

# BOLETIM CAO

## MEIO AMBIENTE NATURAL

### DESTAQUE

Criação de gado no cerrado precisará de apenas 58% da área que utiliza hoje

### INOVAÇÃO

Estudo revela caminho dos recursos que financiam programas do clima

### AMBIENTE & CIÊNCIA

NATURE: A geografia e a disponibilidade de habitat natural determinam se a intensificação ou expansão de terras agrícolas é mais prejudicial à biodiversidade

### LEGISLAÇÃO EM FOCO

Publicada a lei do licenciamento ambiental, com 63 vetos

### DE OLHO NA COP 30

Mesmo com impasses, países pobres querem incluir financiamento climático na agenda da COP30

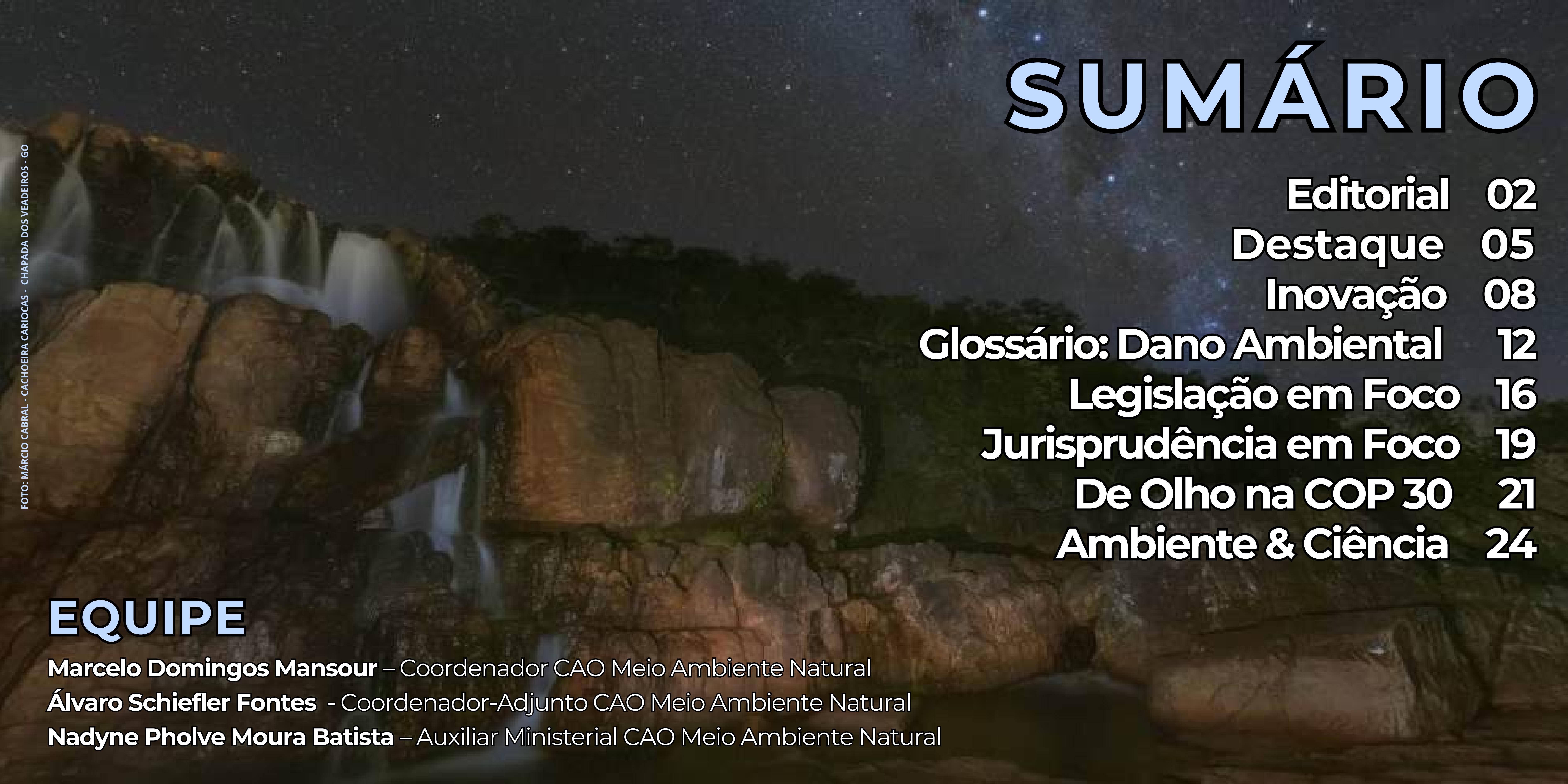
# EDITORIAL

“A gravidade desta crise climática ainda não é totalmente compreendida por um número grande de pessoas. É o desafio mais sério que a humanidade já enfrentou. Alguns diriam que a ameaça de uma guerra nuclear também estaria nessa categoria. Conseguimos lidar com esse risco”

Al Gore

Político, ambientalista e ex-vice-presidente dos EUA

FOTO: MÁRCIO CABRAL - CHAPADA DOS VEADEIROS - GO



# SUMÁRIO

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Editorial                 | 02 |
| Destaque                  | 05 |
| Inovação                  | 08 |
| Glossário: Dano Ambiental | 12 |
| Legislação em Foco        | 16 |
| Jurisprudência em Foco    | 19 |
| De Olho na COP 30         | 21 |
| Ambiente & Ciência        | 24 |

## EQUIPE

**Marcelo Domingos Mansour** – Coordenador CAO Meio Ambiente Natural

**Álvaro Schiefler Fontes** - Coordenador-Adjunto CAO Meio Ambiente Natural

**Nadyne Pholve Moura Batista** – Auxiliar Ministerial CAO Meio Ambiente Natural



**MPMT** |  
Minist\xedo P\xfablico  
DO ESTADO DE MATO GROSSO | CAO

A wide-angle aerial photograph of a dense forest. The forest floor is covered in numerous small, white, rounded trees, likely jacarandas, which are in full bloom. Above the canopy, the sky is a deep, dark blue, and a vibrant, multi-colored rainbow arches across the upper portion of the frame, its colors transitioning from red and orange on the left to blue and purple on the right. The overall scene is a mix of natural beauty and a sense of wonder.

# DESTAQUE

## **CRIAÇÃO DE GADO NO CERRADO** **PRECISARÁ DE APENAS 58% DA ÁREA QUE UTILIZA HOJE**

Estudo sobre dinâmica do carbono no solo mostra que, em 2030, seriam necessários 29 milhões de hectares, ante os atuais 50 milhões de hectares, para produção de carne; pesquisa usou dados do MapBiomas

Em 2030, a criação de gado no Cerrado pode necessitar de apenas 58% da área que utiliza hoje para produzir a demanda estimada de carne para aquele ano, caso seja feito o manejo adequado da terra, segundo o estudo “Caminhos para Paisagens Sustentáveis: Dinâmica de Carbono em Transições de Uso e Manejo no Cerrado Brasileiro”.

A pesquisa, elaborada pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig), da Universidade Federal de Goiás (UFG), e pela The Nature Conservancy (TNC Brasil), com apoio da Universidade Federal de Sergipe (UFS), foi lançada em junho, no 26º Festival Internacional de Cinema e Vídeo Ambiental (FICA), na cidade de Goiás (GO).

O objetivo do estudo foi entender a dinâmica do carbono no solo e explorar o potencial do uso de pastagens degradadas para facilitar a produção futura de carne e soja, além de identificar áreas adequadas para restauração ecológica no bioma. Os pesquisadores também analisaram como essa produção futura impactará os estoques de carbono na região.

Para fazer a análise, a pesquisa utilizou o modelo ecossistêmico Century para fazer as estimativas dos estoques atuais de carbono na biomassa e no solo, para 2030 e 2050, em áreas de pastagens e de vegetação nativa, com base em sua distribuição espacial e qualidade.

Maria Hunter, coordenadora do Grupo Carbono do Lapig e uma das autoras do estudo, explica que foram utilizados dados da Coleção 7.1 do MapBiomas relacionados a áreas de ocorrência de vegetação nativa e pastagens. A plataforma também foi importante para entender quando uma determinada área deixou de ter vegetação nativa e o que ocorreu com ela – por exemplo, se virou pasto e, em seguida, área de cultivo de soja. O estudo também levou em conta informações sobre o vigor das pastagens.

Com isso, constatou-se que, com a manutenção de pastagens de alta qualidade e aprimoramento via manejo adequado dos pastos de baixa e média qualidade, a parcela do rebanho bovino brasileiro alocada ao Cerrado para o ano de 2030 (estimada em 61 milhões de unidades animais) irá requerer 29 milhões de hectares da área atualmente estimada como sendo de pastagem, que é de 50 milhões de hectares (entre pastagens de baixo, médio e alto vigor).

## **CRIAÇÃO DE GADO NO CERRADO PRECISARÁ DE APENAS 58% DA ÁREA QUE UTILIZA HOJE**

**“Apenas melhorando a pastagem, seria necessário usar pouco mais da metade – 58% – da área atual de pasto”, destaca Hunter.**

Outros 3 milhões de hectares poderiam ser alocados para a produção de soja para atender à demanda estimada do grão em 2030. Assim, restariam cerca de 18 milhões de hectares “livres” para outros usos e objetivos. “Há muitas possibilidades, seja para a agropecuária, para a produção de energia renovável ou para a recuperação da vegetação”, comenta Hunter.

Com relação ao estoque de carbono, o estudo projetou dois cenários para os anos de 2030 e 2050. No primeiro, os 18 milhões de hectares são destinados à regeneração natural, o que levaria a 0,23 gigatoneladas de carbono (Gt C) adicionais após cinco anos (em 2030) e 0,48 Gt C adicionais após 25 anos (em 2050).

No segundo cenário, 8,9 milhões de hectares são destinados à regeneração, e o restante fica como área de pastagem não melhorada. Nesse caso, o impacto sobre o estoque de carbono é menor: após cinco anos, acumula 0,15 Gt C adicionais, e mostra um aumento de 0,30 Gt C em 2050.

“O incremento de estoque de carbono nos dois cenários contribui para o enfrentamento das mudanças climáticas de duas maneiras. Primeiramente, o carbono que acumula na vegetação está (em parte) sendo retirado da atmosfera. Além disso, a regeneração de vegetação nativa pode ter efeito no clima local, com a ciclagem de mais água”, analisa Hunter.

Confira o estudo [aqui](#).

Os pesquisadores também combinaram dados do IBGE e do MapBiomass para estimar a cobertura da formação savânea no bioma e calcular estimativas de estoque de carbono. Os dados foram cruzados com declarações de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs) que constam no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (Sicar) e com áreas protegidas e Terras Indígenas. Com isso, constatou-se que 49% das áreas de formação savânea, que abrigam 47% do carbono no bioma, estão em regiões vulneráveis ao desmatamento.

“Temos muita área de pastagem com possibilidade de melhor uso em termos econômicos e para o produtor, assim como para o meio ambiente. Não precisa ser um contra o outro. Isso realmente é um ponto chave”, conclui.



INOVAÇÃO

## **ESTUDO REVELA CAMINHO DOS RECURSOS QUE FINANCIAM PROGRAMAS DO CLIMA**

O think tank Transforma, um grupo de pesquisa e difusão (ou grupo de reflexão, na expressão em inglês) sediado no Instituto de Economia (IE) da Unicamp, lançou nesta segunda-feira (21) o relatório “Financiamento climático: perspectivas e desafios para o Sul Global”. O estudo, ao traçar um panorama mundial sobre os mecanismos de financiamento climático, destaca a concentração dos recursos no Norte Global, a predominância do capital privado, a insuficiência dos recursos e a evidente “financeirização” desses mecanismos. De acordo com o economista Iago Montalvão, autor do relatório e coordenador-executivo do Transforma, parte do financiamento climático tem sido canalizado via instrumentos financeiros voltados à rentabilidade. O [estudo](#) deverá ser apresentado durante a 30ª Conferência da Organização das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP30), que acontecerá em Belém (PA), em novembro.

**“Ou seja, o financiamento climático ainda é menor que os investimentos em combustíveis fósseis. O panorama mostra uma concentração grande da mitigação no Norte Global”, conclui o pesquisador. No estudo, a China não está incluída no Sul Global por ser um ponto fora da curva. “A China faz parte do Sul Global, mas o país tem muito investimento climático e infraestrutura de transição, o que o coloca no lugar de outline.”**

A concentração dos mecanismos de financiamento para mitigação e adaptação nos países ricos, onde existe uma infraestrutura mais apta a suportar as mudanças climáticas, também reforça as desigualdades ambientais e econômicas. Segundo o pesquisador, soma-se à “financeirização” e à concentração de recursos de financiamento climático global o fato de os subsídios gastos com combustíveis fósseis ainda serem em maior volume. Em 2022, os combustíveis fósseis receberam recursos da ordem de US\$ 1,4 trilhão, enquanto os subsídios para o financiamento verde ficou em US\$ 1 trilhão.

## **ALTERNATIVAS**

A questão do volume de recursos não é a única, diz o economista. “O relatório examina as transformações em curso no sistema financeiro internacional impulsionadas pela crise climática. O texto destaca a necessidade de construir alternativas de financiamento climático que não dependa exclusivamente dos fluxos privados, a exemplo dos bancos públicos e da cooperação multilateral de desenvolvimento, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o banco do Brics (grupo que reúne economias emergentes).

**“Quando você tem uma composição de financiamento climático majoritariamente dominado por recursos e instrumentos de capital privado, você não consegue destinar os recursos para setores considerados urgentes, como o da adaptação climática e o da transição energética”, diz Montalvão.**

“Você acaba concentrando muito no mercado de automóveis elétricos, por exemplo. Essa é outra discussão complexa. O capital privado quer ter retorno a curto prazo. Quem tem capacidade de ter capital paciente é o setor público.”

O Transforma pretende se unir a outros atores que discutem esse tema durante a COP30. “Nós achamos que a questão climática pode ser também um instrumento de desenvolvimento social, porque, quando você constrói uma infraestrutura de energia solar e eólica, por exemplo, está desenvolvendo tecnologia e criando mercados, promovendo a transição. Não será com a liderança do capital privado, embora ele seja importante. Quem nós acreditamos que deveria coordenar isso deveria ser o setor público ou uma arquitetura financeira internacional mais democrática, porque os bancos multilaterais de desenvolvimento devem ter uma participação importante”, avalia o economista.

**Dentro desse contexto, o Brasil desempenha um papel importante como agente articulador de espaços no Sul Global, acredita Montalvão. “Queremos propor uma discussão sobre a construção de financiamento. O Brasil pode ser relevante nesse debate abrindo espaços alternativos. Os membros do Brics, dentro do qual o Brasil tem protagonismo, podem ser uma alternativa com o novo banco de desenvolvimento criado recentemente.”**

O Transforma reúne professores e pesquisadores que discutem questões e elaboram notas sobre a economia — com visão crítica — baseadas em pesquisas que tratam de assuntos diversos, mas principalmente assuntos alinhados a três eixos: o papel do Brasil no Sul Global quanto à transformação da governança econômica internacional (na qual se insere o trabalho de Montalvão); a política econômica e o impacto sobre a desigualdade; e o desenvolvimento econômico e a política internacional verde. “Queremos discutir os temas econômicos com a visão de reorientar o sentido da economia para a mudança e a transformação social.” O Transforma participou da Cúpula do G20 Social, no Rio de Janeiro, em novembro de 2024, e do conselho de think tanks dos Brics em fevereiro de 2025.



# GLOSSÁRIO AMBIENTAL

**ATIVIDADES DE UTILIDADE PÚBLICA:** a) as atividades de segurança nacional e proteção sanitária; b) as obras de infraestrutura destinadas às concessões e aos serviços públicos de transporte, sistema viário, inclusive aquele necessário aos parcelamentos de solo urbano aprovados pelos Municípios, saneamento, gestão de resíduos, energia, telecomunicações, radiodifusão, instalações necessárias à realização de competições esportivas estaduais, nacionais ou internacionais, bem como mineração, exceto, neste último caso, a extração de areia, argila, saibro e cascalho; c) atividades e obras de defesa civil; d) atividades que comprovadamente proporcionem melhorias na proteção das funções ambientais referidas no inciso II deste artigo; e) outras atividades similares devidamente caracterizadas e motivadas em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto, definidas em ato do Chefe do Poder Executivo federal.

**ATIVIDADES DE BAIXO IMPACTO OU EVENTUAIS EM APP:** Conforme dita o art. 3º da Lei Nº12.651/2012 – Novo Código Florestal –, são exemplos de atividades de baixo impacto ambiental: a) abertura de pequenas vias de acesso interno e suas pontes e pontilhões, quando necessárias à travessia de um curso d’água, ao acesso de pessoas e animais para a obtenção de água ou à retirada de produtos oriundos das atividades de manejo agroflorestal sustentável; b) implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e efluentes tratados, desde que comprovada a outorga do direito de uso da água, quando couber; c) implantação de trilhas para o desenvolvimento do ecoturismo; d) construção de rampa de lançamento de barcos e pequeno ancoradouro; e) construção de moradia de agricultores familiares, remanescentes de comunidades quilombolas e outras populações extrativistas e tradicionais em áreas rurais, onde o abastecimento de água se dê pelo esforço próprio dos moradores; f) construção e manutenção de cercas na propriedade; g) pesquisa científica relativa a recursos ambientais, respeitados outros requisitos previstos na legislação aplicável; h) coleta de produtos não madeireiros para fins de subsistência e produção de mudas, como sementes, castanhas e frutos, respeitada a legislação específica de acesso a recursos genéticos; i) plantio de espécies nativas produtoras de frutos, sementes, castanhas e outros produtos vegetais, desde que não implique supressão da vegetação existente nem prejudique a função ambiental da área; j) exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável, comunitário e familiar, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente nem prejudiquem a função ambiental da área; k) outras ações ou atividades similares, reconhecidas como eventuais e de baixo impacto ambiental em ato do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – ou dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente.

**CÁLCULO DO MÓDULO FISCAL:** O módulo fiscal varia de 5 hectares a 110 hectares. Para calcular se a propriedade é pequena, deve-se multiplicar o valor do Módulo Fiscal (MF) no seu município por quatro (MF x 4), como mostra a Tabela 1. Se a propriedade tiver um tamanho menor, em hectares, que o valor do produto MFx4, ela é classificada como “pequena propriedade”. Para consultar as dimensões do Módulo Fiscal do seu município, acesse o documento “Variação Geográfica do Tamanho dos Módulos Fiscais no Brasil”, da EMBRAPA (Landau et al., 2012). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77505/1/doc-146.pdf>.

**ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP):** É uma área protegida, que pode ser coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo de genes de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. As APP devem ser definidas e delimitadas em função das formas do relevo e da hidrografia da propriedade.

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE CONSOLIDADA:** A Área de Preservação Permanente Consolidada é a área de imóvel rural ocupada pelo homem antes de 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris (atividades relativas à agricultura, à aquicultura, à pecuária e à silvicultura) admitida, no caso de atividades agrossilvipastoris, a adoção do regime de pousio, um descanso dado à terra. Nas APPS Consolidadas, a conversão de novas áreas para uso alternativo do solo é proibida.

**ÁREA DE RESERVA LEGAL(ARL):** Além das Áreas de Preservação Permanente, os imóveis rurais devem manter área com cobertura de vegetação a título de Reserva Legal, sendo proibida a alteração de sua destinação. A Reserva Legal (RL) é descrita no Novo Código Florestal como sendo a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural com a função de: i. Assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural; ii. Auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos; iii. Promover a conservação da biodiversidade; e iv. Servir de abrigo e proteção para a fauna silvestre e flora nativa.

**ÁREA DE SERVIDÃO ADMINISTRATIVA:** Áreas de servidão administrativa são áreas de utilidade pública declaradas pelo Poder Público que afetam os imóveis rurais. Ou seja, são áreas particulares com instalação de serviços públicos como estradas públicas, linhas de transmissão de energia, gasodutos, oleodutos e reservatórios destinados ao abastecimento ou à geração de energia.

**ÁREA DE USO RESTRITO:** Pantais e planícies pantaneiras e áreas de inclinação entre 25° e 45°.

**ATIVIDADES DE INTERESSE SOCIAL:** a) as atividades imprescindíveis à proteção da integridade da vegetação nativa, tais como prevenção, combate e controle do fogo, controle da erosão, erradicação de invasoras e proteção de plantios com espécies nativas; b) a exploração agroflorestal sustentável praticada na pequena propriedade ou posse rural familiar ou por povos e comunidades tradicionais, desde que não descaracterize a cobertura vegetal existente e não prejudique a função ambiental da área; c) a implantação de infraestrutura pública destinada a esportes, lazer e atividades educacionais e culturais ao ar livre em áreas urbanas e rurais consolidadas, observadas as condições estabelecidas nesta Lei; d) a regularização fundiária de assentamentos humanos ocupados predominantemente por população de baixa renda em áreas urbanas consolidadas, observadas as condições estabelecidas na Lei no 11.977, de 7 de julho de 2009; e) implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e de efluentes tratados para projetos cujos recursos hídricos são partes integrantes e essenciais da atividade; f) as atividades de pesquisa e extração de areia, argila, saibro e cascalho, outorgadas pela autoridade competente; g) outras atividades similares devidamente caracterizadas e motivadas em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional à atividade proposta, definidas em ato do Chefe do Poder Executivo Federal.

**CROQUI:** É a representação gráfica simplificada da situação geográfica do imóvel rural, a partir de imagem de satélite georreferenciada disponibilizada via SICAR e que inclua os remanescentes de vegetação nativa.

**CURSO D'ÁGUA NATURAL PERENE:** possui, naturalmente, escoamento superficial durante todo o ano.

**CURSO D'ÁGUA NATURAL INTERMITENTE:** não apresenta, naturalmente, escoamento superficial durante certos períodos do ano.

**CURSO D'ÁGUA NATURAL EFÊMERO:** possui escoamento superficial apenas durante, ou imediatamente após, períodos de precipitação. Em rios efêmeros não é necessário recuperar as faixas marginais.

**DATA DE CORTE:** Em 22 de julho de 2008, é publicado o Decreto nº 6.514, que trata das infrações e sanções administrativas ao meio ambiente e regulamenta a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998), portanto, nos casos em que as supressões não autorizadas ocorreram após 22 de julho de 2008, só são autorizadas novas supressões da vegetação após recomposição da vegetação.

**DANO:** “É a lesão de interesses juridicamente protegidos, (...) é toda ofensa a bens ou interesses alheios protegidos pela ordem jurídica. O interesse, nesta concepção, representa a posição de uma pessoa, grupo ou coletividade em relação ao bem suscetível de satisfazer-lhe uma necessidade. Bem deve ser entendido, em sentido amplo, como meio de satisfação de uma necessidade. Pelo que se depreende desta definição, dano abrange qualquer diminuição ou alteração de bem destinado à satisfação de um interesse. Isso significa que, como regra, as reparações devem ser integrais, sem limitação quanto à sua indenização, compreendendo danos patrimoniais e extrapatrimoniais”[1]

**DANO AMBIENTAL:** “todo dano causador de lesão ao meio ambiente”[1]

**DANOS AMBIENTAIS EM SI (dano ecológico puro):** correspondem aos danos reparáveis, preferencialmente, pela devolução da qualidade ecológica perdida pelo bem ambiental, ao menos, ao status quo anterior a sua ocorrência. “Contudo, a possibilidade técnica e futura de restabelecimento in natura (= juízo prospectivo) nem sempre se mostra suficiente para, no terreno da responsabilidade civil, reverter ou recompor por inteiro as várias dimensões da degradação ambiental causada, mormente quanto ao chamado dano ecológico puro, caracterizado por afigir a Natureza em si mesma, como bem inapropriado ou inapropriável. Por isso, a simples restauração futura - mais ainda se a perder de vista - do recurso ou elemento natural prejudicado não exaure os deveres associados aos princípios do poluidor[1]pagador e da reparação in integrum. (...) A responsabilidade civil, se realmente aspira a adequadamente confrontar o caráter expansivo e difuso do dano ambiental, deve ser compreendida o mais amplamente possível, de modo que a condenação a recuperar a área prejudicada não exclua o dever de indenizar - juízos retrospectivo e prospectivo. A cumulação de obrigação de fazer, não fazer e pagar não configura bis in idem, tanto por serem distintos os fundamentos das prestações, como pelo fato de que eventual indenização não advém de lesão em si já restaurada, mas relaciona-se à degradação remanescente ou reflexa.”[1]

**DANOS AMBIENTAIS REMANESCENTES OU RESIDUAIS:** consistem em danos definitivos/perenes/permanentes, que se prolongam no tempo, ainda que empreendidos os esforços adequados à recuperação total da qualidade ecológica comprometida, sendo a compensação o instrumento apropriado a remediar a impossibilidade reconduzir o bem ambiental ao estado qualitativo anterior. Note-se que na “categoria da degradação remanescente ou reflexa, incluem-se tanto a que temporalmente medeia a conduta infesta e o pleno restabelecimento ou recomposição da biota, vale dizer, a privação temporária da fruição do bem de uso comum do povo (= dano interino, intermediário, momentâneo, transitório ou de interregno), quanto o dano residual (= deterioração ambiental irreversível, que subsiste ou perdura, não obstante todos os esforços de restauração) e o dano moral coletivo. Também deve ser restituído ao patrimônio público o proveito econômico do agente com a atividade ou empreendimento degradador, a mais-valia ecológica que indevidamente auferiu (p. ex., madeira ou minério retirados ao arrepio da lei do imóvel degradado ou, ainda, o benefício com o uso ilícito da área para fim agrossilvopastoril, turístico, comercial)”

**DANOS AMBIENTAIS INTERCORRENTES (Interinos, transitórios, temporários, provisórios ou intermediários):** tratam-se de lesões temporárias, que acontecem após o dano em si e a recuperação da qualidade ecológica corrompida, em concomitância ou não com danos ambientais residuais. Apesar de sua natureza transitória, tal qual ocorre com os demais danos ecológicos, não possuem autorização legal para a dispensa de quaisquer medidas capazes de mitigar seus efeitos e duração.

**DANOS AMBIENTAIS ESTÉTICOS (Interinos, transitórios, temporários, provisórios ou intermediários):** São subespécie dos danos ambientais extrapatrimoniais e ocorrem pela lesão à paisagem natural ou urbana capaz de afetar a estética local. Estes danos ensejam reparação própria, a integrar o quantum indenizatório que perfaz os aspectos retributivos e punitivos pela mácula a valores ambientais imateriais.

**DANOS AMBIENTAIS EXTRAPATRIMONIAIS/MORAIS (In Re Ipsa):** configuram-se pela “lesão a valor imaterial coletivo, pelo prejuízo proporcionado ao patrimônio ideal da coletividade, relacionado à manutenção do equilíbrio ambiental e à qualidade de vida”[2]. O STJ já repisou que o “dano moral coletivo surge diretamente da ofensa ao direito ao meio ambiente ecológicamente equilibrado”[3], isto é, “o dano extrapatrimonial atinge direitos de personalidade do grupo ou coletividade enquanto realidade massificada, que a cada dia reclama mais soluções jurídicas para sua proteção. É evidente que uma coletividade pode sofrer ofensa à sua honra, à sua dignidade, à sua boa reputação, à sua história, costumes e tradições e ao seu direito a um meio ambiente salutar para si e seus descendentes. Isso não importa exigir que a coletividade sinta a dor, a repulsa, a indignação, tal qual fosse um indivíduo isolado.

Essas decorrem do sentimento de participar de determinado grupo ou coletividade, relacionando a própria individualidade à ideia do coletivo.”[4] Estes danos podem, portanto, ser expressos sob três modos distintos: “(a) dano moral ambiental coletivo, caracterizado pela diminuição da qualidade de vida e bem-estar da coletividade; (b) dano social, identificado pela privação imposta à coletividade de gozo e fruição o equilíbrio ambiental proporcionado pelos microbens ambientais degradados; e (c) dano ao valor intrínseco do meio ambiente, vinculado ao reconhecimento de um valor ao meio ambiente em si considerado - e, portanto, dissociado de sua utilidade ou valor econômico, já que decorre da irreversibilidade do dano ambiental, no sentido de que a natureza jamais se repete.” Assim, para o STJ, a condenação em danos ambientais extrapatrimoniais não requer excepcionalidade de fatos ou circunstâncias, porque “os danos morais coletivos são presumidos. É inviável a exigência de elementos materiais específicos e pontuais para sua configuração. A configuração dessa espécie de dano depende da verificação de aspectos objetivos da causa”[5]

**DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL:** “a alteração adversa das características do meio ambiente”[3]

**FAIXAS MARGINAIS DE QUALQUER CURSO D’ÁGUA NATURAL PERENE E INTERMITENTE:** A faixa marginal de qualquer curso d’água natural pode ser definida como a faixa marginal ou faixa mais próxima dos cursos de água e que, portanto, deve comportar vegetação. Essa faixa está contida na mata ciliar, que, assim como os cílios dos olhos, protege o próprio curso d’água.

**GRANDE PROPRIEDADE:** É o imóvel rural que apresenta área superior a 15 (quinze) módulos fiscais.

**IMPACTO AMBIENTAL:** “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: (I) a saúde, a segurança e o bem estar da população; (II) as atividades sociais e econômicas; (III) a biota; (IV) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; (V) a qualidade dos recursos ambientais.”[4]

**IMÓVEL RURAL:** Área contínua, qualquer que seja sua localização, que se destine ou possa se destinar à exploração agrícola, pecuária, extrativa vegetal, florestal ou agroindustrial. Vale lembrar que o imóvel rural pode se enquadrar diferentes situações de posse como propriedade privada; posse consolidada; áreas de uso comum; áreas de comunidades tradicionais etc.

**INFORMAÇÕES AMBIENTAIS:** São informações que caracterizam os perímetros e a localização dos remanescentes de vegetação nativa das Áreas de Utilidade Pública, das Áreas de Preservação Permanente – APP –, das Áreas de uso restrito, das Áreas Consolidadas e das Reservas Legais (RL), bem como das áreas em recomposição, recuperação, regeneração ou em compensação.

**MANEJO AGROFLORESTAL SUSTENTÁVEL:** É uma forma de uso da terra em que espécies arbóreas lenhosas (frutíferas e madeireiras) são consorciadas com cultivos agrícolas ou criação de animais, de forma simultânea ou em sequência temporal, que atendam às necessidades econômicas e nutricionais das populações humanas presentes, sem prejuízo para o meio ambiente e para as gerações futuras.

**MÉDIA PROPRIEDADE:** É o imóvel rural que apresenta área compreendida entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais.

**MINIFUNDIO:** É o imóvel rural que corresponde a uma área inferior a 1 (um) módulo fiscal.

**MODULO FISCAL:** uma unidade de medida de área expressa em hectares e fixada, de forma diferenciada, para cada município em função das suas particularidades. O Módulo Fiscal também é usado como parâmetro na classificação fundiária do imóvel rural considerando a sua dimensão, e dessa forma caracteriza o imóvel rural. Seu conceito foi criado pela Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979, que alterou o “Estatuto da Terra”.

**NASCENTE:** É o afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água.

**NEXO CAUSAL:** “O nexo causal é o vínculo que une conduta e resultado lesivo. É pressuposto indispensável para toda a responsabilização civil, mesmo a objetiva lastreada pela Teoria do Risco Integral.” Existem exceções.

**OLHO D’ÁGUA:** É o afloramento natural do lençol freático perene ou mesmo intermitente que não dá origem a um curso d’água. Somente os “olhos d’água perenes” são considerados para delimitação da APP.

**PEQUENA PROPRIEDADE:** É a denominação dada, de forma geral, ao imóvel rural com área inferior a 4 módulos fiscais explorado mediante o trabalho pessoal do agricultor familiar e empreendedor familiar rural, incluindo os assentamentos e projetos de reforma agrária. É o imóvel rural que apresenta área compreendida entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais. É considerado, para o cumprimento da lei, o tamanho do imóvel em 22 de julho de 2008. Veja outros detalhes no art. 3º da Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006.

**PLANTA:** É a representação gráfica plana de uma área contendo informações topográficas, que descreva as características naturais e artificiais do imóvel rural. A planta difere do mapa por não possuir sistema de projeção.

**PROGRAMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL:** é um conjunto de ações e iniciativas que contribui para a regularização ambiental das propriedades e posses rurais, em que tenha sido verificada a existência de passivos ambientais relativos as áreas de preservação permanente, reserva legal ou de uso restrito.

**SISTEMAS UTILIZADOS PARA FAZER O CAR NA AMAZÔNIA:** i. SICAR (Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural) utilizado em Roraima, no Amapá, no Maranhão, no Acre e no Amazonas; ii. SIMLAM (Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental) utilizado em Mato Grosso, no Pará e em Rondônia; e iii. SIG-CAR (Sistema de Informação para a Gestão do Cadastro Ambiental Rural) utilizado no Tocantins.



**LEGISLAÇÃO EM FOCO**

## **PUBLICADA LEI DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL, COM 63 VETOS**

Foi publicada nesta sexta-feira (8), em edição extra do Diário Oficial da União, a Lei Geral do Licenciamento Ambiental ([Lei 15.190, 2025](#)), com 63 dispositivos vetados. O Executivo argumenta que os vetos buscam garantir maior proteção ambiental e segurança jurídica e que o texto retirado da lei poderia eliminar ou reduzir exigências para o licenciamento.

Lula **vetou 63 dos 400 dispositivos** do projeto aprovado pelo Congresso ([PL 2.159/2021](#)), que foi apoiado pelo agronegócio e setores empresariais, mas vinha sendo denunciado por organizações ambientalistas e pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) como um grave retrocesso.

Uma medida provisória ([MP 1.308/2025](#)) e outro projeto de lei, com urgência constitucional, também foram assinados por Lula, para recompor em parte os dispositivos vetados. A MP trata exclusivamente da regulamentação do chamado Licenciamento Ambiental Especial (LAE), com regras que garantam agilidade ao processo.

### **Vetados**

Entre os dispositivos vetados está justamente a possibilidade do LAE ser realizado com fase única. Essa modalidade de licenciamento poderá ser acionada apenas para projetos prioritários, que terão equipes focadas em dar celeridade aos licenciamentos.

Também foi vetada a possibilidade de licenciamento simplificado para empreendimentos de médio potencial poluidor, o que inclui a modalidade de licenciamento por autodeclaração. Com isso, a Licença por Adesão e Compromisso (LAC) fica mantida apenas para obras de baixo impacto ambiental.

O governo também **vetou dispositivos** que transferiam, “de forma ampla”, para os estados e o Distrito Federal, a definição dos parâmetros e critérios para licenciamentos. Com os vetos, o governo estabeleceu que estados e DF devem respeitar “padrões nacionais”. Também foi vetada a possibilidade de retirar a Mata Atlântica do regime de proteção especial para supressão de floresta nativa.

# **PUBLICADA LEI DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL, COM 63 VETOS**

## **Indígenas e quilombolas**

**Outro voto derrubou o dispositivo que limitava as consultas a comunidades indígenas e quilombolas para empreendimentos realizados em suas áreas. Com o voto, os grupos indígenas e quilombolas que tenham iniciado o processo de reconhecimento devem ser consultados.**

## **Produtores rurais**

**Foi derrubado o dispositivo que dispensava o licenciamento ambiental para produtores rurais com Cadastro Ambiental Rural (CAR) pendente de análise pelos órgãos estaduais. O governo vetou ainda dispositivo que limitava ações de compensação apenas por impactos diretos ao meio ambiente, excluindo os chamados impactos indiretos.**

## **Unidades de conservação**

**Foi vetado, ainda, o artigo que acabava com a obrigatoriedade de seguir os pareceres de órgãos gestores de unidades de conservação no licenciamento de empreendimentos que afetem diretamente a unidade ou a área do entorno protegida. Com o voto, os órgãos das unidades de conservação terão poder real sobre o processo. Outro voto do presidente Lula manteve a responsabilidade de instituições financeiras na concessão de crédito em casos de danos ambientais em projetos financiados por elas.**

## **Palavra final**

**Todos os dispositivos vetados serão analisados em sessão do Congresso Nacional e podem ser mantidos ou cancelados. Para a rejeição do voto é necessária a maioria absoluta dos votos de deputados e senadores, ou seja, 257 votos de deputados e 41 votos de senadores, computados separadamente. Registrada uma quantidade inferior de votos pela rejeição em umas das Casas, o voto é mantido.**



DE OLHO NA COP 30

# MESMO COM IMPASSES, PAÍSES POBRES QUEREM INCLUIR FINANCIAMENTO CLIMÁTICO NA AGENDA DA COP30

**Índia e aliados exigem cumprimento da promessa de financiamento dos governos dos países desenvolvidos assumida no Acordo de Paris.**

Por conta da falta de resposta adequada da COP29 ao financiamento climático para os países mais pobres e vulneráveis, o tema deve criar problemas na agenda da COP30. O site [Down to Earth](#) levantou, por exemplo, a pressão que países em desenvolvimento, incluindo a Índia, devem fazer pela aplicação do Artigo 9.1 do Acordo de Paris, o que trata especificamente do financiamento público mobilizado pelos governos dos países desenvolvidos.

Na COP29, no ano passado, dois objetivos ligados à mobilização de financiamento foram delineados como parte da Nova Meta Coletiva Quantificada (NCQG), que está sob o Artigo 9.3 do Acordo de Paris. Embora se espere que os países desenvolvidos liderem esse esforço, as metas acordadas, de US\$300 bilhões anuais até 2035 e um objetivo mais amplo de US\$1,3 trilhão por ano, referem-se a uma combinação de recursos públicos e privados.

**“Essa abordagem transfere a responsabilidade dos países desenvolvidos em fornecer financiamento público, como pretendido no Artigo 9.1. Em vez disso, depende fortemente de outras fontes, sobretudo de financiamento privado”, disse Avantika Goswami, líder do programa de mudanças climáticas do Centre for Science and Environment (CSE), think tank sediado em Nova Déli.**

Como país-sede da COP30, o Brasil herdou a tarefa de liderar essa discussão ao lado do Azerbaijão. Para isso, as presidências das COP29 e COP30 estão elaborando o “Roteiro de Baku a Belém para US\$1,3 trilhão”, que deve definir as estratégias para o tema. No entanto, alguns especialistas ouvidos pelo [InfoAmazonia](#) apontam falta de transparência do governo brasileiro no processo e afirmam não ter acesso aos rascunhos já produzidos, o que impede de saber quais discussões estão mais avançadas e quais caminhos foram propostos.

“Como o [roadmap] não será um resultado negociado entre as partes, corre o risco de ser apenas um relatório, uma lista de propostas que ninguém precisa aplicar e que pode simplesmente ser esquecido. Para evitar isso, as partes, a sociedade civil e os atores interessados precisam se apropriar do processo. Para isso, a participação efetiva é absolutamente necessária”, disse Stella Herschmann, especialista em política climática do Observatório do Clima.

O Brasil também quer lançar na COP30 o Fundo Florestas Tropicais para Sempre (TFFF), mas as tensões com os Estados Unidos podem afetar esse objetivo, informa o [Correio Braziliense](#). Para tornar o TFFF operacional, o Brasil negocia com o Banco Mundial, que deve ser o responsável pela gestão dos aportes e coordenação das iniciativas. Mas os desentendimentos com Washington podem impor obstáculos ao engajamento internacional e à captação de recursos.

Recentemente, o assessor especial do Ministério do Meio Ambiente (MMA) André Aquino fez um alerta: a forte influência dos EUA no Banco Mundial pode representar um obstáculo. “A instituição financeira tem seu poder de voto definido pelo volume de recursos aportados, e os Estados Unidos detêm uma fatia significativa, superior a 30%”, explicou. “Na prática, um voto desse tipo nunca ocorreu. Mas há muitas situações que nunca tinham acontecido e que estão acontecendo atualmente”.

- Em tempo: O Brasil registrou um salto expressivo na captação de financiamento climático internacional, atingindo em média R\$ 26,6 bilhões por ano entre 2021 e 2022, um aumento de 84% em relação a 2019-2020. O desempenho é muito superior à média global, que cresceu 28% no mesmo período. Os dados são do estudo “Mapeamento de Financiamento Climático Internacional para o Brasil”, elaborado pela Climate Policy Initiative/PUC-Rio (CPI/PUC-Rio). Mais da metade dos recursos mapeados (53%) foi destinada ao setor de energia, especialmente para geração solar e eólica, fontes que concentraram 80% do montante. Já o setor Agropecuária, Florestas, Outros Usos da Terra e Pesca, responsável por quase três quartos das emissões nacionais, recebeu apenas 11% dos recursos. A fatia para florestas foi ainda menor: R\$ 623 milhões/ano, o equivalente a 2% do total, informa [\(\(o\)\)eco](#).

# LÍDER CIENTÍFICA DA COP30 DEFENDE MUTIRÃO CONTRA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

**Thelma Krug defende que debates priorizem somente financiamento**

Por trás das negociações políticas que ocorrerão na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP30) em Belém, estará um grupo de cientistas abastecendo as autoridades brasileiras com dados técnicos.

Mesmo com o número grande de desafios pela frente, a coordenadora do grupo, a pesquisadora Thelma Krug, está otimista de que o evento terá resultados positivos.

Ela tem um currículo que a credencia como uma das maiores especialistas mundiais quando o assunto é clima e meio ambiente. Ligada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), esteve em cargos de liderança no Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) de 2002 a 2023. Chegou a ser vice-presidente do IPCC.

*"A gente tem que levar uma voz de esperança. Só vemos notícias ruins sobre a emergência climática. E isso tem provocado problemas de saúde mental, principalmente nos mais jovens. A gente precisa falar que já fez muita coisa nesses últimos dez anos, por exemplo. Sabemos das dificuldades, mas precisamos agir, fazer esse mutirão para buscarmos nossas metas na COP30", disse Thelma Krug.*

A pesquisadora esteve no evento "Esse tal Efeito Estufa", organizado pelo Instituto Clima e Sociedade no Rio de Janeiro.

O Conselho Científico sobre o Clima é composto por 11 cientistas, seis do Brasil e cinco do exterior, e vai assessorar diretamente o presidente da COP30, o embaixador André Corrêa do Lago, antes e durante o evento.

Nas últimas semanas, o grupo focou os debates sobre as possibilidades de remoção do dióxido de carbono na atmosfera. O entendimento é de que será muito difícil chegar até 2050 com zero emissões de CO<sub>2</sub>, requisito necessário para limitar o aquecimento global em 1,5°C. Discutiram-se necessidade de implementação de reflorestamentos de larga escala, possibilidade de retirar CO<sub>2</sub> e injetar em sítios geológicos oceânicos.

Mesmo com tantas questões científicas complexas em discussão, Thelma Krug diz estar mais preocupada com a manutenção da unidade dos países nos esforços para combater a emergência climática.

*"É um processo muito complicado. Você tem mais de 190 países que precisam chegar a decisões por consenso.*

*Países completamente diferentes, que sofrem com a mudança do clima de maneiras distintas.*

*Por isso, para mim se a gente puder falar de sucesso da COP30, vai ser a manutenção do multilateralismo.*

*Principalmente com a saída dos Estados Unidos do Acordo de Paris. Isso não pode contaminar a COP30", analisa a cientista.*

A pesquisadora defende uma agenda de ações climáticas mais extensa, que não foque excessivamente nas questões de financiamento por parte dos países mais ricos.

*"O financiamento é importante, mas a gente não pode parar nessa expectativa de que o dinheiro vai vir. Eu não tenho esperança disso. Algumas pessoas acham que a gente deveria focar muito no financiamento, quando na verdade não vai sair agora. A gente tem que buscar o mutirão para buscar um conjunto de ações", diz a cientista.*

*"Na agenda de ação climática, a gente tem tantos objetivos chaves: a transição energética, agricultura, equidade. E eu tenho a certeza de que a partir daí a gente vai conseguir ter avanços mais operacionais, mais de implementação e que não fique naquela questão de ficar cobrando financiamento", complementa.*



# AMBIENTE & CIÊNCIA

**GEOGRAFIA E A DISPONIBILIDADE DE HABITAT NATURAL DETERMINAM SE A INTENSIFICAÇÃO OU EXPANSÃO DE TERRAS AGRÍCOLAS É MAIS PREJUDICIAL À BIODIVERSIDADE\***

## **Resumo**

Para mitigar a perda de biodiversidade da agricultura, a intensificação é frequentemente promovida como uma alternativa à expansão de terras agrícolas. No entanto, seus impactos locais permanecem debatidos. Avaliamos globalmente as respostas de três métricas de biodiversidade — riqueza de espécies, abundância total e tamanho médio ponderado da área de distribuição pela abundância relativa da comunidade (RCAR), um proxy para homogeneização biótica — à conversão de terras e aumentos de produtividade. Nossos modelos preveem uma perda mediana de espécies de 11% na vegetação primária em paisagens modificadas e de 25% e 40% em terras agrícolas em paisagens naturais e modificadas, respectivamente.

A conversão de terras também reduz a abundância e aumenta a homogeneização biótica, com impactos que variam de acordo com a região geográfica e o histórico de modificação humana. No entanto, o aumento da produtividade também altera a biodiversidade, inclusive na vegetação primária adjacente, com efeitos dependentes da cultura, região, métrica de biodiversidade e cobertura do habitat natural.

Em última análise, nem a expansão nem a intensificação beneficiam consistentemente a biodiversidade. A intensificação apresenta melhores resultados de riqueza de espécies em 29%, 83%, 64% e 57% das paisagens de milho, soja, trigo e arroz, respectivamente, enquanto a expansão apresenta melhor desempenho nas demais áreas. Em termos de abundância e RCAR, tanto a expansão quanto a intensificação podem superar uma à outra, dependendo da paisagem. Portanto, minimizar a perda de biodiversidade local requer um equilíbrio entre expansão e intensificação dependente do contexto, evitando a expansão em paisagens não modificadas.

# Principal

A agricultura é um dos principais impulsionadores da perda de biodiversidade <sup>1, 2</sup> e muitas projeções sugerem que a perda de biodiversidade devido à agricultura pode continuar a ocorrer localmente, mesmo em cenários ambiciosos que incluem esforços para limitar a demanda futura por produtos agrícolas <sup>3, 4, 5</sup>. Políticas que tentam reduzir o custo da biodiversidade na agricultura frequentemente visam reduzir a expansão de terras agrícolas aumentando a produtividade em terras agrícolas existentes <sup>6, 7</sup>. Para entender a eficácia dessa estratégia, precisamos quantificar completamente o impacto dos aumentos de produtividade na biodiversidade e compará-lo ao impacto da expansão de terras agrícolas. Considerando que há uma grande incerteza sobre onde a pressão do uso da terra pode aumentar no futuro <sup>8</sup>, também precisamos entender os custos relativos da biodiversidade da expansão e intensificação em paisagens globais.

As opções de intensificação-expansão são frequentemente discutidas em termos de hotspots espaciais de potencial conflito com a conservação da biodiversidade <sup>9</sup>, ou dentro da estrutura de economia/compartilhamento de terras <sup>10, 11</sup>. Na última abordagem, as duas extremidades de um continuum de opções são economia extrema de terras, quando a produção é concentrada na menor área possível pela intensificação da agricultura, e compartilhamento extremo de terras, quando a produção é espalhada com o menor impacto local possível por meio do uso de práticas favoráveis à biodiversidade <sup>10</sup>. Os estudos de economia/compartilhamento de terras frequentemente dependem de modelos de densidade populacional em relação à produtividade em escalas regionais como uma medida da probabilidade de persistência de espécies, visando entender o risco de extinção. A maioria desses estudos conclui que mais espécies se beneficiariam da preservação da terra do que do compartilhamento da terra em uma determinada meta de produção <sup>7, 12, 13, 14</sup>, enquanto outros estudos sugerem que as respostas das espécies são mediadas pelo habitat natural circundante <sup>15, 16, 17, 18</sup> e pelo histórico de uso da terra <sup>19, 20, 21</sup>. Estudos de métricas de comunidades locais em relação à produtividade, que são importantes para entender o fornecimento de serviços ecossistêmicos <sup>22</sup>, e a estabilidade de comunidades ecológicas <sup>23</sup> são mais raros e mostram respostas mistas da biodiversidade aos aumentos de produtividade <sup>24, 25, 26, 27</sup>.

Nem a persistência das espécies nem as respostas das métricas da comunidade aos aumentos de produtividade foram avaliadas em paisagens agrícolas globais, portanto, nossa compreensão dos impactos comparativos da intensificação e expansão agrícolas na biodiversidade está longe de ser completa.

Quantificar a intensidade do uso da terra globalmente é um desafio complexo devido às múltiplas dimensões de intensidade e às lacunas e incertezas de muitas fontes de dados <sup>28</sup>. Para quantificar os impactos da gestão agrícola sobre a biodiversidade, estudos anteriores em larga escala usaram proxies de produção, como produtividade primária líquida apropriada pelo homem <sup>29</sup>, insumos agrícolas como fertilizantes <sup>29</sup> ou categorias amplas de intensidade do uso da terra, que normalmente consideram insumos e produtos agrícolas <sup>30, 31</sup>. Como a gestão agrícola é apenas um meio de obter um certo nível de rendimento, focar no impacto da produtividade sobre a biodiversidade fornece uma relação mais direta com os padrões de consumo, o que destaca a importância das medidas do lado da demanda para reduzir os impactos da agricultura sobre a biodiversidade <sup>4</sup>. Essa abordagem também fornece uma relação mais direta com a produção agrícola, pois maiores insumos agrícolas nem sempre se traduzem em maior rendimento, e terras agrícolas degradadas podem, na verdade, exigir maiores insumos para o mesmo nível de rendimento <sup>32</sup>. Da mesma forma, os rendimentos podem ser aumentados com menores impactos na biodiversidade quando se depende de serviços ecossistêmicos <sup>33, 34</sup> ou quando se utilizam melhorias tecnológicas benéficas para a biodiversidade <sup>35</sup>.

Para quantificar completamente o impacto dos aumentos de produtividade na biodiversidade, temos que olhar além das métricas mais frequentemente usadas de riqueza de espécies <sup>30, 31, 36</sup> e abundância total <sup>31, 36</sup>, que podem obscurecer mudanças na composição da comunidade. A homogeneização biótica, que acontece quando comunidades ecológicas se tornam cada vez mais semelhantes no espaço <sup>37</sup>, é frequentemente uma consequência do impacto humano, mesmo quando outras métricas de biodiversidade parecem inalteradas <sup>38</sup>.

Entre as características das espécies usadas para capturar mudanças na composição da comunidade e homogeneização biótica <sup>39, 40</sup>, o tamanho da área de distribuição é um preditor chave do risco de extinção <sup>41</sup> e, portanto, altamente relevante para objetivos de conservação.

O tamanho médio da área de distribuição da comunidade, frequentemente ponderado pela abundância das espécies componentes, reflete mudanças na composição em direção a espécies mais geograficamente disseminadas ou de distribuição restrita, indicando se uma comunidade se torna mais ou menos distinta <sup>42</sup>. Além de Phalan et al. <sup>2, 11</sup>, que relatam como as áreas globais de distribuição de pássaros e árvores em Gana e na Índia se relacionam com a capacidade das espécies de persistir em paisagens agrícolas em diferentes níveis de rendimento, poucos estudos relatam como a homogeneização biótica se relaciona com o manejo agrícola <sup>42</sup>, e nenhum com diferentes níveis de rendimento em escala global.

Aqui, fornecemos uma avaliação global das consequências da conversão de terras e do aumento da produtividade em paisagens que produzem quatro culturas: milho, soja, trigo e arroz, que juntos representam mais da metade da produção global total de calorias <sup>43</sup>. Conseguimos isso em quatro etapas, cada uma focada em uma questão específica: (1) qual é o impacto da conversão de terras na biodiversidade na ausência de quaisquer considerações sobre produtividade, considerando os efeitos locais e em nível de paisagem da conversão de terras? (2) Dentro das paisagens agrícolas, qual é o impacto do aumento da produtividade na biodiversidade? (3) Qual é o impacto da biodiversidade ao atingir a produtividade máxima atingível em uma determinada região, ou seja, fechar as lacunas de produtividade <sup>6</sup>, na ausência de conversão de terras? E (4) como os impactos hipotéticos da conversão de terras e do aumento da produtividade visando um aumento igual na produção se comparam dentro de cada paisagem agrícola existente, definida aqui como a extensão de uma célula raster com qualquer quantidade de terra arável? Analisamos as culturas separadamente para capturar potenciais diferenças nos tipos de paisagem e efeitos na paisagem de diferentes abordagens de gestão, e focamos em dois usos da terra: terras de cultivo (isto é, terras usadas para cultivo de culturas herbáceas) ou vegetação primária (isto é, terras que não mostram evidências de destruição prévia da vegetação, seja por ações humanas ou eventos naturais extremos). Usamos uma substituição espaço-tempo para modelar três métricas de biodiversidade: riqueza de espécies amostradas, abundância total amostrada e tamanho médio ponderado da amplitude da abundância relativa da comunidade (RCAR). Primeiro, modelamos como a biodiversidade reage à conversão do uso da terra localmente (terras agrícolas versus vegetação primária) e em escala de paisagem (paisagens modificadas com menos de 30% de habitat natural versus paisagens naturais com mais de 70% de habitat natural) criando uma variável combinada de uso da terra-paisagem (Fig. 1a,c).

Escolhemos esses limiares de habitat natural com base em pesquisas que mostram que ~30% e ~70% marcam limiares importantes em como a perda de habitat e o arranjo espacial de manchas de habitat interagem para reduzir a biodiversidade <sup>44</sup>. Esses valores também se alinham amplamente com os limiares de cobertura de habitat identificados para a biodiversidade em florestas tropicais <sup>45</sup> e em paisagens agrícolas <sup>46</sup>. Em segundo lugar, modelamos os impactos da produtividade agrícola <sup>47</sup> e da quantidade de vegetação natural na paisagem <sup>48</sup> sobre a biodiversidade (Fig. 1b,c).

Com base nesses modelos, respondemos à terceira e quarta perguntas (Fig. 1c). Primeiramente, projetamos o impacto do fechamento total das lacunas de produtividade em terras agrícolas existentes identificadas como tendo produtividades abaixo da produtividade máxima atingível para a respectiva região e cultura <sup>6</sup>. Em seguida, comparamos os impactos estimados sobre a biodiversidade ao se atingir um aumento arbitrário na produção por expansão ou intensificação para cada cultura e dentro de cada célula raster que já contém a respectiva cultura, independentemente dos níveis de rendimento no ano 2000, de acordo com o princípio de comparar alternativas que são correspondidas em termos de produção total <sup>10,49</sup>.

Embora testemos várias metas de aumento de produção, focamos nos resultados para um aumento uniforme de produção de 1% para minimizar o número de células raster para as quais atingiríamos proporções inválidas de uso da terra no cenário de expansão, por exemplo, terras agrícolas ocupando mais de 100% da célula ou vegetação primária contraindo para menos de 0%. Nossa cenário irrealista de aumento uniforme de produção de 1% é obviamente inadequado para prever padrões confiáveis de mudança no uso da terra, mas é adequado para comparar impactos de intensificação e expansão hipotéticas dentro de cada paisagem agrícola. Dado que a maioria das comparações entre intensificação e expansão se concentra na conversão de vegetação primária ou natural em terras agrícolas <sup>11, 12, 50</sup>, nossas projeções de expansão também se concentram na conversão de vegetação primária em terras agrícolas. Além disso, testar a opinião predominante de que a intensificação é menos prejudicial à biodiversidade do que a expansão exige uma comparação da intensificação com o tipo de expansão mais impactante, que é aquela que prejudica a vegetação primária.

# Resultados

## Impactos da conversão de habitat na biodiversidade

Em relação à vegetação primária em paisagens naturais, as outras categorias de uso da terra-paisagem mostraram reduções na riqueza de espécies (Fig. 2a) e abundância (Fig. 2b,d) e aumentos no RCAR (Fig. 2c,e), embora as interações estatisticamente significativas da variável combinada de uso da terra-paisagem com outras variáveis do modelo sugiram padrões distintos para diferentes tipos de paisagem. Por exemplo, a interação com a região geográfica foi selecionada como significativa para abundância total e RCAR (Fig. 2b-e). Os resultados sugerem que em regiões tropicais, a vegetação primária em paisagens modificadas permanece relativamente próxima em termos de abundância e RCAR à vegetação primária em paisagens naturais, e os intervalos de confiança de 95% incluem 0, indicando que não há diferença significativa entre essas duas categorias. Em regiões não tropicais, são as terras agrícolas em paisagens naturais que têm níveis de biodiversidade mais próximos da vegetação primária em paisagens naturais em termos de abundância total (Fig. 2d) e RCAR (Fig. 2e). Os efeitos da riqueza de espécies (Fig. 2a) e a interação não significativa entre as categorias de uso da terra e paisagem e a região geográfica para esta métrica sugerem que as espécies são perdidas com a conversão da terra em taxas semelhantes em paisagens tropicais e não tropicais. É importante destacar o desequilíbrio no número de pontos de dados entre as diferentes categorias da variável combinada de uso da terra e paisagem e entre os pontos de dados em regiões tropicais e não tropicais, o que pode contribuir para intervalos de confiança mais amplos em alguns casos (Fig. 2e e Tabela Suplementar 1).

Outros efeitos significativos nos modelos de conversão incluíram a temperatura média anual nos modelos de abundância e riqueza de espécies, e a precipitação anual no modelo de riqueza de espécies. A duração da modificação substancial da paisagem humana e sua interação com a variável combinada de uso da terra-paisagem foram retidas nos modelos de riqueza de espécies (Dados Estendidos Fig. 1) e RCAR (Dados Estendidos Fig. 2). Áreas que sofreram modificação substancial tardia da paisagem humana (nos últimos 500 anos) exibem diferenças mais pronunciadas de riqueza e RCAR entre as categorias de uso da terra-paisagem do que áreas que sofreram modificações substanciais precoces da paisagem humana (~2.000 anos atrás; Dados Estendidos Figs. 1 e 2). A exceção a esse padrão é representada pelo RCAR em terras agrícolas em paisagens naturais, onde o aumento é maior para paisagens com uma longa história de modificação substancial da paisagem humana, embora o pequeno número de pontos de dados reduza a confiança neste resultado (Dados Estendidos Fig. 2b).

## Impactos da conversão de habitat na biodiversidade

A mudança na biodiversidade com aumentos de produtividade é mediada pelo uso da terra, região geográfica e porcentagem de habitat natural na paisagem. Aumentos de produtividade foram associados a diminuições na riqueza de espécies (Fig. 3a,c,d) com duas exceções: paisagens com cultivo de soja, onde aumentos de produtividade de soja não foram associados a nenhuma mudança na riqueza de espécies (Fig. 3b); e paisagens com cultivo de arroz e alta porcentagem de vegetação natural, onde aumentos de produtividade de arroz foram associados a aumentos na riqueza de espécies (Fig. 3d). A associação entre aumentos de produtividade e abundância total é mais complexa (Fig. 3e-h), a interação com a região geográfica se tornando importante para explicar padrões de abundância em paisagens com cultivo de milho, soja e arroz (Fig. 3e,f,h, respectivamente). O padrão geral nessas paisagens é que a abundância total aumenta com a produtividade em paisagens tropicais e diminui em paisagens temperadas, enquanto altos níveis de vegetação natural acentuam aumentos e amortecem diminuições em paisagens tropicais e não tropicais, respectivamente. Em paisagens usadas para cultivar trigo, a abundância total diminui com o aumento da produtividade, mais fortemente em paisagens com alta porcentagem de vegetação natural (Fig. 3g). A região geográfica impacta os efeitos da produtividade de milho e soja no RCAR, com paisagens tropicais experimentando fortes impactos negativos na biodiversidade devido ao aumento da produtividade (ou seja, aumentos acentuados no RCAR) e paisagens não tropicais mostrando impactos menores ou até mesmo diminuindo o RCAR com o aumento da produtividade (Fig. 3i,j). Em paisagens com cultivo de arroz, o RCAR diminui com o aumento da produtividade em alta porcentagem de vegetação natural, mas aumenta com o aumento da produtividade em baixa porcentagem de vegetação natural (Fig. 3l). A produtividade do trigo não está associada a nenhuma mudança no RCAR.

Os conjuntos de dados estavam desequilibrados em termos de número de pontos de dados disponíveis para os diferentes usos da terra e regiões geográficas (Figuras Suplementares 1 a 4 e Tabelas Suplementares 2 a 5). Os modelos eram robustos à escolha do rendimento de subsistência e razoavelmente robustos à escolha dos dados de rendimento (Tabelas Suplementares 9 a 19). A maioria dos modelos que usam rendimentos do MapSPAM concordavam com os modelos que usavam rendimentos do EarthStat na direção, ou na direção e magnitude da mudança da biodiversidade (Tabela Suplementar 9).

# Resultados

## Impactos da conversão de habitat na biodiversidade

Os únicos modelos de rendimento do MapSPAM que não concordavam na direção do efeito do rendimento na biodiversidade eram os modelos de abundância total do arroz e os modelos RCAR do milho (Tabelas Suplementares 16 e 17 ).

Entre as outras variáveis, a porcentagem de vegetação natural e uso da terra foram selecionadas em todos os 12 melhores modelos (4 culturas  $\times$  3 métricas de biodiversidade); a região geográfica, como produtividade, foi selecionada em 10 modelos; e a produtividade de subsistência foi selecionada em 8 modelos (Tabela Suplementar 8 ). Quando selecionada no modelo final, a produtividade de subsistência teve efeitos principalmente negativos na riqueza e abundância de espécies. Também teve um efeito negativo no RCAR (ou seja, impacto positivo em termos de valor de biodiversidade) para todas as culturas. Todas as outras variáveis foram selecionadas em 4 ou menos dos 12 modelos. A diversidade de culturas teve um efeito negativo na riqueza e abundância de espécies em paisagens de milho, mas teve um efeito positivo na abundância em paisagens de soja. A duração da modificação substancial da paisagem humana teve um impacto negativo na abundância total em paisagens de milho e arroz, e um efeito positivo no RCAR (ou seja, impacto negativo em termos de valor de biodiversidade) em paisagens de soja.

A variância explicada por efeitos fixos (pseudo-  $R^2$  marginal ) <sup>51</sup> para todos os modelos variou entre 0,05 e 0,35, enquanto a variância explicada por efeitos fixos e aleatórios juntos (pseudo-  $R^2$  condicional ) <sup>51</sup> variou entre 0,5 e 0,98 (Tabelas Suplementares 10-19 ) . Eses níveis de pseudo-  $R^2$  são típicos para modelos baseados em conjuntos de dados coletados de múltiplas fontes, nos quais a maior parte da variação é explicada pelos efeitos aleatórios <sup>52</sup> . Os gráficos de diagnóstico do modelo sugerem que nossos modelos não se ajustam totalmente às suposições do modelo (Figuras Suplementares 5-21 ) . O uso da distribuição binomial negativa em vez da distribuição de Poisson para os modelos de riqueza de espécies não melhorou substancialmente o comportamento do modelo (Figuras Suplementares 5-12 ) . Os tamanhos e direções dos efeitos estimados foram em grande parte semelhantes aos modelos de Poisson (Figura Suplementar 15 e Tabela Suplementar 20 ) . Os modelos bayesianos produziram resultados muito semelhantes aos modelos originais (Tabela Suplementar 21 ) .

## Impactos na biodiversidade causados pelo fechamento de lacunas de produtividade

Ao fechar as lacunas de produtividade para todas as quatro culturas, conforme estimado para o ano 2000, os efeitos na biodiversidade diferem fortemente entre as métricas e regiões geográficas. Para regiões não tropicais, fechar as lacunas de produtividade leva a efeitos negativos na riqueza e abundância de espécies, mas a efeitos positivos em termos de RCAR (Fig. 4 ) . Para regiões tropicais, os efeitos em termos de riqueza de espécies são positivos e negativos dependendo da localização, enquanto os efeitos na abundância total são positivos e os efeitos no RCAR são negativos (Fig. 4 ).

Mais especificamente, ao fechar as lacunas de rendimento, 73,6% de todas as células da grade experimentariam uma diminuição na riqueza de espécies. A mudança média na riqueza de espécies por pixel globalmente foi de -9% e a mediana foi de -8,7%. A diminuição na riqueza de espécies está espalhada por áreas tropicais e não tropicais, enquanto o aumento na riqueza de espécies está concentrado principalmente em áreas tropicais (Fig. 4a ), provavelmente devido aos efeitos positivos na produtividade do arroz em paisagens com uma alta porcentagem de habitat natural (Fig. Suplementar 29 ) . Um total de 61,5% de todas as células da grade experimentarão uma diminuição na abundância total, com uma média de +37% de mudança impulsionada por altos aumentos de abundância para milho e soja em áreas tropicais (Fig. Suplementar 30 ) e uma mediana de -10,6%. As áreas não tropicais são quase todas caracterizadas por diminuições nas abundâncias (Fig. 4b ) . Para o RCAR, 38,4% das células da grade sofrerão um impacto negativo na biodiversidade e quase todas estão em áreas tropicais (Fig. 4c ) . A diferença nos padrões geográficos é provavelmente impulsionada pelos efeitos do RCAR na produtividade da soja e do milho (Fig. 3i,j ) . A variação média projetada do RCAR em todas as células da grade foi de +68,6%, com mediana de 0%. Um total de 15,5% das células da grade apresentou variação de 0% no RCAR, sendo estas, em sua maioria, paisagens não tropicais com cultivo de trigo (Fig. 31 Suplementar ) .

# Resultados

## Expansão de terras agrícolas versus intensificação

Ao comparar opções hipotéticas para aumentar a produção total em 1% em paisagens agrícolas existentes, nem a expansão nem a intensificação tiveram melhores resultados estimados de biodiversidade em todos os locais (Fig. 5). A intensificação foi associada a melhores resultados de biodiversidade em termos de riqueza de espécies do que a expansão de terras agrícolas em 29%, 83,3%, 64,2% e 56,7% das áreas cultivadas de milho, soja, trigo e arroz, respectivamente (Fig. 5a-d). A expansão de terras agrícolas foi associada a maior riqueza de espécies no restante das áreas cultivadas. Em termos de abundância total, a intensificação modelada foi associada a resultados mais positivos em 41,4%, 36,1%, 34% e 63% das áreas cultivadas de milho, soja, trigo e arroz, respectivamente.

Assim, a expansão de terras agrícolas foi associada a maiores abundâncias totais em mais da metade das terras cultivadas com milho, soja e trigo, mas estimou-se que a intensificação foi melhor em grande parte dos trópicos (Fig. 5e-h). Para o RCAR, a intensificação de terras agrícolas resultou em melhores resultados modelados em 73,7%, 71,1%, 71,6% e 48,3% das áreas cultivadas para milho, soja, trigo e arroz, respectivamente. Neste caso, a intensificação foi a melhor estratégia de produção-crescimento em comparação com a expansão de terras agrícolas para três das quatro culturas: milho, soja e trigo. No entanto, a expansão de terras agrícolas resultou em melhores resultados modelados nos trópicos, especialmente para milho e soja (Fig. 5i-l).

Esses padrões gerais foram semelhantes ao escolher diferentes metas de aumento de produção (Figs. 32 e 35 suplementares) ou ao assumir diferentes padrões de intensificação (Figs. 33 e 34 suplementares), incluindo ao "restaurar" algumas das terras agrícolas para vegetação primária (Fig. 36 suplementar). A magnitude das diferenças entre os impactos da intensificação e da expansão foi sensível ao tamanho do aumento de produção.

# Discussão

Ao analisar o impacto da conversão de terras na biodiversidade separadamente das considerações de produtividade, os impactos tanto do uso local da terra quanto da composição da paisagem são, em sua maioria, negativos em termos de riqueza de espécies, abundância total e RCAR, embora sua força em todas as categorias de uso da terra-paisagem difira dependendo da região geográfica e da duração de modificações substanciais da paisagem humana. Nossos resultados são consistentes com estudos anteriores sobre mudanças no uso da terra local<sup>31, 53, 54</sup> e efeitos na composição da paisagem<sup>55</sup>.

Mais especificamente, nossos resultados destacam a importância de considerar o contexto da paisagem ao projetar e implementar a gestão da conservação, conforme sugerido por outros autores<sup>56</sup>. Por exemplo, a biodiversidade na vegetação primária em paisagens agrícolas muda em comparação com a vegetação primária em paisagens naturais em todas as três métricas, especialmente em áreas não tropicais. Isso sugere que a vegetação primária em paisagens modificadas pelo homem tem menos valor de conservação do que a vegetação primária em paisagens naturais<sup>57, 58</sup> e destaca os altos custos de biodiversidade da expansão da agricultura em paisagens anteriormente não cultivadas.

Além disso, a modificação precoce da paisagem humana está associada a menores diferenças de biodiversidade na maioria das quatro categorias de uso da terra-paisagem (Dados Estendidos Figs. 1 e 2), consistente com pesquisas anteriores descrevendo a homogeneização biótica de regiões com longas histórias de perturbação humana<sup>59, 60</sup>. No entanto, a vegetação primária em paisagens modificadas pode abrigar espécies de interesse para a conservação<sup>61</sup> e provavelmente representa uma importante fonte de serviços ecossistêmicos para as terras agrícolas circundantes<sup>55, 62</sup>, especialmente quando combinada com configurações favoráveis da paisagem, como alta densidade de bordas entre campos de cultivo e áreas não cultivadas<sup>18</sup>.

Ao analisar os impactos da produtividade ou do manejo agrícola na biodiversidade, estudos em larga escala raramente avaliam como a direção desses efeitos pode diferir em diferentes regiões geográficas (mas veja as refs. 55, 63). Em nossos resultados, paisagens tropicais cultivadas com milho e soja mostram um aumento na abundância total e um aumento na homogeneização biótica, conforme medido pelo RCAR (Fig. 3), sugerindo que os aumentos de abundância são impulsionados por espécies disseminadas<sup>42</sup> e sinalizando um maior risco potencial de invasão nessas paisagens<sup>64</sup>.

## Discussão

De fato, pesquisas anteriores em áreas tropicais mostraram que espécies com grandes distribuições globais, que geralmente são generalistas<sup>65</sup>, têm maior probabilidade de persistir e prosperar em paisagens agrícolas<sup>7, 11</sup>. Em paisagens não tropicais de soja e milho, tanto a abundância total quanto a homogeneização biótica geralmente diminuem, sugerindo que as diminuições de abundância nessas paisagens também são impulsionadas por mudanças na abundância de espécies disseminadas, desta vez diminui. Evidências que sustentam esse padrão vêm da diminuição da abundância de aves europeias comuns<sup>66</sup>, frequentemente atribuída à intensificação agrícola<sup>67</sup>. Há duas considerações que podem ajudar a interpretar essas respostas opostas de espécies disseminadas a aumentos de produtividade.

Primeiro, a maioria das produtividades tropicais em nossos dados está na extremidade inferior da faixa de produtividade, enquanto as produtividades não tropicais são distribuídas de forma mais equitativa (Fig. 3, faixas de distribuição de dados na parte inferior de todos os painéis). Portanto, as tendências tropicais provavelmente representam produtividades mais baixas, enquanto as tendências não tropicais provavelmente capturam tendências de biodiversidade em uma faixa de produtividade mais ampla.

Segundo, áreas não tropicais, especialmente regiões temperadas, tendem a ter um histórico mais longo de ocupação humana e áreas menores de habitats naturais do que paisagens tropicais<sup>58</sup>. Isso provavelmente levou à filtragem de espécies de distribuição restrita e intolerantes a terras agrícolas<sup>59</sup> e ao aumento de abundância de espécies tolerantes a terras agrícolas e disseminadas bem antes da intensificação acelerada das últimas décadas. Essas comunidades ecológicas dominadas por espécies tolerantes a terras agrícolas em agricultura de menor intensidade ainda persistem em paisagens tradicionais do leste europeu<sup>68</sup>. Especulamos que as tendências da biodiversidade tropical em nossos resultados capturam o tipo de mudança de comunidade que ocorreu no passado em paisagens agrícolas não tropicais, enquanto as tendências não tropicais capturam principalmente a resposta de espécies tolerantes a terras agrícolas aos altos níveis recentes de intensificação em áreas não tropicais.

Pesquisas anteriores mostraram a importância das interações entre habitat natural e agricultura para mitigar impactos na biodiversidade<sup>17, 55</sup>, mas nossos resultados sugerem impactos mistos dependendo da cultura e da métrica de biodiversidade.

Por exemplo, em paisagens com cultivo de trigo, áreas com uma porcentagem maior de habitat natural experimentam reduções mais acentuadas na riqueza e abundância de espécies com o rendimento, provavelmente devido à maior biodiversidade inicial, pois o habitat natural está positivamente relacionado à riqueza e abundância de espécies (Tabela Suplementar 20). Isso sugere que aspectos das paisagens de trigo ou seu manejo podem prejudicar a capacidade dos fragmentos de habitat natural de amortecer o impacto dos aumentos de rendimento, de acordo com pesquisas que destacam a importância do contexto da paisagem para o valor da biodiversidade dos fragmentos de habitat natural<sup>69</sup>.

Em paisagens de milho e soja, uma porcentagem maior de habitat natural tem um impacto positivo no efeito do rendimento na abundância total, acentuando aumentos em regiões tropicais e atenuando diminuições em regiões não tropicais, mas um impacto negativo na biodiversidade em termos de homogeneização biótica, acentuando aumentos de RCAR em regiões tropicais e atenuando diminuições de RCAR em regiões não tropicais. Esses resultados sugerem que o habitat natural nessas paisagens é benéfico principalmente para espécies disseminadas que são capazes de usar o habitat natural para se beneficiar em termos relativos de aumentos no rendimento<sup>70</sup>. Em paisagens com cultivo de arroz, uma porcentagem maior de habitat natural tem um impacto positivo no efeito do rendimento em todas as métricas de biodiversidade, pois a riqueza de espécies aumenta e o RCAR diminui com o rendimento em altas porcentagens de habitat natural.

Em termos de abundância total, os aumentos tropicais se tornam mais acentuados e as diminuições não tropicais se tornam mais superficiais em altas porcentagens de habitat natural. As respostas do RCAR à interação entre o rendimento do arroz e a porcentagem de habitat natural sugerem que espécies de distribuição restrita são as que se beneficiam em termos relativos dos aumentos de rendimento em paisagens com uma alta porcentagem de habitat natural.

Especulamos que isso pode ser devido aos requisitos específicos do cultivo de arroz que frequentemente envolvem um período de submersão em água<sup>71</sup>, o que cria áreas úmidas temporárias que podem ser funcionalmente equivalentes a áreas úmidas mais naturais<sup>72</sup>.

## Discussão

Dado que as zonas húmidas representam apenas 5 a 10% da superfície terrestre global e que mais de metade da área global de zonas húmidas foi destruída ou modificada <sup>73</sup>, as espécies que provavelmente irão beneficiar das zonas húmidas antropogénicas criadas pela agricultura terão uma distribuição relativamente restrita <sup>74</sup>. Nossos resultados sugerem que uma certa quantidade de habitat natural é necessária para que isso aconteça, conforme sugerido por pesquisas que mostram a importância do habitat natural para conectar populações de espécies de zonas úmidas <sup>75</sup>.

Embora o fechamento das lacunas de produtividade tenha sido proposto há mais de uma década como uma solução para o desafio de produzir alimentos e, ao mesmo tempo, proteger a biodiversidade <sup>76</sup>, há surpreendentemente poucas avaliações quantitativas de seus impactos na biodiversidade. Em comparação com as avaliações existentes, nossos resultados sugerem perdas mais severas na biodiversidade local ao fechar as lacunas de produtividade. Kehoe et al. <sup>50</sup>, que analisaram o impacto na biodiversidade da maximização da intensidade agrícola em todas as terras agrícolas existentes, estimaram uma perda máxima de 7% na riqueza de espécies e 13% de perda na abundância com o fechamento das lacunas de produtividade.

Isso contrasta com nossas projeções, que sugerem que quase 54% das células da grade cultivadas perderão mais riqueza de espécies e 47% perderão mais abundância do que os máximos estimados por Kehoe et al. <sup>50</sup> usaram estimativas modeladas de perda de biodiversidade de um estudo global do impacto do uso da terra na biodiversidade, usando o mesmo conjunto de dados do qual derivamos nossos dados <sup>31</sup>. A diferença nos resultados provavelmente se deve ao foco de Newbold et al. <sup>31</sup> na agricultura em geral, em vez do tipo de cultura, e a ausência de interações entre intensidade e habitat natural ou região geográfica em seus modelos estatísticos <sup>31</sup>. Conforme indicado por nossa análise, esses elementos podem ter efeitos opostos na biodiversidade e, portanto, os impactos negativos podem ser obscurecidos em modelos mais simples.

As comparações com avaliações existentes dos custos de biodiversidade do fechamento de lacunas de produtividade são ainda mais complicadas pelo uso de diferentes métricas de biodiversidade. Por exemplo, Egli et al. <sup>77</sup> usaram uma métrica capturando o valor de cada pixel com qualquer quantidade de terra agrícola para a sobrevivência global de mamíferos terrestres, aves e anfíbios.

Com base nas respostas presumidas de persistência de espécies à intensificação agrícola com base nas preferências de habitat, os autores estimaram uma diminuição de 11,1% no valor global da biodiversidade de terras agrícolas devido ao fechamento de lacunas de produtividade. Embora a métrica de biodiversidade usada por Egli et al. <sup>77</sup> não seja diretamente comparável às nossas métricas, os padrões espaciais de alta perda de biodiversidade tendem a concordar, especialmente com nossos padrões RCAR nos trópicos.

Considerando a biodiversidade reduzida na vegetação primária em paisagens modificadas (Fig. 2) e a forte associação entre rendimento e resultados negativos de biodiversidade em algumas paisagens (Fig. 3), não é surpreendente que a intensificação agrícola nem sempre seja a melhor solução para aumentar a produção agrícola em termos de resultados de biodiversidade local (Fig. 5), como sugerido por outros autores no caso de paisagens agrícolas europeias <sup>78</sup>.

Em contraste, análises globais anteriores enfatizaram o potencial de economia de terras da intensificação agrícola <sup>79, 80, 81</sup>, que por si só é positivo para a biodiversidade. Estudos de preservação/compartilhamento de terras em escala regional também geralmente concluem que a preservação de terras, ou seja, a intensificação, resulta em melhores resultados em termos de redução de riscos de extinção <sup>10</sup>.

Na medida em que a homogeneização biótica de comunidades, como medida aqui, leva a maiores riscos de extinção, nossos resultados discordam da pesquisa de preservação/compartilhamento de terras, já que muitas áreas tropicais em nossos resultados experimentam maior homogeneização biótica ao aumentar a produtividade do que ao expandir terras agrícolas às custas da vegetação primária em paisagens agrícolas.

Diferentemente da maioria dos estudos de preservação/compartilhamento de terras, não fomos capazes de comparar os custos de biodiversidade do compartilhamento e preservação extremos, o que poderia envolver a contração de terras agrícolas e a restauração da biodiversidade, pois isso envolveria modelagem e suposições adicionais sobre a abordagem de restauração e o cronograma de recuperação da biodiversidade <sup>82, 83, 84</sup> (mas veja a Figura Suplementar 36 para um cenário de restauração parcial simplificado).

## Discussão

Em nosso estudo, os modelos também não levam em conta a configuração das áreas de terras agrícolas e vegetação primária em nossos pixels, o que é um aspecto importante da estrutura de preservação/compartilhamento de terras, que recomenda o compartilhamento ou preservação de manchas de pelo menos 1–10 km<sup>2</sup> (ref. <sup>10</sup> ). Além disso, é importante enfatizar que estamos comparando intensificação e expansão dentro de paisagens agrícolas existentes, e que expandir a agricultura para novas paisagens levará a reduções consideráveis na biodiversidade (Fig. 2).

Nosso estudo apresenta diversas limitações que precisam ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiro, nosso foco na associação direta entre métricas de biodiversidade e produtividade significa que as relações podem mudar se as práticas de manejo agrícola diferirem daquelas utilizadas nos locais e épocas amostrados. Consequentemente, nossos resultados são mais representativos da janela temporal representada pelos dados do EarthStat e do Projecting Responses of Ecological Diversity in Changing Terrestrial Systems (PREDICTS), que corresponde ao período entre 2000 e 2005, e do tipo de intensificação agrícola predominante nesse período, que se baseou em abordagens convencionais, como o aumento de insumos.

Embora seja razoável supor que as práticas agrícolas não tenham mudado drasticamente desde então, o fechamento das lacunas de produtividade ou a intensificação sustentável provavelmente resultariam em mudanças consideráveis nas práticas de manejo em algumas áreas, o que poderia alterar os impactos à biodiversidade aqui apresentados. O foco na produtividade provavelmente também obscurecerá impactos específicos do manejo agrícola que não se refletem necessariamente na produtividade <sup>85</sup> . Além disso, nossos resultados são relevantes para o conjunto de culturas aqui considerado, e é incerto se eles se generalizariam para outras culturas. Por exemplo, sistemas agroflorestais ou de cultivo plurianual podem ter requisitos diferentes para aumentar a produtividade <sup>24</sup> , <sup>27</sup> , e esses requisitos podem ter impactos diferentes sobre a biodiversidade daqueles apresentados aqui.

Em segundo lugar, nossos dados de terras agrícolas não foram amostrados necessariamente dentro de terras agrícolas cultivadas com as culturas específicas para as quais estamos usando estimativas de produtividade em escala de paisagem. Portanto, nossos modelos capturam impactos em escala de paisagem, mas não em escala local, do manejo específico de culturas.

Além disso, nossos dados de produtividade podem não capturar efetivamente os níveis de intensidade do manejo de outras culturas na paisagem. Reduzimos o impacto dessa limitação ponderando nossos pontos de dados na análise estatística pela proporção da respectiva cultura na paisagem.

Terceiro, nossa escolha de classificar os locais em regiões tropicais ou não tropicais com base na latitude, embora evitando outras limitações ( [Métodos](#) ), leva a artefatos não naturais em nossas figuras, onde a fronteira entre impactos positivos e negativos em áreas tropicais e não tropicais é frequentemente artificialmente reta (por exemplo, Figuras 4 e 5 ), enquanto quaisquer mudanças na relação entre biodiversidade e produtividade em paisagens reais seriam mais graduais.

Em quarto lugar, todas as limitações inerentes aos conjuntos de dados que usamos, como os vieses geográficos e taxonómicos no PREDICTS <sup>86</sup> e as incertezas de dados e de redução de escala no EarthStat <sup>47</sup> , são transferidos para nosso próprio estudo.

Quinto, há várias limitações no uso de dados de biodiversidade espacial para inferir mudanças ao longo do tempo, mais importante a incapacidade de considerar defasagens de tempo em mudanças bióticas e respostas a mudanças ambientais <sup>87</sup> .

Sexto, alguns de nossos modelos foram menos robustos à escolha da fonte de dados de rendimento (Tabela Suplementar 9 ) e seus resultados devem ser interpretados com cautela.

Finalmente, a previsão de valores de biodiversidade ao fechar lacunas de rendimento depende de novas combinações de valores de variáveis, que provavelmente vão além daquelas usadas para ajuste de modelo (e aquelas presentes em sistemas do mundo real). No caso de modelos que usam ligações logarítmicas ou variáveis transformadas em logaritmo, como são nossos modelos, isso provavelmente levará a valores extremos particularmente irrealistas <sup>88</sup> , que neutralizamos focando aqui nos padrões amplos de mudança de biodiversidade.

Tanto a conversão de terras quanto o aumento da produtividade agrícola têm impactos substanciais na biodiversidade.

## Discussão

Em particular, o fechamento das lacunas de produtividade provavelmente levará a um custo de biodiversidade muito maior do que o estimado anteriormente <sup>50</sup>, e o aumento da homogeneização biótica com a produtividade agrícola nos trópicos é particularmente preocupante do ponto de vista da biodiversidade global.

Dado o impacto majoritariamente positivo do habitat natural na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos, provavelmente há um equilíbrio que pode ser alcançado entre a intensificação e a expansão em paisagens agrícolas, mas esse equilíbrio pode mudar dependendo da região geográfica, da cultura, dos objetivos de conservação e da vegetação natural remanescente na paisagem.

Embora seja razoável supor que as práticas agrícolas não tenham mudado drasticamente desde então, o fechamento das lacunas de produtividade ou a intensificação sustentável provavelmente resultariam em mudanças consideráveis nas práticas de manejo em algumas áreas, o que poderia alterar os impactos à biodiversidade aqui apresentados. O foco na produtividade provavelmente também obscurecerá impactos específicos do manejo agrícola que não se refletem necessariamente na produtividade <sup>85</sup>. Além disso, nossos resultados são relevantes para o conjunto de culturas aqui considerado, e é incerto se eles se generalizariam para outras culturas. Por exemplo, sistemas agroflorestais ou de cultivo plurianual podem ter requisitos diferentes para aumentar a produtividade <sup>24</sup> , <sup>27</sup> , e esses requisitos podem ter impactos diferentes sobre a biodiversidade daqueles apresentados aqui.

Embora evitar a expansão da agricultura em paisagens não modificadas continue sendo crítico para a biodiversidade global, uma reavaliação da abordagem de fechamento das lacunas de produtividade pode ser necessária, especialmente em termos de definição de níveis seguros de intensificação que possam preservar comunidades locais funcionais.

Além disso, a gestão agrícola deve considerar outros serviços ecossistêmicos essenciais além da biodiversidade, como o armazenamento de carbono e o fornecimento de água <sup>89</sup> . Esperamos que nossos resultados motivem um foco renovado em questões importantes de gestão, como a quantidade de habitat natural necessária em paisagens agrícolas para manter a biodiversidade em níveis sustentáveis <sup>44</sup> , <sup>90</sup> , como obter aumentos de produtividade com menores impactos na biodiversidade <sup>43</sup> e como reduzir a demanda geral por produtos agrícolas, o que evitaria a difícil escolha entre intensificação e expansão <sup>4</sup> .

## Métodos

### Dados de biodiversidade

Para dados de biodiversidade, usamos a versão de 2016 do banco de dados PREDICTS, que contém 3.250.404 registros de biodiversidade, a maioria amostrados de 2000 a 2012, de 666 estudos publicados <sup>86</sup> , <sup>91</sup> . Cada estudo contém dados amostrados com o mesmo método em um gradiente de uso da terra ou intensidade de uso da terra. Os dados em cada estudo são agrupados em um ou mais blocos espaciais, cada um contendo dados de um ou mais locais. A cada local é atribuída uma das seis classes predominantes de uso da terra com base nas informações fornecidas nos artigos originais ou pelos autores desses artigos: vegetação primária, vegetação secundária, floresta de plantação, terras agrícolas, pastagens e áreas urbanas. Para nossos propósitos, selecionamos apenas os locais localizados em terras agrícolas ou vegetação primária, resultando em 1.318.867 registros de 10.094 locais de 489 estudos. O conjunto de dados incluiu 18.853 espécies, das quais 3.994 eram vertebradas, 6.693 invertebradas, 7.269 plantas, 894 fungos e 3 protistas. Para cada uma das análises estatísticas sobre a biodiversidade relativa de paisagens naturais e modificadas pelo homem, doravante modelos de conversão de terras, e o impacto da produtividade na biodiversidade, doravante modelos de produtividade-biodiversidade, utilizamos subconjuntos desses dados (Tabelas Suplementares 1 a 5 e Figuras Suplementares 1 a 4 ), que selecionamos com base nos métodos descritos na seção "Processamento de dados para análise estatística".

Usamos três métricas: riqueza de espécies amostradas, abundância relativa total amostrada e RCAR. A riqueza de espécies amostradas representou a contagem de todas as espécies amostradas em um local, conforme identificado pelos autores do estudo original (não necessariamente sempre resolvendo a sinonímia taxonômica). A abundância relativa total amostrada foi calculada como a soma das medidas de abundância para todos os táxons em um local, que estava disponível para aproximadamente 85% de todos os locais. A abundância foi relatada em uma variedade de medições, como contagens individuais (~87% dos locais com dados de abundância), cobertura ou frequência de ocorrência entre parcelas (~10%), contagens de grupo ou par (~1%), abundância de sinais de animais (~1%) e biomassa (~0,05%).

Nos casos em que as medições de abundância foram sensíveis ao esforço de amostragem e onde esse esforço diferiu entre os locais amostrados dentro de um estudo (~1% dos registros), corrigimos a medida de abundância bruta dividindo-a por seu esforço relativo como uma proporção do esforço do local mais amostrado dentro de um estudo <sup>31</sup> .

# Métodos

RCAR é uma medida de quão ampla ou estreitamente as espécies em uma comunidade são distribuídas, em média. Um aumento nas métricas RCAR indica uma mudança em direção a espécies mais amplamente distribuídas em média, o que pode ser causado por aumentos no número ou abundância relativa de espécies de amplo alcance e/ou por diminuições em espécies de alcance estreito. Da mesma forma, uma diminuição em RCAR indica uma mudança em direção a espécies de alcance mais estreito, em média, o que pode ser causado por aumentos em espécies de alcance estreito e/ou diminuições em espécies de amplo alcance.

Usamos uma métrica RCAR conforme calculada na ref. <sup>42</sup> com base em dados de ocorrência do banco de dados Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org>) e extraídos com resolução de 55 km × 55 km. As respostas modeladas de RCAR ao uso da terra e à intensidade do uso da terra demonstraram anteriormente ser robustas ao uso de diferentes resoluções de grade para calcular a área ou ocupação a partir de registros GBIF, e também ao uso de medidas alternativas de tamanho de alcance <sup>42</sup>.

## Variáveis explicativas do modelo: Estimativas agrícolas globais

Usamos dois conjuntos de dados agrícolas globais: EarthStat <sup>47</sup> para seleção de modelos e visualizações, e MapSPAM <sup>92, 93, 94, 95, 96</sup> para testes de robustez. Embora o MapSPAM tenha a vantagem de cobrir três anos (2000 <sup>93</sup>, 2005 <sup>94</sup> e 2010 <sup>95</sup>) em vez de apenas um ano (2000 para EarthStat), o EarthStat fornece informações sobre a resolução (ou seja, nível administrativo de relatórios) dos dados agrícolas iniciais, o que impacta a qualidade da modelagem espacial <sup>47</sup>, e que usamos para descartar estimativas espaciais baseadas em dados de menor qualidade. O MapSPAM também usou o potencial biofísico das culturas como uma suposição subjacente à desagregação espacial dos dados agrícolas, o que correu o risco de criar circularidade em nossos modelos estatísticos, porque controlamos a adequação agrícola (consulte a seção 'Rendimento de subsistência como proxy para adequação agrícola').

## Variáveis explicativas do modelo: EarthStat

As estimativas agrícolas do EarthStat incluem estimativas agrícolas globais para 175 culturas em 206 países por volta do ano 2000, com resolução espacial de 5' × 5' (~10 km × 10 km no Equador) <sup>47, 97</sup>. Dada a ampla variação na qualidade dos dados e a disponibilidade limitada de proxies para adequação agrícola entre culturas, selecionamos quatro das principais culturas para as quais as estimativas provavelmente são mais confiáveis <sup>97</sup>: milho, soja, trigo e arroz. Selecioneamos para nossa análise as estimativas de produtividade do EarthStat que se basearam em dados de nível subnacional em um e dois níveis administrativos abaixo do nível nacional (as duas maiores pontuações de qualidade de dados na camada espacial de qualidade de dados de produtividade).

## Variáveis explicativas do modelo: MapaSPAM

As estimativas agrícolas do MapSPAM foram criadas com o Modelo de Alocação Espacial da Produção (SPAM) com resolução global de 5' × 5' (~10 km × 10 km no Equador). A abordagem de modelagem do SPAM combina diversos tipos de dados (por exemplo, modelos de acesso a mercados, adequação biofísica, informações sobre manejo agrícola) para criar um prior espacial informado, abrangendo o território sobre o qual as estatísticas agrícolas são desagregadas <sup>92</sup>. Juntamente com informações de cobertura do solo, esse prior espacial foi usado para alocar a área agrícola e a produção.

## Porcentagem de habitat natural

Incluímos a porcentagem de habitat natural em nossos modelos porque a pesquisa indicou sua importância independentemente <sup>55</sup> e em interação com outras variáveis <sup>17</sup> para determinar padrões de biodiversidade. Para cada ponto de dados, extraímos a porcentagem de habitat natural das estimativas de uso da terra da ref. <sup>98</sup>, que foram obtidas pela redução da escala do conjunto de dados de Harmonização do Uso da Terra <sup>48, 99</sup>. O ano de 2005 do conjunto de dados de uso da terra está dentro do período de amostragem dos dados PREDICTS e, portanto, uma fonte de dados adequada. Projetamos estimativas de cobertura proporcional de vegetação primária e secundária em uma projeção de área igual de Behrmann e as reamostramos para a resolução e extensão do EarthStat. Em seguida, as somamos para obter uma estimativa para a cobertura de vegetação natural.

# Métodos

Para os modelos de produtividade-biodiversidade, utilizamos a porcentagem de habitat natural como variável contínua. Para os modelos de conversão de terras, utilizamos a porcentagem de habitat natural para selecionar locais localizados em pixels com menos de 30% de vegetação natural ('paisagens modificadas pelo homem') e pixels com mais de 70% de vegetação natural ('paisagens naturais'; Tabela Suplementar 1). Em seguida, combinamos essa classificação de paisagens baseada na vegetação natural com a classificação de uso do solo PREDICTS para criar uma variável combinada de uso do solo-paisagem com quatro categorias: vegetação primária em paisagens naturais, vegetação primária em paisagens modificadas pelo homem, terras agrícolas em paisagens naturais e terras agrícolas em paisagens modificadas pelo homem.

## Uso da terra

Além de avaliar a biodiversidade em terras agrícolas, também estávamos interessados em como o manejo agrícola afeta a biodiversidade na vegetação primária adjacente, que desempenha um papel fundamental na preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos<sup>62</sup>, mas também é impactada por atividades agrícolas próximas<sup>100</sup>. Usamos a classificação de uso da terra do banco de dados PREDICTS para definir se um ponto de dados está em terras agrícolas ou vegetação primária.

## Região geográfica

Diferenças ambientais e socioeconômicas entre áreas tropicais e não tropicais podem influenciar os impactos da mudança no uso da terra na biodiversidade e sua intensidade<sup>55, 101, 102</sup>. Pontos de dados localizados entre 23,5° N e 23,5° S foram identificados como tropicais e, de outra forma, como não tropicais.

## Rendimento de subsistência como proxy para adequação agrícola

A adequação para o cultivo de culturas varia amplamente, resultando em grandes diferenças em insumos e impactos na biodiversidade em níveis de rendimento semelhantes. Além disso, a adequação agrícola pode se correlacionar positivamente com diferentes métricas de biodiversidade porque as condições favoráveis para as culturas geralmente também são favoráveis para outras espécies<sup>103, 104</sup>.

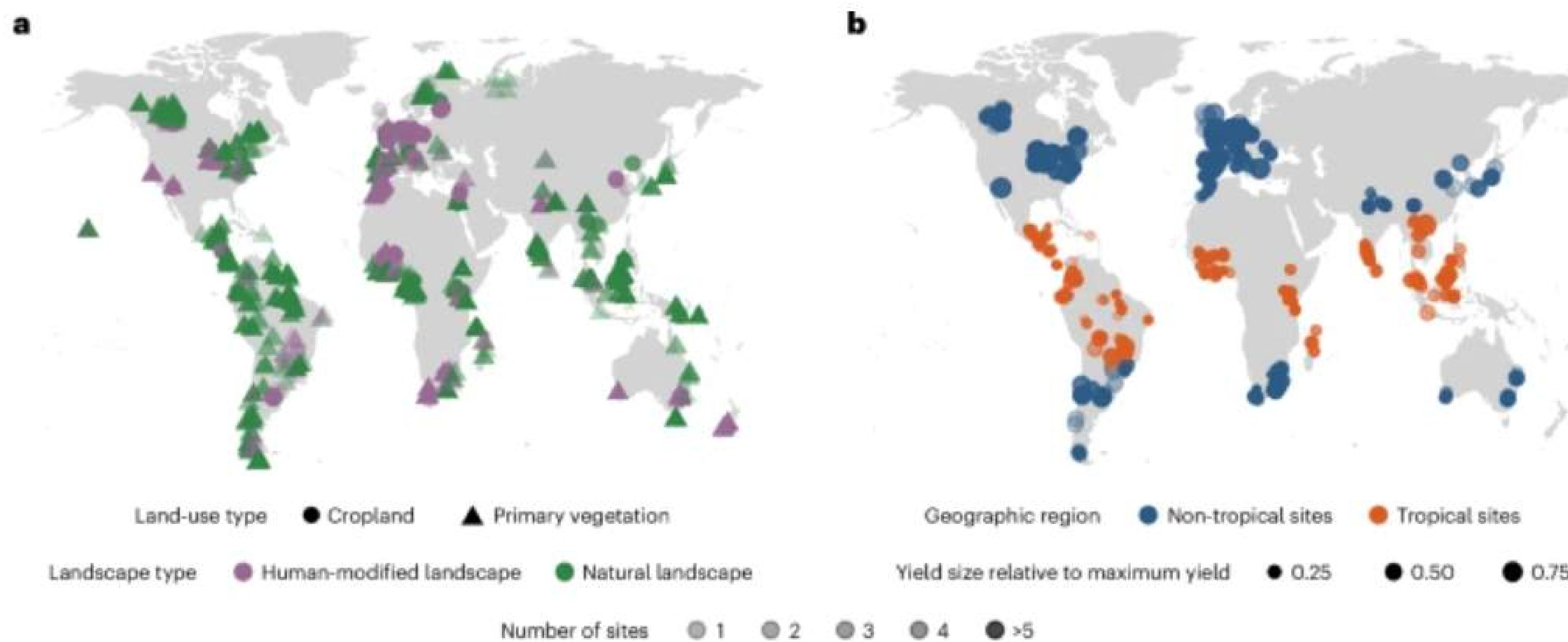
Como proxy para adequação agrícola, usamos rendimentos modelados por uma versão do modelo Environmental Policy Integrated Climate (EPIC)<sup>105</sup>, que foi especificamente adaptado para estimar rendimentos em diferentes intensidades de manejo<sup>106, 107, 108</sup> por pesquisadores da Universidade de Recursos Naturais e Ciências da Vida (BOKU) em Viena, Áustria. Especificamente, usamos simulações do modelo EPIC-BOKU em um sistema de subsistência sem fertilização ou irrigação com resolução de 0,5° × 0,5°. Embora denominadas rendimentos de subsistência na literatura e aqui, essas estimativas não representam rendimentos de subsistência do mundo real, que normalmente envolvem alguns insumos e manejo. Para análise com as estimativas de produtividade do EarthStat para o ano 2000, calculamos a média das estimativas de produtividade de subsistência do EPIC-BOKU entre os anos de 1997 e 2003. Para os modelos MapSPAM, também utilizamos uma janela de média de cinco anos em torno dos anos de foco (2000, 2005 e 2010) para obter valores de produtividade de subsistência consistentes com os dos modelos EarthStat.

Testamos a robustez de nossos modelos estatísticos para a escolha da produção de subsistência, substituindo as estimativas EPIC-BOKU pelas estimativas de subsistência MapSPAM nos modelos EarthStat e MapSPAM. As estimativas MapSPAM de produção de subsistência foram obtidas por meio de uma combinação de dados e opinião de especialistas<sup>92, 109</sup>.

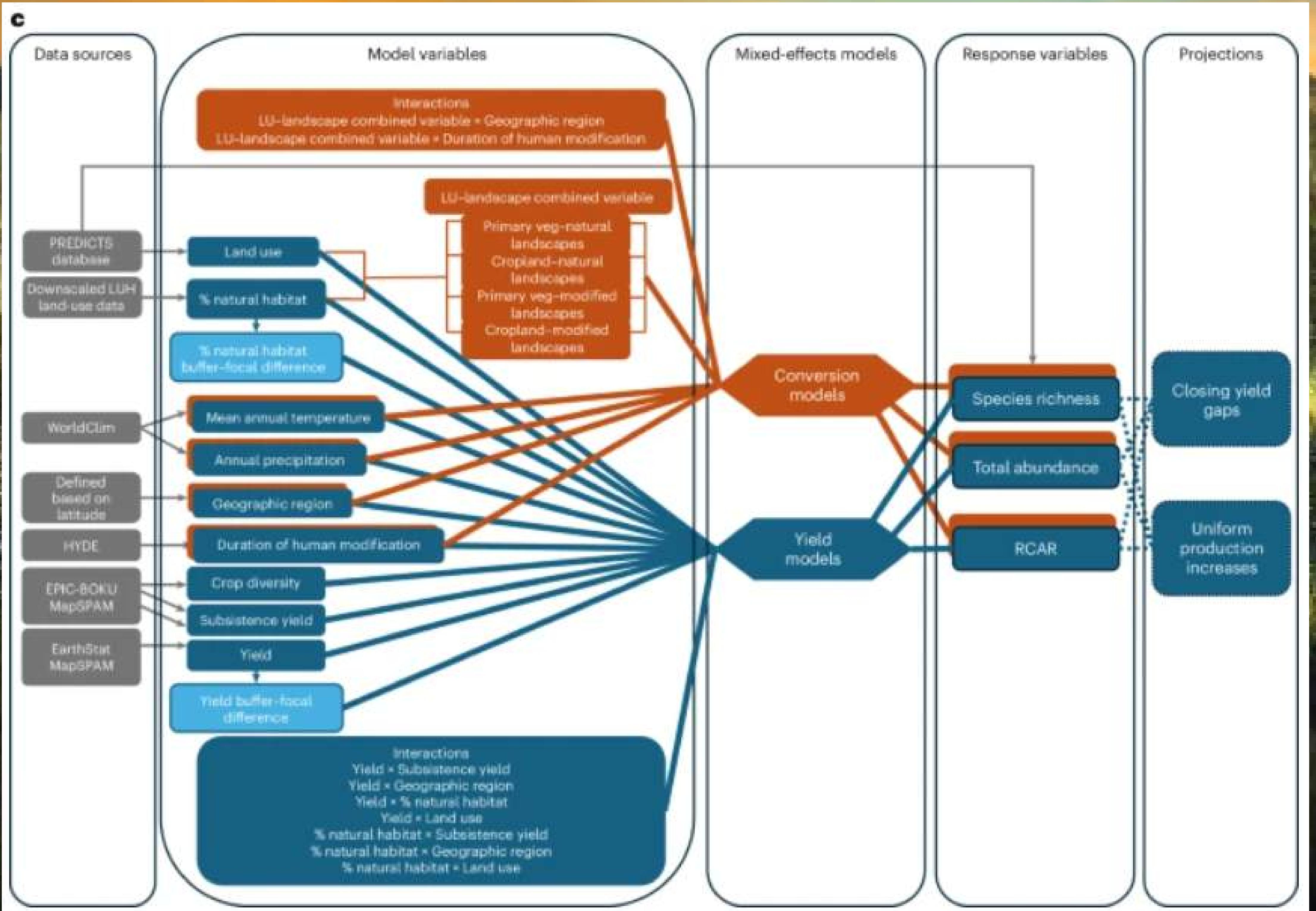
**Confira outras variáveis, a disponibilidade de dados/códigos e as referências diretamente [no artigo](#)**

# Banco de imagens

**Fig. 1: Distribuição global de locais PREDICTS usados para conversão de terras e modelos de produtividade-biodiversidade, e visão geral de fontes de dados, variáveis, modelos e projeções.**

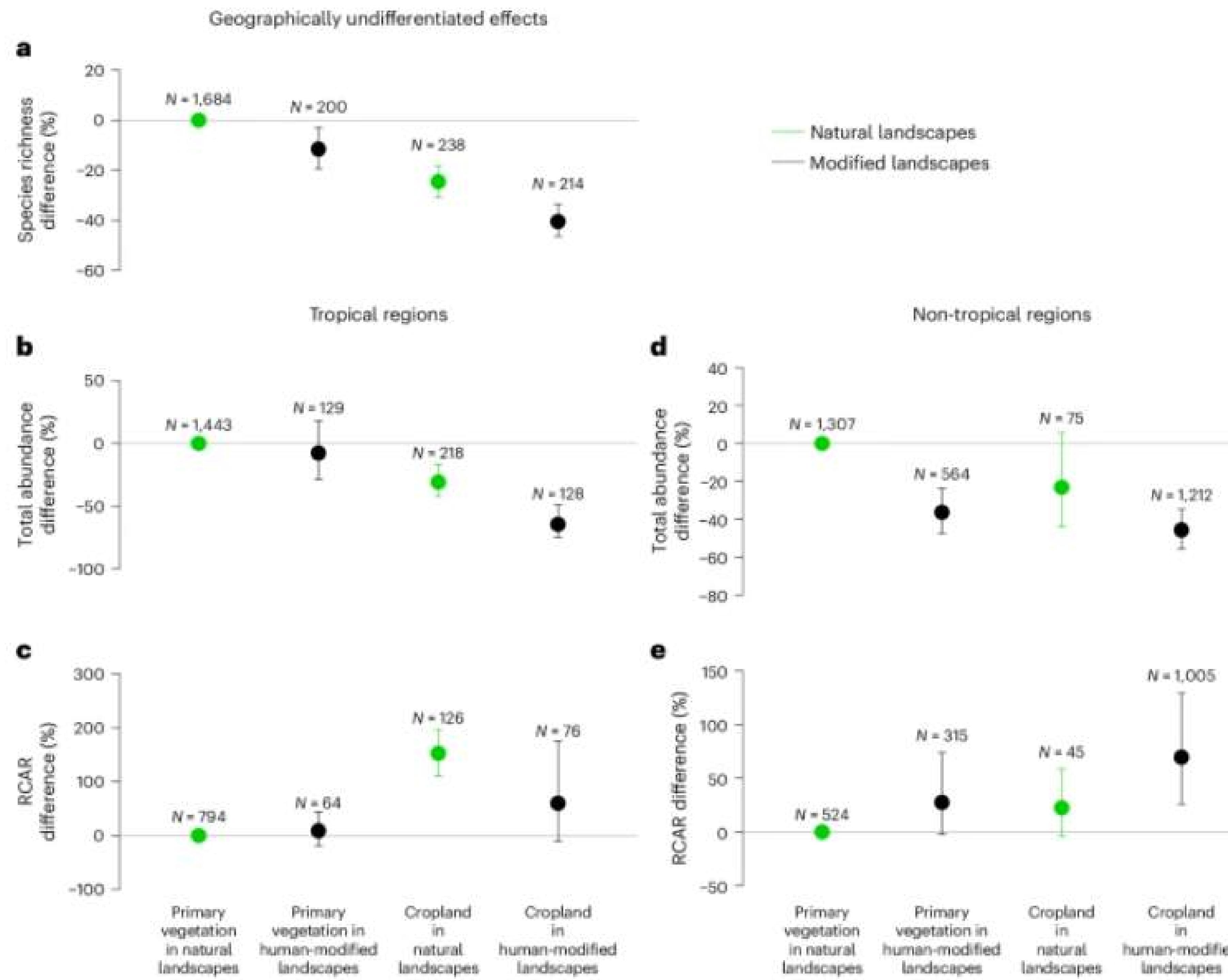


**a** , PREDICTS distribuição de locais para os modelos de conversão de terras de resposta da biodiversidade ao uso da terra e tipo de paisagem. Círculos e triângulos mostram terras de cultivo e locais de vegetação primária, respectivamente, e roxo e verde mostram paisagens modificadas pelo homem (menos de 30% de vegetação natural) e paisagens naturais (mais de 70% de vegetação natural), respectivamente. **b** , PREDICTS distribuição de locais para os modelos de rendimento-biodiversidade de resposta da biodiversidade a diferentes níveis de rendimento de milho, soja, trigo e arroz. Laranja e azul indicam locais tropicais e não tropicais, respectivamente, e o tamanho do círculo é proporcional ao rendimento relativo ao rendimento máximo para cada cultura, agregado entre milho, soja, trigo e arroz. Os rendimentos relativos foram agregados ponderando o rendimento de cada cultura pelo tamanho da terra de cultivo para aquela cultura específica da área agrícola total para as quatro culturas em cada local. Os símbolos para locais PREDICTS em **a** e **b** são transparentes para tornar visíveis os locais sobrepostos. Observe que a transparência dos símbolos é reduzida pela sobreposição com locais que estão em estreita proximidade, não no mesmo local exato. **c** , Ilustração



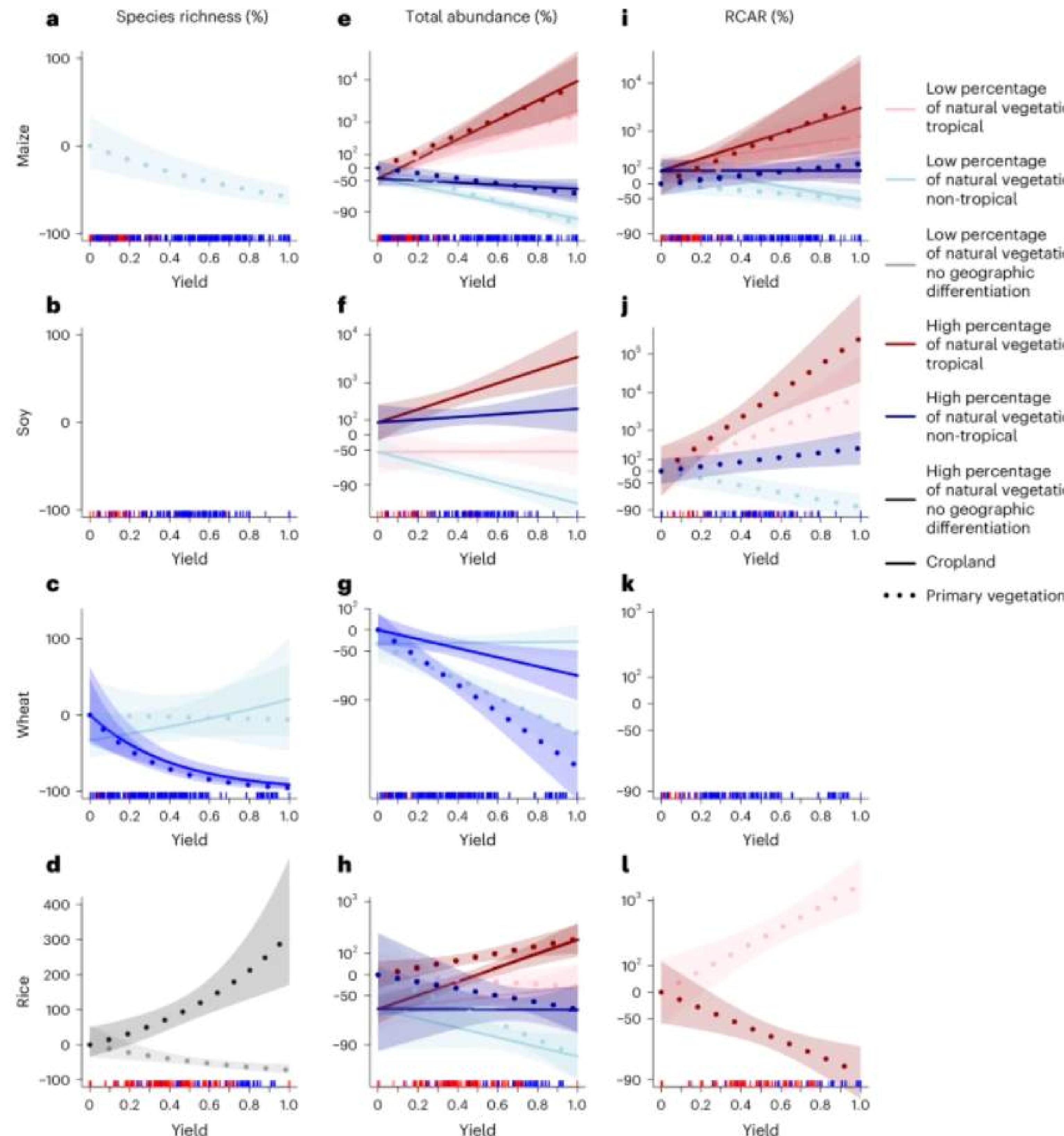
sobreposição com locais que estão em estreita proximidade, não no mesmo local exato. **c**, Ilustração gráfica das fontes de dados, variáveis do modelo e seu uso nos dois tipos de modelos e projeções. 'Rendimento' representa o rendimento da paisagem para cada uma das quatro culturas, '% habitat natural' representa a porcentagem de habitat natural na paisagem, e 'buffer de rendimento–diferença focal' e '% buffer de habitat natural–diferença focal' representam a diferença entre o valor do buffer de uma célula e o valor da célula focal para rendimento e porcentagem de habitat natural, respectivamente. As variáveis combinadas 'LU–paisagem' referem-se à variável combinada uso da terra–paisagem. Todos os outros nomes de variáveis são autoexplicativos. Painéis **a** e **b** feitos com o mapa base mundial do Natural Earth.

**Fig. 2: O efeito modelado da conversão de terras em escala local e paisagística em três métricas de biodiversidade em regiões tropicais e não tropicais.**



**a – e**, Riqueza de espécies modelada (a), abundância total (b, d) e RCAR (c, e) em vegetação primária e terras agrícolas, em paisagens naturais (> 70% habitat natural, pontos verdes e barras de erro) e em paisagens modificadas pelo homem (< 30% habitat natural, pontos pretos e barras de erro). Os efeitos da riqueza de espécies são geograficamente indiferenciados (as interações entre conversão de terras e região geográfica não são estatisticamente significativas), enquanto a abundância total e o RCAR têm efeitos tropicais (b, c) e não tropicais distintos (d, e). Os modelos são baseados em dados PREDICTS amostrados em vegetação primária e terras agrícolas. Os efeitos são apresentados como mudanças percentuais relativas aos valores na vegetação primária em paisagens naturais. Os valores medianos estimados (pontos) e os percentis 2,5 e 97,5 (barras de erro) foram calculados amostrando os efeitos fixos dos modelos de conversão 1.000 vezes com base na matriz de variância-covariância. Se a barra de erro não cruzar a linha de variação de 0%, isso indica que a diferença entre essa classe específica e a categoria de referência é significativa. Os valores de *N* representam o número de locais amostrados para cada classe da variável combinada de uso do solo e paisagem, tanto para áreas tropicais quanto não tropicais.

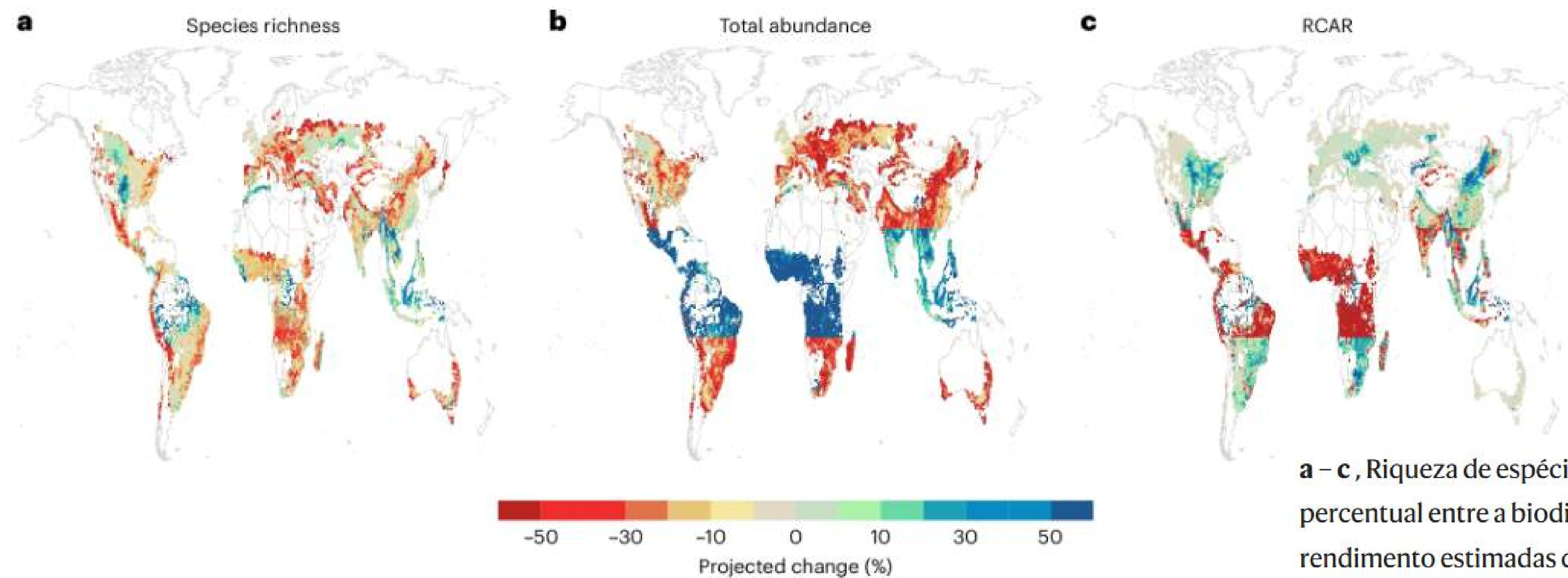
Fig. 3: Efeito modelado do rendimento de quatro culturas em três métricas de biodiversidade.



**a – l**, Respostas modeladas de riqueza de espécies (a – d), abundância total (e – h) e RCAR (i – l) para rendimento de milho (a, e, i), soja (b, f, j), trigo (c, g, k) e arroz (d, h, l). Onde o rendimento não foi selecionado no modelo final, o gráfico está vazio. As interações, se selecionadas no modelo final, são ilustradas da seguinte forma: para rendimento × região geográfica, as cores vermelha e azul representam regiões tropicais e não tropicais, respectivamente; para rendimento × porcentagem de habitat natural, as cores claras e escuras representam tendências em porcentagens baixas e altas de habitat natural (15% e 85% para fins ilustrativos), respectivamente; e para rendimento × tipo de uso da terra, as linhas sólidas e pontilhadas representam terras agrícolas e vegetação primária, respectivamente. Onde a região geográfica não foi estatisticamente significativa, independentemente ou em interações, a linha de tendência é cinza. Onde a porcentagem de vegetação natural foi selecionada no modelo final sem sua interação com a produtividade, plotamos os valores para a categoria com o maior número de pontos de dados. Onde a porcentagem de vegetação natural foi selecionada no modelo final sem sua interação com a produtividade, plotamos os valores para baixa porcentagem de vegetação natural. As linhas representam valores medianos previstos e as áreas sombreadas representam intervalos de confiança de 95%. Aumentos na riqueza de espécies e abundância total são geralmente associados a mudanças positivas, enquanto aumentos no RCAR são associados a mudanças negativas na biodiversidade (ou seja, uma homogeneização da composição da comunidade). Os tiques na parte inferior dos gráficos ilustram valores de produtividade redimensionados para [0, 1]. As tendências ilustram previsões do modelo que não representam necessariamente combinações plausíveis de valores de variáveis. Escalamos as métricas de biodiversidade em relação aos valores na vegetação primária em paisagens com a menor produtividade, um valor de 0% significa que a biodiversidade não mudou em comparação com este valor de referência. Devido à grande variedade de valores, as mudanças na abundância total (e – h) e RCAR (i – l) foram transformadas em  $\log_{10}$  para facilitar a ilustração, e a escala y é logarítmica.

# Fig. 4: O efeito projetado do fechamento de lacunas de rendimento em três métricas de biodiversidade.

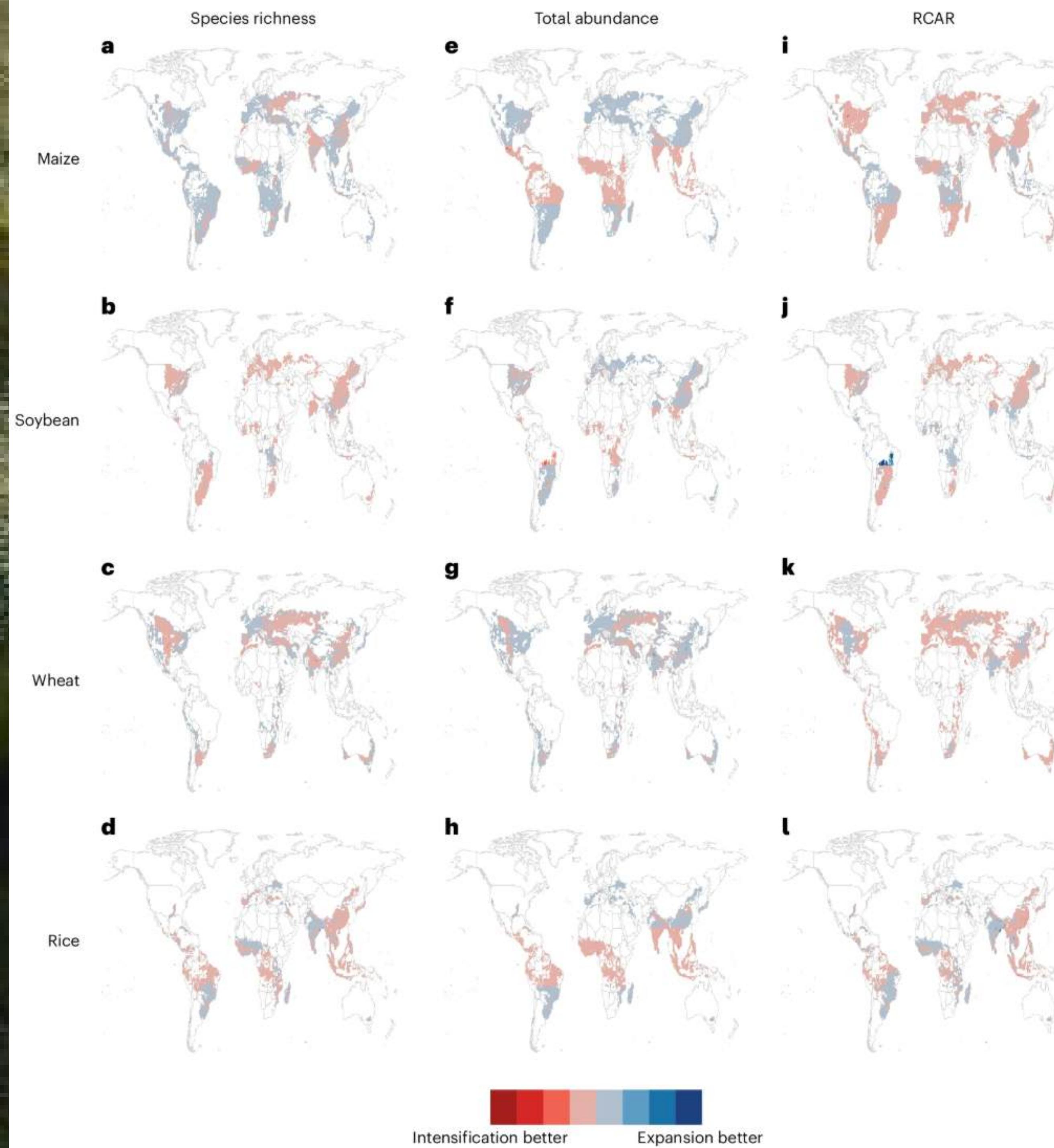
De: [A geografia e a disponibilidade de habitat natural determinam se a intensificação ou expansão de terras agrícolas é mais prejudicial à biodiversidade](#)



**a – c**, Riqueza de espécies locais (a), abundância total (b) e RCAR (c), calculada como a diferença percentual entre a biodiversidade em níveis de rendimento iguais àqueles onde as lacunas de rendimento estimadas como existindo em 2000 foram fechadas e a biodiversidade em níveis de rendimento estimados para o ano 2000. A faixa de cores simboliza a mudança positiva (cores frias) e a mudança negativa (cores quentes) para todas as parcelas, incluindo as mudanças percentuais do RCAR, que foram multiplicadas por -1. Observe que os benefícios de rendimento do fechamento das lacunas de rendimento são espacialmente variáveis e dependem do tamanho das lacunas de rendimento (Fig. 23 suplementar) e da área cultivada em cada pixel (Fig. 22 suplementar). Figura feita com o mapa base mundial do Natural Earth.

## Fig. 5: A diferença nas métricas de biodiversidade ao comparar a expansão e a intensificação da terra dentro da mesma paisagem agrícola.

De: [A geografia e a disponibilidade de habitat natural determinam se a intensificação ou expansão de terras agrícolas é mais prejudicial à biodiversidade](#)



**a – l**, Os gráficos são organizados em linhas para cada cultura: milho (**a, e, i**), soja (**b, f, j**), trigo (**c, g, k**) e arroz (**d, h, l**). As colunas representam cada métrica de biodiversidade: riqueza de espécies (**a – d**); abundância total (**e – h**) e RCAR (**i – l**). A faixa de cores simboliza áreas onde aumentar a produção total em 1% por meio da expansão de terras agrícolas é melhor para a biodiversidade (cores azuis) e áreas onde aumentar a produção total em 1% por meio da intensificação é melhor para a biodiversidade (cores vermelhas). Aumentos e diminuições de RCAR (**i – l**) foram considerados resultados negativos e positivos para a biodiversidade, respectivamente. Removemos 0,9%, 2,3%, 0,5% e 0,2% das células raster das análises de milho, soja, trigo e arroz, respectivamente, devido a projeções inválidas de cobertura do uso da terra (ou seja, mais de 100% de cobertura de terras agrícolas ou cobertura negativa de vegetação primária). Figura criada com o mapa-base mundial do Natural Earth.

# EQUIPE

---

**Dr. Marcelo Domingos Mansour**  
Coordenador do CAO Meio Ambiente Natural

**Dr. Álvaro Schiefler Fontes**  
Coordenador-Adjunto do CAO Meio Ambiente Natural

**Nadyne Pholve Moura Batista**  
Auxiliar do CAO Meio Ambiente Natural

FOTO: MÁRCIO CABRAL - CHAPADA DOS VEADEIROS - GO



**MPMT**  
Minist\xedo P\xfablico  
DO ESTADO DE MATO GROSSO

**CAO**