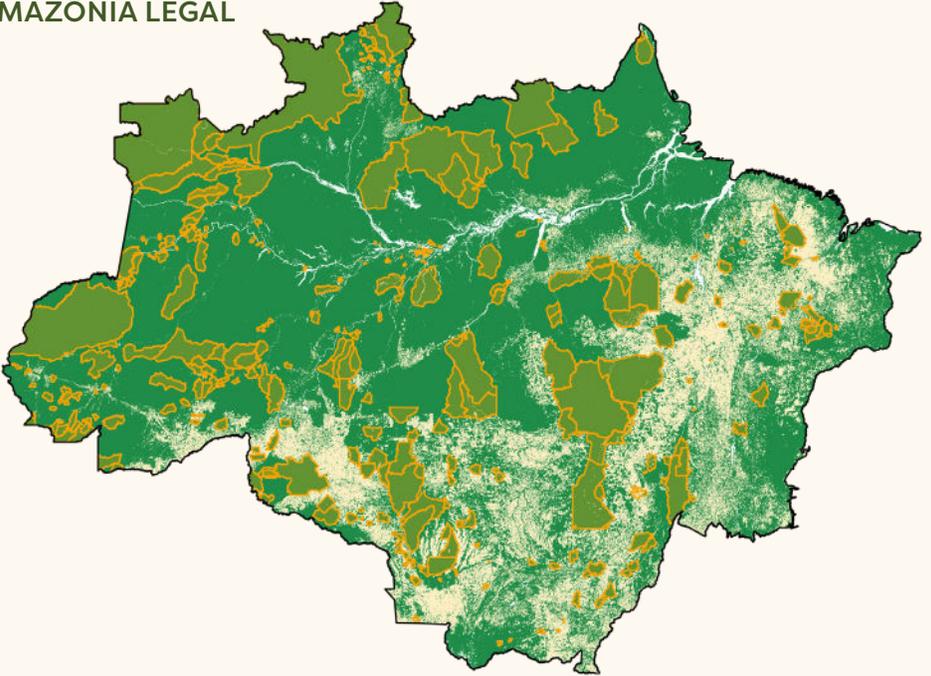
Dessa maneira, considerando a regulação de serviços de água gerados por florestas nativas e tendo em vista a importância das TIs para a manutenção da vegetação nativa conservada, a presente nota técnica tem como objetivo responder a três questões principais:

- 1 Qual o volume relativo de chuva no país que advém da umidade fornecida pelas TIs da Amazônia?
- 2 Qual a área de produção agropecuária nacional que recebe chuva alimentada por TIs?
- 3 Em relação às atividades agropecuárias, quais são os estados mais beneficiados pela geração de chuva proveniente da umidade reciclada por TIs da Amazônia?

Métodos

Para calcular o fluxo de umidade, utilizamos o modelo de rastreamento de umidade atmosférica UTrack (Tuinenburg e Staal, 2020; Tuinenburg et al., 2020), amplamente utilizado em estudos científicos que envolvem o transporte e a reciclagem de água na atmosfera (e.g., Hoek Van Dijke et al., 2022), assumindo que florestas maduras evapotranspiram 100 mm de chuva por mês (Shuttleworth, 1989; da Rocha et al., 2004; von Randow et al., 2004). O modelo simula a dispersão de moléculas de água na coluna de ar – representando o processo de evapotranspiração das árvores – e então rastreia a trajetória de cada uma dessas moléculas transportadas pelo vento, até que elas chovam (Fig. 1). Assim, o ponto no qual o modelo dispersa as moléculas de água é o “ponto de interesse” (por exemplo, uma Terra Indígena), e todas as áreas que recebem chuva com moléculas originadas no ponto de interesse passam a compor a “área de influência” daquele ponto. Utilizamos o modelo para simular a área de influência de cada uma das Terras Indígenas da Amazônia Legal, obtendo assim a contribuição total desses territórios para a provisão potencial de chuvas no Brasil. Obtivemos os dados geoespaciais das fronteiras de TIs da FUNAI (Fig. 2), acessado em 25 de outubro de 2024.

FRONTEIRAS DAS TERRAS INDÍGENAS DA AMAZÔNIA LEGAL



→ Fig. 2 - Fronteiras das Terras Indígenas da Amazônia Legal, em laranja. Fonte: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>, acessado em 25 de outubro de 2024. Em verde estão representadas as áreas de vegetação nativa, enquanto aquelas em amarelo claro representam a agropecuária de acordo com MapBiomias Coleção 9 (2024).

No intuito de calcular a chuva média anual para o período de 1991 a 2020, usamos dados de chuva do produto de reanálise ERA5 (Hersbach et al., 2020), que combina diversas fontes com modelos climáticos. Ao juntar esses dados com o volume de chuva originado em TIs, pudemos estimar a porcentagem da chuva anual gerada por TIs da Amazônia para todo o território nacional.

A identificação das áreas agropecuárias afetadas por chuvas originadas em Terras Indígenas foi possível graças aos mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomias Coleção 9 (<http://www.mapbiomas>.

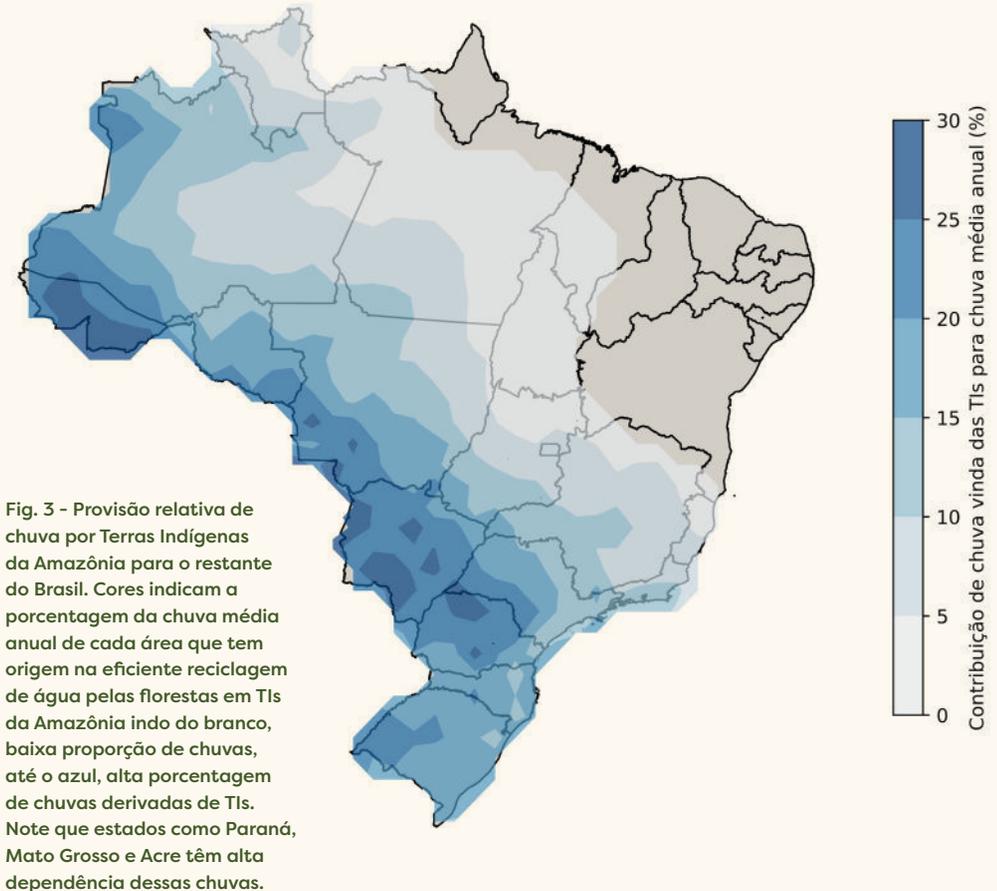
[org](#)), que nos permitiram classificar áreas como terras agropecuárias (incluindo agricultura, pecuária, florestas plantadas e mosaicos de usos) ou outros usos (por exemplo vegetação nativa ou áreas urbanas). Ao sobrepor a área de influência de chuva das Terras Indígenas com o mapa das áreas agropecuárias, determinamos se estas sofrem influência de chuvas advindas de Terras Indígenas.

Resultados e discussão

Qual o volume relativo de chuva no país que advém da umidade fornecida pelas TIs da Amazônia?

Nossos resultados mostram que grande parte do país recebe, em maior ou menor grau, chuvas originadas em florestas das TIs da Amazônia através dos processos de reciclagem e transporte atmosférico de água (mostradas na Fig. 2): **18 estados mais o Distrito Federal** encontram-se parcial ou totalmente dentro da área de influência desses territórios (Fig. 3). A contribuição dessa chuva alimentada pela reciclagem da água em TIs para o volume total de chuva é heterogênea e apresenta um padrão claro: maior de leste para oeste (consistente com a reciclagem de água) e maior ao longo da porção oeste do país. Em estados como o Acre, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná há regiões onde **a chuva proveniente da reciclagem de água feita pelas florestas em TIs da Amazônia chega a $\frac{1}{3}$ dos totais anuais de chuva de cada local.**

PROPORÇÃO DA CHUVA MÉDIA ANUAL FORNECIDA EM TIS NA AMAZÔNIA LEGAL



Vale ressaltar que esses resultados mostram somente a contribuição de Terras Indígenas, que representam **apenas 23%** da área de toda a Amazônia Legal. Se considerarmos todas as florestas da Amazônia, essa contribuição é potencialmente muito maior. Portanto, o abastecimento de água do país é **significativamente influenciado** pela conservação das florestas na Amazônia, com **riscos graves à segurança hídrica e ao provimento de serviços associados à água**, em caso de desmatamento e degradação das florestas.

Qual a área de produção agropecuária nacional que recebe chuva alimentada por TIs?

Conforme os dados de Contas Econômicas Ambientais da Água (CEA-A), no ano de 2020, o consumo total de água no Brasil foi de 306,1 bilhões de metros cúbicos. Os principais responsáveis por esse consumo foram a agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura (97,1%) (IBGE, 2023).

O setor agropecuário é fortemente influenciado pela regulação climática e hidrológica relacionada ao volume de chuva, para fins de atender tanto a agricultura de sequeiro quanto a agricultura de irrigação (ANA, 2020). Em 2018, 2019 e 2020, consumiu-se um volume de água da chuva de 931 litros por real de renda setorial, 939 litros/R\$, e 684 litros/R\$, respectivamente, pelo setor agropecuário, pela produção florestal e pela pesca e aquicultura (levando em conta apenas uso de água da chuva). Considerando somente a agricultura irrigada, o setor também se apresenta como o maior consumidor de água, com uso superior a 104 litros/R\$ em 2018, e a 78 litros/R\$ em 2020. Os dados da publicação também apontam para uma queda acumulada do volume de água precipitada de cerca de 9,1% no período de 2018 a 2020, reforçando a tendência de aumento do déficit hídrico sob o qual a indústria agropecuária opera (IBGE, 2023).

Nossos resultados indicam que **aproximadamente 80% da área de atividade agropecuária no Brasil recebe algum nível de influência de chuva associada à reciclagem de água das Terras Indígenas da Amazônia** (Fig. 4).

IMPACTO DA PROVISÃO DE CHUVA DE TERRAS INDÍGENAS NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA.

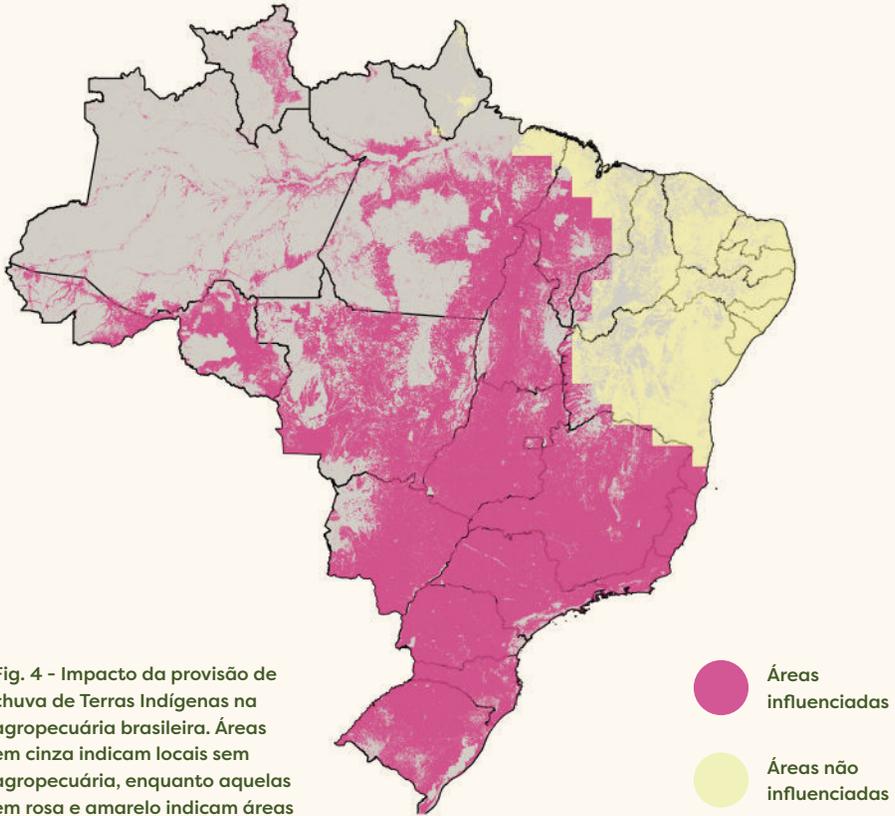


Fig. 4 - Impacto da provisão de chuva de Terras Indígenas na agropecuária brasileira. Áreas em cinza indicam locais sem agropecuária, enquanto aquelas em rosa e amarelo indicam áreas com agropecuária (MapBiomias, Coleção 9): em rosa, áreas de agropecuária que sofrem alguma influência de Terras Indígenas nos totais de chuvas, e em amarelo aquelas que não sofrem.

Em relação às atividades agropecuárias, quais são os estados mais beneficiados pela geração de chuva proveniente da umidade reciclada por TIs da Amazônia?

De um modo geral, os estados mais influenciados pela contribuição relativa da reciclagem de umidade (e, portanto, pela geração de chuvas) por TIs da Amazônia concentram-se majoritariamente nas regiões Sul, Centro-Oeste e Norte (Fig. 5). Na média da quantidade relativa de umidade proveniente de TIs amazônicas, os resultados mostram que os três estados da Região Sul (Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina) figuram entre os cinco principais (com cerca de 24,6%, 18,4% e 16,5% respectivamente), enquanto o Mato Grosso do Sul representa o Centro-Oeste com aproximadamente 21,5%; o Acre representa a Região Norte com 24,4%, e São Paulo representa o Sudeste com cerca de 16,3%.

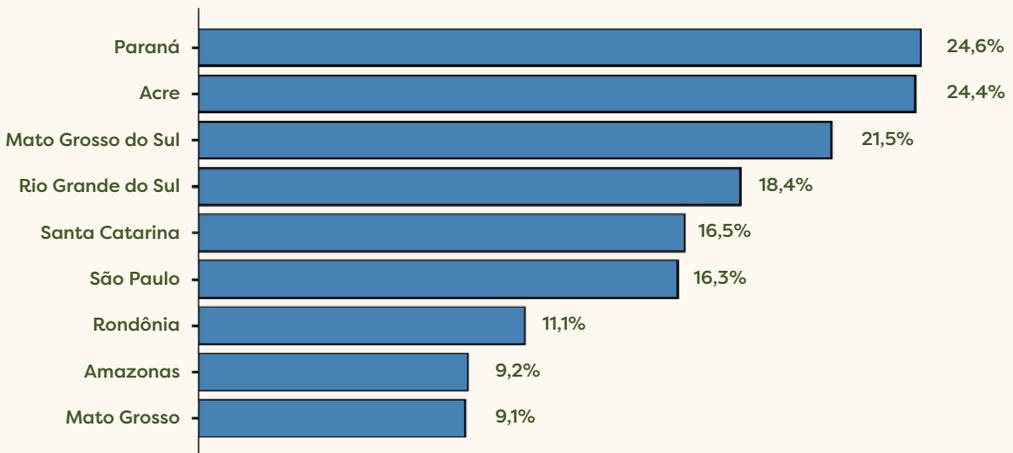


Fig. 5 - Percentual de chuva média anual fornecida pela reciclagem de água pelas florestas em Terras Indígenas da Amazônia brasileira para os nove estados que recebem maior contribuição.

Os nove estados que recebem maior grau de influência de umidade advindas das TIs (Fig. 5) geraram em 2021 cerca de R\$338 bilhões de Valor Adicionado Bruto (VAB)¹ do setor agropecuário, **o que representa 57% do VAB do setor agropecuário, e 3,8% do PIB nacional** (IBGE, 2023).

Além disso, de acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017, a agricultura familiar concentra o maior número de unidades produtivas e gera uma parcela significativa de empregos. **Do total de estabelecimentos rurais no Brasil, 76,8% são de agricultura familiar**, ocupando 23% da área destinada a atividades agropecuárias e empregando 66,3% dos trabalhadores do setor. Considerando os principais estados beneficiários da chuva advinda de TIs, a **participação da agricultura familiar no valor da produção total** dos estabelecimentos rurais representava 67% no Amazonas, 52% no Acre, 51% em Santa Catarina, 39% no Pará, 38% em Rondônia, 37% no Rio Grande do Sul, 27% no Paraná, 25% em Minas Gerais, 11% em São Paulo, 10% em Goiás, 6% em Mato Grosso do Sul, e 6% em Mato Grosso (IBGE, 2019).

A diversificação produtiva da agricultura familiar e o acesso a mercados de cadeias locais e regionais de distribuição de alimentos fazem com que grande parte da produção seja destinada ao mercado interno. Portanto, **a agricultura familiar possui um papel fundamental na segurança alimentar nacional**. Em cenários de aquecimento global, cultivos típicos da agricultura familiar como mandioca, milho e feijão seriam impactados com perda de produtividade, **causando vulnerabilidade da agricultura familiar aos efeitos das mudanças climáticas e pondo em risco a segurança alimentar do país** (Tanure, 2020). Portanto, a conservação de vegetação nativa em TIs mitiga os efeitos potenciais de perda de produtividade em decorrência das mudanças climáticas, e assim **contribui para a segurança alimentar**.

¹ O Valor Adicionado Bruto (VAB) é o valor que cada setor da economia acrescenta ao valor final da produção, sendo obtido a partir do valor bruto da produção menos o consumo intermediário. A soma dos VABs setoriais e dos impostos e a subtração de subsídios totalizam o Produto Interno Bruto (PIB). Portanto, o VAB é a principal medida do ganho econômico setorial.

Conclusão

Nossos resultados mostram de forma contundente a importância das Terras Indígenas (TIs) da Amazônia para a manutenção da segurança hídrica, alimentar e socioeconômica do Brasil. Até 30% da chuva média que cai sobre as terras agropecuárias do país está diretamente relacionada à eficiente reciclagem de água nas TIs da Amazônia e à geração do vapor d'água transportado pelos “rios voadores” para o sul da Amazônia. **Estados como Rondônia e Mato Grosso figuram entre os nove estados mais influenciados por essa chuva, ao mesmo tempo que estão entre os estados que mais desmataram florestas desde 1985** (34 e 32% de perda, respectivamente; MapBiomas, 2024b), uma clara contradição que destaca a urgência da conservação de florestas, em especial em TIs, para a manutenção de seus serviços ambientais.

A vulnerabilidade da agricultura familiar diante dos cenários de mudanças climáticas, somada à relevância da agricultura familiar na produção de alimentos para o mercado interno, reforça a **importância da conservação de florestas nativas para a regulação hídrica e climática de modo a garantir a segurança alimentar nacional.**

Vale ressaltar que a análise realizada restringiu-se às áreas de uso agropecuário mais beneficiadas pela reciclagem de água apenas de TIs amazônicas. Além desse setor econômico, outros setores como o de geração de energia por fontes hidrelétricas (e.g., Pinto et al., 2024), o industrial e o de abastecimento de água também são influenciados pela regulação hídrica abordada e são altamente relevantes para a economia nacional. **Assim, os resultados aqui referidos podem estar subdimensionados e o potencial ganho econômico é capaz de ser ainda superior aos percentuais apresentados.**

CONCLUSÃO

Por todos os argumentos apresentados, **torna-se urgente a proteção e a demarcação das Terras Indígenas como instrumentos para a conservação da Amazônia**. Intrinsecamente, as TIs abrigam territórios ancestrais e históricos fundamentais para os modos de vida e identidades dos Povos Indígenas que neles habitam. Nossos resultados agregam a estudos que comprovam a importância da conservação dessa diversidade biocultural e da defesa de direitos, mostrando que a proteção de Terras Indígenas e da Amazônia como um todo é vital para a segurança hídrica, alimentar, socioeconômica e da biodiversidade do país, uma pauta a ser defendida por todos os setores da sociedade.

REFERÊNCIAS

- ISA – Instituto Socioambiental. Terras Indígenas no Brasil - <https://terrasindigenas.org.br/>, acessado em 04 de novembro de 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro, 2024.
- Gonçalves-Souza, D., Vilela, B., Phalan, B., & Dobrovolski, R. (2021). The role of protected areas in maintaining natural vegetation in Brazil. *Science Advances*, 7(38), eabh2932.
- MapBiomas (2024a). RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023. MapBiomas, São Paulo, Brasil. 154 páginas. <http://alerta.mapbiomas.org>. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5193.
- Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C., ... & Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 8(5), 866-879.
- Junqueira, A. B., Shepard, G. H., & Clement, C. R. (2010). Secondary forests on anthropogenic soils in Brazilian Amazonia conserve agrobiodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 19, 1933-1961.
- Levis, C., Costa, F. R., Bongers, F., Peña-Claros, M., Clement, C. R., Junqueira, A. B., ... & Sandoval, E. V. (2017). Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, 355(6328), 925-931.
- Coelho, S. D., Levis, C., Baccaro, F. B., Figueiredo, F. O., Pinassi Antunes, A., Ter Steege, H., ... & Schietti, J. (2021). Eighty-four per cent of all Amazonian arboreal plant individuals are useful to humans. *PLoS One*, 16(10), e0257875
- Rocha, B. C., Beletti, J., Py-Daniel, A. R., de Paula Moraes, C., & de Oliveira, V. H. (2014). Na margem e à margem: arqueologia amazônica em territórios tradicionalmente ocupados. *Amazônica-Revista de Antropologia*, 6(2), 358-384.
- Rocha, B. C. D., Martínez, D. A., Affonso, H. G., Aragon, S., Oliveira, V. H. D., & Scoles, R. (2021). Plunder and resistance in traditionally occupied territories of the Tapajós and Trombetas basins, Pará state, Brazilian Amazonia. *Ambiente & Sociedade*, 24, e00951.
- Neves, E. G. (2022). *Sob os tempos do equinócio: oito mil anos de história na Amazônia Central (6.500 AC–1.500 DC)*. São Paulo: Editora Ubu.
- MapBiomas (2024b). *Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9*. MapBiomas, São Paulo, Brasil. 25 páginas. <https://brasil.mapbiomas.org/>, acessado em 04 de novembro de 2024
- Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, B., Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., ... & Hirota, M. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626(7999), 555-564.

- Arraut, J. M., Nobre, C., Barbosa, H. M., Obregon, G., & Marengo, J. (2012). Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. *Journal of Climate*, 25(2), 543-556
- Nobre, C. A., Sellers, P. J., & Shukla, J. (1991). Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of climate*, 4(10), 957-988.
- Aragão, L. E. (2012). The rainforest's water pump. *Nature*, 489(7415), 217-218.
- Marengo, J., et al. (2021). Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydro meteorology, Ch. 22, Working Group 8: Climate Change in the Amazon: Tendencies, Impacts and Ecological Consequences, Science Panel for the Amazon (SPA) 2021 Report.
- IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G., ... & Rammig, A. (2017). Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature communications*, 8(1), 14681.
- Staal, A., Tuinenburg, O. A., Bosmans, J. H., Holmgren, M., van Nes, E. H., Scheffer, M., ... & Dekker, S. C. (2018). Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, 8(6), 539-543.
- Staal, A., Koren, G., Tejada, G., & Gatti, L. V. (2023). Moisture origins of the Amazon carbon source region. *Environmental Research Letters*, 18(4), 044027.
- ANA (2020). Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017). Brasília, Distrito Federal, Brasil. 63 páginas.
- CNA (2024). Sumário executivo - PIB do agronegócio - 2º trimestre de 2024. <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/SUMARIO-EXECUTIVO-DO-PIB.pdf>, acessado em 04 de novembro de 2024.
- Tuinenburg, O. A., & Staal, A. (2020). Tracking the global flows of atmospheric moisture and associated uncertainties. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2419-2435.
- Tuinenburg, O. A., Theeuwes, J. J., & Staal, A. (2020). High-resolution global atmospheric moisture connections from evaporation to precipitation. *Earth System Science Data*, 12(4), 3177-3188.

REFERÊNCIAS

- Hoek van Dijke, A. J., Herold, M., Mallick, K., Benedict, I., Machwitz, M., Schlerf, M., ... & Teuling, A. J. (2022). Shifts in regional water availability due to global tree restoration. *Nature Geoscience*, *15*(5), 363-368.
- Shuttleworth, W. J. (1989). Micrometeorology of temperate and tropical forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *324*(1223), 299-334.
- Da Rocha, H. R., Goulden, M. L., Miller, S. D., Menton, M. C., Pinto, L. D., de Freitas, H. C., & e Silva Figueira, A. M. (2004). Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological applications*, *14*(sp4), 22-32.
- Von Randow, C., Manzi, A. O., Kruijt, B., De Oliveira, P. J., Zanchi, F. B., Silva, R. D., ... & Kabat, P. (2004). Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, *78*, 5-26
- FUNAI (2024). Dados das terras indígenas no Brasil. Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), Diretoria de Proteção Territorial, Brasília, Brasil. <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas/painel-terras-indigenas>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *146*(730), 1999-2049.
- IBGE (2023). Contas econômicas ambientais da água: Brasil 2018-2020. Contas Nacionais n. 93. Contas Econômicas Ambientais n. 8. ISSN 1415-9813.
- IBGE (2021). Produto Interno Bruto dos Municípios 2021. Contas Nacionais n. 96 Coordenação de Contas Nacionais. ISSN 1415-9813
- IBGE (2019). Censo Agropecuário 2017. Resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf
- IBGE (2017). Censo Agropecuário 2017. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: outubro de 2024.
- Tanure, T. M. do P. (2020). Mudanças climáticas e agricultura no Brasil [manuscrito]: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.
- Pinto, G. R. S., Arbache, J., Antonaccio, L., Chiavari, J. (2024) (Des)matando as hidrelétricas: a ameaça do desmatamento na Amazônia para a energia do Brasil. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2024. bit.ly/Desmatamento-Energia.

