



Tendências populacionais de vertebrados de médio e grande porte em áreas protegidas da Amazônia brasileira

Elildo Alves Ribeiro de Carvalho Junior^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0003-4356-2954>

* Contato principal

Ricardo Sampaio¹

 <https://orcid.org/0000-0002-7780-3341>

Gerson Buss²

 <https://orcid.org/0000-0003-0892-3005>

Marcos de Souza Fialho³

 <https://orcid.org/0000-0002-9938-6454>

Marcelo Lima Reis⁴

 <https://orcid.org/0000-0002-8922-8030>

¹ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros/CENAP, Atibaia/SP, Brasil. <elildo.carvalho-junior@icmbio.gov.br, ricardo.sampaio@icmbio.gov.br>.

² Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Primatas Brasileiros/CPB, Cabedelo/PB, Brasil. <gerson.buss@icmbio.gov.br>.

³ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres/CEMAVE, Cabedelo/PB, Brasil. <marcos.fialho@icmbio.gov.br>.

⁴ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Coordenação de Monitoramento da Biodiversidade/COMOB, Brasília/DF, Brasil. <mukiramcarcelo@gmail.com>.

Recebido em 08/09/2023 – Aceito em 15/07/2024

Como citar:

Carvalho Jr EAR, Sampaio R, Buss G, Fialho MS, Reis ML. Tendências populacionais de vertebrados de médio e grande porte em áreas protegidas da Amazônia brasileira. Biodivers. Bras. [Internet]. 2024; 14(3): 163-176. doi: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i3.2484

Palavras-chave: Amazônia; índice de diversidade; monitoramento da biodiversidade; tendências populacionais.

RESUMO – A atual crise de biodiversidade tem gerado uma demanda crescente por informações sobre o estado e as tendências da biodiversidade, especialmente em regiões megadiversas como os trópicos, onde há carência de dados. Diante disso, o governo brasileiro desenvolveu o Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade – Programa Monitora, programa de longa duração voltado ao monitoramento do estado da biodiversidade e serviços ecossistêmicos em unidades de conservação (UCs) federais. Neste estudo, utilizamos uma série temporal de nove anos (2014-2022) de monitoramento em 22 UCs da Amazônia para avaliar as tendências de 167 populações de aves e mamíferos terrestres de médio e grande porte, bem como as tendências agregadas da biodiversidade, utilizando a média geométrica das abundâncias relativas destas populações como índice de biodiversidade. Encontramos estabilidade, declínio e aumento para 92%, 6,5% e 0,6% das populações analisadas, respectivamente. Não encontramos diferenças entre as taxas de crescimento populacional de aves e mamíferos, ou entre populações localizadas em UCs de proteção integral e de uso sustentável. A média geométrica das abundâncias relativas permaneceu estável no período amostrado. Os resultados sugerem que, em geral, as UCs monitoradas

têm sido efetivas para a conservação das populações-alvo do programa, embora algumas populações tenham sofrido declínios significativos, o que levanta um alerta. Num futuro próximo, as séries temporais se tornarão cada vez mais longas, e mais e mais UCs e populações se tornarão elegíveis para análise. Portanto, a continuidade do programa é essencial para garantir resultados mais robustos.

Population trends of medium to large-sized vertebrates in protected areas in Brazilian Amazonia

Keywords: Amazonia; biodiversity index; biodiversity monitoring; population trends.

ABSTRACT – The current biodiversity crisis has generated a growing demand for information on the status and trends of biodiversity, especially in mega diverse regions such as the tropics, where comprehensive data is lacking. In view of this, the Brazilian government developed the Brazilian *in situ* monitoring program of Federal Protected Areas – Programa Monitora, a long-term program aimed at monitoring the state of biodiversity and ecosystem services in federal protected areas (PAs). In this study, we used a nine-year monitoring time series (2014-2022) from 22 PAs in the Amazon to assess trends in 167 populations of medium- to large-sized terrestrial birds and mammals, as well as aggregate biodiversity trends, using the geometric mean of the relative abundances as a biodiversity index. We found stability, decline and increase for 92%, 6.5 and 0.6% of the analyzed populations, respectively. We did not find differences between the population growth rates of birds and mammals, or between populations located in strictly protected and sustainable use PAs. The geometric mean of relative abundances remained stable over the sampled period. The results suggest that, in general, the monitored PAs have been effective for the conservation of the program's target populations, although some populations have suffered significant declines, which raises an alert. In the near future, the time series will become longer and longer and more and more PAs and populations will become eligible for analysis. Therefore, the continuity of the program is essential to ensure more robust results.

Tendencias poblacionales de vertebrados medianos y grandes en áreas protegidas de la Amazonía brasileña

Palabras-clave: Amazonas; índice de diversidad; monitoreo de la biodiversidad; tendencias poblacionales.

RESUMEN – La actual crisis de biodiversidad ha generado una creciente demanda de información sobre el estado y las tendencias de la biodiversidad, especialmente en regiones megadiversas como los trópicos, donde hay falta de datos. En vista de esto, el gobierno brasileño desarrolló el Programa Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad – Programa Monitor, un programa de largo plazo destinado a monitorear el estado de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en las unidades de conservación (UCs) federales. En este estudio, utilizamos una serie temporal de nueve años (2014-2022) de datos de 22 UC en Amazonía brasileña para evaluar tendencias en 167 poblaciones de aves y mamíferos terrestres de tamaño mediano y grande, así como tendencias agregadas en biodiversidad, utilizando la media geométrica de las abundancias relativas de estas poblaciones como índice de biodiversidad. Encontramos estabilidad, disminución y aumento para el 92%, 6.5% y 0.6% de las poblaciones analizadas, respectivamente. No encontramos diferencias entre las tasas de crecimiento poblacional de aves y mamíferos, ni entre poblaciones ubicadas en UCs de estricta protección y uso sustentable. La media geométrica de las abundancias relativas se mantuvo estable durante el período muestreado. Los resultados sugieren que, en general, las UCs monitoreadas han sido efectivas para la conservación de las poblaciones objetivo del programa, aunque algunas poblaciones han sufrido disminuciones importantes, lo que genera alerta. En un futuro próximo, las series

temporales serán cada vez más largas y cada vez más UCs y poblaciones serán elegibles para el análisis. Por lo tanto, la continuidad del programa es esencial para garantizar resultados más sólidos.

Introdução

O acentuado crescimento populacional humano e as altas taxas de consumo *per capita* têm pressionado os ambientes naturais em níveis sem precedentes[1][2]. Impactos como perda e degradação de *habitat*, caça, sobre-exploração e mudanças climáticas têm levado a uma crise global de biodiversidade com perda de espécies e declínios populacionais ocorrendo em grande escala[2][3][4]. Os vertebrados terrestres têm sido severamente afetados por essa crise[5][6], com as espécies tropicais particularmente ameaçadas[7].

Diversas iniciativas internacionais têm mobilizado esforços para reverter a perda de biodiversidade, com destaque para a Convenção da Biodiversidade Biológica (CDB)[8] e seus desdobramentos, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas[9] e o Quadro Global de Biodiversidade Kunming-Montreal[10]. O acompanhamento do progresso dessas iniciativas requer dados de monitoramento *in situ*, essenciais para descrever o estado e tendências da biodiversidade e avaliar a efetividade das ações de conservação[11][12]. No entanto, dados sistemáticos, confiáveis e abrangendo múltiplas escalas sobre tendências da biodiversidade permanecem escassos. Por exemplo, a maioria dos relatórios nacionais submetidos à CDB não apresenta evidências empíricas de tendências da biodiversidade[11][13].

Visando preencher essa lacuna, diversas iniciativas compilaram e avaliaram séries temporais de biodiversidade[14][15]. Essas compilações têm produzido sínteses importantes sobre o estado e tendências globais da biodiversidade, mas sofrem de vieses taxonômicos e geográficos, com lacunas particularmente relevantes para as regiões tropicais, justamente as áreas de maior biodiversidade do mundo[16][17][18].

O Brasil, como país megadiverso e de dimensões continentais, tem papel chave no atendimento dessa demanda. Uma das iniciativas nacionais é o Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade – Programa Monitora, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

(ICMBio). O Programa Monitora é um programa institucional de larga escala, contínuo e de longo prazo, voltado para o monitoramento do estado da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos em unidades de conservação federais[19]. O programa abrange diversos subprogramas, componentes e alvos de monitoramento, com protocolos rigorosos, mas simples, de baixo custo e modulares, visando garantir a replicação espacial, a continuidade temporal e a participação social. Ao longo dos nove anos de sua existência (2014-2022), a iniciativa ganhou escala e se tornou um dos maiores programas de monitoramento de biodiversidade não apenas do sul global, mas como de todo o mundo.

Neste estudo, utilizamos dados de uma série temporal com nove anos (2014-2022) de amostragem para um dos alvos de monitoramento (aves cinegéticas e mamíferos terrestres de médio e grande porte) do componente florestal do Programa Monitora. Utilizamos modelos de espaço de estados (*state-space models*) para descrever a trajetória e a taxa de crescimento médias de cada população no período monitorado, e avaliamos as tendências da biodiversidade deste grupo por meio da média geométrica da abundância relativa.

Material e Métodos

Coleta de dados

Os dados foram coletados entre 2014 e 2022 como parte do Programa Monitora[19]. O monitoramento de vertebrados de médio e grande porte se iniciou em 2014, em três unidades de conservação, e se expandiu gradualmente de forma que hoje há dados de monitoramento para aproximadamente 50 UCs.

O protocolo básico para monitoramento de vertebrados de médio e grande porte é o de amostragem por distâncias em transecções lineares[20]: resumidamente, dois observadores percorrem transecções lineares em ambientes florestais no período diurno (~7h-12h), a uma velocidade reduzida e constante (~1,5 km/h) e registram, para cada encontro com indivíduos das

espécies-alvo, a espécie, o número de indivíduos e a distância perpendicular entre o primeiro indivíduo avistado e o centro da transeção[21][22]. De acordo com o protocolo, cada UC deve ter ≥ 3 estações amostrais (transeções com 5 km de extensão) e o esforço amostral anual por estação amostral deve ser de ≥ 50 km[21]. Na prática, o esforço recomendado nem sempre é atingido devido a variações no grau de implementação do protocolo entre diferentes UCs. Ressaltamos ainda que a duração do monitoramento é variável entre as UCs, dependendo do tempo de aderência de cada uma ao programa.

Alvos de monitoramento

Os taxa alvo do protocolo incluem as aves das famílias Cariamidae, Cracidae, Psophidae, Rheidae e Tinamidae e os médios e grandes mamíferos, todos de hábito diurno ou catemerais. Esses grupos podem ser identificados em campo até o nível de gênero e espécie, e têm sido efetivamente monitorados pelo método de amostragem por distância em florestas Neotropicais[22][23][24].

A nomenclatura para aves seguiu o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos[25] e a de mamíferos seguiu a lista atualizada de mamíferos do Brasil[26]. Somente registros identificados até o nível de espécie entraram no estudo, salvo exceções para os gêneros *Mico*, *Crypturellus*, *Tinamus* e *Penelope*, que em vários casos foram agrupados como “ecoespécies” correspondendo a congêneres ecologicamente equivalentes[27]. Esse agrupamento deve ter efeito conservador sobre as análises, uma vez que apenas serão detectadas tendências populacionais direcionais se as espécies agrupadas tenderem numa mesma direção ou se uma delas apresentar tendências suficientemente fortes para que seu sinal se destaque acima do ruído de fundo.

Seleção de populações

Consideramos cada espécie em cada UC como uma população independente[28]. Foram registradas > 1000 de populações dos taxa alvo em 41 UCs Amazônicas. No entanto, a maioria das populações foi registrada apenas ocasionalmente (< 10 encontros), inviabilizando estimativas populacionais confiáveis. Diante disso, selecionamos as populações elegíveis para análise com base nos seguintes critérios: (1) omitimos todas as populações com série temporal menor que cinco anos, pois séries mais curtas são insuficientes para capturar tendências direcionais

em sua abundância[28]; (2) omitimos todas as populações de espécies raras e elusivas, aqui definidas como aquelas com taxa de encontro anual média < 0,5 encontros a cada 10 km; (3) para todas as demais populações utilizamos reamostragem por *bootstrap* para avaliar se o esforço de amostragem anual médio foi suficiente para obter um coeficiente de variação das taxas de encontro $\leq 0,25$, limite aceitável para que estimativas de parâmetros populacionais sejam consideradas úteis[29].

Modelo de espaço de estados

Utilizamos a taxa de encontro (número de grupos encontrados a cada 10 km percorridos) como índice de abundância relativa de cada população[24][30]. Modelamos as taxas de encontro por meio de modelos de espaço de estados[31]. Esses modelos particionam a variação observada nos dados em dois componentes, um associado ao processo ecológico e outro ao processo de observação[31][32]. No modelo do processo ecológico, a abundância relativa na estação amostral i e ano t ($X_{i,t}$) depende da abundância na estação amostral i no ano anterior ($X_{i,t-1}$) e da taxa de crescimento populacional na estação amostral i e ano $t-1$ ($r_{i,t-1}$), modelada como um processo estocástico com distribuição normal centrada na taxa de crescimento médio da população em cada UC[33]:

$$X_{i,t} = X_{i,t-1}e^{r_{i,t-1}} \quad (1)$$

A abundância relativa para a UC no ano t ($X_{UC,t}$) foi estimada como a média das abundâncias relativas em cada estação amostral em cada ano:

$$X_{UC,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,t} \quad (2)$$

Onde n = número de estações amostrais.

No modelo do processo de observação, consideramos que as taxas de encontro observadas na estação amostral i na amostragem k e no ano t ($y_{i,k,t}$) dependem da abundância populacional no ano t e de erro estocástico ($\eta_{i,k,t}$) com distribuição normal centrada em zero:

$$y_{i,k,t} = X_{i,t} + \eta_{i,t} \quad (3)$$

Os modelos foram implementados numa abordagem bayesiana usando o programa JAGS[34]

e o pacote *R2jags*[35] do programa R. Foram executadas três cadeias de Markov Monte Carlo com 25000 iterações, período de aquecimento (*burn-in*) de 10000 e espaçamento (*thinning rate*) de 100. A convergência dos parâmetros foi avaliada pelo diagnóstico de Gelman-Rubin[36].

Utilizamos a taxa de crescimento médio de cada população (r) como síntese de suas tendências populacionais. Valores negativos indicam declínio, valores positivos indicam aumento, e o zero indica estabilidade. Consideramos que as tendências foram significativas quando o intervalo de 95% de credibilidade da estimativa de r não incluiu o zero. Utilizamos o teste Qui-quadrado para avaliar diferenças nas taxas de crescimento entre aves e mamíferos e entre populações em UCs de proteção integral e de uso sustentável.

Índice de biodiversidade

Utilizamos a média geométrica das abundâncias relativas das populações monitoradas como índice de biodiversidade[37]. Essa é uma medida de escolha para monitoramento da biodiversidade em

diversos programas[38][39]. A média geométrica reflete tendências na abundância e equitabilidade entre as populações, e não é afetada pelo ano base escolhido nem por variações interpopulacionais na detectabilidade, por ser baseada em tendências intrapopulacionais[37][40]. A média geométrica e o intervalo de confiança gerado por *bootstrap* foram calculados seguindo as recomendações de[37][38].

Resultados

Entre os anos de 2014 e 2022, foram amostradas 125 estações amostrais em 41 UCs na Amazônia (Figura 1). O esforço amostral acumulado no período foi de 24.675 km percorridos, resultando em 23.500 encontros com pelo menos 22 espécies de aves e 114 espécies de mamíferos, representando 179 e 826 populações de aves e mamíferos, respectivamente. No entanto, somente 169 populações (78 de aves e 91 de mamíferos) presentes em 22 UCs (Material Suplementar Tabela S1) foram selecionadas para as análises com base nos critérios de inclusão descritos definidos na metodologia.

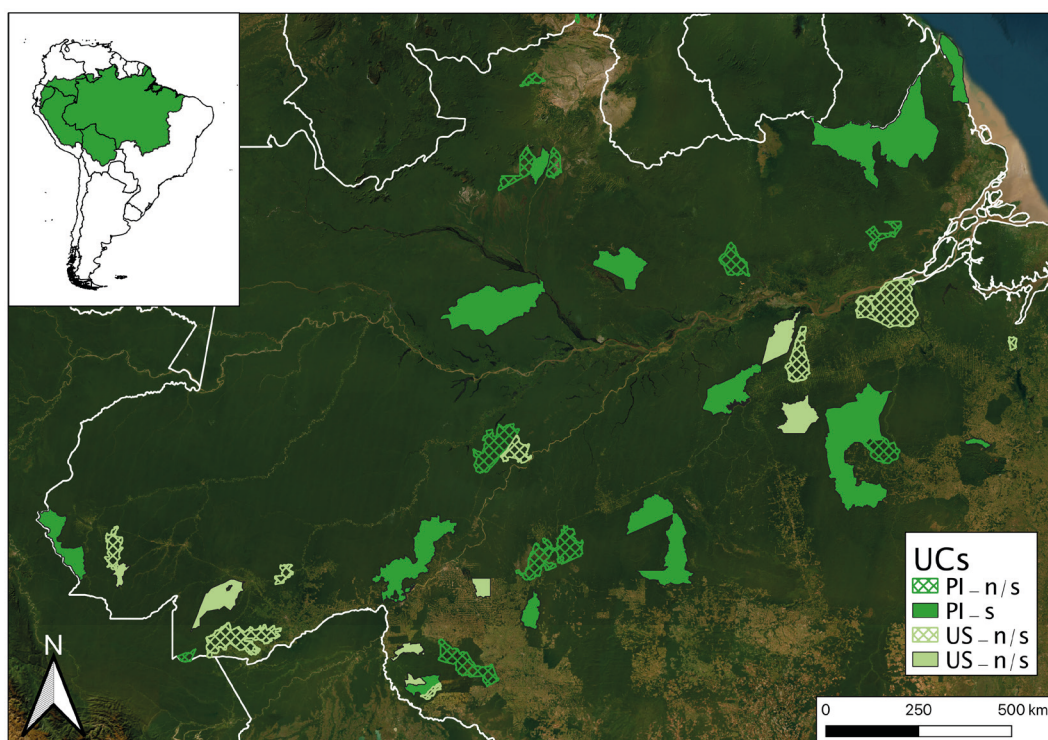


Figura 1 – O mapa inserido (superior à esquerda) mostra a América do Sul, os limites territoriais nacionais e os limites internacionais da bacia Amazônica em verde. A figura maior evidencia a região Amazônica do Brasil e seus limites territoriais em branco. As 41 unidades de conservação (UCs) foram representadas nos polígonos verdes. As 21 UCs contendo populações selecionadas no estudo são representadas pelos polígonos totalmente preenchidos. UCs de proteção integral e de uso sustentável correspondem ao código PI e US, respectivamente. UCs selecionadas e não selecionadas no estudo correspondem aos códigos “s” e “n/s”, respectivamente.

As populações selecionadas abrangem principalmente espécies das ordens Primates (33%), Tinamiformes (23%), Galliformes (20%) e Rodentia (19%), com dominância dos gêneros *Crypturellus* (13%), *Penelope* (13%), *Sapajus* (12%), *Dasyprocta* (10%) e *Tinamus* (10%) (Figura 2). O processo de seleção de populações levou à omissão da maioria

ou todas as populações das ordens Artiodactyla, Carnivora, Cingulata, Perissodactyla e Pilosa, dentre outras. Isso foi inevitável pois espécies desses grupos são naturalmente raras, elusivas ou noturnas, portanto, não são bem amostradas pelo protocolo. Dentre as populações selecionadas, duas não são consideradas daqui em diante porque seus modelos não convergiram.

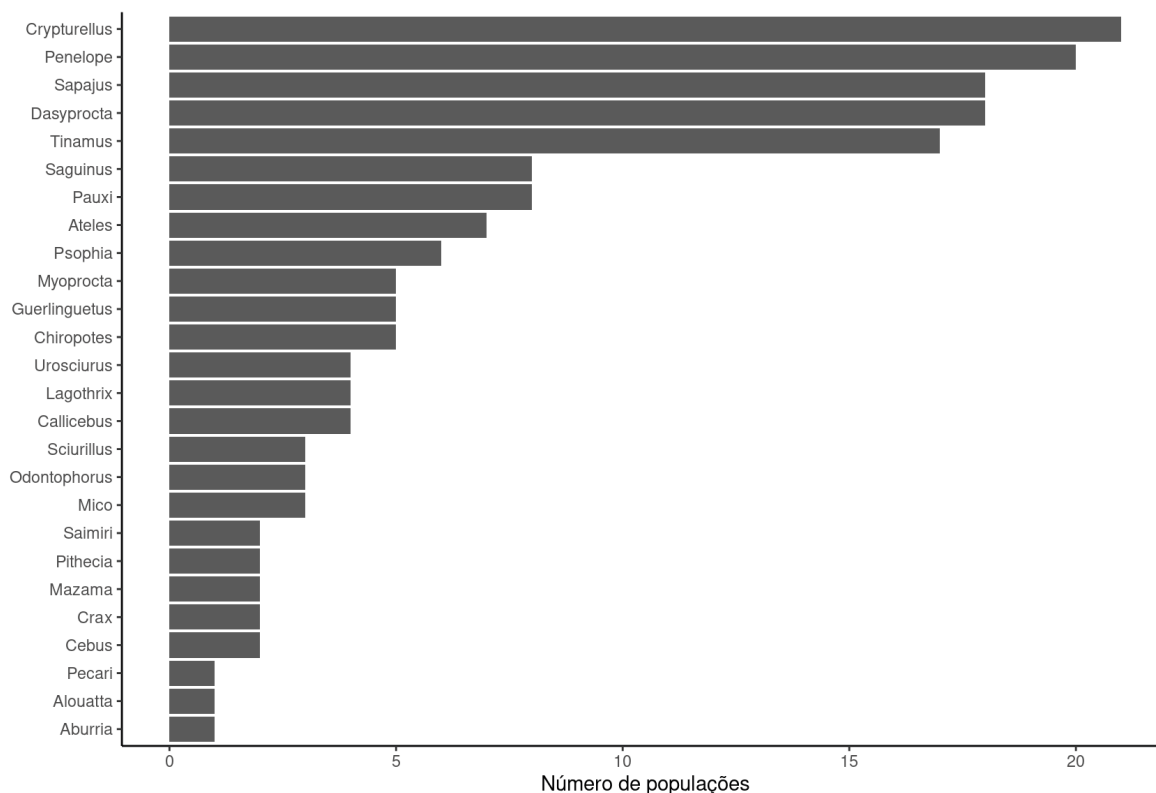


Figura 2 – Número de populações em cada gênero selecionadas para análise.

Durante o período monitorado, cinco populações de aves (6,4%) e seis populações de mamíferos (6,6%) exibiram declínios significativos, 69 populações de aves (88,5%) e 84 populações de mamíferos (92,3%) permaneceram estáveis, e uma população de ave (1,3%) exibiu aumentos significativos (Figura 3, Material Suplementar

Figura S1 e S2). A taxa de crescimento anual média para o conjunto de populações analisadas variou entre -0,64 e 0,29 (média = -0,06). Tendências negativas não significativas parecem ser mais comuns do que as tendências positivas, embora a coleção de populações abranja um amplo espectro de tendências.

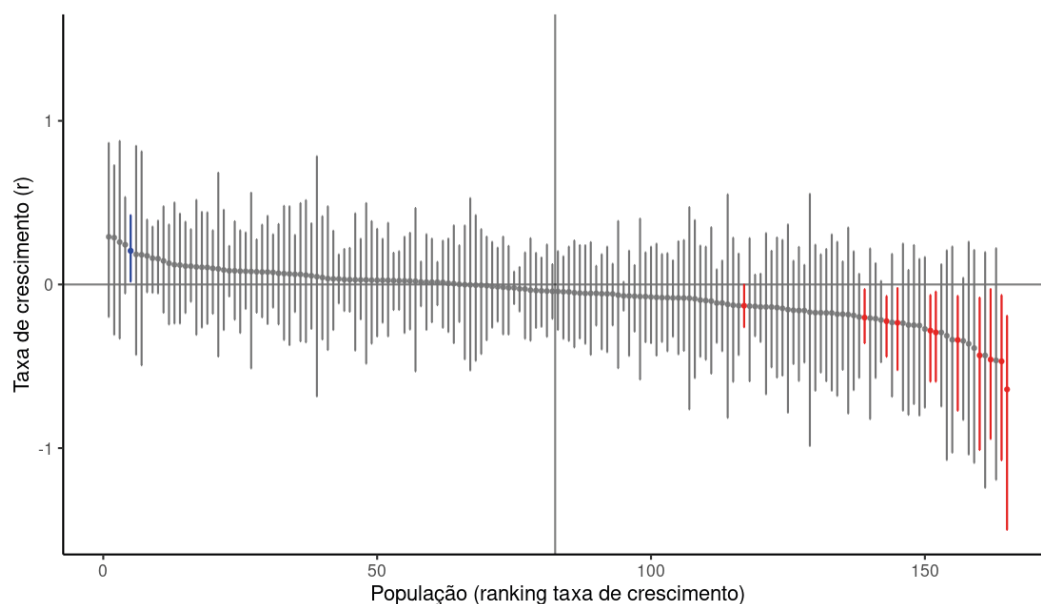


Figura 3 – Taxas de crescimento estimadas para todas as populações analisadas. Os pontos representam a mediana e as barras o intervalo de 95% de credibilidade. Populações em azul e vermelho apresentaram tendência significativa de aumento e declínio, respectivamente. A linha vertical divide o conjunto de populações em duas metades iguais.

Não houve diferenças significativas entre as tendências populacionais de aves e mamíferos, $t(160,9) = -0,05$, $p = 0,96$ (Figura 4). Da mesma forma, não houve diferenças significativas nas tendências populacionais de populações de UCs de

uso sustentável e proteção integral, $t(78,2) = 1,11$, $p = 0,27$ (Figura 5). Não foi possível comparar as tendências de espécies ameaçadas e não-ameaçadas, devido ao baixo número de populações ameaçadas elegíveis para análise.

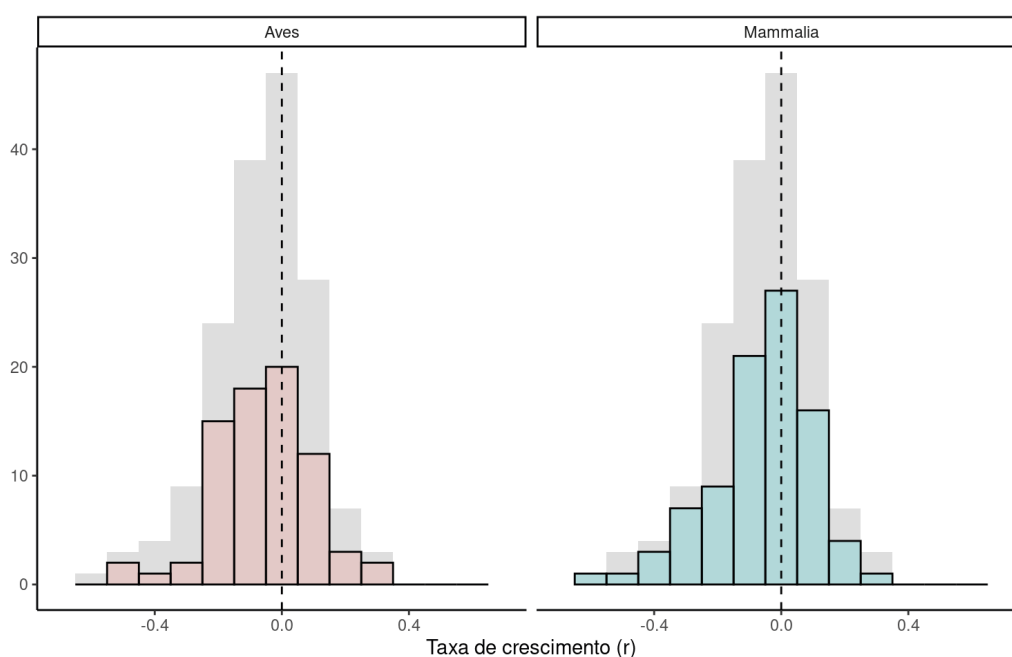


Figura 4 – Histograma de frequências das taxas médias de crescimento anual estimadas para aves e mamíferos dentro do conjunto de populações monitoradas. O histograma de fundo representa as frequências das taxas médias de crescimento anual para todas as populações combinadas.

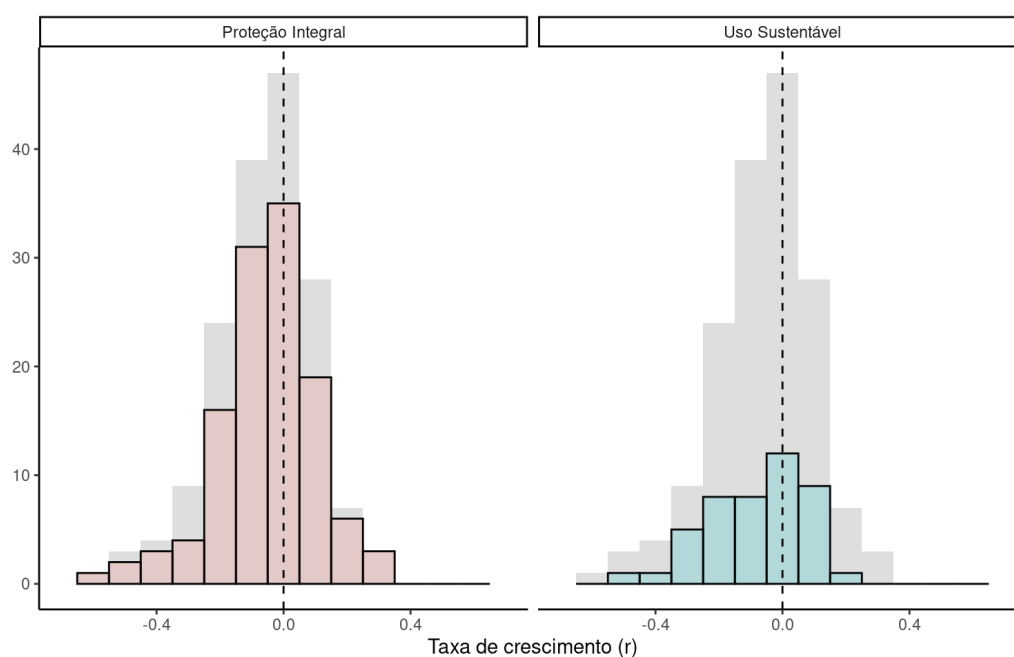


Figura 5 – Histograma de frequências das taxas médias de crescimento anual estimadas populações de UCs de uso sustentável e proteção integral. O histograma de fundo representa as frequências das taxas médias de crescimento anual para todas as populações combinadas.

A média geométrica das abundâncias relativas das populações analisadas permaneceu estável ao longo do monitoramento, com o intervalo de 95% de

credibilidade incluindo a linha de base durante todo o período monitorado (Figura 6).

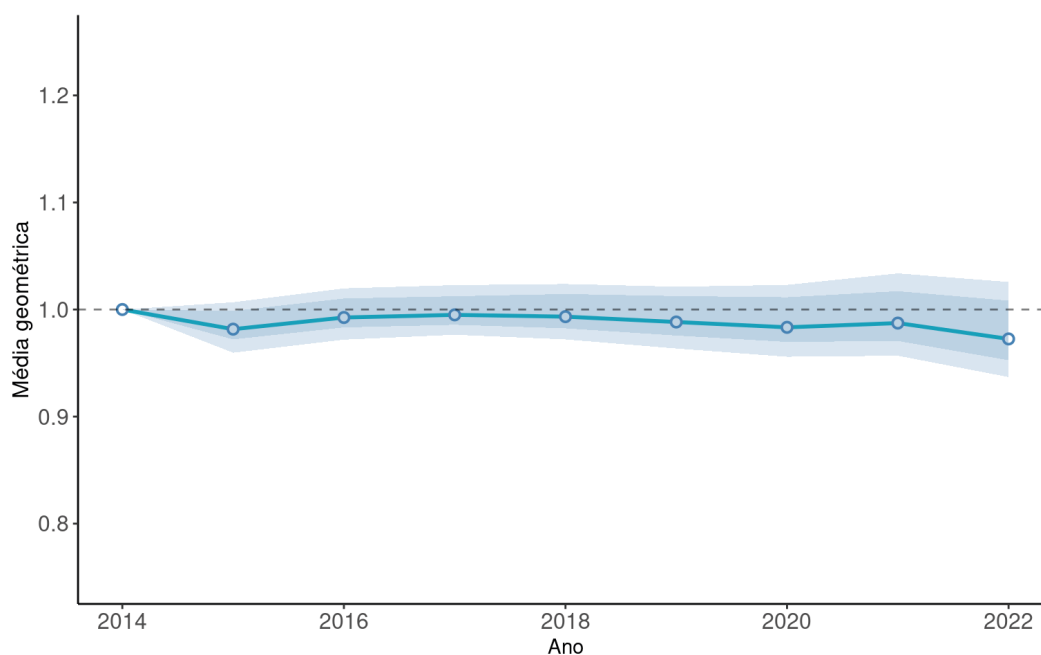


Figura 6 – Variação das estimativas de média geométrica das abundâncias relativas para o conjunto de populações monitoradas entre 2014 e 2022. Os círculos abertos correspondem a mediana dos valores estimados e as áreas sombreadas em azul escuro e azul claro correspondem a 95% e 90% do intervalo de credibilidade dos valores estimados.

Discussão

Este estudo sintetiza os resultados de um dos protocolos básicos do Programa Monitora de larga escala realizado pelo governo brasileiro ao longo dos últimos nove anos, um dos maiores programas nacionais para monitoramento *in situ* da biodiversidade. Os resultados contribuem para o melhor entendimento sobre tendências populacionais de espécies habitando florestas Neotropicais, onde já foi documentada grande carência de informações[16][18][41].

Utilizamos modelos de espaço de estados para descrever as tendências de 167 populações de 57 taxa de aves e mamíferos. Verificamos que a grande maioria das populações não apresentou tendências direcionais significativas, com apenas uma população de aves aumentando (0,6%) e 11 populações declinando (6,5%) significativamente durante o período monitorado. No entanto, tendências levemente negativas, mas não significativas, parecem predominar considerando o conjunto de dados como um todo. Não encontramos diferenças significativas entre as tendências populacionais de aves e mamíferos, ou de populações em UCs de proteção integral e de uso sustentável. Finalmente, verificamos que a média geométrica da abundância das populações, índice escolhido para representar as tendências da biodiversidade no conjunto de UCs monitoradas, permaneceu estável durante todo o monitoramento.

Modelos de espaço de estados são ferramentas preferenciais para análises de séries temporais, devido à sua flexibilidade e capacidade de modelar separadamente o processo ecológico e o processo de observação, estimando parâmetros populacionais de forma mais precisa do que alternativas analíticas[31][32]. Em nossos modelos, as estimativas de abundância relativa representam a trajetória mais provável de cada população no período analisado, e as taxas de crescimento sintetizam essas trajetórias indicando se a tendência foi de aumento ou declínio[33].

Em nossas análises, assumimos que as taxas de encontro seguem trajetórias paralelas ao tamanho real da população, e que a probabilidade de detecção dos grupos-alvo em cada estação amostral permaneceu constante. Análises futuras devem considerar os possíveis efeitos de violações dessas premissas. Por exemplo, análises de amostragem de distância podem incorporar informações sobre tamanho de grupo

e distâncias perpendiculares[20], com implicações para as densidades do alvo mesmo em situações de semelhante abundância relativa, e modelos de N-mistura podem lidar com problemas resultantes da detecção imperfeita[42][43]. Essas possibilidades serão consideradas em análises futuras.

Efetividade das UCs federais

O principal objetivo do Programa Monitora é avaliar a efetividade das UCs federais no cumprimento de seus objetivos de conservação da biodiversidade. Nossos resultados sugerem que as UCs monitoradas têm sido efetivas para a conservação das espécies de aves e mamíferos alvo do Programa Monitora: a grande maioria das populações (92%) permaneceu estável e a média geométrica das abundâncias relativas não se desviou significativamente da linha de base durante todo o monitoramento. Embora seja um cenário alentador, algumas ressalvas são necessárias.

Primeiramente, as populações elegíveis para análise foram, por definição, as mais abundantes, representadas por espécies ecologicamente flexíveis e resilientes à pressão humana, como macacos-prego (*Sapajus apella*), cutias (*Dasypus* spp.) e jacus (*Penelope* spp.)[44][45][46]. Espécies abundantes podem ser determinantes de processos ecológicos[47] mas nem sempre são consideradas prioritárias para a conservação[48]. Por outro lado, espécies raras têm maior probabilidade de serem ameaçadas e frequentemente desempenham papel desproporcional no ecossistema[49][50]. Por exemplo, grandes carnívoros ocorrem naturalmente em baixas densidades, mas podem afetar toda a cadeia trófica e até mesmo a estrutura física de ecossistemas por meio de efeitos cascata[51][52]. O monitoramento de espécies raras, elusivas ou noturnas requer protocolos avançados, como por exemplo, o protocolo TEAM de armadilhamento fotográfico[53], adotado como protocolo avançado do Programa Monitora para vertebrados de médio e grande porte[54].

Outro ponto a considerar é que a duração do monitoramento foi curta em relação à longevidade das espécies-alvo[28]. Avaliações robustas de tendências populacionais requerem séries temporais mais longas, em muitos casos de mais de uma década[55]. Mesmo quando tendências são detectadas, elas podem ser apenas parte de ciclos populacionais mais longos,

com picos e vales. De fato, a maioria das populações animais apresenta dinâmica não-linear e requerem séries longas para detecção de tendências[55]. O Programa Monitora ainda está para completar uma década de existência e a adesão das UCs ao programa tem sido gradual[19]. Com o passar do tempo, o programa deve acumular séries temporais cada vez mais longas e o número de populações elegíveis para análise deve aumentar consideravelmente. Diante disso, espera-se que as inferências futuras sobre o estado e tendência do sistema sejam cada vez mais robustas.

Finalmente, a maioria das estações amostrais foi estabelecida em *áreas de referência*, via de regra em áreas íntegras no interior das UCs. Esse conjunto de estações corresponde a cenários ideais e pode não representar os gradientes de pressão que atuam sobre a biodiversidade na escala regional e/ou fora das UCs. Populações de vertebrados tem baixo risco de declínio em florestas estruturalmente íntegras[56] e sua biodiversidade em áreas protegidas tende a se manter estável ao longo do tempo[57]. Por outro lado, as pressões sobre a biodiversidade são certamente mais intensas na periferia e fora das UC onde declínios populacionais são mais prováveis[58][59]. Isso pode explicar por que nossos resultados contrastam com o Índice Planeta Vivo [*Living Planet Index – LPI*], que tem revelado severos declínios populacionais de vertebrados no domínio Neotropical[60]. Em suma, embora nossos resultados apontem para estabilidade da maioria das populações dentro do sistema de UCs, os padrões não são necessariamente generalizáveis para as florestas da Amazônia como um todo.

Alertas apontados pelo programa

Embora a maioria das populações monitoradas tenha permanecido estável, detectamos declínios significativos para 11 populações em sete UCs, todas na porção oeste e sudeste da Amazônia e mais ou menos sujeitas aos efeitos do arco do desmatamento, região sujeita aos mais diversos impactos de origem antrópica e carente de uma política de desenvolvimento sustentável. Esta avaliação é conservadora, pois só consideramos como significativas as tendências em que o intervalo de 95% de credibilidade da taxa de crescimento não incluiu o zero. Programas de monitoramento da biodiversidade comumente adotam intervalos de credibilidade menos amplos, de 90% ou mesmo

80%[61][62]. Isso ocorre porque frequentemente é mais importante obter alertas antecipados do que estimativas precisas, e gestores precisam tomar decisões rápidas baseadas em informações incompletas, seguindo o princípio da precaução[62][63]. Nossa opção por um intervalo mais restritivo se deve ao alto grau de incerteza associada às estimativas, o que foi inevitável dado o baixo número de estações amostrais por UC e baixa detectabilidade da maioria das populações analisadas. Entre os declínios significativos destacamos as populações de *Tinamus* spp. para a RESEX Cazumbá-Iracema e do Rio Ouro Preto, unidades onde encontramos a espécie *T. tao*, popularmente chamada de “azulona”, uma espécie oficialmente ameaçada de extinção (Portaria MMA nº 148/2022).

Nossos modelos podem identificar declínios, mas não suas causas. Isso requer análises mais complexas, incluindo covariáveis preditoras representando pressões antropogênicas, e o aporte de conhecimento local, por exemplo por meio de consultas a populações residentes e gestores das UCs. Uma ferramenta de gestão que vem sendo construída no âmbito do Programa Monitora é o Encontro dos Saberes[64], momento em que os resultados do monitoramento de diferentes alvos são apresentados e discutidos com as comunidades residentes e de entorno das UCs. Por meio dessas trocas de saberes, é possível uma melhor definição de possíveis causas das reduções populacionais e, principalmente, elaborar estratégias regionais para a proteção dessas espécies.

Considerações finais

Os dados apontam para uma tendência geral de estabilidade no conjunto de populações monitoradas, tanto considerando as tendências das populações individuais como as tendências para a média geométrica das abundâncias relativas. No entanto, os dados levantam alguns alertas para populações com declínios significativos.

Há grande demanda por dados de monitoramento da biodiversidade padronizados e integráveis, viabilizando avaliações do estado e tendências da biodiversidade em múltiplas escalas. Neste sentido, as estimativas de abundância relativa obtidas neste estudo podem servir como variáveis essenciais de biodiversidade (*Essential Biodiversity*

Variables – EBVs[11][65]. As EBVs são variáveis de estado e representam uma interface entre os dados brutos e indicadores derivados do estado da biodiversidade[12]. A padronização dos dados do Monitora na forma de EBVs pode facilitar a integração dos dados do Programa Monitora em análises mais amplas sobre o estado da biodiversidade[66].

Agradecimentos

Agradecemos a todas as pessoas que participaram de qualquer etapa do Programa Monitora ao longo dos anos, incluindo, mas não se limitando, a comunidades locais, coletores de dados, voluntários, gestores de áreas protegidas, cientistas e técnicos.

Referências

1. IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services 2019. Doi: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3553579>
2. Isbell F, Balvanera P, Mori AS, He JS, Bullock JM, Regmi GR et al. Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. *Front Ecol Environ* 2023; 21: 94-103. Doi: <https://doi.org/10.1002/FEE.2536>
3. Butchart SHM, Walpole M, Collen B, Van Strien Arco, Scharlemann JPW, Almond REA et al. Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science* 2010; 328: 1164-1168. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1187512>.
4. Cowie RH, Bouchet P, Fontaine B. The sixth mass extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews* 2022; 97: 640-663. Doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12816>
5. Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, Wilmers CC, Ritchie EG, Hebblewhite M et al. Status and ecological effects of the World's Largest Carnivores. *Science* 2014; 343: 1241484. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1241484>
6. Ripple WJ, Newsome TM, Wolf C, Dirzo R, Everatt KT, Galetti M et al. Collapse of the world's largest herbivores. *Sci Adv* 2015; 1: e1400103. Doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400103>
7. Capdevila P, Noviello N, McRae L, Freeman R, Clements CF. Global patterns of resilience decline in vertebrate populations. *Ecol Lett* 2022; 25: 240-251. Doi: <https://doi.org/10.1111/ele.13927>
8. McGraw DM. The story of the biodiversity convention: From negotiation to implementation. *Governing Global Biodiversity*, Routledge; 2017, p. 7-38. Doi: <https://doi.org/10.4324/9781315253930-2>
9. Colglazier W. Sustainable development agenda: 2030. *Science* 2015; 349: 1048-1050. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.aad2333>
10. C.B.D. Secretariat. First draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework. CBD/WG2020/3/3. Montreal: 2021.
11. Pereira HM, Ferrier S, Walters M, Geller GN, Jongman RHG, Scholes RJ et al. Essential biodiversity variables. *Science* 2013; 339: 277-278. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
12. Proença V, Martin LJ, Pereira HM, Fernandez M, McRae L, Belnap J, et al. Global biodiversity monitoring: From data sources to Essential Biodiversity Variables. *Biol Conserv* 2017; 213: 256-263. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014>
13. Bhatt R, Gill MJ, Hamilton H, Han X, Linden H, Young BE. Uneven use of biodiversity indicators in 5th National Reports to the Convention on Biological Diversity. *Environ Conserv* 2020; 47: 15-21. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892919000365>.
14. Loh J, Green RE, Ricketts T, Lamoreux J, Jenkins M, Kapos V, Randers J. The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. *Philos. Trans. R. Soc. B* 2005; 360(1454): 289-295. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1584>
15. Soberón J, Peterson AT. Monitoring biodiversity loss with primary species-occurrence data: toward national-level indicators for the 2010 target of the convention on biological diversity. *AMBIO* 2009; 38(1): 29-34. Doi: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-38.1.29>
16. Collen B, Ram M, Zamin T, McRae L. The tropical biodiversity data gap: Addressing disparity in Global Monitoring. 2008; 1: 75-88. Doi: <https://doi.org/10.1177/194008290800100202>
17. Dove S, Böhm M, Freeman R, Mcrae L, Murrell DJ et al. Quantifying reliability and data deficiency in global vertebrate population trends using the Living Planet Index. *Glob Chang Biol* 2023; 9(17): 4966-4982. Doi: <https://doi.org/10.1111/GCB.16841>
18. McRae L, Deinet S, Freeman R. The diversity-weighted living planet index: Controlling for taxonomic bias in a global biodiversity indicator. *PLoS One* 2017; 12: e0169156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169156>

19. Monitora, Cronemberger C, Ribeiro KT, Acosta RK, Andrade DFC de, Marini-Filho OJ et al. Social participation in the Brazilian National Biodiversity Monitoring Program leads to multiple socioenvironmental outcomes. *Citiz Sci* 2023; 8. Doi: <https://doi.org/10.5334/CSTP.582>
20. Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DL, Thomas L. Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Oxford, UK: Oxford University Press; 2001.
21. Nobre R de A, Kinouchi MR, Constantino PAL, Pereira RC, Uehara-Prado M. Monitoramento da biodiversidade: roteiro metodológico de aplicação. Brasília, DF: 2015.
22. Peres CA, Cunha A. Manual censo e monitoramento de vertebrados de médio e grande porte por transeção linear em florestas tropicais. Wildlife Conservation Society, Ministério do Meio Ambiente e ICMBio, Brasil 2011.
23. Munari DP, Keller C, Venticinque EM. An evaluation of field techniques for monitoring terrestrial mammal populations in Amazonia. *Mammalian Biology* 2011; 76: 401-408. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.MAMBIO.2011.02.007>
24. De Thoisy B, Brosse S, Dubois MA. Assessment of large-vertebrate species richness and relative abundance in Neotropical forest using line-transect censuses: What is the minimal effort required? *Biodivers Conserv* 2008; 17: 2627-2644. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9337-0>
25. Pacheco JF, Silveira LF, Aleixo A, Agne CE, Bencke GA, Bravo GA et al. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee-second edition. *Ornithology Research* 2021; 29: 94-105. Doi: <https://doi.org/10.1007/s43388-021-00058-x>
26. Quintela FM, da Rosa CA, Feijó A. Updated and annotated checklist of recent mammals from Brazil. *An Acad Bras Cienc* 2020; 92: 1-57. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191004>
27. Peres CA, Janson CH. Species coexistence, distribution, and environmental determinants of neotropical primate richness: A community-level zoogeographic analysis. In: Fleagle J, Janson C, Reed K. *Primate Communities*, Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2009, p. 55-74.
28. Wauchope HS, Amano T, Sutherland WJ, Johnston A. When can we trust population trends? A method for quantifying the effects of sampling interval and duration. *Methods Ecol Evol* 2019; 10: 2067-2078. Doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13302>
29. Skalski JR, Ryding KE, Millsbaugh JJ. Wildlife demography: Analysis of sex, age, and count data. *Wildlife Demography: Analysis of Sex, Age, and Count Data*. Burlington, USA: Elsevier Academic Press; 2005
30. Marsden SJ, Loquhe E, Takuo JM, Hart JA, Abani R, Ahon DB et al. Using encounter rates as surrogates for density estimates makes monitoring of heavily-traded grey parrots achievable across Africa. *Oryx* 2016; 50: 617-25. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0030605315000484>
31. Auger-Méthé M, Newman K, Cole D, Empacher F, Gryba R, King AA, Leos-Barajas V, Flemming JM, Nielsen A, Petris G, Thomas L. A guide to state-space modeling of ecological time series. *Ecol Monogr*. 2021; 91(4): e01470. Doi: <https://doi.org/10.1002/ecm.1470>
32. Daskalova GN, Myers-Smith IH, Godlee JL. Rare and common vertebrates span a wide spectrum of population trends. *Nat Commun* 2020; 11: 4394. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17779-0>
33. Kéry M, Schaub M. Bayesian population analysis using WinBUGS. Academic Press; 2012.
34. Plummer M. JAGS Version 4.0.0 user manual 2015: 1-41.
35. Su Y, Yajima M. R2jags: A Package for Running jags from R. Doi: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.R2jags>
36. Gelman A, Shirley K. Inference from simulations and monitoring convergence. In: Brooks S, Gelman A, Jones GL, Meng X-L. *Handbook of markov chain Monte Carlo*, Boca Raton: Chapman and Hall/CRC; 2011, p. 163-74.
37. Buckland ST, Studeny AC, Magurran AE, Illian JB, Newson SE. The geometric mean of relative abundance indices: a biodiversity measure with a difference. *Ecosphere* 2011; 2(9): 1-15. Doi: <https://doi.org/10.1890/ES11-00186.1>
38. Buckland ST, Magurran AE, Green RE, Fewster RM. Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philos. Trans. R. Soc. B* 2005; 360: 243-254. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1589>
39. Green E, McRae L, Harfoot M, Hill S, Simonson W, Baldwin-Cantello W. Below the canopy: plotting global trends in forest wildlife populations. 2019. WWF Report. WWF.
40. Van Strien AJ, Soldaat LL, Gregory RD. Desirable mathematical properties of indicators for biodiversity change. *Ecol Indic* 2012; 14: 202-208. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2011.07.007>
41. Westveer J, Freeman R, McRae L, Marconi V, Almond REA, Grooten M. A deep dive into the Living Planet Index: A Technical Report. Gland, Switzerland: 2022.

42. Barelli C, Oberosler V, Cavada N, Mtui AS, Shinyambala S, Rovero F. Long-term dynamics of wild primate populations across forests with contrasting protection in Tanzania. *Biotropica* 2023; 55(3): 617-627. Doi: <https://doi.org/10.1111/btp.13212>
43. Rossman S, Yackulic CB, Saunders SP, Reid J, Davis R, Zipkin EF. Dynamic N-occupancy models: Estimating demographic rates and local abundance from detection-nondetection data. *Ecology* 2016; 97: 3300-3307. Doi: <https://doi.org/10.1002/ecy.1598>
44. Parry LW, Barlow J, Peres CA. Large-vertebrate assemblages of primary and secondary forests in the Brazilian Amazon. *J Trop Ecol* 2007; 23: 653-662. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467407004506>
45. Peres CA. Effects of subsistence hunting on vertebrate community structure in Amazonian Forests. *Conservation Biology* 2000; 14: 240-253. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98485.x>
46. Sampaio R, Lima AP, Magnusson WE, Peres CA. Long-term persistence of midsized to large-bodied mammals in Amazonian landscapes under varying contexts of forest cover. *Biodivers Conserv* 2010; 19: 2421-2439. Doi: <https://doi.org/10.1007/S10531-010-9848-3/METRICS>
47. Sinclair ARE. Mammal population regulation, keystone processes and ecosystem dynamics. *Philos Trans R Soc Lond B* 2003; 358: 1729-1740. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1359>
48. Gaston KJ. The importance of being rare. *Nature* 2012 487: 46-47. Doi: <https://doi.org/10.1038/487046a>
49. Dee LE, Cowles J, Isbell F, Pau S, Gaines SD, Reich PB. When do ecosystem services depend on rare species? *Trends Ecol Evol* 2019; 34: 746-58. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2019.03.010>
50. Leitão RP, Zuanon J, Villéger S, Williams SE, Baraloto C, Fortune C et al. Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proc R Soc Lond B* 2016; 283: 20160084. Doi: <https://doi.org/10.1098/RSPB.2016.0084>
51. Beschta RL, Ripple WJ. Can large carnivores change streams via a trophic cascade? *Ecohydrology* 2019; 12: e2048. Doi: <https://doi.org/10.1002/ECO.2048>
52. Terborgh J, Lopez L, Nuñez PV, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G et al. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science* 2001; 294: 1923-1926. Doi: <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1064397>
53. Jansen PA, Ahumada JA, Fegraus EH, O'Brien TG. TEAM: a standardised camera trap survey to monitor terrestrial vertebrate communities in tropical forests. In: Meek P, Fleming P, Ballard G, Banks P, Claridge A, Sanderson J et al.. Camera trapping: wildlife management and research, Collingwood, Australia: CISRO; 2014, p. 263-270.
54. Mendonça EN, Martins AKM, Albernaz AL, Carvalho Jr. EAR. Avaliação da efetividade da Reserva Biológica do Gurupi na conservação de vertebrados terrestres de médio e grande porte. *Biodiversidade Brasileira – BioBrasil* 2021; 11: 1-16. Doi: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1769>
55. White ER. Minimum time required to detect population trends: The need for long-term Monitoring Programs. *Bioscience* 2019; 69: 40-46. Doi: <https://doi.org/10.1093/biosci/biy144>
56. Beaudrot L, Ahumada JA, O'Brien T, Alvarez-Loayza P, Boekee K, Campos-Arceiz A et al. Standardized assessment of biodiversity trends in Tropical Forest Protected Areas: The end is not in sight. *PLoS Biol* 2016; 14: e1002357. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002357>
57. Pillay R, Watson JEM, Hansen AJ, Jantz PA, Aragon-Osejo J, Armenteras D et al. Humid tropical vertebrates are at lower risk of extinction and population decline in forests with higher structural integrity. *Nature Ecology & Evolution* 2022; 6: 1840-1849. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01915-8>
58. Benítez-López A, Alkemade R, Schipper AM, Ingram DJ, Verweij PA, Eikelboom JAJ et al. The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science* 2017; 356: 180-183. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.aaj1891>
59. Sampaio R, Morato RG, Abrahams MI, Peres CA, Chiarello AG. Physical geography trumps legal protection in driving the perceived sustainability of game hunting in Amazonian local communities. *J Nat Conserv* 2022; 67: 126175. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.JNC.2022.126175>
60. WWF. Living Planet Report 2022 – Building a nature-positive society. Gland, Switzerland: WWF; 2022.
61. Beaudrot L, Ahumada JA, O'Brien TG, Jansen PA. Detecting tropical wildlife declines through camera-trap monitoring: An evaluation of the Tropical Ecology Assessment and Monitoring protocol. *Oryx* 2019; 53: 126-129. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0030605318000546>

62. Myers N. Biodiversity and the Precautionary Principle. *Ambio* 2013; 22: 74-79. Doi: <https://doi.org/10.4324/9781849770583>.
63. Cooney R. Better safe than sorry? The precautionary principle and biodiversity conservation. *Oryx* 2004; 38: 357-358. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0030605304000705>
64. Tófoli CF, Rodrigues LS, Lemos PF, Lehmann D, Souza JM, Carvalho RR. Encontro dos saberes: uma nova forma de conversar a conservação. Nazaré Paulista/SP: Instituto de Pesquisas Ecológicas; 2021.
65. Schmeller DS, Weatherdon LV, Loyau A, Bondeau A, Brotons L, Brummitt N et al. A suite of essential biodiversity variables for detecting critical biodiversity change. *Biological Reviews* 2018; 93: 55-71. Doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12332>
66. Vihervaara P, Auvinen A-PP, Mononen L, Törmä M, Ahlroth P, Anttila S et al. How essential biodiversity variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Glob Ecol Conserv* 2017; 10: 43-59. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.007>

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Fluxo Contínuo e Edição Temática:

Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade – Programa Monitora – 10 anos
n.3, 2024

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886

