

# Uma futura pandemia poderia vir da Amazônia?

---

A ciência e a política de prevenção de  
pandemias na Amazônia

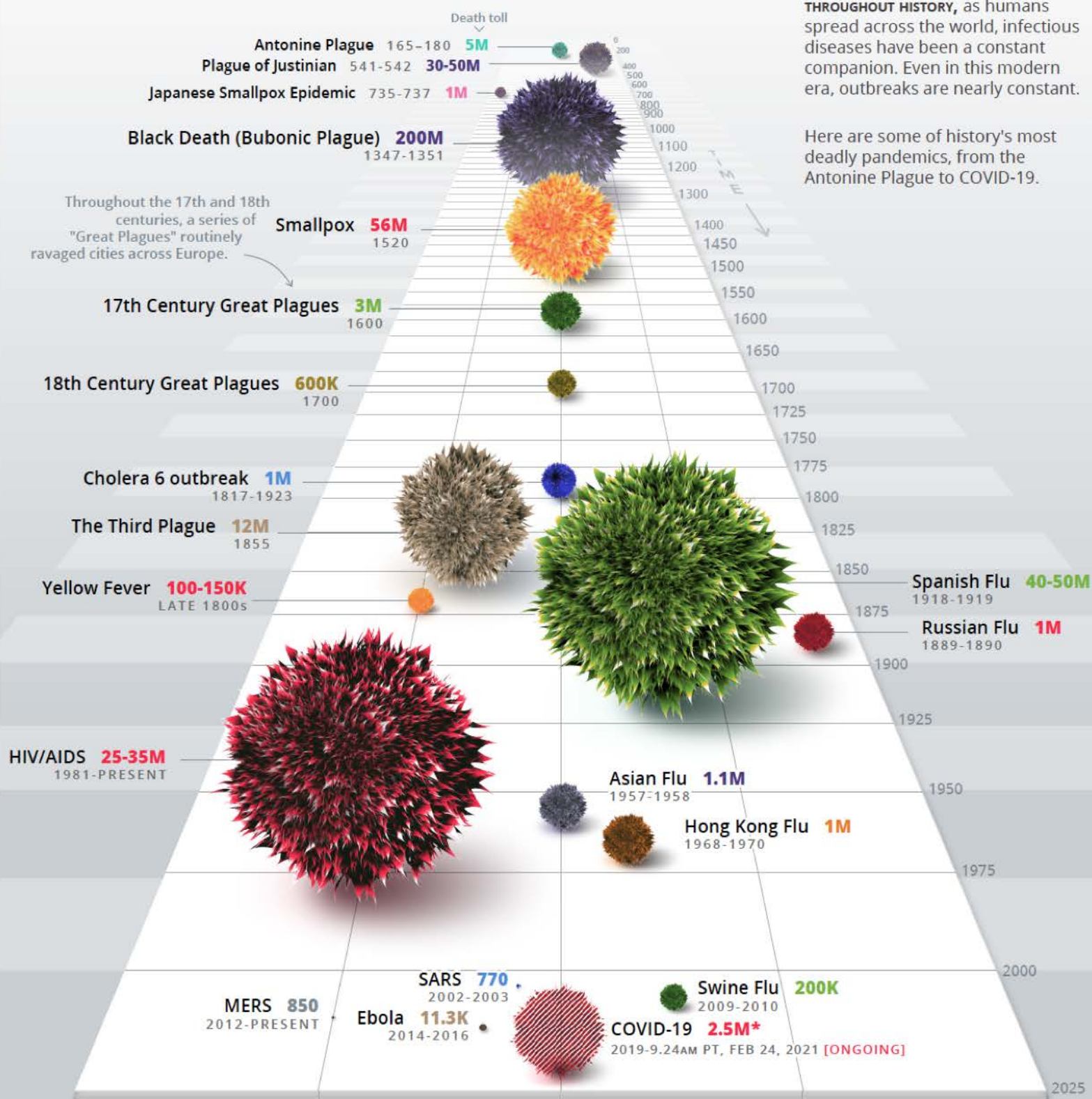


# HISTÓRIA DAS PANDEMIAS

PAN•DEM•IC (of a disease) prevalent over a whole country or the world.

THROUGHOUT HISTORY, as humans spread across the world, infectious diseases have been a constant companion. Even in this modern era, outbreaks are nearly constant.

Here are some of history's most deadly pandemics, from the Antonine Plague to COVID-19.



CRÉDITO: VISUAL CAPITALIST

# Resumo executivo

**Sim, a próxima pandemia poderia muito bem vir da Amazônia.** As pandemias surgiram aproximadamente a cada 20 anos ao longo dos últimos 150 anos. A Amazônia tem características como alta diversidade de animais selvagens hospedeiros de vírus e taxas crescentes de desmatamento, comuns a pontos de acesso para futuras doenças emergentes. No entanto, atualmente, a Amazônia é considerada uma área de baixo contágio (spillover – “transbordamento”), ou seja, baixo risco de emergência de novas doenças originadas em animais selvagens. Neste relatório, sugerimos ações importantes para manter o contágio baixo na Amazônia e reduzir o risco de a bacia ser a origem de futuras pandemias.

As pandemias são geralmente causadas por vírus transmitidos aos seres humanos por animais selvagens, especialmente roedores, aves e morcegos. As florestas tropicais são a fonte mais rica de vírus causadores de pandemias, e o desmatamento e a fragmentação colocam as pessoas e animais selvagens em contato próximo. Com sua incrível diversidade de vertebrados, especialmente morcegos, combinada com o aumento de taxas de desmatamento, a Amazônia é uma fonte potencial de pandemias futuras.

As perdas econômicas globais de dezenas de trilhões de dólares, a perda de milhões de vidas e a incalculável perturbação social resultantes da COVID-19 sugerem que investir bilhões de dólares na prevenção de pandemias é um investimento sólido. A Amazônia, grande parte da qual ainda com alta cobertura florestal e uma região com baixo contágio, oferece oportunidades econômicas para reduzir o desmatamento e, ao mesmo tempo, ajudar a cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para a população da região, restaurar o respeito por direitos indígenas e áreas protegidas e proteger o clima regional. Os benefícios regionais dessas ações merecem investimentos nacionais, que devem ser complementados por financiamento internacional para ajudar a prevenir a próxima pandemia. A Amazônia deve ser uma alta prioridade para os esforços globais de prevenção de futuras pandemias.

## Recomendações da política:

- **Estabelecer fortes políticas de controle de desmatamento coordenadas e transversais entre os países da Amazônia**
- **Fortalecer os direitos dos povos indígenas**
- **Coibir invasões ilegais na floresta amazônica**
- **Melhorar as práticas de saúde, saneamento e desenvolvimento em áreas de grande população**
- **Desencorajar o comércio de animais selvagens**
- **Garantir financiamento adequado**

# Uma futura pandemia poderia vir da Amazônia?

Mariana M. Vale (1), Pablo A. Marquet (2), Derek Corcoran (2), Carlos A. de M. Scaramuzza (3), Lee Hannah (4), Andrew Hart (5), Jonah Busch (4), Alejandro Maass (5), Patrick R. Roehrdanz (4), Jorge X. Velasco-Hernández (6)

1 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

2 Pontificia Universidad Católica de Chile

3 Instituto Internacional de Sustentabilidade, Rio de Janeiro, Brasil

4 Conservation International

5 Centro de Modelamiento Matemático (CMM), Universidad de Chile

6 Instituto de Matemáticas UNAM-Juriquilla

**Direitos autorais:** Conservation International

O conteúdo deste artigo é propriedade exclusiva dos autores e não pode ser reproduzido sem a permissão deles.

**DOI:** 10.5281/zenodo.4632526

## Índice

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Resumo executivo            | 1  |
| Origens das pandemias       | 2  |
| A Amazônia e as pandemias   | 3  |
| Modelos de origem pandêmica | 5  |
| Lições para a Amazônia      | 6  |
| Políticas públicas          | 8  |
| Custos e finanças           | 10 |



# Origens das pandemias

As pandemias modernas são causadas por vírus e estão em ascensão. A maioria dos vírus causadores de pandemias vem direta ou indiretamente de animais selvagem, são transmitidos às pessoas e depois passam a ser transmitidos entre os humanos. Os vírus causadores de pandemia são zoonóticos, o que significa que eles vêm de um hospedeiro animal (Woolhouse & Gowtage-Sequeria 2005), com novos patógenos sendo descobertos a uma taxa de três a quatro espécies por ano (Woolhouse & Antia 2008). Esse processo de surgimento da doença já causou inúmeras pandemias, incluindo COVID-19 e HIV/AIDS. À medida que as pessoas se deslocam mais rumo ao interior das florestas tropicais, as oportunidades de contato entre as pessoas e os animais tropicais – e para que os vírus passem de animais para pessoas – aumentam.

O desmatamento é um importante fator no surgimento de pandemias (Loh et al. 2015) (**Figura 1**), associado a mais de 30% das novas doenças relatadas desde 1960 (IPBES 2020), incluindo Ebola na África, Nipah na Malásia e Hendra na Austrália (Looi & Chua 2007, Plowright et al. 2015, Leendertz et al. 2016, Rulli et al. 2017, Olivero et al. 2017, Castro et al. 2019). A transmissão de patógenos depende não apenas do aumento da taxa de contato entre animais selvagens e humanos, mas também da abundância de hospedeiros selvagens potencialmente infectados (Faust et al. 2018). A maior parte da zoonose surge de mamíferos, com uma proporção particularmente alta relatada para roedores, morcegos e primatas (Han et al. 2016, Olival et al. 2017, Johnson et al., 2020). Além disso, a probabilidade de transbordamento é maior em espécies associadas a habitats degradados (Gibb et al. 2020).



Figura 1. **O desmatamento promove pandemias.** Paisagens saudáveis com florestas intactas têm baixo contágio de novos vírus, enquanto paisagens altamente modificadas têm ecossistemas simplificados que favorecem espécies que podem transmitir vírus às pessoas.

## RIQUEZA EM ESPÉCIES DE MAMÍFEROS

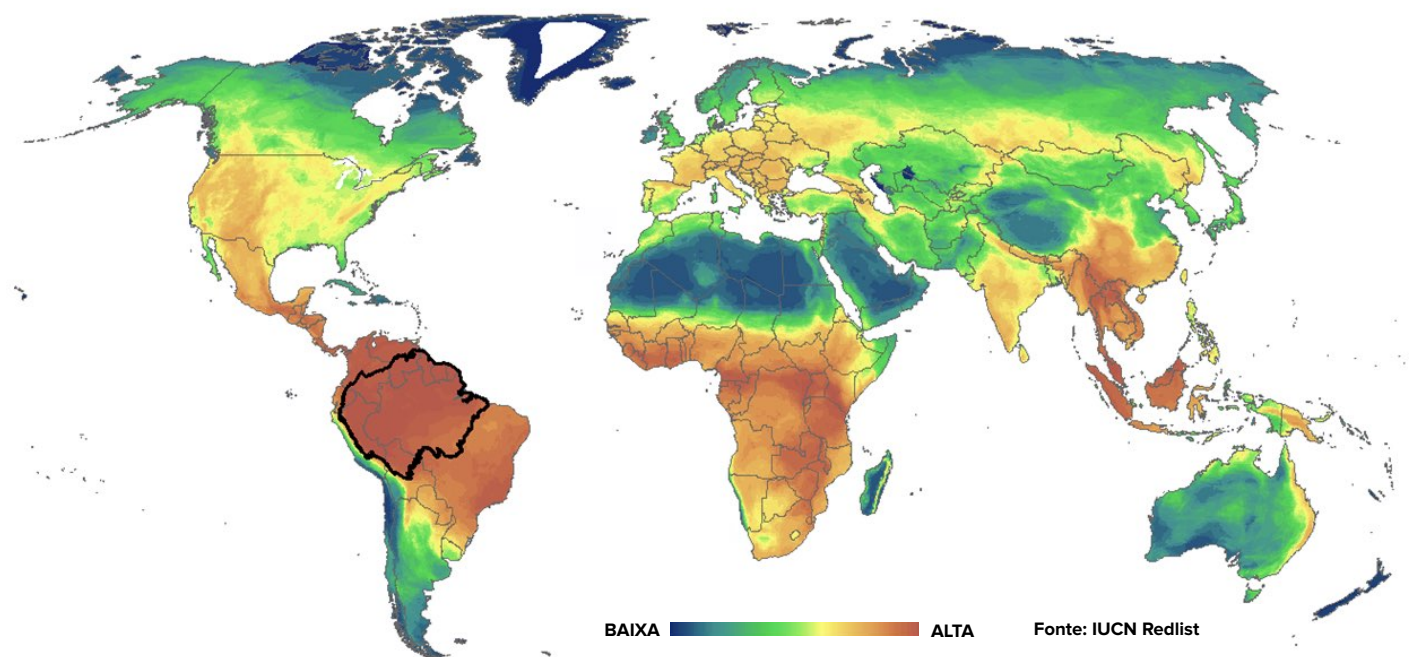


Figura 2. **Diversidade de possíveis hospedeiros mamíferos.** A Amazônia é particularmente rica em mamíferos (acima), especialmente morcegos, que estão envolvidos no surgimento de vários vírus mortais em todo o mundo. O modelo de contágio neste estudo simula a transmissão de vírus com base na diversidade de morcegos e outros fatores.

A Amazônia sintetiza esses problemas globais urgentes, combinando uma alta diversidade de hospedeiros animais, áreas de florestas altamente intactas e pouco povoadas onde o contágio é baixo e áreas de elevado desmatamento onde o contágio aumenta rapidamente. As leis de conservação ambiental e florestal da Amazônia brasileira e sua aplicação mostram que o desenvolvimento e a redução do desmatamento (e o risco de pandemias) não são mutuamente exclusivos. É o tipo de desenvolvimento que determina os seus benefícios e o risco de surgimento da doença na região.

## A Amazônia e as pandemias

A Amazônia tem altos níveis de diversidade de mamíferos e morcegos (**Figura 2**), que foram o reservatório selvagem associado com a emergência de muitas viroses mortais em outros lugares, como o vírus Ebola, SARS-CoV, MERS-CoV, vírus Nipah, vírus Hendra e, mais recentemente, SARS-CoV-2 (Han et al. 2015, Platto et al. 2021, Zhou et al. 2020). Na Amazônia, há uma ligação bem estabelecida entre o desmatamento e o aumento de doenças transmitidas por vetores, como febre amarela, Mayaro, Oropouche e malária (Vasconcellos et al. 2001, Vittor et al. 2006, Vasconcelos & Calisher 2016, Chaves et al. 2018, MacDonald & Mordecai 2019, Castro et al. 2019, Ellwanger et al. 2020). A Amazônia continua sendo a região menos estudada do mundo quanto à prevalência de patógenos em animais selvagens (Olival et al. 2017). Um único estudo, no entanto, isolou pelo menos 187 espécies diferentes de vírus em vertebrados amazônicos, dois terços dos quais foram confirmados como patogênicos para humanos (Vasconcellos et al. 2001).

**O Brasil demonstrou que é possível reduzir o desmatamento sem sacrificar as metas de desenvolvimento.** Em 2004, o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) foi lançado para reduzir as taxas de desmatamento e estabelecer condições regionais para uma transição para um modelo de desenvolvimento sustentável. Esse conjunto de políticas públicas coordenadas e ações públicas/privadas reduziu o desmatamento na Amazônia brasileira em cerca de 70% entre 2005 e 2012 (Nepstad et al. 2014, Arima et al. 2014, Assunção et al. 2015, Cunha et al. 2016, Busch & Engelmann 2017) (**Figura 3**). No mesmo período, o PIB na Amazônia aumentou 141% (IBGE 2020) e a produção de soja cresceu 70% (Nepstad et al. 2014). As políticas incluíram a criação de áreas protegidas, reconhecimento de terras indígenas e restrições de mercado e crédito, embargos agrícolas e obstáculos administrativos em municípios com altas taxas de desmatamento ilegal (Nepstad et al. 2014).

### DESMATAMENTO ANUAL (MIL KM<sup>2</sup>)



**Figura 3. O desmatamento na Amazônia brasileira ao longo do tempo.** O desmatamento na Amazônia brasileira caiu em 2005 em consequência do Programa Brasileiro de Monitoramento e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) lançado em 2004, mas está em ascensão desde 2012 (Fonte: Instituto Nacional Brasileiro de Pesquisa Espacial, INPE).

Contudo, mudanças na legislação ambiental (como por exemplo, a Lei de Proteção à Vegetação Nativa em 2012) e a implementação precária das leis ambientais nos últimos anos prejudicaram esse sucesso, levando a um aumento recente no desmatamento e incêndios na Amazônia brasileira (Soares-Filho et al. 2014, Ferrante & Fearem 2019). O fraco desempenho ambiental resultou na descontinuação do programa Fundo Amazonia no país (Karagiannopoulos 2019), impactando esforços governamentais e não governamentais relevantes para combater o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável. O novo surto de desmatamento aumenta o risco de intensificação de doenças já endêmicas na Amazônia e o surgimento de doenças decorrentes de interações entre animais selvagens e humanos, com potencial pandêmico. Capitais amazônicas como Manaus e Belém crescem rápido e estão bem conectadas por meio de vôos diretos aos principais centros urbanos internacionais, como São Paulo e Rio de Janeiro no Brasil, Miami nos Estados Unidos e Lisboa em Portugal. Esse contexto apresenta uma pergunta fundamental para os cientistas e os responsáveis pela elaboração de políticas: **As tendências atuais de desmatamento farão da Amazônia o próximo hotspot de novas doenças infecciosas emergentes?** Este relatório usa os resultados de um novo modelo de contágio (*spillover*) de vírus aplicado à Amazônia para analisar o risco de pandemia associado a diferentes vias e padrões de desenvolvimento. Destacamos novas políticas que podem ser necessárias para reduzir o risco de futuro aparecimento de doenças na região e sugerimos como políticas existentes ou prévias podem ser importantes para proteger a região e o mundo contra futuras pandemias devastadoras.

# Modelos de origem pandêmica

Vários grupos de pesquisa produziram mapas de contágio de vírus causadores de pandemias globalmente, com base na cobertura florestal atual. Talvez o mais conhecido seja o que define os hotspots globais **de doenças infecciosas emergentes (EID)** (Figura 4; Allen et al 2017). Uma equipe internacional de cientistas está atualmente modelando o contágio futuro nos trópicos.

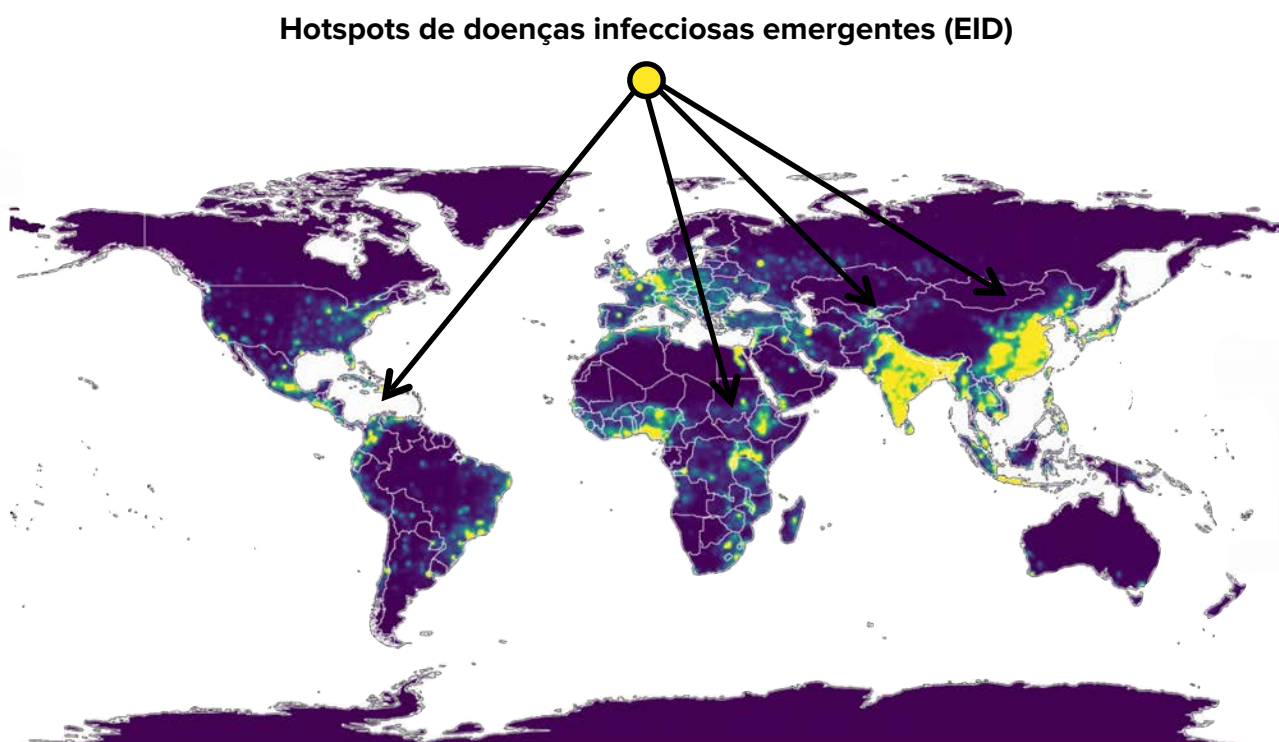


Figura 4. **Hotspots de doenças infecciosas emergentes.** Os hotspots de EID nos trópicos são a causa das pandemias globais. A Amazônia é uma área florestal com alto risco de mudar seu status como hotspot para EID.

O estudo projeta o surgimento de doenças desde o presente até 2050 em diferentes cenários de política usando um modelo espacial de mudança pantropical no uso da terra (Busch & Engelmann 2017), aliado a um modelo matemático de transbordamento de vírus (modificado de Faust 2018). O modelo de cobertura da terra foi calibrado com base na relação observada de 2001-2012 entre a perda de cobertura florestal (Hansen et al. 2013) e variáveis determinantes, como potencial agrícola e distância até as cidades mais próximas. O modelo de transbordamento simula a transmissão de vírus em paisagens florestais em uma grade de 0,05° (~5,5 km no Equador) em toda a Amazônia.

# Lições para a Amazônia

Sem políticas aplicadas para impedir o desmatamento, mudanças substanciais no uso da terra são prováveis em toda a Amazônia (**Figura 5**). Sob o cenário de implementação política precária do modelo, uma grande fração de áreas com grande cobertura florestal será desmatada: mais de 40% até 2050.

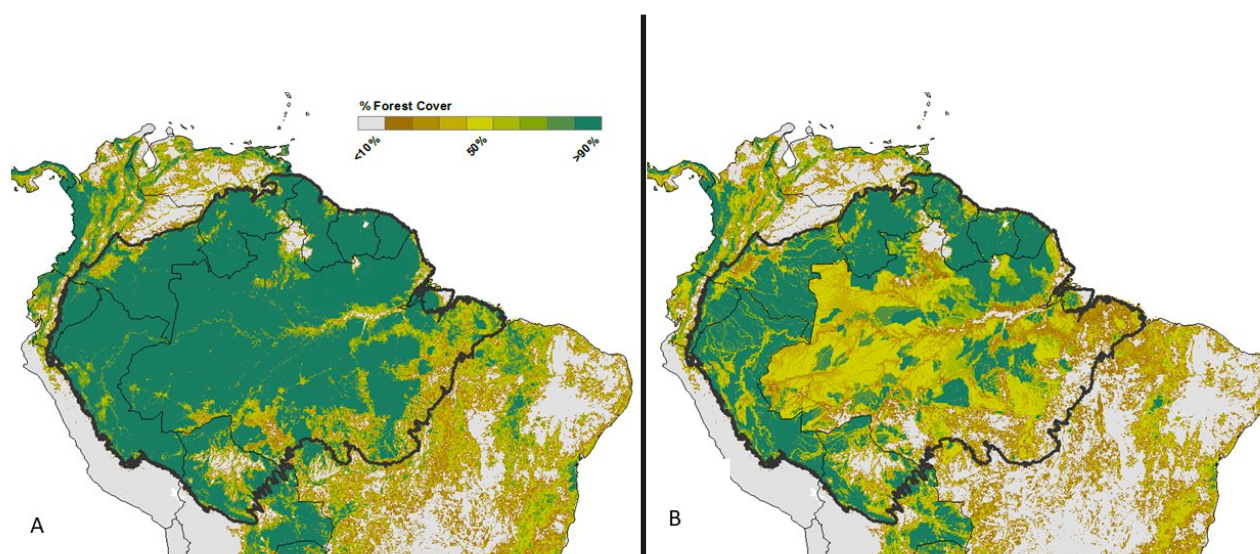


Figura 5. **Desmatamento projetado do presente até 2050.** Cobertura florestal do modelo para o presente (A - painel esquerdo) e 2050 (B - painel direito). A área de estudo do modelo é mostrada com uma linha escura. Espera-se que o contágio aumente com a perda de cobertura florestal e aumento da área de borda de floresta.

Nosso modelo mostra que as áreas que já estão desmatadas agora (menos de 40% da cobertura florestal original restante) devem ter um número maior de eventos de contágio *per capita* em média do que as áreas menos desmatadas (**Figura 6**). Em todos os casos, o desmatamento futuro aumentará o número de eventos de contágio *per capita*. Mas as áreas que são relativamente intocadas hoje, e que são mantidas assim por meio de baixas taxas de desmatamento, terão um número baixo de eventos de contágio em média. À medida que o desmatamento aumenta, o contágio também se amplifica e depois reduz conforme as taxas de contato entre animais selvagens e humanos diminuem, uma vez que a maior parte do habitat nativo desapareceu. No entanto, o contágio nunca cai para zero, o que significa que sempre há uma chance de um evento ocorrer. O declínio no contágio após o pico ocorre em níveis de desmatamento que destruiriam os serviços de regulação climática providos pela Amazônia, importantes para a região e para o mundo. Os táxa que carregam vírus causadores de pandemia se tornam mais prevalentes nesses altos níveis de desmatamento, um efeito que não está representado neste modelo.

## DESMATAMENTO

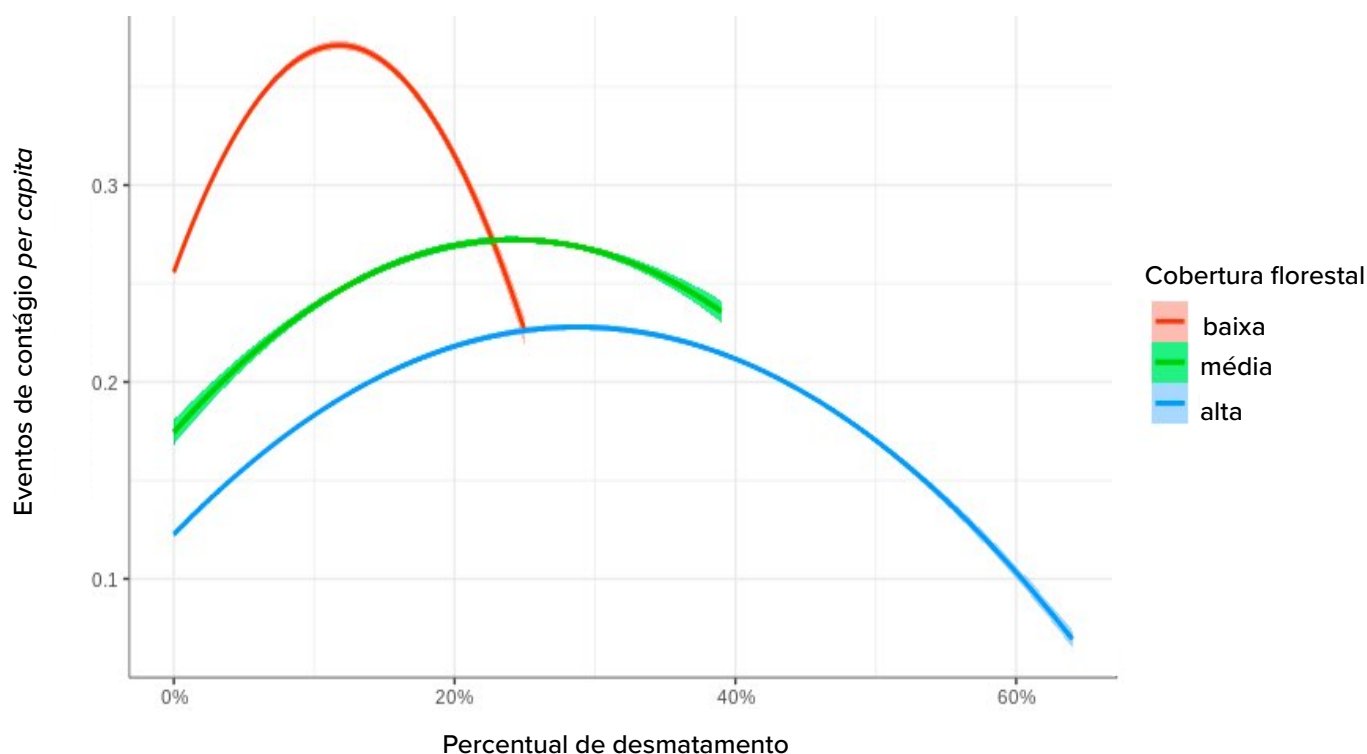


Figura 6. **Baixo desmatamento implica em baixo contágio.** Áreas com cobertura arbórea baixa, média e alta em 2020 (baixa: abaixo de 40%, média: 40-60% e alta: maior que 60%) mostram baixo desmatamento mantendo baixo contágio até 2050. Enquanto as três classes de cobertura florestal mostram trajetórias diferentes em número *per capita* médio de eventos de transbordamento em resposta ao desmatamento, todas mostram muito menos eventos de contágio em desmatamento baixo do que em desmatamento moderado.

É claro que a maioria das áreas já desmatadas terá um alto número de eventos de contágio *per capita* em média (**Figura 7**) e, em alguns casos, o número de eventos aumentará acentuadamente com um desmatamento adicional modesto. Da mesma forma, áreas relativamente intactas, que serão pouco desmatadas até 2050, têm baixo número de eventos de contágio *per capita*.

Os resultados do modelo fornecem algumas lições valiosas para a Amazônia que podem abrir o caminho para políticas importantes. Em primeiro lugar, nossa análise destaca a importância de proteger do desmatamento as áreas intocadas; caso contrário, o número de eventos de contágio *per capita* aumentará de forma não linear. Em segundo lugar, mesmo uma pequena quantidade de desmatamento pode ter grandes impactos sobre o contágio, especialmente se as áreas desmatadas eram intactas. A taxa na qual o desmatamento ocorre afeta eventos de contágio *per capita* médio, mas satura após 20% de desmatamento entre o presente momento e 2050.

Embora o desmatamento na Amazônia brasileira esteja em ascensão desde 2012, a tendência se intensificou nos últimos dois anos (Ferrante e Fearnside 2019). Esse aumento acentuado está associado à implementação insatisfatória das leis ambientais, juntamente com um dismantelamento mais recente das agências ambientais (Ferrante e Fearnside 2019, Vale et al. 2021). A intensa invasão de terras por mineiros, madeireiros e grileiros está ameaçando a vida e a subsistência de povos tradicionais e indígenas, que estão cada vez mais expostos à violência e à COVID-19 (Ferrante e Fearnside 2020).

## DESMATAMENTO

## SEM DESMATAMENTO

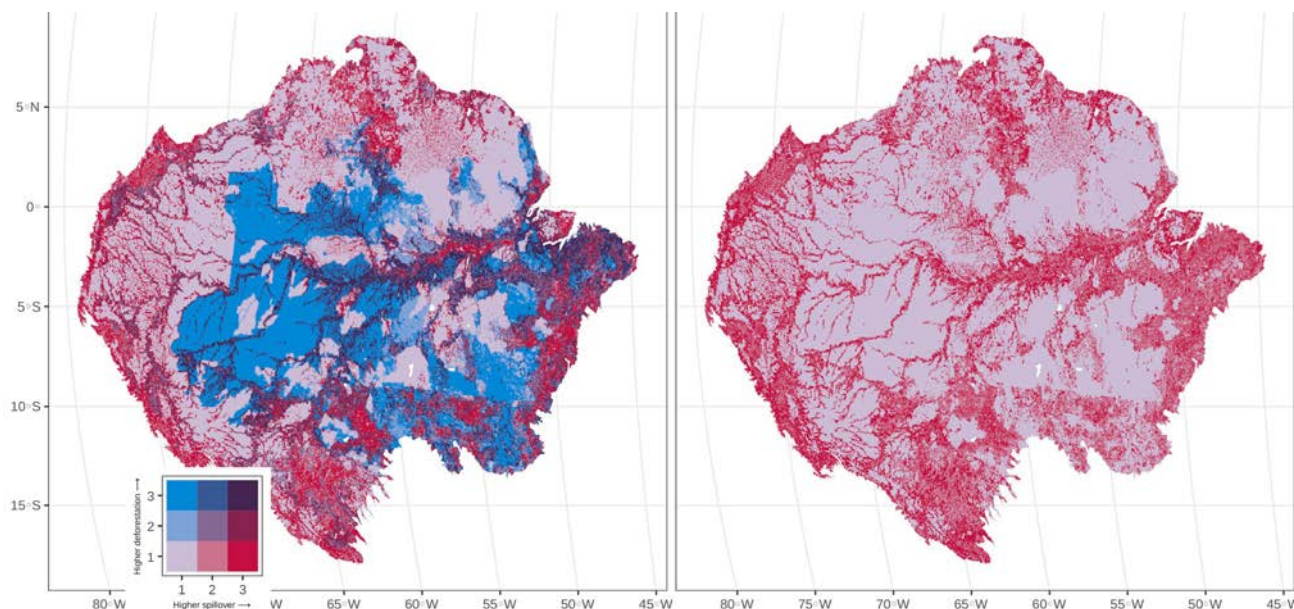


Figura 7. Mapa da Amazônia (linha branca) e número médio projetado de eventos de contágio *per capita* e alteração da cobertura entre 2020 e 2050 (desmatamento). Áreas que atualmente têm uma alta cobertura florestal (maior que 60%) e sofrerão baixo desmatamento terão baixos níveis de contágio (menor que 0,12, célula do canto inferior esquerdo no código de cores) e devem ser protegidas contra o desmatamento. Áreas de elevado contágio e alto desmatamento concentram-se em torno de centros populacionais e devem ser priorizadas no planejamento de uso da terra e apoio à saúde. Muitas áreas na Amazônia já estão desmatadas e terão um alto nível de contágio (maior que 0,3), mesmo que sofram pouco desmatamento adicional (menor que 40%) até 2050 (célula do canto inferior direito no painel de código de cores inserido). Essas áreas devem ser consideradas em programas de restauração, como o Plano de Recuperação de Vegetação Nativa (PLANAVEG-Brasil).

## Políticas públicas

Nossa modelagem de contágios de vírus na Amazônia sugere que políticas públicas que reduzem o desmatamento, especialmente em áreas de cobertura florestal elevada, são a melhor alavanca para limitar o potencial de contágio. Apresentamos aqui nossas principais recomendações de políticas em ordem de impacto provável na prevenção da pandemia, mas todas importantes para evitar o aumento do contágio de vírus globalmente perigosos na região:

- **Coibir invasões ilegais na floresta amazônica.** Em toda a Amazônia, a COVID-19 proporcionou cobertura para atividades ilegais e ilícitas em áreas com alta cobertura florestal, intensificando padrões existentes antes da pandemia (Kroner et. al. 2021, Vale et al. em 2021). Essas ações mudam o uso da terra de maneiras que podem se tornar permanentes e levar ao crescimento das populações humanas dentro de áreas com alta cobertura florestal, criando condições perfeitas para o contágio. É urgente que essas incursões sejam revertidas, particularmente em áreas protegidas que abrigam exatamente o tipo de alta cobertura florestal mais associada ao baixo contágio.
- **Fortalecer as proteções legais e a aplicação da lei para reduzir o desmatamento.** No Brasil, retomar o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) ou implementar uma política de coordenação transversal semelhante para reduzir o desmatamento ilegal seria a maneira mais eficaz de evitar pandemias futuras. Como a aplicação da lei e o monitoramento enfraquecidos tem causado taxas crescentes de desmatamento, deve-se considerar a retomada imediata da abordagem de coordenação da política central pelo Casa Civil como no início do PPCDAM. Uma vez implementadas, uma forte liderança e um bom poder de convocação ajudariam a evitar a incoerência das políticas, além de promover a melhor comunicação e sinergia entre as muitas políticas setoriais e regionais na Amazônia brasileira.

Políticas para promoção da bioeconomia e uso sustentável de florestas em pé podem ajudar a promover modelos de desenvolvimento sustentável em toda a região. Impactos positivos adicionais de longo prazo podem ser alcançados ao: 1) acelerar a implementação da Lei de Proteção à Vegetação Nativa, especialmente pela implementação da rotina de análise dinamizada desenvolvido pelo Serviço Florestal Brasileiro para otimizar a validação de registros de propriedades rurais no Registro Ambiental Rural (CAR); 2) integrar os bancos de dados de licenças para desmatamento estaduais em um banco de dados único por meio do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLO/IBAMA) para facilitar a determinação da ilegalidade de eventos de desmatamento detectados por monitoramento por satélite (por exemplo, PRODES, DETER e Mapbiomas); e 3) fortalecer programas para reduzir a incerteza na posse da terra e alocar adequadamente o 49,8 milhões de hectares de áreas públicas sob responsabilidade do governo federal e regional.

- **Estabelecer fortes políticas de controle de desmatamento coordenadas e transversais entre os países da Amazônia.** Isso inclui o Pacto Leticia e também ações para promover o desenvolvimento sustentável e ferramentas como os do Eixo 4. Instrumentos Normativos e Econômicos da quarta fase da PPCDam brasileira (2016-2020) e explorar o conceito de mix de políticas de uso da terra (Strassburg et al. 2017). As políticas devem ser adaptadas aos contextos político e social de cada país amazônico individual e receber apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento e outras agências internacionais de fomento.
- **Fortalecer os direitos dos povos indígenas.** Terras indígenas são essenciais para manter a alta cobertura florestal na Amazônia. Elas provaram ser menos vulneráveis à invasão do que algumas áreas protegidas (Nepstad et al. 2006, Adeney et al 2009), reforçando a importância nacional e local da gestão indígena. Infelizmente, as comunidades indígenas têm sido particularmente atingidas pela COVID-19 (Ferrante & Fearnside 2020). O reconhecimento governamental dos direitos indígenas e a promoção de uma cultura de respeito por meio de políticas e ações governamentais nacionais e subnacionais devem ser mantidos e reforçados.
- **Melhorar as práticas de saúde, saneamento e desenvolvimento em áreas altamente populadas.** Áreas com grande população e baixa cobertura florestal na Amazônia têm risco muito alto de contágio, muitas vezes associadas a hotspots de doenças infecciosas emergentes (EID) internacionais, e precisam de melhores práticas de saúde e saneamento para minimizar a alta probabilidade de contato entre seres humanos e a vida selvagem. Um pacote de medidas baseadas na comunidade seguindo os princípios do One Health combina clínicas de saúde comunitária, melhor manejo florestal (incluindo supressão do comércio de animais selvagem) e práticas agrícolas mais sustentáveis para reduzir as vias de transmissão viral entre animais selvagens, animais domésticos e humanos. Nessas áreas, o desenvolvimento planejado para evitar paisagens com disposição aleatória e entrelaçada de fragmentos florestais e assentamentos humanos pode ajudar a reduzir o risco de contágio. Esses esforços são mais caros *per capita* e por hectare do que a redução do desmatamento e podem exigir mecanismos de financiamento internacionais ou do governo nacional (veja abaixo). A restauração da floresta pode ser necessária e poderá reduzir o risco de contágio.
- **Desencorajar o comércio de animais selvagens.** O comércio de animais selvagens maximiza o contato entre seres humanos e possíveis hospedeiros de doenças e precisa ser reduzido para controlar o risco de contágio (Dobson et al. 2020). As medidas necessárias incluem o financiamento adequado de leis e mandatos comerciais existentes sobre a vida selvagem, bem como monitoramento aprimorado e políticas criativas e soluções legislativas para desencorajar o comércio de animais selvagens. As campanhas educativas ajudam a aumentar a conscientização sobre a relação entre o comércio de animais selvagens e as pandemias.

- **Apoiar os esforços de redução de risco por meio de programas de coordenação.** Todos os esforços acima se beneficiam se integrados a um sistema de programas nacionais e subnacionais coordenados para que possam ser fortalecidos e modificados de modo a reduzir o risco de pandemias. Os programas relevantes incluem programas do governo subnacional e iniciativas multi-atores, como o Plano Amazônia Agora do estado do Pará, Brasil (PEAA-PA), a Força-Tarefa de Clima e Florestas dos Governadores, a Coalizão Brasileira Clima, Floresta e Agricultura e a melhoria da cadeia de produção de madeira e produtos não madeiros de base comunitária.
- **Garantir financiamento adequado.** Os sistemas de áreas protegidas em todos os países da bacia devem ter planos de gestão práticos e financiamento adequado para reduzir o desmatamento em toda a Amazônia, de modo que uma alta prioridade para a prevenção de pandemias é fortalecer a implementação de programas como a Herencia Colombia e Patrimonio Natural del Perú e o Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), com o seu objetivo de proteger 60 milhões de hectares de florestas.

## Custos e finanças

Os custos de redução do desmatamento são muito menores do que os custos de lidar com pandemias (Dobson et al. 2020). **A Figura 8** ilustra o investimento global atual na prevenção da pandemia de COVID-19 (usando alocações orçamentárias de 2020 como exemplo) e custos (custos da pandemia no final de 2020) em comparação com os custos e benefícios de uma estratégia que enfatiza os investimentos anuais na prevenção e detecção precoce. Antes da COVID-19, o investimento (círculos vermelho claro superiores) favoreceu o controle da doença, incluindo testes (“contenção”) e preparação hospitalar (“mitigação”). O resultado dessa estratégia de investimento é a perda de vidas em larga escala, estresse nos sistemas de saúde e trabalhadores, custos catastróficos de assistência à saúde na casa dos bilhões e perdas econômicas totalizando dezenas de trilhões de dólares (círculos rosa grandes superiores).

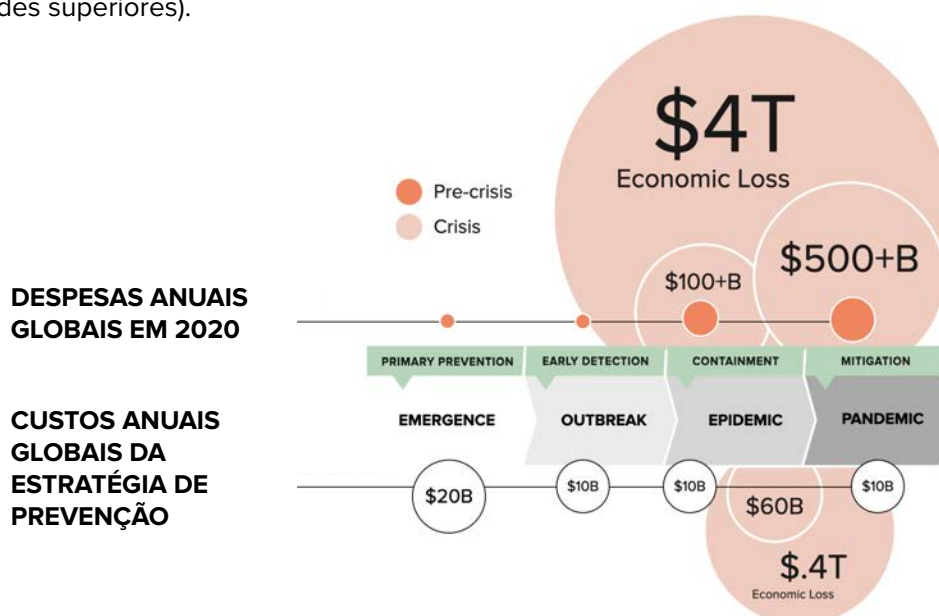


Figura 8. **Estratégia de investimento global para prevenção de pandemias.** Investimentos anuais atuais pré-COVID 19, círculos vermelho-claros superiores. Investimento anual em estratégia de prevenção, círculos brancos inferiores. Essa estratégia de representa um grande investimento na prevenção primária, incluindo a redução do desmatamento e da saúde das comunidades florestais e agrícolas, resultando em uma grande redução na perda de vidas, nos custos de assistência à saúde e prevenção de danos econômicos (diferença entre os círculos cor de rosa superior e inferior).

Uma estratégia de investimento mais inteligente enfatiza a prevenção nas origens, em pontos de acesso globais de EID por meio da melhoria da saúde das comunidades florestais e -agrícolas e minimização do desmatamento para manter a alta cobertura florestal de modo a reduzir a interação entre animais selvagens e humanos em áreas com grande cobertura florestal como a Amazônia. O investimento anual global em uma estratégia de prevenção (Fig. 8, círculos brancos inferiores) resulta em perda de vidas, custos de assistência à saúde e danos econômicos muito menores (círculos rosa inferiores). Embora nem todas as pandemias possam ser evitadas, a prevenção de uma fração significativa representa grandes retornos para evitar a perturbação social, a perda de vidas e danos às economias nacionais.

Ações eficazes para prevenir, monitorar e combater o desmatamento custaram ao governo brasileiro US\$ 1 bilhão por ano quando as taxas anuais estavam sob controle, o que representa apenas 0,1% do orçamento federal total do Brasil (Cunha et al. 2016). Uma parte substancial desses recursos veio do exterior através do Fundo Amazônia, incluindo um compromisso de US\$ 1 bilhão da Noruega (Nepstad et al. 2009, mas consulte Karagiannopoulos 2019). Esse investimento é uma pequena fração da alocação de um ano de US\$ 94,5 bilhões ao fundo de emergência da COVID-19 no Brasil. O modelo PPCDam alcança reduções no desmatamento a um custo menor do que as abordagens de precificação de carbono (Busch & Engelmann 2017) e é aplicável a outras regiões florestais dos trópicos onde a capacidade de melhorar rapidamente a governança é alta (DeFries et al. 2013).

Como os danos são globais, mas os custos de prevenção estão centrados em áreas tropicais como a Amazônia, uma solução cooperativa global é necessária. Os países com florestas tropicais podem implementar políticas que reduzam o desmatamento e melhorem a saúde de comunidades florestais e agrícolas em áreas com alto risco de contágio. Os países do G7 podem contribuir com fundos que tornam esses programas possíveis, particularmente em áreas remotas e carentes. **A política de desmatamento da Amazônia brasileira em sua forma mais eficaz fornece um modelo de como esses programas podem ser orientados nacionalmente com apoio internacional. Todos os países do mundo precisam cooperar para financiar e tomar medidas para reduzir o risco de outra pandemia global. A Amazônia pode fornecer o exemplo para o mundo seguir.**

## Referências

- Adeney, J.M., Christensen, N.L. and Pimm, S.L. (2009). Reserves Protect against Deforestation Fires in the Amazon. *PLoS ONE* 4: e5014. DOI:10.1371/journal.pone.0005014
- Allen, T., Murray, K.A., Zambrana-Torrel, C., Morse, S.S., Rondinini, C., Di Marco, M., Breit, N., Olival, K.J. and Daszak (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Communications*, 8: 1-10. DOI: 10.1038/ s41467-017-00923-8
- Azevedo-Ramos, C.A., Moutinho, P., Arruda, V.L.D.S., Stabile, M.C., Alencar, A., Castro, I. and Ribeiro, J.P., 2020. Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 99: 104863. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104863
- Arima, E. Y., Barreto, P., Araújo, E. and Soares-Filho, B. (2014). Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land Use Policy*, 41: 465-473. doi:10.1016/j.landusepol.2014.06.026
- Assunção, J., Gandour, C. and Rocha, R. (2015). Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? *Environment and Development Economics*, 20: 697-722. DOI:10.1017/s1355770x15000078
- Busch, J. and Engelmann, J. (2017). Cost effectiveness of reducing emissions from tropical deforestation, 2016-2050. *Environmental Research Letters*, 13: 015001.
- Castro, M.C., Baeza, A., Codeço, C.T., Cucunubá, Z.M., Dal'Asta AP, De Leo, G.A., Dobson, A.P., Carrasco-Escobar, G., Lana, R.M., Lowe, R., Monteiro, A.M.V., Pascual, M. and Santos-Vega, M. (2019). Development, environmental degradation, and disease spread in the Brazilian Amazon. *PLoS Biol*, 17: e3000526. DOI:10.1371/journal.pbio.3000526
- Chaves, L.S.M., Conn, J.E., López, R.V.M. and Sallum, M.A.M. (2018). Abundance of impacted forest patches less than 5km<sup>2</sup> is a key driver of the incidence of malaria in Amazonian Brazil. *Scientific Reports*, 8: 7077. DOI:10.1038/s41598-018-25344-5

- Cunha, F.A.F.S., Börner, J., Wunder, S., Cosenza, C.A.N. and Lucena, A.F.P. (2016). The implementation costs of forest conservation policies in Brazil. *Ecological Economics*, 130: 209-220. DOI:10.1016/j.ecolecon.2016.07.007
- Dave, R., Saint-Laurent, C., Murray, L., Daldegan, G.A., Brouwer, R., de Mattos Scaramuzza, C.A., Raes, L., Simonit, S., Catapan, M., Contreras, G.G. and Ndoli, A., 2018. *Second Bonn challenge progress report*. Application of the Barometer in 2018. DOI:10.2305/IUCN.CH.2019.06.en
- DeFries, R., Herold, M., Verchot, L., Macedo, M.N. and Shimabukuro, Y. (2013) Export-oriented deforestation in Mato Grosso: harbinger or exception for other tropical forests? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 368: 20120173. DOI:10.1098/rstb.2012.0173
- Dobson, A. P., Pimm, S. L., Hannah, L., Kaufman, L., Ahumada, J. A., Ando, A. W., Bernstein, A., Busch, J., Daszak, P., Engelmann, J., Kinnaird, M.F., Li, B.V., Loch-Temzelides, T., Lovejoy, T., Nowak, K., Roehrdanz, P.R. and Vale, M. M. (2020). Ecology and economics for pandemic prevention. *Science*, 369: 379-381. DOI: 10.1126/science.abc3189
- Ellwanger, J. H., Kulmann-Leal, B., Kaminski, V.L., Valverde-Villegas, J., Veiga, A.B.G., Spilki, F.R., Fearnside, P.M., Caesar, L., Giatti, L.L., Wallau, G.L., Almeida, S.E.M., Borba, M.R., Hora, V.P. and Chies, J.A.B. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92: e20191375. DOI:10.1590/0001-3765202020191375
- Faust, C.L., McCallum, H.I., Bloomfield, L.S., Gottdenker, N.L., Gillespie, T.R., Torney, C.J., Dobson, A.P. and Plowright, R.K. (2018). Pathogen spillover during land conversion. *Ecology Letters*, 21: 471-483. DOI:10.1111/ele.12904
- Ferrante, L., and Fearnside, P.M. (2019). Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonia's environment, traditional peoples and the global climate. *Environmental Conservation*, 46: 261-263. DOI:10.1017/S0376892919000213
- Ferrante, L. and Fearnside, P.M. (2020). Protect indigenous peoples from COVID-19. *Science*, 368: 251. DOI:10.1126/science.abc0073.
- Friedman, J.H. (2001). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. *Annals of Statistics*, 29:1189-1232.
- Gibb, R., Redding, D.W., Chin, K.Q., Donnelly, C.A., Blackburn, T.M., Newbold, T. and Jones, K.E. (2020). Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature*, 584: 398-402. DOI:10.1038/s41586-020-2562-8
- Kroner, R.E.G., Qin, S., Cook, C.N., Krithivasan, R., Pack, S.M., Bonilla, O.D., Cort-Kansinall, K.A., Coutinho, B., Feng, M., Garcia, M.I.M. and He, Y., 2019. The uncertain future of protected lands and waters. *Science*, 364: 881-886. DOI:10.1126/science.aau5525
- Han, B.A., Kramer, A.M. and Drake, J.M. (2016). Global patterns of zoonotic disease in mammals. *Trends in Parasitology*, 32: 565-577. DOI:10.1016/j.pt.2016.04.007
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., and Townshend, J.R.G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342: 850-853. DOI:10.1126/science.1244693
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). PIB Municipal - Produto interno bruto a preços correntes Frequência: Anual de 2002 até 2015 Unidade: R\$ (mil), a preços do ano 2000. Extracted from: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (2020). *Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Daszak, P., das Neves, C., Amuasi, J., Hayman, D., Kuiken, T., Roche, B., Zambrana-Torrel, C., Buss, P., Dundarova, H., Feferholtz, Y., Foldvari, G., Igbinosa, E., Junglen, S., Liu, Q., Suzan, G., Uhart, M., Wannous, C., Woolaston, K., Mosig Reidl, P., O'Brien, K., Pascual, U., Stoett, P., Li, H. and Ngo, H.T. (Eds). Bonn, Germany: IPBES Secretariat. DOI:10.5281/zenodo.4147318
- Johnson, C.K., Hitchens, P.L., Pandit, P.S., Rushmore, J., Evans, T.S., Young, C.C. and Doyle, M.M. (2020). Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proceedings of the Royal Society B*, 287: 20192736. DOI:10.1098/rspb.2019.2736
- Karagiannopoulos, L. (2019). Norway stops Amazon fund contribution in dispute with Brazil. Reuters (Environment), Aug 15, 2019. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-brazil-environment-norway-idUSKCN1V52C9>
- Kessler, M.K., Becker, D.J., Peel, A.J., Justice, N.V., Lunn, T., Crowley, D.E., Jones, D.N., Eby, P., Sánchez, C.A. and Plowright, R.K. (2018). Changing resource landscapes and spillover of henipaviruses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1429: 78-99. DOI: 10.1111/nyas.13910
- Leendertz, S.A.J., Gogarten, J.F., Düx, A., Calvignac-Spencer, S. and Leendertz, F.H. (2016). Assessing the evidence supporting fruit bats as the primary reservoirs for Ebola viruses. *EcoHealth*, 13: 18-25. DOI:10.1007/s10393-015-1053-0
- Loh, E.H., Zambrana-Torrel, C., Olival, K.J., Bogich, T.L., Johnson, C.K., Mazet, J.A., Karesh, W. and Daszak, P. (2015). Targeting transmission pathways for emerging zoonotic disease surveillance and control. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 15: 432-437. DOI:10.1089/vbz.2013.1563
- Looi, L.M. and Chua, K.B. (2007). Lessons from the Nipah virus outbreak in Malaysia. *Malaysian Journal of Pathology*, 29(2): 63-67.
- MacDonald, A. J. and Mordecai, E. A. (2019). Amazon deforestation drives malaria transmission, and malaria burden reduces forest clearing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116: 22212-22218. DOI:10.1073/pnas.1905315116
- Mollentze, N. and Streicker, D.G. (2020). Viral zoonotic risk is homogenous among taxonomic orders of mammalian and avian reservoir hosts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117: 9423-9430. DOI:10.1073/pnas.1919176117
- Nepstad, D., Schwartzman, S., Bamberger, B., Santilli, M., Ray, D., Schlesinger, P., Lefebvre, P., Alencar, A., Prinz, E., Fiske, G. and Rolla, A. (2006). Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Conservation Biology*, 20: 65-73. DOI:10.1111/j.1523-1739.2006.00351.x
- Nepstad, D., McGrath, D., Stickler, C., Alencar, A., Azevedo, A., Swette, B., Bezerra, T., DiGiano, M., Shimada, J., Motta, R.S., Armijo, E., Castello, L., Brando, P., Hansen, M.C., McGrath-Horn, M., Carvalho, O. and Hess, L. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*, 344: 1118-23. DOI:10.1126/science.1248525
- Nepstad, D., Soares, B. S., Merry F., Lima, A., Moutinho, P., Carter, J., Bowman, M., Cattaneo, A., Rodrigues, H., Schwartzman, S., McGrath, D. G., Stickler, C. M., Lubowski, R., Piris-Cabezas, P., Rivero, S., Alencar, A., Almeida, O. and Stella, O. (2009). The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, 326: 5958. DOI:10.1126/science.1182108
- Olival, K.J., Hosseini, P.R. Zambrana-Torrel, C., Ross, N., Bogich, T.L. and Daszak, P. (2017). Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature*, 546: 646-650. DOI: 10.1038/nature22975

- Olivero, J., Fa, J.E., Real, R., Márquez, A.L., Farfán, M.A., Vargas, J.M., Gaveau, D., Salim, M.A., Park, D., Suter, J. and King, S. (2017). Recent loss of closed forests is associated with Ebola virus disease outbreaks. *Scientific Reports*, 7: 1-9. DOI:10.1038/s41598-017-14727-9
- Platto, S., Zhou, J., Yanqing, W., Huo, W. and Carafoli, E. (2021). Biodiversity loss and COVID-19 pandemic: The role of bats in the origin and the spreading of the disease. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 538: 2-13. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.10.028
- Plowright, R.K., Eby, P., Hudson, P.J., Smith, I.L., Westcott, D., Bryden, W.L., Middleton, D., Reid, P.A., McFarlane, R.A., Martin, G. and Tabor, G.M. (2015). Ecological dynamics of emerging bat virus spillover. *Proceedings of the Royal Society B*, 282: 20142124. DOI:10.1098/rspb.2014.2124
- Rivers, M. (2021). Manaus is collapsing again. Is a new coronavirus variant to blame? CNN, January 28, 2021. Available at: <https://edition.cnn.com/2021/01/27/americas/manaus-brazil-covid-19-new-variant-intl/index.html>
- Rulli, M.C., Santini, M., Hayman, D.T. and D'Odorico, P. (2017). The nexus between forest fragmentation in Africa and Ebola virus disease outbreaks. *Scientific Reports*, 7: 41613. DOI:10.1038/srep41613
- Selmann, A., Czirájk, G. Á., Courtiol, A., Bernard, H., Struebig, M. J. and Voigt, C. C. (2017). Habitat disturbance results in chronic stress and impaired health status in forest-dwelling paleotropical bats. *Conservation Physiology*, 5: bcox020. DOI:10.1093/conphys/cox020.
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H. and Alencar, A. 2014. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, 344: 363–364. DOI:10.1126/science.1246663
- Strassburg, B.B., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A.E., Oliveira Filho, F.J., Scaramuzza, C.A.D.M., Scarano, F.R. and Soares-Filho, B. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution* 1: 1-3. DOI:10.1038/s41559-017-0099
- Vale, M. M., Berenguer, E., Menezes, M. A., Castro, E. B. V., Siqueira, L. P. and Rita, C. Q. P. (2021). The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. *Biological Conservation*, 108994. DOI:10.1016/j.biocon.2021.108994
- Vasconcelos, P. F. C. and Calisher, C. H. (2016). Emergence of Human Arboviral Diseases in the Americas, 2000–2016. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 16: 295-301. DOI:10.1089/vbz.2016.1952
- Vasconcelos, P.F.C., Rosa, A.P. A.T, Rodrigues, S.G., Rosa, E.S.T, Dégallier, N. and Rosa, J.F.T. (2001). Inadequate management of natural ecosystem in the Brazilian Amazon region results in the emergence and reemergence of arboviruses. *Cadernos de Saúde Pública*, 17 (Supp): 155-164. DOI:10.1590/S0102-311X2001000700025
- Vittor, A. Y., Gilman, R. H., Tielsch, J., Glass, G., Shields, T. I. M., Lozano, W. S., ... and Patz, J. A. (2006). The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of falciparum malaria in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 74: 3-11. DOI:10.4269/ajtmh.2006.74.3
- Woolhouse, M. and Antia, R. (2008). Emergence of new infectious diseases. In: S.C. Stearns, and J.K. Koella, (Eds) *Evolution in Health and Disease*, 2nd ed. Oxford: Oxford University Press. pp. 215-228.
- Woolhouse, M.E. and Gowtage-Sequeria, S. (2005). Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 11: 1842-1847. DOI:10.1098/rstb.2011.0354
- Zhou, H., Chen, X., Hu, T., Li, J., Song, H., Liu, Y., Wang, P., Liu, D., Yang, J., Holmes, E.C., Hughes, A.C., Bi, Y. and Shi, W. (2020). A novel bat coronavirus closely related to SARS-CoV2 contains natural insertions at the S1/S2 cleavage site of the spike protein. *Current Biology*, 30: 2196-2203. DOI:10.1016/j.cub.2020.05.023