ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

CAÇA DE SUBSISTÊNCIA E PERDA DA ENTREGA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA PAN-AMAZÔNIA

Por

ISABELLE MONTEIRO DA SILVA ALMEIDA

NAZARÉ PAULISTA, 2026

ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

CAÇA DE SUBSISTÊNCIA E PERDA DA ENTREGA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA PAN-AMAZÔNIA

Por

ISABELLE MONTEIRO DA SILVA ALMEIDA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

DR. ANDRÉ VALLE NUNES
DR. JULIANO ANDRÉ BOGONI
DANIEL SPOLJARIC ABICAIR

TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS

Ficha Catalográfica

Almeida, Isabelle Monteiro da Silva
Caça de subsistência e perda da entrega de serviços ecossistêmicos na Pan-Amazônia, 2026.
37 pp.
Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

Defaunação
Carne de caça
Pressão de caça

Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMINADORA

NAZARÉ PAULISTA, 10 DE SETEMBRO DE 2026

_____

Prof. Dr. André Valle Nunes

_____

Prof. Dra. Miriam Lúcia Lages Perilli

_____

Prof. Dr. Juliano André Bogoni

À natureza, que me fez bióloga e me mantém, todos os dias, aprendiz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu namorado, Gabriel, com quem divido a vida e me acompanhou e apoiou ao longo desses dois anos de mestrado. Aos meus pais, Sueli e Ney, agradeço por todo o apoio ao longo dos meus 30 anos de vida — por me deixarem livre para seguir meu próprio caminho e, ainda assim, garantirem que eu tenha sempre um lugar para voltar. À Rosângela e ao Raphael, que me acompanham desde a graduação e foram essenciais para que eu encontrasse equilíbrio entre a vida, o trabalho e os estudos. À minha turma da ESCAS, que desde a primeira semana de aula se tornou especial para mim e me permitiu conhecer todos os cantos do Brasil a partir de suas histórias e vivências. Em especial, às minhas amigas Laís e Jade, que, unidas a mim por um grupo de trabalho, se tornaram confidentes e me ouviram ao longo da escrita deste trabalho. E ao meu amigo Rafael, que a faculdade me deu e a vida manteve por perto desde o primeiro semestre até aqui: foi ele quem me apresentou à ESCAS e, sem saber, abriu a porta deste mestrado. Ao meu comitê de orientação, agradeço imensamente pela ajuda e pela disponibilidade em todos os momentos em que precisei. Ao professor André, que desde o início se dispôs a ouvir minha ideia e me ajudou a encontrar um caminho; ao Bogoni, com quem aprendi muito; e, especialmente, ao professor Abicair, que tive o prazer de conhecer durante a pós-graduação e que, ao ser convidado para o meu comitê, aceitou de braços abertos e dedicou dias inteiros de sua agenda para me ajudar. A todos que, de alguma forma, cruzaram esse caminho comigo e o tornaram mais leve, o meu muito obrigada. Nenhuma conquista se faz sozinha, e esta é feita de muitas mãos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 5
SUMÁRIO 1
LISTA DE TABELAS 2
LISTA DE FIGURAS 3
LISTA DE ABREVIAÇÕES 4
RESUMO 5
CAPÍTULO 1 9
(ARTIGO) CAÇA DE SUBSISTÊNCIA E PERDA DA ENTREGA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA PAN-AMAZÔNIA 9
1. INTRODUÇÃO 9
2. OBJETIVOS 11
Objetivo geral 11
Objetivos específicos 11
3. MÉTODOS 12
3.1. Área de estudo 12
3.2. Compilação dos dados de caça 16
3.3. Padronização taxonômica e construção das assembleias caçadas 16
3.4. Atribuição de serviços ecossistêmicos 18
3.5. Biomassa 19
3.6. Cenário de defaunação a partir da pressão de caça 19
3.7. Índice de entrega de serviços ecossistêmicos e perda 20
3.8. Relação com a pressão de caça e distribuição espacial da perda 20
4. RESULTADOS 21
4.1. Caracterização da base de dados 21
4.2. Consumo de caça e biomassa extraída 22
4.3. Perda da entrega de serviços ecossistêmicos 23
4.4. Distribuição espacial da perda de serviços ecossistêmicos 25
5. DISCUSSÃO 27
6. CONCLUSÕES 32
7. REFERÊNCIAS 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos 27 sítios de estudo incluídos no banco de dados de caça de subsistência na Pan-Amazônia 13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição de densidade de pressão de caça (log10) por grupo taxonômico nos 27 sítios de estudo da Pan-Amazônia. A pressão corresponde à biomassa caçada de cada grupo por sítio, padronizada por habitante e por dia de estudo. As curvas representam a densidade dos valores para mamíferos, répteis e aves; valores mais altos indicam maior intensidade de extração por pessoa e por dia. 21

Figura 2. Contribuição das unidades taxonômicas registradas na caça de subsistência para a biomassa per capita consumida por dia nos 27 sítios de estudo da Pan-Amazônia. As barras representam a biomassa média diária per capita associada a cada táxon, expressa em escala logatítimica (log10). As cores indicam os diferentes grupos taxonômicos: mamíferos (laranja), aves (azul) e répteis (verde). 22

Figura 3. Efeitos da caça de subsistência sobre a entrega de serviços ecossistêmicos nos sítios avaliados da Pan-Amazônia: (A) Retração do Índice de Entrega de Serviços Ecossistêmicos, comparando o cenário basal e o cenário após a remoção proporcional das espécies caçadas; (B) Relação entre a pressão local de caça e a magnitude da perda para mamíferos, aves e répteis 23

LISTA DE ABREVIAÇÕES

IPBES — Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

IUCN — União Internacional para a Conservação da Natureza

MEA — Millennium Ecosystem Assessment (Avaliação Ecossistêmica do Milênio)

RAISG — Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada

Pg — Petagrama

dp — Desvio padrão

RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

CAÇA DE SUBSISTÊNCIA E PERDA DA ENTREGA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA PAN-AMAZÔNIA

Por

Isabelle Monteiro da Silva Almeida

Setembro 2026

Orientador: Prof. Dr. André Valle Nunes

A caça de subsistência é uma fonte importante de proteína animal para comunidades locais da Pan-Amazônia e, ao mesmo tempo, um dos principais vetores de defaunação em florestas tropicais quando gerida de forma insustentável. Embora os efeitos da perda de fauna sobre o funcionamento dos ecossistemas venham sendo cada vez mais documentados, ainda são escassas as avaliações que liguem diretamente a intensidade da caça à perda da entrega de serviços ecossistêmicos em escala pan-amazônica, integrando múltiplos grupos taxonômicos. Avaliamos esses efeitos a partir de registros de caça de 27 sítios em sete países da região, totalizando 52.145 indivíduos de 89 unidades taxonômicas de mamíferos, aves e répteis, das quais 78 puderam ser associadas às assembleias locais e retidas na análise de erosão. Padronizamos o consumo por habitante e por dia de estudo, associamos cada táxon aos serviços ecossistêmicos que presta e simulamos a remoção proporcional da fauna cinegética para estimar a perda na entrega de serviços. Os mamíferos responderam por 67,2% dos indivíduos abatidos e pela maior parte da biomassa removida (387.063,6 kg), seguidos de aves (123.242,6 kg) e répteis (33.210,0 kg). Apenas três táxons — *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca* e *Chelonoidis denticulata* — concentraram 38,6% dos registros. A remoção simulada da fauna cinegética reduziu o Índice de Entrega de Serviços Ecossistêmicos em todos os sítios, mas de forma marcadamente

desigual: a perda variou de 1,3% a 42,6% (mediana de 7,4%), e 17 dos 27 sítios permaneceram abaixo de 10% de redução. As maiores perdas ocorreram em sítios do Peru, da Bolívia e do sudoeste brasileiro, formando um agrupamento de erosão acentuada no sudoeste da Pan-Amazônia. A perda acompanhou a pressão de caça em todos os grupos, de forma mais marcada entre os mamíferos (R^2 = 0,99) do que entre aves (R^2 = 0,43) e répteis (R^2 = 0,37) — padrão coerente com a maior pressão sobre esse grupo e sua predominância nas assembleias. A comparação entre os cenários apontou ainda um deslocamento generalizado da distribuição do índice para valores inferiores. No conjunto, a caça de subsistência recai sobretudo sobre o grupo mais explorado e mais rico em táxons, sinalizando risco de perda da base faunística que sustenta serviços ecossistêmicos essenciais e, potencialmente, da sustentabilidade dos recursos de que dependem as populações humanas locais.

Palavras-chave: Defaunação; Carne de caça; Pressão de caça; Sustentabilidade da caça; Vertebrados cinegéticos.

ABSTRACT

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

SUBSISTENCE HUNTING AND THE LOSS OF ECOSYSTEM SERVICE PROVISION IN PAN-AMAZONIA

By

Isabelle Monteiro da Silva Almeida

September 2026

Advisor: Prof. Dr. André Valle Nunes

Subsistence hunting is an important source of animal protein for local communities across Pan-Amazonia and, at the same time, one of the main drivers of defaunation in tropical forests when managed unsustainably. Although the effects of faunal loss on ecosystem functioning have been increasingly documented, assessments directly linking hunting intensity to the loss of ecosystem service delivery at the Pan-Amazonian scale, integrating multiple taxonomic groups, remain scarce. We assessed these effects using hunting records from 27 localities across seven countries in the region, totalling 52,145 individuals from 89 taxonomic units of mammals, birds and reptiles, of which 78 could be associated with local assemblages and retained in the loss analysis. We standardised wild-meat consumption per inhabitant and per study day, assigned to each taxon the ecosystem services it provides, and simulated the proportional removal of hunted fauna to estimate the loss of service delivery. Mammals accounted for 67.2% of the individuals harvested and for most of the biomass removed (387,063.6 kg), followed by birds (123,242.6 kg) and reptiles (33,210.0 kg). Only three taxa — *Dasyprocta* spp., *Cuniculus paca* and *Chelonoidis denticulata* — accounted for 38.6% of the records. The simulated removal of hunted fauna reduced the Ecosystem Service Delivery Index at all sites, but in a markedly uneven way: loss ranged from 1.3% to 42.6% (median 7.4%),

and 17 of the 27 sites remained below 10% reduction. The greatest losses occurred at localities in Peru, Bolivia and southwestern Brazil, forming a cluster of pronounced loss in the southwest of Pan-Amazonia. Loss tracked wild-meat consumption across all groups, more strongly among mammals ($R^2 = 0.99$) than birds ($R^2 = 0.43$) or reptiles ($R^2 = 0.37$) — a pattern consistent with the higher pressure on this group and its predominance in the assemblages. The comparison between scenarios further indicated a generalised shift of the index distribution towards lower values. Overall, subsistence hunting falls mainly on the most exploited and most taxon-rich group, signalling a risk of loss of the faunal base that sustains essential ecosystem services and, potentially, of the sustainability of the resources on which local human populations depend.

Keywords: Defaunation; Bushmeat; Hunting pressure; Hunting sustainability; Game vertebrates.

CAPÍTULO 1

(ARTIGO) CAÇA DE SUBSISTÊNCIA E PERDA DA ENTREGA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA PAN-AMAZÔNIA

1. INTRODUÇÃO

A caça de animais silvestres para consumo humano é uma prática difundida nas regiões tropicais, onde constitui fonte primária de proteína e renda para as populações rurais com acesso limitado a alternativas de proteína doméstica. Estima-se que cerca de 150 milhões de domicílios na América Latina, na África subsaariana e no Sul e Sudeste Asiático extraiam carne de caça (Nielsen et al, 2018), com um volume anual da ordem de milhões de toneladas nas bacias do Congo e da Amazônia (Nasi et al, 2011). Essa dependência é maior entre as populações mais pobres e tende a se concentrar em países de baixa renda (Ripple et al, 2016). Na Amazônia, a carne de caça é uma das principais fontes de proteína animal para inúmeras comunidades locais e pode suprir cerca de metade das necessidades diárias de proteína e ferro das populações rurais (Antunes et al, 2025), sem substitutos economicamente acessíveis para as populações mais isoladas dos mercados formais (Nunes et al, 2019). A mesma fauna que alimenta essas comunidades sustenta também o funcionamento das florestas tropicais. Vertebrados de médio e grande porte participam de processos ecológicos dos quais dependem serviços ecossistêmicos essenciais — da dispersão de sementes por frugívoros à manutenção dos estoques de carbono (Bello et al., 2015; Peres et al., 2016). Sua remoção desordenada, portanto, não compromete apenas a segurança alimentar das populações humanas que dependem da caça, mas também a integridade dos serviços que essa fauna presta ao ecossistema.

As populações de vertebrados, porém, vêm diminuindo em escala global, com perdas mais severas nos trópicos (Dirzo et al., 2014). Esse declínio nem sempre aparece na paisagem, porque a defaunação extirpa populações e reduz abundâncias mesmo sob dossel de florestas aparentemente intactas — as chamadas "florestas vazias" descritas por Redford (1992). Reconhecida hoje como uma forma central de mudança ambiental global, silenciosa e espacialmente desigual, a defaunação compromete o

funcionamento das florestas muito antes de qualquer sinal de desmatamento (Dirzo et al., 2014; Young et al., 2016). Suas consequências são mais bem documentadas para o estoque de carbono, apontando como a perda de frugívoros reduz o recrutamento de árvores de madeira densa e, com ele, a capacidade de armazenamento de carbono nas florestas tropicais (Bello et al., 2015; Brodie et al., 2025). Os serviços de regulação dependem diretamente da atividade animal, como a dispersão e predação de sementes, polinização, controle de populações de presas e de vetores de doenças, e são os primeiros a se comprometer quando essas espécies desaparecem. Os de suporte, como a ciclagem de nutrientes e a formação de solo, sustentam-se em parte sobre esses processos e respondem de forma mais difusa à defaunação. Já os serviços culturais, como o valor simbólico e identitário da fauna, erodem-se à medida que as espécies que os ancoram se tornam raras (Bogoni et al., 2024).

Entre os vetores da defaunação, a caça é uma das causas mais diretas e, em muitas regiões da Amazônia, a mais importante, superando por vezes a própria perda de habitat (Peres et al., 2016). A caça de subsistência tende a ser seletiva: guiada pela maximização do retorno energético, concentra-se em vertebrados de grande porte (> 3 kg) como antas, queixadas, mutuns e quelônios (Stephens & Krebs, 1986; Peres, 2000), que têm histórias de vida lentas, maturação tardia e baixa capacidade de recuperação populacional — traços que amplificam o risco de extinção justamente das espécies mais visadas (Cardillo et al., 2005). Em escala pantropical, a caça reduz a abundância de mamíferos em até 83% e a de aves em 58% nas áreas exploradas em relação às não caçadas (Benítez-López et al., 2017).

Os efeitos da defaunação sobre funções ecológicas já foram demonstrados sobretudo para a função de estoque de carbono, onde revisões recentes mostram que a perda de dispersores de sementes grandes reduz carbono florestal no Neotrópico e Afrotrópico, com estimativas de perda de até ~9 Pg de CO_2 equivalente na Amazônia ao longo de um século, ainda que com forte dependência de contexto e resultados inconsistentes entre regiões (Brodie et al., 2025). A fauna, no entanto, sustenta um conjunto muito mais amplo de serviços — polinização, ciclagem de nutrientes, controle de pragas, dispersão de sementes, qualidade da água (Bello et al., 2015), bem menos avaliados.

Avaliações de larga escala têm avançado nessa direção. Por exemplo, Bogoni et al. (2020a) estimaram que a defaunação de mamíferos eliminou mais de 40% dos serviços ecossistêmicos prestados por esse grupo em todo o Neotrópico, com perdas que variaram de 38,9% a 53,0% em relação ao cenário basal. E Antunes et al. (2025) quantificaram, em escala amazônica, o volume e o valor nutricional da carne de caça, estimando que ela possa suprir cerca de metade das necessidades de proteína e ferro das populações tradicionais e não tradicionais.

Nenhum desses estudos, contudo, partiu de registros reais de exploração cinegética para estimar a perda de serviços integrando simultaneamente mamíferos, aves e répteis, tampouco descreveu como essa perda se distribui no espaço. Para preencher essa lacuna, avaliamos o consumo *per capita* da fauna caçada afeta a entrega de serviços ecossistêmicos na Pan-Amazônia. A partir de registros de caça de 27 sítios em sete países, padronizamos o consumo de carne de caça por habitante e por dia de estudo, associamos cada táxon aos serviços ecossistêmicos que presta e simulamos a remoção proporcional da fauna caçada, comparando a entrega de serviços entre um cenário basal e um cenário defaunado. Avaliamos, assim, a magnitude dessa perda, suas diferenças entre os grupos taxonômicos e sua distribuição espacial ao longo da região.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar como o consumo da caça de subsistência afeta a entrega de serviços ecossistêmicos desempenhados pela fauna cinegética na Pan-Amazônia, integrando mamíferos, aves e répteis.

Objetivos específicos

(1) Quantificar o consumo da caça de subsistência exercida sobre cada grupo taxônomico (mamíferos, aves e répteis), padronizado por habitante e por dia de estudo, ao longo dos sítios analisados;

(2) Estimar a perda na entrega de serviços ecossistêmicos decorrente da remoção proporcional da fauna caçada, comparando um cenário basal a um cenário defaunado;
(3) Comparar a magnitude dessa perda entre os grupos taxonômicos e relacioná-la ao consumo registrado em cada um;
(4) Identificar os táxons mais explorados e discutir as funções ecológicas e os serviços ecossistêmicos potencialmente comprometidos por sua remoção.

3. MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A Pan-Amazônia, aqui delimitada segundo o limite máximo (i.e., sensu latissimo) da Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada (RAISG, 2020), abrange 8.470.176 km² distribuídos por nove países da América do Sul: Brasil (61,8% do território), Peru (11,4%), Bolívia (8,4%), Colômbia (6,0%), Venezuela (5,6%), Guiana (2,5%), Suriname (1,7%), Equador (1,6%) e Guiana Francesa (1,0%). A região abriga cerca de 47,7 milhões de habitantes, o que representa 13,4% da população total desses países (Santos et al., 2025). Trata-se da maior floresta tropical úmida contínua do planeta, caracterizada por elevada complexidade ecológica, extensa rede hidrográfica e notável heterogeneidade de habitats, e habitada por ampla diversidade de povos indígenas e comunidades tradicionais (quilombolas, ribeirinhos e extrativistas) cujos modos de vida dependem diretamente dos serviços ecossistêmicos prestados por esses sistemas (IPBES, 2019; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Os 27 sítios distribuem-se por sete países, com predominância de localidades brasileiras (n = 12), seguidas de Peru (n = 6), Bolívia (n = 3), Colômbia (n = 2), Venezuela (n = 2), Equador (n = 1) e Guiana (n = 1) (Tabela 1; Figura 1). Os registros abrangem quatro décadas (1979–2019) de estudos e refletem a heterogeneidade temporal de bancos compilados a partir de fontes secundárias. O esforço amostral dos estudos variou de 30 a 1.460 dias, a população humana de 58 a 1.859 pessoas e o total de animais caçados de 48 a 23.187 indivíduos entre os sítios. Essa amplitude motivou a padronização do consumo por habitante e por dia de estudo adotada nas

análises. Os sítios abrangem contextos socioculturais diversos, característicos da ocupação humana da Pan-Amazônia, como comunidades indígenas, populações tradicionais ribeirinhas e extrativistas e comunidades rurais. Parte dos sítios situa-se em terras indígenas e unidades de conservação de uso sustentável, onde a caça de subsistência integra sistemas de manejo de longa data e constitui componente central da segurança alimentar e da identidade cultural local (Nasi et al., 2011; Antunes et al., 2025).

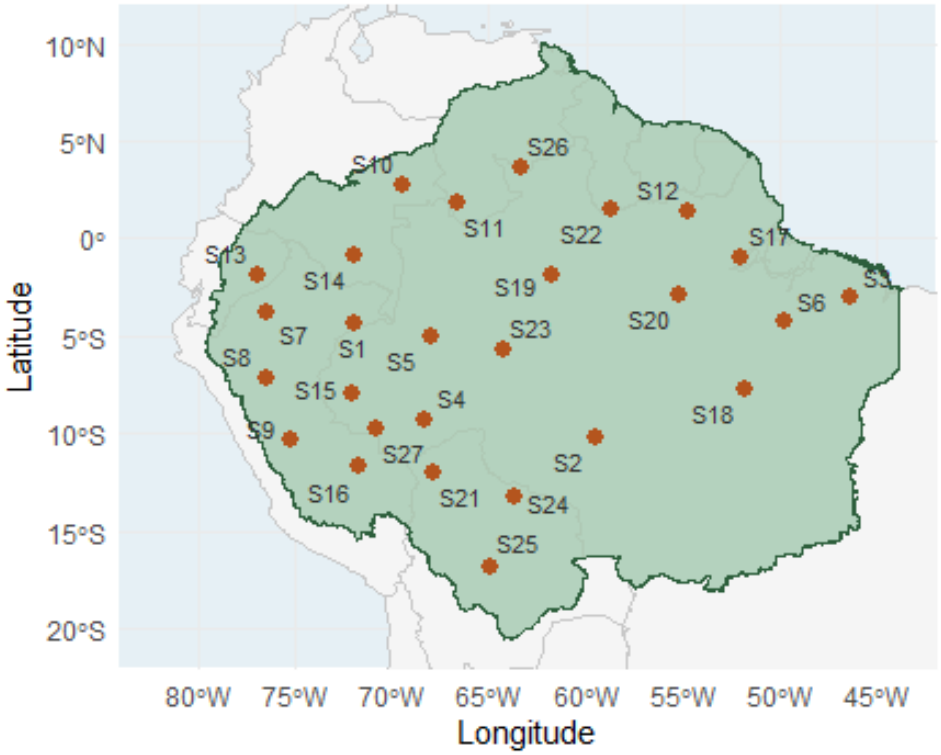


Figura 1. Localização dos 27 sítios de estudo na Pan-Amazônia (delimitada segundo o limite máximo RAISG, contorno em verde). Cada ponto representa uma localidade com registros de caça de subsistência analisados neste estudo. Os códigos S1–S27 correspondem aos sítios caracterizados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos 27 sítios de estudo incluídos no banco de dados de caça de subsistência na Pan-Amazônia

Sítio	País	Região/ Localidade	Ano	Dias de estudo	População humana estudada	Indivíduos caçados (n)	Espécies caçadas
1	Peru	Medio Javari (Nueva Esperanza)	2003	210	162	524	22
2	Brasil	Dardanelos	1979	120	638	613	25
3	Brasil	Site 1 (Ka'apor)	1985	510	99	246	17
4	Brasil	Comunidade não ribeirinha	1995	365	150	642	31
5	Brasil	TI Katukina do Rio Biá	2015	365	174	99	13
6	Brasil	Paranatinga	1998	365	274	782	17
7	Peru	Alianza Cristina	2003	180	264	4.989	49
8	Peru	San Rafael, Nuevo Lima, Alianza	2007	180	402	911	22
9	Peru	Reserva Comunal Yanesha	2003	180	877	4.779	34

10	Colômbia	Zancudo	2010	1.460	160	720	27
11	Venezuela	Chivacoa	1992	37	194	48	15
12	Brasil	TI Tumucumaque (Apalai e Wayana)	2009	60	235	223	35
13	Equador	Alto Corrientes	2012	420	58	275	28
14	Colômbia	Aduche	1998	365	131	671	40
15	Brasil	Resex Riozinho da Liberdade	2019	365	138	3.588	36
16	Peru	Tayakome (Manu)	2007	365	332	1.029	19
17	Brasil	Bananal, São Militão, Vila Nova	2009	365	246	968	32
18	Brasil	A'Ukre (Kayapó)	2006	542	133	1.291	29
19	Brasil	Parque Nacional do Jaú	2004	880	198	2.338	16
20	Brasil	Cametá, Boim e outros (Pará)	2018	365	468	1.046	18
21	Bolívia	Madre de Dios	2001	45	172	395	41

22	Guiana	Masakenari	2017	120	225	362	31
23	Brasil	Comunidades rurais da várzea	2016	30	492	296	12
24	Bolívia	Bella Vista	2002	180	423	166	20
25	Bolívia	Chimoré	1990	80	73	481	39
26	Venezuela	Medio Caura	2012	330	1.859	23.187	21
27	Peru	Bufeo, Pikiniki, Nuevo Belén	2000	270	126	1.476	31
Total	-	-	-	**8.754**	**8.703**	**52.145**	**-**

3.2. Compilação dos dados de caça

Os dados provêm de um banco secundário compilado no contexto de estudos comparativos sobre caça de subsistência em florestas tropicais (Nunes et al., 2019), do qual utilizamos exclusivamente os registros da Pan-Amazônia. As fontes originais reúnem contextos socioecológicos e desenhos metodológicos diversos, que vão desde monitoramento participativo da caça e registros etnográficos de longo prazo a levantamentos de fauna e inventários cinegéticos em comunidades rurais e indígenas, convergindo no objetivo de caracterizar a caça de fauna silvestre para subsistência. Para cada sítio, o banco reúne coordenadas geográficas, o esforço amostral e o tamanho da população humana, além do número de indivíduos caçados por táxon, identificados por espécie ou, quando não foi possível resolver a identificação, por gênero.

3.3. Padronização taxonômica e construção das assembleias caçadas

O banco de caça opera em dois níveis taxonômicos distintos, sendo as unidades caçadas que correspondem ao que foi efetivamente registrado como abatido em cada sítio, por vezes as espécies, por vezes apenas o gênero (por exemplo, *Dasyprocta* spp.), e as assembleias potenciais, que correspondem ao conjunto de espécies que poderia ocorrer em cada sítio, usadas como linha de base do cenário sem caça. Padronizamos a nomenclatura taxonômica dos registros para assegurar consistência nomenclatural e coerência biogeográfica. Parte dos estudos originais identificou os animais apenas em nível de gênero — situação frequente em grupos de difícil distinção em campo, como *Mazama* spp., *Dasypus* spp. e cracídeos (*Crax* spp., *Penelope* spp.). Nesses casos, em vez de descartar o registro ou tratá-los apenas como gênero, inferimos quais espécies daquele gênero poderiam corresponder ao animal caçado, com base em sua distribuição geográfica. Para isso, georreferenciamos cada sítio e cruzamos os pontos com os polígonos de distribuição das espécies por meio da IUCN (*Red List of Threatened Species*), considerando candidatas apenas as espécies com distribuição compatível com o sítio. Quando um único gênero tinha mais de uma espécie com distribuição compatível, comum em gêneros com espécies simpátricas ou parapátricas, como *Mazama*, *Dasyprocta*, *Penelope* e *Psophia*, todas essas espécies candidatas foram mantidas na assembleia do sítio, e não reduzidas a uma só. A incerteza taxonômica resultante foi propagada explicitamente para as etapas seguintes, evitando tanto exclusões arbitrárias quanto escolhas infundadas entre espécies igualmente prováveis.

A partir desse cruzamento, construímos, para cada sítio, matrizes de presença/ausência (sítio x táxon) das assembleias potenciais de mamíferos, aves e répteis — o conjunto de táxons que poderia ocorrer no sítio, independentemente da exploração registrada. Essas assembleias constituem a linha de base (cenário pré defaunação) sobre a qual o cenário de caça foi aplicado. A análise da perda foi conduzida sobre a interseção entre os táxons das matrizes de serviços e de ocorrência, resultando em 78 unidades taxonômicas (41 mamíferos, 29 aves e 8 répteis) — subconjunto das 89 unidades registradas no banco de caça, retidas por serem associáveis às assembleias locais.

3.4. Atribuição de serviços ecossistêmicos

As informações taxonômicas refinadas foram reunidas em uma planilha de atributos (*Traits*), compilada a partir de fontes especializadas por grupo. Para mamíferos, os atributos provieram da base global EltonTraits 1.0 (Wilman et al., 2014), filtrada para as espécies presentes no banco de caça. Para aves, foram extraídos individualmente da plataforma *Birds of the World* (Billerman et al., 2026). Para répteis, os atributos de quelônios derivaram de Tartarugas da Amazônia (Vogt, 2008) e *Tortugas del Mundo* (Bonin et al., 2006), e os de crocodilianos do Tratado de Crocodilianos do Brasil (Barreto-Lima et al., 2021), seguindo a mesma estrutura adotada para os demais grupos; a única espécie de lagarto registrada (*Iguana iguana*) não teve atributos preenchidos, por falta de fonte equivalente.

A atribuição dos serviços seguiu a classificação de serviços por espécie proposta por Bogoni et al. (2024), na qual cada espécie de mamífero recebe a presença ou ausência de 13 serviços específicos (proteína para populações humanas, predação e dispersão de sementes, dinâmica fitodemográfica, regulação climática, controle de doenças, controle de insetos, polinização, ecoturismo, identidade etnocultural, formação de solo, oxigênio e produção primária), atribuídos com base na literatura. Essa matriz detalhada estava disponível apenas para os mamíferos; para as aves e os répteis acrescentados neste estudo, não foi possível completar a atribuição dos 13 serviços, dada a escassez de informação equivalente. Para assegurar comparabilidade entre os grupos, agregamos os serviços em todos os grupos, inclusive os mamíferos, nas quatro categorias amplas da *Millenium Ecossystem Assessment* (2005): provisão, regulação, suporte e cultural. Cada um dos 13 serviços originais foi assim reclassificado em uma dessas categorias: a provisão reúne os bens materiais obtidos diretamente da fauna, como o fornecimento de proteína às populações humanas; a regulação abrange os benefícios derivados do controle de processos ecológicos, como a dispersão e predação de sementes, polinização, controle de insetos e de doenças e regulação climática; o suporte compreende os processos de base que sustentam os demais serviços, como a dinâmica fitodemográfica, formação de solo, produção primária e

produção de oxigênio; e cultural reúne os benefícios não materiais, como o ecoturismo e a identidade etnocultural associada à fauna.

Como a provisão se realiza pela própria remoção do animal, e não por sua permanência no ecossistema, ela foi excluída do cálculo do índice, retendo-se três categorias: regulação, suporte e cultural. Como as três categorias retidas assumem o mesmo valor para todos os táxons, o índice reflete a presença de táxons prestadores de serviços na assembleia, e não a contribuição diferencial de cada espécie; consequentemente, não se fazem inferências sobre categorias isoladas (p. ex., regulação vs. cultural). Dos atributos compilados, apenas a massa corporal correspondente ao peso médio de um indivíduo adulto da espécie foi utilizada nas análises subsequentes, para a estimativa de biomassa. As implicações dessa simplificação são discutidas na seção de limitações.

3.5. Biomassa

A biomassa removida foi estimada combinando as duas fontes descritas acima: para cada táxon, multiplicamos o número de indivíduos caçados em cada sítio (Seção 2.2) pela massa corporal média da espécie compilada na matriz de atributos (Seção 2.4). Quando o registro estava resolvido apenas em nível de gênero, utilizou-se a massa corporal média das espécies daquele gênero com ocorrência potencial no sítio. A biomassa foi empregada exclusivamente como estatística descritiva da exploração, não entrando no cálculo do índice de entrega de serviços.

3.6. Cenário de defaunação a partir da pressão de caça

O consumo de caça foi quantificado, para cada grupo taxonômico (mamíferos, aves e répteis) em cada sítio, a partir de um índice de extração ponderado por biomassa, padronizado por habitante e por dia de estudo. O índice corresponde à biomassa caçada do grupo — obtida pela soma, entre as espécies do grupo, do produto entre o número de indivíduos abatidos e a massa corporal média da espécie — dividida pelo produto entre a população humana e o número de dias amostrados no sítio:

$$Pressão_{g,s} = \frac{\sum_i N_{i,s} W_i}{P_s D_s}$$

onde $N_{i,s}$ é o número de indivíduos da espécie *i* caçados no sítio *s*, W_i a massa corporal média da espécie, P_s a população humana total residente no sítio e D_s o número de dias de estudo do sítio. O cálculo foi realizado em planilha eletrônica.

Esse índice foi então utilizado como uma medida relativa da intensidade de exploração de cada grupo, interpretada como a fração de sua contribuição passível de remoção em cada sítio: valores mais próximos de 1 indicam maior intensidade de extração, e valores mais próximos de 0, menor. O cenário defaunado foi gerado multiplicando-se a ocorrência de cada táxon presente por um fator de retenção igual a (1 − pressão), de modo que quanto maior a pressão sobre um grupo, menor a fração de sua contribuição retida na assembleia. Nos dados analisados, todos os valores situam-se entre 0 e 1. Trata-se, portanto, de um proxy da intensidade de extração, e não de uma taxa demográfica de remoção populacional.

3.7. Índice de entrega de serviços ecossistêmicos e perda

O índice de entrega de serviços de cada sítio foi calculado somando-se, sobre os táxons presentes na assembleia de vertebrados, suas contribuições nas três categorias retidas (serviço de regulação, suporte e cultural). Como cada táxon presente contribui com o mesmo valor em cada categoria, o índice basal equivale a três vezes a riqueza de táxons do sítio. No cenário defaunado, a contribuição de cada táxon é ponderada pelo fator de retenção (seção anterior), e o índice é recalculado. A perda por sítio foi quantificada como a redução percentual do índice entre os cenários basal e defaunado. O índice é, assim, um *proxy* da capacidade de entrega de serviços baseado em presença/riqueza de táxons e não uma métrica funcional baseada em atributos das espécies.

3.8. Relação com a pressão de caça e distribuição espacial da perda

A relação entre a pressão de caça e a perda de serviços foi avaliada por três regressões lineares simples, uma por grupo taxonômico (mamíferos, aves e répteis), tomando como variável resposta a redução percentual do índice de entrega de serviços

em cada sítio e como preditora a pressão de caça padronizada do respectivo grupo, ao longo dos 27 sítios; para cada modelo, reportamos o coeficiente de determinação (R^2). A magnitude da perda foi então mapeada sobre a Pan-Amazônia para identificar agrupamentos espaciais de perda. Para verificar se essa distribuição segue um eixo geográfico, a redução percentual do índice em cada sítio foi correlacionada à sua longitude e à sua latitude, por meio dos coeficientes de Pearson e de Spearman, sendo este último robusto a valores extremos, como verificação da influência de sítios atípicos. Por fim, para avaliar a influência da inclusão de aves e répteis sobre os resultados, a perda por sítio foi recalculada considerando apenas os táxons de mamíferos — o grupo com atribuição funcional completa — e comparada à do cenário com os três grupos, por meio dos mesmos coeficientes. As análises foram conduzidas em R 4.6.0 (R Core Team, 2026), com as regressões ajustadas pela função lm do pacote stats (base). As figuras foram produzidas com ggplot2 4.0.3 e ggrepel 0.9.8, e o mapa da distribuição espacial da perda utilizou os pacotes sf 1.1-1, rnaturalearth 1.2.0 e rnaturalearthdata 1.0.0; a manipulação dos dados empregou dplyr 1.2.1 e readxl 1.5.0.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização da base de dados

O banco de caça reuniu 52.145 indivíduos distribuídos em 89 unidades caçadas (identificadas em nível de espécie ou de gênero) ao longo dos 27 sítios de estudo. Destas, 78 unidades caçadas (41 mamíferos, 29 aves e 8 répteis) puderam ser associadas às assembleias locais e compuseram a análise de erosão. Os mamíferos representaram 67,2% dos indivíduos caçados e 51,7% dos táxons registrados (n = 46; 35.033 indivíduos), totalizando 387.063,6 kg de biomassa removida (desvio padrão = 22.365,6 kg entre táxons). As aves corresponderam a 17,1% dos indivíduos e 32,6% dos táxons registrados (n = 29; 8.911 indivíduos), com biomassa total de 123.242,6 kg (dp = 21.123,7 kg). Os répteis representaram 15,7% dos indivíduos e dos táxons registrados (n = 14; 8.201 indivíduos), totalizando 33.210 kg de biomassa removida (dp = 5.179 kg). Dasyprocta spp. (cutia) foi o táxon mais caçado, com 9.489 indivíduos registrados, seguido de Cuniculus paca (paca), com 5.375, e Chelonoidis denticulata

(jabuti), com 5.275. Em conjunto, esses três táxons responderam por aproximadamente 38,6% de todos os indivíduos registrados.

4.2. Consumo de caça e biomassa extraída

Os mamíferos apresentaram os maiores valores de consumo de caça, com mediana de 0,151 (amplitude de 0,015 e 0,805), seguidos pelos répteis (mediana de 0,013; máximo de 0,212) e pelas aves (mediana de 0,004; máximo de 0,039), uma diferença de cerca de uma ordem de grandeza entre mamíferos e os demais grupos (Figura 1). Os répteis exibiram maior dispersão relativa ao longo do gradiente de pressão, enquanto os mamíferos concentraram-se em valores mais elevados.

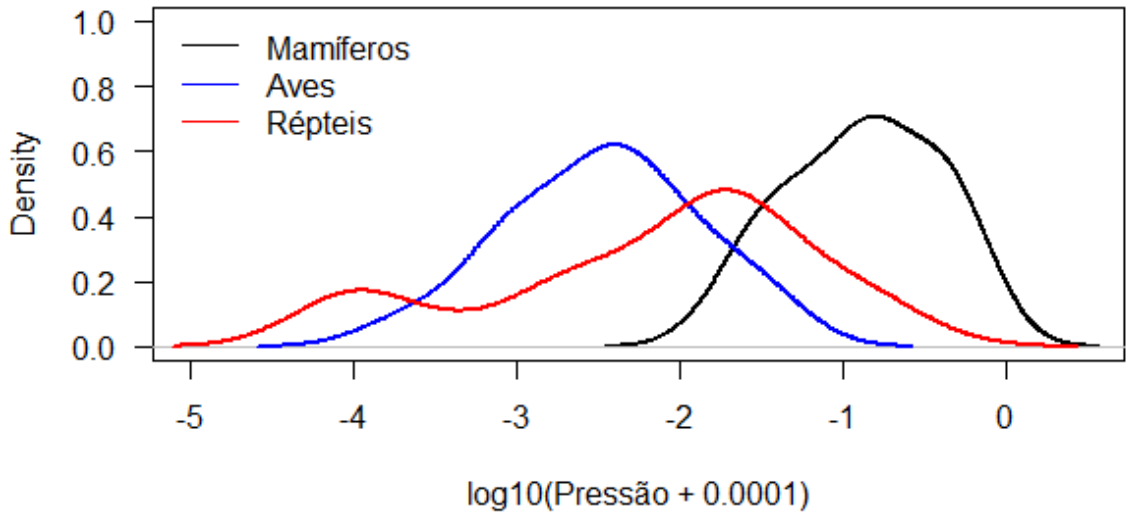


Figura 1. Distribuição de densidade de pressão de caça (log10) por grupo taxonômico nos 27 sítios de estudo da Pan-Amazônia. A pressão corresponde à biomassa caçada de cada grupo por sítio, padronizada por habitante e por dia de estudo. As curvas representam a densidade dos valores para mamíferos, répteis e aves; valores mais altos indicam maior intensidade de extração por pessoa e por dia.

A biomassa extraída também apresentou distribuição desigual entre os grupos taxonômicos (Figura 2). Os maiores valores de biomassa *per capita* por dia concentraram-se em mamíferos de médio e grande porte, enquanto aves e répteis contribuíram com valores relativamente menores. A biomassa removida mostrou-se

concentrada em um número reduzido de táxons, apesar da elevada diversidade registrada no conjunto de dados.

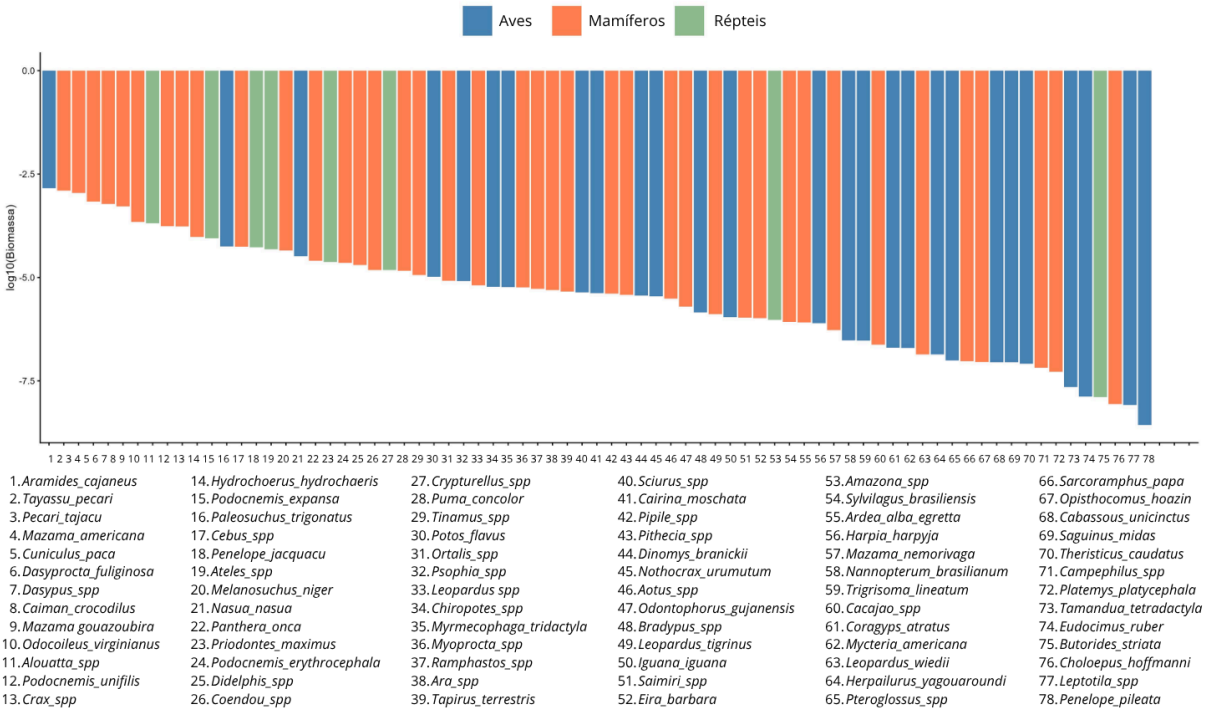


Figura 2. Contribuição das unidades taxonômicas registradas na caça de subsistência para a biomassa per capita consumida por dia nos 27 sítios de estudo da Pan-Amazônia. As barras representam a biomassa média diária per capita associada a cada táxon, expressa em escala logarítmica (log10). As cores indicam os diferentes grupos taxonômicos: mamíferos (laranja), aves (azul) e répteis (verde).

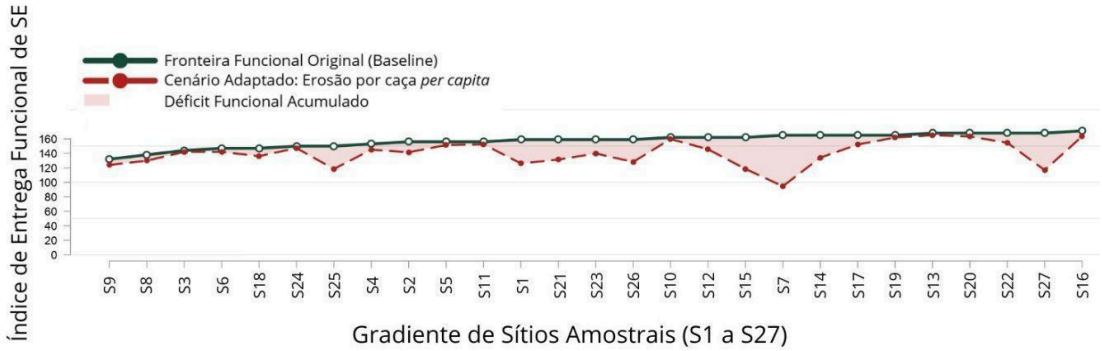
4.3. Perda da entrega de serviços ecossistêmicos

A remoção proporcional simulada das espécies caçadas reduziu o Índice de Entrega de Serviços Ecossistêmicos em todos os sítios avaliados, mas com magnitudes muito distintas (Figura 3A). A perda variou de 1,3% a 42,6%, com mediana de 7,4% e média de 10,8% (± 10,5%); 17 dos 27 sítios apresentaram reduções inferiores a 10%. As maiores perdas ocorreram em S7 (Alianza Cristina, Peru; 42,6%), S27 (Comunidad Nativa Bufeo, Peru; 30,5%), S15 (Resex Riozinho da Liberdade, Brasil; 26,8%), S25 (Chimoré, Bolívia; 21,0%), S1 (Medio Javari, Peru; 20,7%) e S26 (Medio Caura,

Venezuela; 19,4%), enquanto S3 (Ka'apor, Brasil), S10 (Zancudo, Colômbia), S13 (Alto Corrientes, Equador), S19 (Parque Nacional do Jaú, Brasil) e S24 (Bella Vista, Bolívia) permaneceram abaixo de 2%. Essas diferenças não refletem o esforço amostral desigual entre os levantamentos: o número de espécies caçadas por sítio não se associou à duração do estudo ($r = -0,16$; $p = 0,44$), nem a perda à duração ($r = -0,31$; $p = 0,12$) — o estudo mais longo (Zancudo, 1.460 dias) esteve entre os de menor erosão, enquanto Alianza Cristina (180 dias) apresentou a maior.

A magnitude da perda aumentou com o consumo de caça para todos os grupos taxonômicos (Figura 3B), de forma mais acentuada entre os mamíferos ($R^2 = 0,99$) do que entre aves ($R^2 = 0,43$) e répteis ($R^2 = 0,37$). A comparação entre os cenários revelou deslocamento da distribuição dos valores do índice para níveis inferiores após a remoção das espécies caçadas.

(A)



(B)

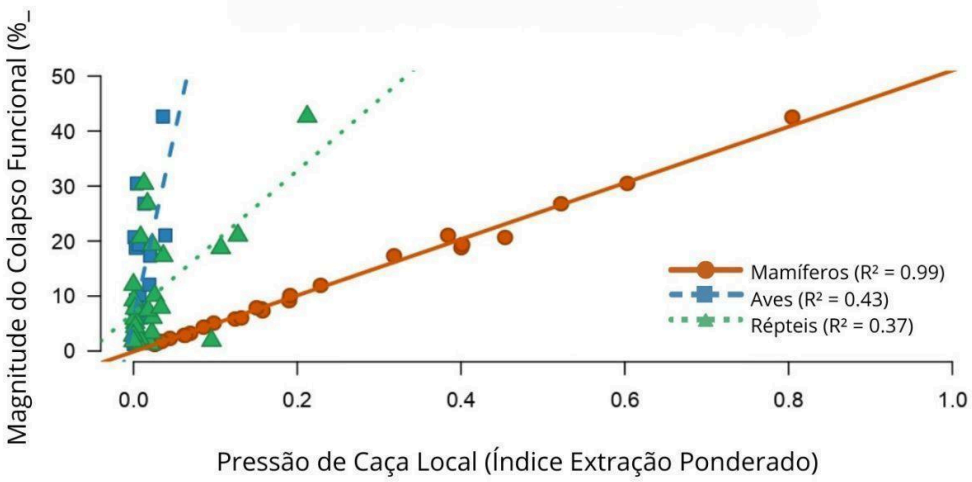


Figura 3. Efeitos da caça de subsistência sobre a entrega de serviços ecossistêmicos nos sítios avaliados da Pan-Amazônia: (A) Retração do Índice de Entrega de Serviços Ecossistêmicos, comparando o cenário basal e o cenário após a remoção proporcional das espécies caçadas; (B) Relação entre a pressão local de caça e a magnitude da perda para mamíferos, aves e répteis.

4.4. Distribuição espacial da perda de serviços ecossistêmicos

A perda distribuiu-se de forma marcadamente desigual no espaço (Figura 4). Os sítios de maior perda alinham-se em uma faixa contínua no sudoeste da Pan-Amazônia, que se estende do noroeste peruano e colombiano até a Bolívia e reúne S14 (Aduche, Colômbia), S1 (Medio Javari, Peru), S7 (Alianza Cristina, Peru), S15 (Resex Riozinho da Liberdade, Brasil), S27 (Comunidad Nativa Bufeo, Peru), S21 (Madre de Dios,

Bolívia) e S25 (Chimoré Bolívia) — nela se encontra a maior perda registrada, em S7 (42,6%). Fora dessa faixa, apenas S26 (Medio Caura, Venezuela; 19,4%) apresentou perda comparável, isolado em meio a sítios de baixa perda na porção norte. A maior parte dos sítios das porções central e oriental da Pan-Amazônia permaneceu abaixo de 10% de redução.

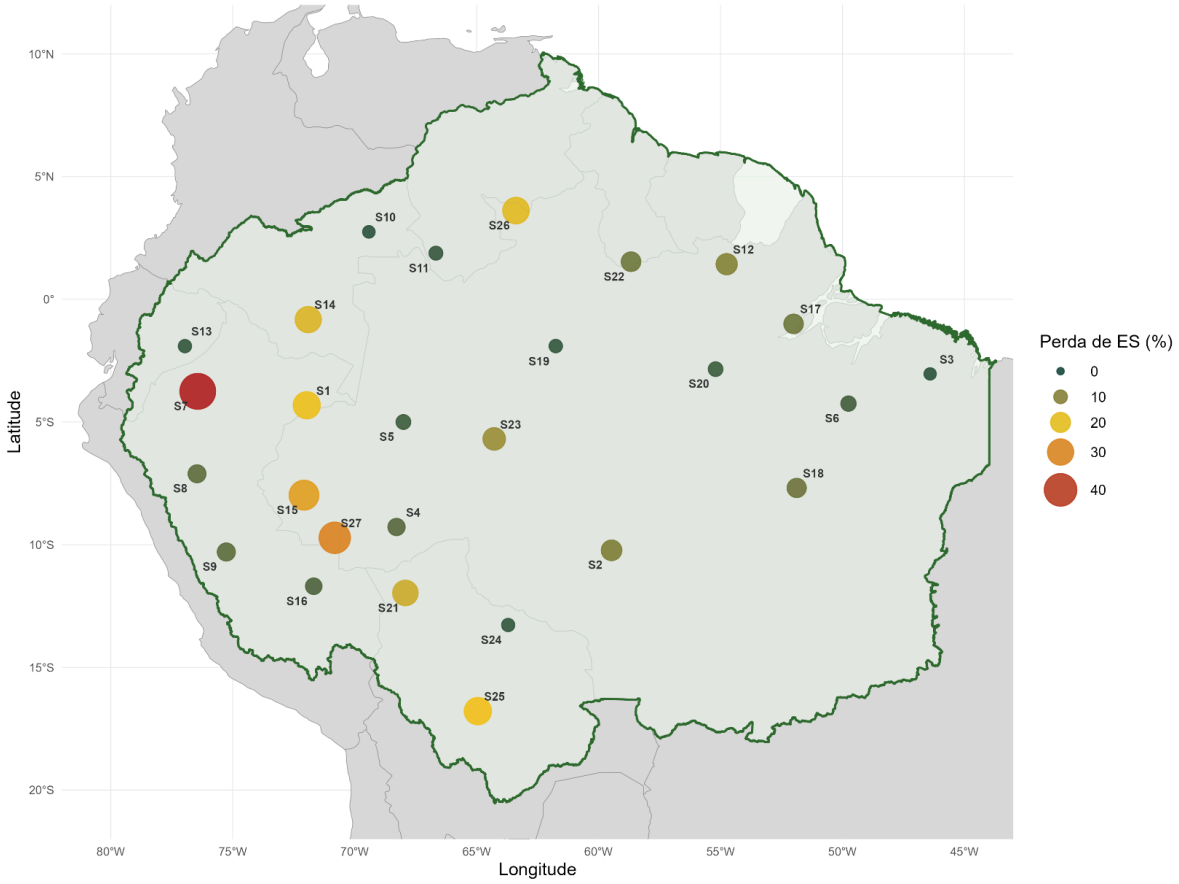


Figura 4. Distribuição espacial da perda potencial dos serviços ecossistêmicos (regulação, suporte e cultural) associada à pressão de caça nos 27 sítios de estudo da Pan-Amazônia. O tamanho e a coloração dos círculos representam a magnitude da redução percentual do Índice de Entrega de Serviços Ecossistêmicos entre o cenário basal e o cenário defaunado. Valores mais elevados indicam maior perda decorrente da exploração cinegética.

5. DISCUSSÃO

A remoção da fauna cinegética reduziu a entrega estimada de serviços ecossistêmicos em praticamente todos os sítios avaliados, mas a magnitude dessa perda variou fortemente no espaço. As maiores perdas concentraram-se no sudoeste da Pan-Amazônia, enquanto boa parte dos sítios das porções central e oriental permaneceu abaixo de 10% de redução. Esse contraste indica que o efeito da caça de subsistência sobre a base faunística dos serviços ecossistêmicos não é homogêneo na região, mas se agrupa em áreas específicas. Esse padrão não decorre do esforço amostral desigual entre os levantamentos, a duração dos estudos não se associou à perda nem ao número de espécies caçadas (Seção 4.3), mas da intensidade do consumo em cada sítio. A associação entre o consumo e a magnitude da perda era esperada — o índice é construído a partir da remoção proporcional da fauna explorada, de modo que os coeficientes elevados, sobretudo em mamíferos, refletem em boa parte o próprio desenho do modelo. O que os dados adicionam não é a existência dessa relação, mas onde ela se materializa com mais intensidade e sobre qual grupo recai.

Os mamíferos responderam por dois terços dos indivíduos abatidos e pela maior parte da biomassa removida, concentrando valores de caça uma ordem de grandeza acima dos registrados para aves e répteis. Essa concentração é coerente com a teoria do forrageamento ótimo: caçadores tendem a maximizar o retorno energético por unidade de esforço, priorizando presas de maior porte, que oferecem mais carne por captura e são frequentemente mais detectáveis (Stephens & Krebs, 1986; Peres, 2000). A seleção de presas, contudo, não responde apenas ao retorno energético: fatores culturais e de preferência alimentar também influenciam quais espécies são caçadas e consumidas na Amazônia (Morsello et al., 2015; Chaves et al., 2023), ainda que a preferência por carne de caça se manifeste de forma ampla, abrangendo tanto mamíferos quanto quelônios. No caso dos mamíferos, essa preferência soma-se ao fato de serem os vertebrados de histórias de vida lentas, maturação tardia e baixa capacidade de recuperação populacional (Ripple et al., 2016). A perda que estimamos não decorre, portanto, de uma remoção aleatória da fauna, mas de uma pressão

sistematicamente enviesada para o grupo mais numeroso em nossas assembleias e, ao mesmo tempo, o mais explorado. Esse padrão, ainda que aqui derivado de um cenário de perda potencial, reproduz o que a evidência de campo documenta. Em uma meta-análise pantropical de 176 estudos, a caça reduziu a abundância de mamíferos em 83% e a de aves em 58%, assimetria que os autores atribuem à preferência dos caçadores por espécies maiores (Benítez-López et al., 2017). Essa seletividade não se limita a atingir mais os mamíferos: em escala neotropical, a pressão de caça está entre os principais determinantes da defaunação desse grupo e reduz a massa corporal média das assembleias remanescentes, à medida que as espécies de maior porte são progressivamente extirpadas (Bogoni et al., 2020b).

Três táxons — *Dasyprocta* spp. (cutias), *Cuniculus paca* (paca) e *Chelonoidis denticulata* (jabuti) — concentraram 38,6% de todos os indivíduos registrados, e não se trata de espécies ecologicamente intercambiáveis. A dominância das cutias e pacas nos abates reflete, em parte, sua associação às áreas cultivadas: esses roedores alimentam-se das roças de mandioca e são frequentemente caçados de forma oportunística nos próprios roçados, um padrão conhecido como “jardim de caça” (*garden hunting*), em que a presa se concentra num local previsível e é abatida durante o trabalho agrícola (Linares, 1976). Ecologicamente, porém, esses táxons desempenham funções que sua remoção compromete. Cutias (*Dasyprocta* spp.) dispersam sementes grandes por *scatter-hoarding* e atuam como substitutas dos dispersores da megafauna extintos no Pleistoceno, como os gonfotérios e as preguiças-gigantes, sustentando o recrutamento de árvores cujas sementes poucos outros animais conseguem movimentar (Jansen et al., 2012); o jabuti (*Chelonoidis denticulata*), por sua vez, dispersa efetivamente dezenas de espécies vegetais ao longo de deslocamentos amplos na Amazônia (Jerozolimski et al., 2009). A remoção intensiva desses táxons incide, portanto, sobre elos de dispersão que operam como último recurso para as espécies de sementes grandes.

O índice, por construção, não diferencia a contribuição de cada categoria de serviço — todas assumem o mesmo valor para cada táxon —, razão pela qual os resultados não quantificam a perda por categoria isoladamente. Ainda assim, a identidade dos táxons

mais atingidos permite inferir quais funções são mais vulneráveis ao consumo de carne de caça. A regulação é a categoria mais diretamente ameaçada, dada a centralidade da dispersão de sementes exercida pelos táxons dominantes na caça. A perda desses dispersores compromete, em cascata, os serviços de suporte que deles dependem, com a dinâmica de recrutamento arbóreo e, por extensão, a manutenção da produção primária e dos estoques de carbono, cuja erosão pela defaunação é bem documentada, com projeções que alcançam vários petagramas de CO_2 equivalente na Amazônia ao longo de um século (Bello et al., 2015; Brodie et al., 2025). Já os serviços culturais erodem-se de forma menos direta: grandes vertebrados, sobretudo os primatas, ancoram crenças, cerimônias e valores identitários das populações amazônicas (Mere Roncal et al., 2018), de modo que sua rarefação empobrece essa dimensão da relação entre as comunidades e a fauna. Nosso índice não mede essas funções diretamente — quantifica a perda de táxons aos quais se atribui a prestação de serviços —, mas a identidade dos táxons mais explorados sugere que a perda estimada incide sobre uma parcela da fauna cuja contribuição funcional é bem documentada.

Os sítios com maior perda alinham-se em uma faixa contínua no sudoeste da Pan-Amazônia, que se estende do noroeste peruano e colombiano até a Bolívia. Essa configuração é de agrupamento espacial, e não de gradiente: a perda não apresentou relação significativa com a longitude ($r = -0,37$, $p = 0,055$) nem com a latitude ($r = -0,15$, $p = 0,45$), e a fraca tendência de maior perda a oeste mostrou-se dependente de um único sítio extremo — ao removermos S7 (Alianza Cristina, Peru), a associação com a longitude perdeu força ($p = 0,17$), e a correlação de Spearman, robusta a valores extremos, tampouco foi significativa ($\rho = -0,25$, $p = 0,21$). A perda, portanto, não se distribui ao longo de um eixo geográfico contínuo, mas se concentra numa região específica. A única exceção a esse padrão é S26 (Medio Caura, Venezuela), que apresentou perda elevada isolado na porção norte, cercado por sítios de baixa perda. Uma explicação possível para essa concentração relaciona-se à distribuição desigual da fauna e da pressão de caça na bacia: a fauna de médio e grande porte mantém-se mais íntegra a oeste e no escudo das Guianas, enquanto a pressão de caça projeta-se mais intensamente sobre a porção leste e a rede de rios (Benítez-López et al., 2019).

Ainda que a perda se agrupe nessa faixa transfronteiriça, a resposta institucional a ela permanece fragmentada. No Brasil, onde se concentra a maior parte dos sítios analisados, a caça de subsistência ocupa um estatuto legal incerto: a Lei de Proteção à Fauna de 1967 tornou ilegal a caça de animais silvestres, e apenas os povos indígenas tiveram seu direito de caça explicitamente reconhecido, de modo que as demais populações tradicionais e rurais permanecem sujeitas à interpretação arbitrária de dispositivos legais contraditórios (Antunes et al., 2019). Ainda assim, restringir a caça não é uma resposta adequada: a carne de caça é uma das principais fontes de proteína animal para as comunidades amazônicas, podendo suprir cerca de metade das necessidades de proteína e ferro das populações rurais, e sua produtividade já teria caído aproximadamente 67% nas áreas mais desmatadas (Antunes et al., 2025). A supressão do acesso à fauna, sem substitutos viáveis, tenderia a agravar a insegurança alimentar e a deslocar a pressão para outros recursos (Nunes et al., 2019). O que os resultados indicam é mais específico: nos sítios sob maior pressão, a intensidade de extração pode estar corroendo a própria base de recursos da qual essas populações dependem. Não avaliamos consumo, disponibilidade de proteína ou estado nutricional das comunidades, de modo que qualquer inferência direta sobre segurança alimentar permanece, aqui, no plano da implicação.

A principal limitação deste estudo diz respeito à resolução do índice. Bogoni et al. (2024) discriminam 13 serviços específicos por espécie, o que permitiria ponderar a perda pela contribuição particular de cada táxon; como não foi possível completar essa classificação para aves e répteis, os serviços foram agregados em quatro categorias amplas, nas quais todos os táxons cinegéticos se enquadram igualmente. Para avaliar se a inclusão de aves e répteis — grupos com atribuição de serviços menos detalhada — teria distorcido os resultados, comparamos a perda por sítio no cenário completo com a obtida apenas para os mamíferos, o grupo com classificação funcional completa. As duas estimativas mostraram-se altamente concordantes ($r = 0{,}997$; $\rho = 0{,}987$), e o agrupamento das maiores perdas no sudoeste manteve-se em ambos os cenários; embora os valores absolutos sejam maiores quando se consideram apenas os mamíferos — menos táxons compõem a assembleia —, a estrutura espacial e a

ordenação dos sítios são preservadas, indicando que o padrão identificado não depende da inclusão dos grupos de atribuição mais limitada.

Essa simplificação, necessária para tornar os três grupos comparáveis, tem um custo: o índice passa a refletir a presença de táxons prestadores de serviços, e não a contribuição diferencial de cada espécie. Não distinguimos, assim, o efeito sobre serviços de regulação daquele sobre serviços culturais, nem captamos que um grande frugívoro contribui de forma distinta de um pequeno roedor para a dispersão de sementes. Trata-se, portanto, de um *proxy* baseado na riqueza de táxons prestadores, e não de uma métrica derivada de atributos — e, por consequência, a associação entre pressão de caça e perda decorre em boa parte do desenho do índice, o que recomenda cautela na leitura dos coeficientes de determinação. A agregação de espécies congenéricas em unidades de gênero, adotada diante da incerteza taxonômica dos registros originais, suaviza variações intragênero. O cenário de defaunação, por sua vez, aplica a pressão de caça como uma redução determinística e proporcional, sem modelar dinâmicas populacionais, capacidade de reposição ou imigração a partir de áreas vizinhas, de modo que a perda estimada representa um potencial, e não uma perda observada. Por fim, o banco reúne estudos conduzidos ao longo de quatro décadas, com métodos e esforços amostrais heterogêneos, e cobre um conjunto de sítios que não constitui uma amostra sistemática da Pan-Amazônia.

Ainda assim, a magnitude das perdas aqui estimadas converge com a de avaliações independentes: a perda máxima observada (cerca de 43% em S7) situa-se na mesma ordem de grandeza das perdas de serviços reportadas para metacomunidades de mamíferos neotropicais, entre 47% e 50% (Bogoni et al., 2024), e das estimadas em escala de assembleia por Bogoni et al. (2020a). Essa convergência, obtida por caminhos metodológicos distintos, sugere que a simplificação adotada não distorce a ordem de grandeza do fenômeno, ainda que limite sua resolução. Ao ligar a intensidade registrada de caça à perda da entrega de serviços em três grupos taxonômicos e ao mapear sua distribuição espacial, os resultados complementam avaliações anteriores de larga escala (Bogoni et al., 2020a, 2024; Antunes et al., 2025) e revelam uma dupla concentração: taxonômica, sobre os mamíferos de maior porte, e

espacial, no sudoeste da bacia. Reconhecer essa heterogeneidade é mais produtivo do que tratar a caça como um problema uniforme: ela indica onde o monitoramento e a construção de acordos de manejo com as comunidades locais são mais urgentes, e onde ainda há margem para a exploração se manter dentro de limites sustentáveis. Garantir essa sustentabilidade, da qual dependem tanto a segurança alimentar quanto a integridade dos serviços prestados pela fauna, exige distinguir onde a exploração ainda opera dentro de limites toleráveis e onde já ameaça a base de recursos que sustenta populações locais.

6. CONCLUSÕES

A caça de subsistência na Pan-Amazônia recai de forma desproporcional sobre os mamíferos de médio e grande porte — o grupo mais explorado, mais rico em táxons e ecologicamente mais vulnerável —, produzindo uma perda da base faunística que sustenta serviços ecossistêmicos essenciais. Essa perda não é homogênea: concentra-se em áreas específicas, notadamente em uma faixa no sudoeste da bacia, e não segue um gradiente geográfico contínuo. A magnitude das perdas estimadas, embora derivada de um índice simplificado, converge com a de avaliações independentes de larga escala, o que reforça a robustez do padrão encontrado. Os táxons mais atingidos, sobretudo cutias e jabutis, estão entre os principais dispersores de sementes da floresta, o que sugere que a exploração cinegética compromete funções ecológicas de ampla repercussão, ainda que o índice não as meça diretamente. Reconhecer a dupla concentração da perda — taxonômica e espacial — é o principal contributo deste trabalho para o manejo da fauna cinegética. Em vez de tratar a caça como um problema uniforme, os resultados indicam onde o monitoramento e a construção de acordos de manejo com as comunidades locais são mais urgentes, e onde a exploração provavelmente ainda opera dentro de limites sustentáveis. Garantir essa sustentabilidade é indissociável da segurança alimentar das populações que dependem da caça, o que exige integrar conservação da fauna e direitos de acesso ao recurso.

7. REFERÊNCIAS

Antunes, A.P., Rebêlo, G.H., Pezzuti, J.C.B., de Mattos Vieira, M.A.R., Constantino, P.A.L., Campos-Silva, J.V., Fonseca, R., Durigan, C.C., Ramos, R.M., do Amaral, J.V., Pimenta, N.C., Ranzi, T.J.D., Lima, N.A.S., Shepard Jr., G.H., 2019. A conspiracy of silence: subsistence hunting rights in the Brazilian Amazon. Land Use Policy 84, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.045

Antunes, A.P., Constantino, P.A.L., Fa, J.E., Munari, D.P., Morcatty, T.Q., Jacob, M.C.M., Nelson, B.W., Cassino, M.F., Carvalho, E.A.R., Ickowitz, A., Coad, L., Bodmer, R.E., Mayor, P., Richard-Hansen, C., Valsecchi, J., Campos-Silva, J.V., Pezzuti, J.C.B., Aparício, M., von Muhlen, E.M., Oliveira, M.A., de Paula, M.J., Pimenta, N.C., de Mattos Vieira, M.A.R., Santos Junior, M.A., Nunes, A.V., Boubli, J.P., et al., 2025. Healthy forests safeguard traditional wild meat food systems in Amazonia. Nature 648, 625–633. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09743-z

Barreto-Lima, A.F., Santos, M.R.D., Nóbrega, Y.C. (Eds.), 2021. Tratado de Crocodilianos do Brasil. Instituto Marcos Daniel, Vitória, ES.

Bello, C., Galetti, M., Pizo, M.A., Magnago, L.F.S., Rocha, M.F., Lima, R.A.F., Peres, C.A., Ovaskainen, O., Jordano, P., 2015. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. Sci. Adv. 1, e1501105. https://doi.org/10.1126/sciadv.1501105

Benítez-López, A., Alkemade, R., Schipper, A.M., Ingram, D.J., Verweij, P.A., Eikelboom, J.A.J., Huijbregts, M.A.J., 2017. The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. Science 356, 180–183. https://doi.org/10.1126/science.aaj1891

Benítez-López, A., Santini, L., Schipper, A.M., Busana, M., Huijbregts, M.A.J., 2019. Intact but empty forests? Patterns of hunting-induced mammal defaunation in the tropics. PLoS Biol. 17, e3000247. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000247

Billerman, S.M., Keeney, B.K., Kirwan, G.M., Medrano, F., Sly, N.D., Smith, M.G. (Eds.), 2026. Birds of the World. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY. https://birdsoftheworld.org

Bogoni, J.A., Peres, C.A., Ferraz, K.M.P.M.B., 2020a. Effects of mammal defaunation on natural ecosystem services and human well being throughout the entire Neotropical realm. Ecosyst. Serv. 45, 101173. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101173

Bogoni, J.A., Peres, C.A., Ferraz, K.M.P.M.B., 2020b. Extent, intensity and drivers of mammal defaunation: a continental-scale analysis across the Neotropics. Sci. Rep. 10, 14750. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72010-w

Bogoni, J.A., Araujo Goebel, L.G., Santos-Filho, M., Peres, C.A., 2024. Linking functional and phylogenetic diversity to assess decay in ecosystem services induced by metacommunity-level mammal extirpations. Austral Ecol. 49, e13597. https://doi.org/10.1111/aec.13597

Bonin, F., Devaux, B., Dupré, A., 2006. Tortugas del Mundo. Lynx Edicions, Barcelona.

Brodie, J.F., Bello, C., Emer, C., Galetti, M., Luskin, M.S., Osuri, A., Peres, C.A., Stoll, A., Villar, N., Benítez-López, A., 2025. Defaunation impacts on the carbon balance of tropical forests. Conserv. Biol. 39, e14414. https://doi.org/10.1111/cobi.14414

Cardillo, M., Mace, G.M., Jones, K.E., Bielby, J., Bininda-Emonds, O.R.P., Sechrest, W., Orme, C.D.L., Purvis, A., 2005. Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. Science 309, 1239–1241. https://doi.org/10.1126/science.1116030

Chaves, W.A., Carignano Torres, P., Parry, L., 2023. The species-specific role of wildlife in the Amazonian food system. Ecol. Soc. 28(2), 28. https://doi.org/10.5751/ES-14051-280228

Dirzo, R., Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J.B., Collen, B., 2014. Defaunation in the Anthropocene. Science 345, 401–406. https://doi.org/10.1126/science.1251817

IPBES, 2019. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat, Bonn.

IUCN, 2025. The IUCN Red List of Threatened Species. https://www.iucnredlist.org (acesso em 29/05/2026).

Jansen, P.A., Hirsch, B.T., Emsens, W.-J., Zamora-Gutierrez, V., Wikelski, M., Kays, R., 2012. Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 109, 12610–12615. https://doi.org/10.1073/pnas.1205184109

Jerozolimski, A., Ribeiro, M.B.N., Martins, M., 2009. Are tortoises important seed dispersers in Amazonian forests? Oecologia 161, 517–528. https://doi.org/10.1007/s00442-009-1396-8

Mere Roncal, C., Bowler, M., Gilmore, M.P., 2018. The ethnoprimatology of the Maijuna of the Peruvian Amazon and implications for primate conservation. J. Ethnobiol. Ethnomed. 14, 19. https://doi.org/10.1186/s13002-018-0207-x

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Morsello, C., Yagüe, B., Beltreschi, L., van Vliet, N., Adams, C., Schor, T., Quiceno-Mesa, M.P., Cruz, D., 2015. Cultural attitudes are stronger predictors of bushmeat consumption and preference than economic factors among urban Amazonians from Brazil and Colombia. Ecol. Soc. 20(4), 21. http://dx.doi.org/10.5751/ES-07771-200421

Nasi, R., Taber, A., Van Vliet, N., 2011. Empty forests, empty stomachs? Bushmeat and livelihoods in the Congo and Amazon Basins. Int. For. Rev. 13, 355–368. https://doi.org/10.1505/146554811798293872

Nielsen, M.R., Meilby, H., Smith-Hall, C., Pouliot, M., Treue, T., 2018. The importance of wild meat in the Global South. Ecol. Econ. 146, 696–705. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.018

Nunes, A.V., Peres, C.A., Constantino, P.A.L., Santos, B.A., Fischer, E., 2019. Irreplaceable socioeconomic value of wild meat extraction to local food security in rural Amazonia. Biol. Conserv. 236, 171–179. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.010

Peres, C.A., 2000. Effects of subsistence hunting on vertebrate community structure in Amazonian forests. Conserv. Biol. 14, 240–253. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98485.x

Peres, C.A., Emilio, T., Schietti, J., Desmoulière, S.J.M., Levi, T., 2016. Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 113, 892–897. https://doi.org/10.1073/pnas.1516525113

R Core Team, 2026. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. https://www.R-project.org

RAISG, 2020. Amazônia sob pressão — infográficos. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. https://www.raisg.org/pt-br/infografico/ (acesso em 12 de julho de 2026).

Redford, K.H., 1992. The empty forest. BioScience 42, 412–422. https://doi.org/10.2307/1311860

Ripple, W.J., Abernethy, K., Betts, M.G., Chapron, G., Dirzo, R., Galetti, M., Levi, T., Lindsey, P.A., Macdonald, D.W., Machovina, B., Newsome, T.M., Peres, C.A., Wallach, A.D., Wolf, C., Young, H., 2016. Bushmeat hunting and extinction risk to the world's mammals. R. Soc. Open Sci. 3, 160498. https://doi.org/10.1098/rsos.160498

Santos, D., Lima, M., Vilhena, A., Veríssimo, B., Silva, C., 2025. Fatos da Amazônia 2025. Amazônia 2030, Belém.

Stephens, D.W., Krebs, J.R., 1986. Foraging Theory. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Vogt, R.C., 2008. Tartarugas da Amazônia. INPA, Manaus.

Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., de la Rosa, C., Rivadeneira, M.M., Jetz, W., 2014. EltonTraits 1.0: species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. Ecology 95, 2027. https://doi.org/10.1890/13-1917.1

Young, H.S., McCauley, D.J., Galetti, M., Dirzo, R., 2016. Patterns, causes, and consequences of Anthropocene defaunation. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 47, 333–358. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054142