

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 13/06/2019.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(ZOOLOGIA)**

DEFAUNAÇÃO E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA
SUBTROPICAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A REGENERAÇÃO DE
Araucaria angustifolia

CARLOS RODRIGO BROCARDO

Junho - 2017

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(ZOOLOGIA)**

DEFAUNAÇÃO E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA
SUBTROPICAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A REGENERAÇÃO DE
Araucaria angustifolia

CARLOS RODRIGO BROCARDO

Orientador: Mauro Galetti Rodrigues

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas - Zoologia

Junho - 2017

301.3 Brocardo, Carlos Rodrigo
B863d Defaunação e fragmentação florestal na Mata Atlântica
subtropical e suas consequências para a regeneração de
Araucaria angustifolia / Carlos Rodrigo Brocardo. - Rio
Claro, 2017
117 f. : il., figs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Mauro Galetti Rodrigues

1. Ecologia humana. 2. Biologia da conservação. 3.
Florestas vazias. 4. Caça. 5. Floresta Ombrófila Mista. 6.
Interação animal-plantas. 7. *Dasyprocta azarae*. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Defaunação e fragmentação florestal na mata atlântica subtropical e suas consequências para a regeneração de *Araucaria angustifolia*.

AUTOR: CARLOS RODRIGO BROCARDI

ORIENTADOR: MAURO GALETTI RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MAURO GALETTI RODRIGUES
Departamento de Ecologia / Instituto de Biociências de Rio Claro - SP


Prof. Dra. LAURENCE MARIANNE VINCIANNE CULOT
Departamento de Zoologia / Instituto de Biociências de Rio Claro - SP


Prof. Dr. MARCO AURELIO PIZO FERREIRA
Departamento de Zoologia / Instituto de Biociências de Rio Claro - SP


Prof.ª DR.ª CLARISSA ALVES DA ROSA
Instituto Alto Montana Serra Fina / Instituto Alto Montana Serra Fina


Prof. Dr. JOSÉ IGNACIO FERNANDEZ DE LA PRADILLA VILLAR
Departamento de Ecologia / UNESP RIO CLARO

Rio Claro, 13 de junho de 2017

Dedico a Amarildo, Diana e Daiane

O que os homens do Paraná executaram pelas derrubadas e queimadas do mato não pode ser descrito. Em nenhum outro país o mato é tão absurdamente destruído como aqui (1931)... Em pouco tempo as primitivas regiões de matas estarão completamente destruídas no Estado do Paraná. As últimas reservas de matas virgens talvez resistirão ainda durante uma geração (1968).

Reinhard Maack (1857-1969)

AGRADECIMENTOS

Aos membros da banca que gentilmente aceitaram o convite.

Ao Prof. Mauro pela confiança na execução do trabalho, pela paciência, pela dedicação, pela ajuda prestada, e valiosas dicas de redação que foram fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa e escrita dessa tese.

Aos colegas de Labic pela amizade e ajuda, em especial a Valesca B. Zipparro, Gabrielle Becca, Calebe Mendes, Felipe Pedrosa e Carolina Carvalho pelas corridas até a Pós graduação.

Aos colegas Ricardo Bonvendorp, Carolina Carvalho, Gabrielle, Felipe e Karina Emer pela gentil leitura dos capítulos.

A Felipe, Daiane Buscariol e Sérgio Nazareth pelo auxílio com a coleta de dados na Mantiqueira.

À UNESP por mais uma vez me acolher, e estendo os agradecimentos aos professores e colegas de pós-graduação pelos valorosos momentos em disciplinas. Sou muito grato também aos funcionários do Campus de Rio Claro, sobretudo ao pessoal da portaria, da pós-graduação, da biblioteca, da diretoria de Campus, do Instituto de Biociências, e dos departamentos de Zoologia e Ecologia, sempre disponíveis a me auxiliar.

Gostaria de agradecer em especial aos professores “oficiais” do curso de Frugivoria e Dispersão de Sementes pelas dicas e “frutíferas” discussões: Marco Aurélio Pizo, Mauro Galetti, Pedro Jordano e Wesley Silva.

Sou muito grato a Calebe e Abraão de Barros Leite por me hospedarem em Rio Claro.

Ao Instituto Neotropical, peça fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa, por possibilitar o pleito de financiamento e por fornecer o veículo. Agradeço a Gledson Bianconi e Fabiana Rocha-Mendes por toda ajuda durante a submissão e na execução do projeto. Igualmente sou grato aos demais colegas do INPCON por toda ajuda.

Agradeço muito à Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza por suportar grande parte da pesquisa apresentada nessa tese.

Sou grato ao CNPq pela bolsa concedida.

A Prof^a Ana Tereza B. Guimarães por me auxiliar nas dúvidas estatísticas.

Aos diversos estagiários, que deram auxílio imprescindível na coleta de dados.

A Mauro Costa e Robson Machado no auxílio em campo.

A Marina Silva e aos demais envolvidos no Projeto Carnívoros do Iguaçu, pela oportunidade de trabalho antes de entrar no doutorado.

Aos diretores de unidades de conservação, ao Instituto Ambiental do Paraná, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, secretaria de Meio Ambiente de Cascavel pelas autorizações à pesquisa. Agradeço também aos funcionários dessas Unidades de Conservação pelo auxílio constante durante a coleta de dados. No Parque Nacional do Iguaçu agradeço especialmente ao pessoal do PIC-Santa Tereza do Oeste pelo apoio fundamental à pesquisa.

Sou muito grato ainda aos proprietários rurais e proprietários de RPPNs, que gentilmente autorizaram a pesquisa nos de fragmentos florestais contidos em suas propriedades, estendendo meus agradecimentos aos funcionários dessas propriedades pelo auxílio e atenção.

Agradeço ao comando da 15ª Brigada de Infantaria Mecanizada por autorizar a pesquisa na reserva florestal que está sob sua responsabilidade. Sou grato pela atenção e ajuda prestada pelos oficiais e soldados durante a coleta de dados.

Ao Centro Universitário FAG por permitir a coleta de dados na reserva de mata nativa dessa instituição.

Aos amigos (sem citar nomes para não cometer injustiças devido ao esquecimento momentâneo) pelas conversas e incentivo!

A meu pai e minha mãe (Amarildo e Diana), que apesar de todas as dificuldades sempre propiciaram que eu apenas me dedicasse a minha formação profissional. Ao pai pelo empréstimo do carro da família que foi usado em grande parte do campo, e por sua ajuda em algumas campanhas de coleta de dados.

À minha família por me compreender e me amar.

Sumário	
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO GERAL	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO GERAL	3
Referências bibliográficas	9
CAPÍTULO I – Caracterização do ecossistema de estudo	15
Floresta Ombrófila Mista	16
Degradação, ameaças e conservação da Floresta Ombrófila Mista	22
Região principal de estudo	28
Referências bibliográficas	31
CAPÍTULO II - Large forest remnants and connectivity explain mammal resilience in a landscape dominated by commodity croplands	39
Abstract	41
1. Introduction	42
2. Materials and Methods	44
2.1 Study region	44
2.2 Survey	45
2.3 Measures of mammal assemblage integrity	47
2.3.1 Species richness and beta diversity	47
2.3.2 Mammal abundance	47
2.3.3 Defaunation	48
2.3.4 Conservation value	49
2.4 Analyses and environmental variables	50
3. Results	51
3.1 Species richness and beta diversity	51
3.2 Mammal abundance	54

3.3 Defaunation	54
3.4 Conservation value	56
4. Discussion	57
5. Conclusion and conservation measures	60
Acknowledgements	62
References	62
Supplemental material	75
References	81
CAPÍTULO III - Forest fragmentation and selective logging affect the seed survival and recruitment of a relictual conifer	82
Abstract	84
1. Introduction	85
2. Materials and Methods	87
2.1 Study species, ecosystem characteristics and threats	87
2.2 Study areas	88
2.3 Experiments	89
2.4 Statistical analyses	91
3. Results	92
3.1 Identifying and quantifying seed removers and interactions	92
3.2 Effects of buried treatment and distance from the parent tree on seed survival	96
3.4 Paraná-pine recruitment	97
4. Discussion	98
Acknowledgements	101
References	102
Supplemental Material	109
Study sites description	109
Environmental variables used in analyses of seed removal	111
References	114

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1. Diagrama conceptual das causas e consequências da defaunação imediatamente, em curto e médio prazo e no longo prazo. Adaptado de Galetti & Dirzo (2013). 5

Figura 2. Mudança na comunidade de mamíferos frugívoros e predadores de sementes em diferentes níveis de defaunação, com a gradual perda de dispersores de maior porte e crescimento na abundância de pequenos predadores de sementes. 6

Figura 3. Hipóteses testadas no capítulo III. 8

CAPÍTULO I

Figura 1. Distribuição principal da Floresta Ombrófila Mista (verde escuro) e núcleos menores com populações de pinheiros (triângulos em verde escuro) no contexto da Mata Atlântica original (verde claro) na América do Sul. 17

Figura 2. A) Pinheiro com altura estimada superior a 30 m no Parque Nacional do Iguaçu; B) pinheiro com copa típica em forma de taça; C) estróbilos masculinos maduros; D) estróbilos femininos imaturos, e; E) sementes maduras (Fotos: CR Brocardo). 19

Figura 3. Características da Floresta Ombrófila Mista - Padrão florestal com dois estratos arbóreos distintos (A - Parque Nacional do Iguaçu, B – Parque Municipal Danilo Galafassi). Sub-bosque: dominado por samambaias rasteiras (C); dominado por taquaral (D); “limpo”, com destaque para indivíduo juvenil de *Araucaria angustifolia* (E); e dominado por samambaias *Alsophila setosa* (F) (Fotos: CR Brocardo). 20

Figura 4. Degradação da Floresta Ombrófila Mista entre as décadas de 1950 e 1970 na cidade de Cascavel - Paraná. A) Derrubada de mata e queima para plantio de roça de subsistência; B) pinheiro derrubado com uso de serrote; C) com o advento do motosserra e do trator de esteira a devastação sobre a floresta foi acelerada; D) serraria com mata devastada ao fundo e torras de pinheiros centenários no pátio E) Madeira de *Araucaria angustifolia* serrada em pranchas para exportação para a Argentina; F) Redução da mata nativa frente à urbanização - o fragmento da foto corresponde ao atual Parque Ambiental Danilo Galafassi (Fonte das imagens: Museu da Imagem e Som de Cascavel, <http://www.cascavel.pr.gov.br/servicos/museu/index.php>, reprodução autorizada para autor).

23

Figura 5. Fotos de atividades cinegéticas no município de Cascavel - Paraná entre as décadas de 1950 e 1970. A) crianças em retrato com onça-pintada abatida em área que corresponde hoje às proximidades do centro município; B) anta criada provavelmente após o abate da progenitora - detalhe para arma e cães empregados em atividades cinegéticas; C) veado caçado em área aberta para roça de subsistência; D) abate de seis queixadas por grupo de caçadores (Fonte das imagens: Museu da Imagem e Som de Cascavel, <http://www.cascavel.pr.gov.br/servicos/museu/index.php>, reprodução autorizada para autor).

25

Figura 6. Quantidade de pinhão oficialmente comercializado (em toneladas) entre os anos de 1986 e 2015 para o Brasil (BR), e valores parciais para os estados com maior contribuição: Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS).

26

Figura 7. A) Localização da região Oeste do Paraná na área de distribuição principal da Floresta Ombrófila Mista (FOM); B) remanescentes florestais atuais presentes na região de estudo. A linha tracejada em verde escuro delimita a FOM, sendo o restante da região composto por Floresta Estacional Semidecidual.

29

Figura 8. A) Um dos poucos fragmentos da região que mantém grande quantidade de *A. angustifolia*, área que deveria ser transformada em Unidade Conservação; B) situação mais comum, com fragmento degradado e com baixa presença de pinheiros; C) pinheiros nativos isolados em lavoura, infelizmente a legislação é mais permissiva para liberação do corte nessa situação; D) pinheiros derrubados para duplicação de rodovia; E) abertura de via e loteamento, com a supressão de mata nativa em terreno com alta declividade e próximo a manancial de abastecimento humano; F) desmatamento em três hectares cortando fragmento florestal ao meio, com objetivo de lotear a área com chácaras de lazer. 30

CAPÍTULO II

Figure 1. Study region located in original Brazilian Atlantic Forest (high-left). Study sites (names and characteristic see Table 1). 45

Figure 2. Relationship between Forest patch size (Log_{10}) and species richness, abundance (ind/ 100 cam.day) and biomass (kg/ 100 cam.day). 52

Figure 3. Abundance and biomass of mammal groups in control site and fragments. **Top predator:** *P. onca* and *P. concolor*; **Mesopredators:** *C. thous*, *E. barbara*, *N. nasua* and *P. cancrivorus*; **Small cats:** *L. guttulus*, *L. pardalis*, *L. wiedii* and *P. yagouaroundi*; **Opossums:** *D. albiventris* and *D. aurita*; **Large rodents:** *C. paca*, *D. azarae* and *H. hydrochoerus*; **Armadillos:** *C. tatouay*, *D. novemcintus* and *E. sexcinctus*; **Ungulates:** *M. americana*, *M. nana*, *P. tajacu*, *T. pecari* and *T. terrestris*. 55

Figure S1. Pair-wise site comparison by β -diversity values as a function of the difference among the forest patches in terms of size and distance between them. 80

CAPÍTULO III

Figure 1. a) *Araucaria* moist forest in South America; b) Sampled sites, and; c) highlights for 1-9 sampled forest fragments (to site names see Table S1). 89

Figure 2. Percentage of *Araucaria angustifolia* seed non-removed, removed by scatter-hoarders and removed by seed predators, monitored through camera trap. Sites are ordered according to size. More details about sites see Table S1. 93

Figure 3. Proportion of *Araucaria angustifolia* seeds removed by green agouti (*Dasyprocta azarae*), plush-crested jay (*Cyanocorax chrysops*), Brazilian squirrel (*Guerlinguetus brasiliensis*), small rodents (family Cricetidae), black-capuchin monkeys (*Sapajus nigritus*), exotic feral pig (*Sus scrofa*) and white-lipped peccary (*Tayassu pecari*). Sites are presented in size order (See table S1). 96

Figure 4. Adult and juveniles density of *Araucaria angustifolia* in nine sites where we measure recruitment. Sites are presented in size order (See table S1). 97

Figure S1. Southeastern and Southern Brazilian municipalities with presence of feral pigs (*Sus scrofa*) in *Araucaria* moist forest (green) based in (Pedrosa et al. 2015). 113

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Número de espécies de mamíferos nativos não voadores identificados em algumas áreas de FOM, Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Semidecidual (FES)	21
---	----

CAPÍTULO II

Table 1. Characteristics of study sites and effort sampling (Ara = <i>Araucaria</i> moist Forest, Sd= Semideciduous Atlantic Forest).	46
Table 2. Results of Generalized Linear Model analysis. Significant explanatory variables are indicated in bold .	53
Table 3. Defaunation (D) based in abundance data (ab) and in presence-absence data (p). Conservation index (Ci) values and Mammalian priority conservation sites (Mpi). Medium and higher priority conservation sites are in bold .	56
Table S1. Species recorded in each site	75
Table S2. Results of First order Jackknife analysis	76
Table S3. Species taxonomy, mean body's mass and conservation status (according red lists of IUCN, Brazil and Paraná state)	77
Table S4. Mammal richness, proportion of species, abundance and biomass.	78
Table S5. Hunting signs found in study sites (recorded: 1; non-recorded: 0)	79

CAPÍTULO III

Table 1. Results from GLMM analyses for <i>Araucaria angustifolia</i> seed removal. In bold significant responses (All models and value of $\Delta AICc$ are presented in Table S2).	95
Table S1. Study sites, patch size and protection status. Number of sampled points with camera traps in each site and information on the experiment carried in each site	110

Table S2. Summary of GLMMs analyzed in seed removal and *Araucaria angustifolia* recruitment. Significant explanatory variables are in **bold**.

112

RESUMO GERAL

A ação humana tem levado ao declínio nas áreas cobertas por habitats naturais em todo mundo, levando consigo a perda de espécies e de interações ecológicas. Nesse contexto, com um mundo dominado pela presença humana, torna-se fundamental compreender como as espécies respondem a essas alterações, quais mecanismos permitem sua persistência, e como as suas interações ecológicas são afetadas. Nessa tese, com dados coletados entre 2013 e 2017, abordei dois temas, o primeiro busca compreender como fragmentação florestal atua na extinção e persistência de mastofauna (Capítulo II: Large forest remnants and connectivity explain mammal resilience in a landscape dominated by commodity croplands), e segundo busca avaliar como as interações com a árvore dominante (*Araucaria angustifolia*) no ecossistema de estudo são afetadas pela redução de habitat (Capítulo III: Forest fragmentation and selective logging affect the seed survival and recruitment of a relictual conifer). Os dados do Capítulo II foram coletados com armadilhamento fotográfico que somou mais de 8.236 câmeras-trap/dia, e os resultados indicaram o tamanho dos remanescentes como principal responsável pela manutenção da riqueza e biomassa de mamíferos de médio e grande porte. Os dados do Capítulo III foram coletados com uma série de experimentos de remoção de sementes e amostragem de regeneração de *A. angustifolia*, com resultados indicando o tamanho do fragmento e abundância de *A. angustifolia* como principais variáveis explanatórias em explicar as taxas de remoção de sementes, bem como a regeneração dessa espécie.

Palavras-chave: Floresta vazia, caça, Floresta Ombrófila Mista, interação animal-planta, *Dasyprocta azarae*

ABSTRACT

Humans have been occupying almost all ecosystems in the world, directly causing loss of species and ecological interactions. In this context, with a world dominated by humans, it is fundamental understanding how species respond to this changes, what mechanisms allow their persistence and how ecological interactions are affected. In this thesis, with data collected between 2013 and 2017, I addressed two themes, in the first one I investigated the effects of forest fragmentation on extinction and persistence of mammals (Chapter II: Large forest remnants and connectivity explain mammal resilience in a landscape dominated by commodity croplands), and in second theme, I evaluated how interactions with the dominant tree (*Araucaria angustifolia*) are affected by habitat reduction (Chapter III: Forest fragmentation and selective logging affect seed survival and recruitment of relictual conifer). The data of Chapter II were collected with camera trap sampling that added more than 8,236 camera-traps / day, and the results indicated the size of the remnants as the main predictor of richness and biomass of large and medium-sized mammals. The data of Chapter III were collected with seed removal experiments and sampling of *A. angustifolia* regeneration. The results indicated the fragment size and *A. angustifolia* abundance as main explanatory variables for explaining the rates of seed removal, as well as the regeneration of this species.

Key-words: Empty forest, poaching, *Araucaria* moist forest, animal-plant interaction, *Dasyprocta azarae*

INTRODUÇÃO GERAL

Ecossistemas de todo mundo têm sido convertidos em áreas dominadas por atividades humanas, como agricultura, pastagens para gado e áreas urbanas. Estima-se que 83% de terras livres de gelo no planeta sofram influência direta da presença humana (Sanderson et al. 2002), e a perda de florestas chegue perto de 200 mil km² por ano (Hansen et al. 2013). O saldo desse avanço é a substancial redução de habitats naturais, e a consequente fragmentação e degradação dos ambientes remanescentes (Haddad et al. 2015). De fato, a ação humana tem sido tão impactante na superfície do planeta que foi proposto que vivemos sob uma nova época geológica, o Antropoceno, onde uma espécie (*Homo sapiens*) tem conduzido alterações que vão desde grandes impactos locais, como conversão do uso do solo em agricultura intensiva de larga escala, a influências planetárias, como o aquecimento global, devido à emissão de carbono emitido por atividades industriais (Johnson et al. 2017; Smith & Zeder 2013; Steffen et al. 2011).

Uma das facetas do Antropoceno é a perda de espécies, que vem ocorrendo de forma tão acelerada que é comparável às extinções em massa ocorridas no passado do planeta (Barnosky et al. 2011; Dirzo et al. 2014). Estima-se que a atual taxa de extinção (número de espécies extintas / milhares de anos) seja até 1000 vezes superior que as taxas de extinção tenham sido no passado (Pimm et al. 2014). Sendo a redução de habitat, causada diretamente pelo avanço das atividades humanas, uma das principais responsáveis por essa crise de biodiversidade (Ceballos & Ehrlich 2002; Galetti & Dirzo 2013; Pimm et al. 2014; Young et al. 2016). Para clados como vertebrados, a redução de habitat tem sido particularmente danosa, levando a contrações na distribuição de diversos grupos (Gaston et al. 2003; Hoffmann et al. 2010). Faunas intactas de mamíferos terrestres de maior porte (>20 kg), por exemplo, só podem ser

encontradas em menos de 21% da superfície do planeta, e na maioria dos casos se restringem a habitats remotos (Morrison et al. 2007).

Embora outros fatores atuem em sinergismo com a redução de habitat, como a sobre-exploração das espécies, que no caso de animais terrestres está, sobretudo, ligada à caça (Dirzo et al. 2014; Galetti & Dirzo 2013; Peres & Palacios 2007; Wilkie et al. 2011; Young et al. 2016) (Figura 1). A caça de subsistência, e principalmente a comercial, tem levado a declínios de até 90% na abundância de mamíferos e de até 76% na abundância de aves em ambientes tropicais (Benítez-López et al. 2017). Essa atividade se torna substancialmente favorecida pela fragmentação de habitats (Cullen et al. 2001; Peres 2001), embora cause danos mesmo a populações silvestres em habitats naturais pouco modificados (Antunes et al. 2016; Galetti et al. 2016; Galetti & Dirzo 2013; Peres & Palacios 2007). De fato o termo “floresta vazia” expressa bem esse fenômeno, a perda de animais em ambientes relativamente prístinos (Redford 1992; Wilkie et al. 2011). Diferente de perdas de cobertura de vegetação natural, que podem ser facilmente perceptível, mesmo por meios remotos, a perda de espécies animais dentro de ambientes naturais é mais difícil de ser percebida e mensurada, e se desdobra para consequências diversas no ambiente, sendo uma das peculiaridades da “defaunação contemporânea” (Galetti & Dirzo 2013; Peres & Palacios 2007). A defaunação contemporânea foi pela primeira vez abordada em 1988, durante o Simpósio Internacional de interação animal-planta, realizado na Universidade Estadual de Campinas (Galetti & Dirzo 2013), e posteriormente debatida em dois trabalhos (Dirzo & Miranda 1990; Dirzo & Miranda 1991). Desde então estudos vem reforçando as consequências da defaunação sobre processos ecológicos, e mesmo evolutivos, nos quais os animais estão envolvidos (Figura 1) (Dirzo et al. 2014; Estes et al. 2011; Galetti et al. 2013; Young et al. 2016).

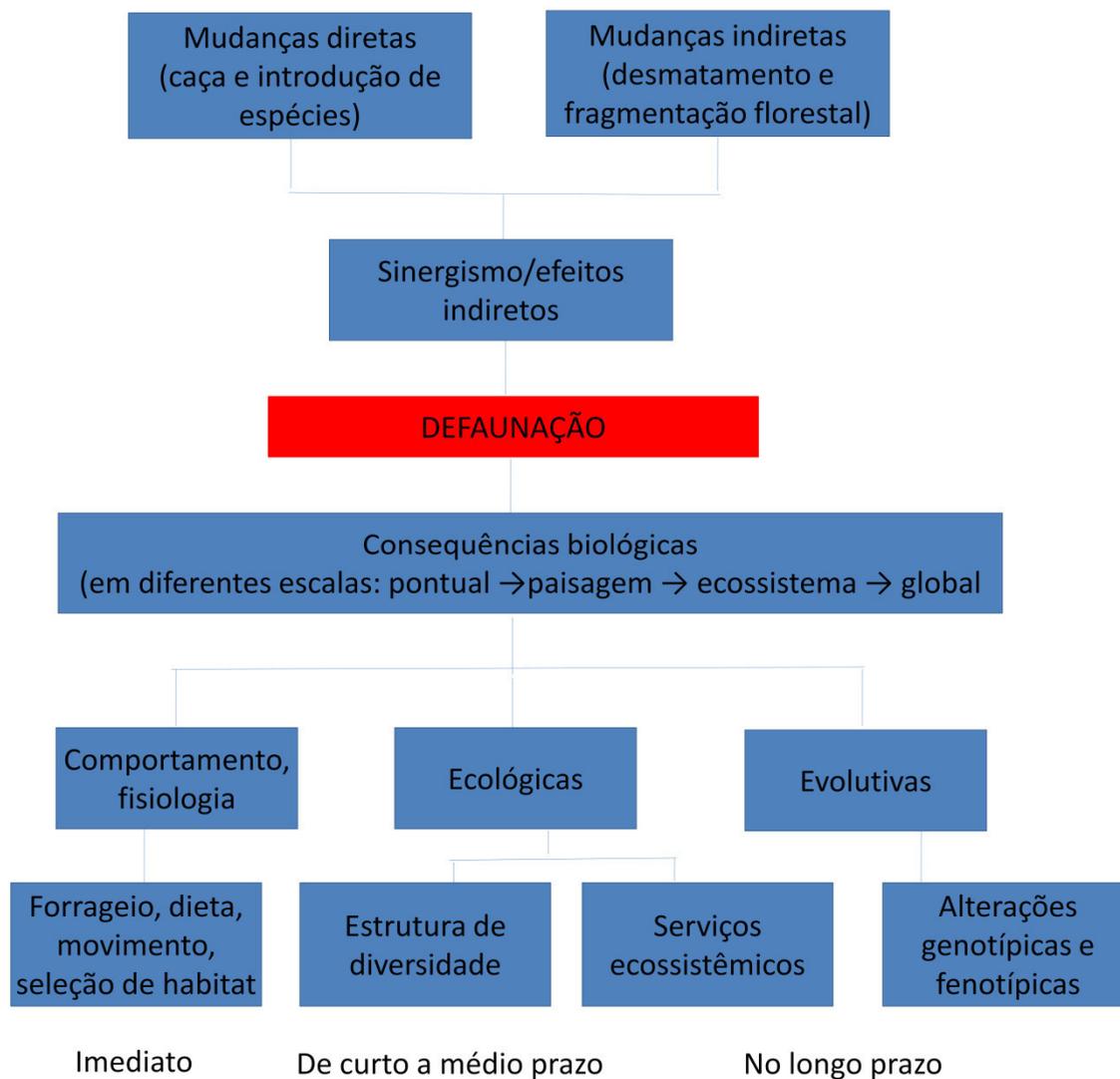


Figura 1. Diagrama conceitual das causas e consequências da defaunação imediatamente, em curto e médio prazo e no longo prazo. Adaptado de Galetti & Dirzo (2013).

A perda de predadores de topo de cadeia pode levar ao crescimento descontrolado de herbívoros, o que prejudica o recrutamento vegetal, além de indiretamente afetar populações de outros animais (Côté et al. 2004; Estes et al. 2011). Já a baixa presença de herbívoros, como ungulados, diminui a pressão sobre a vegetação (Brocardo et al. 2013; Estes et al. 2011; Silman et al. 2003), e ainda pode influenciar no aumento da população de espécies de menor porte, como roedores, devido ao relaxamento competitivo (Figura 2) (Galetti et al. 2015b; Young et al. 2015). Para processos como a

dispersão e predação de sementes, a defaunação atua de forma antagônica, diminuindo por um lado as taxas de dispersão dos propágulos (Galetti et al. 2006; Nuñez-Iturri et al. 2008; Terborgh et al. 2008; Wright et al. 2007; Wright et al. 2000), ao mesmo tempo que por outro lado aumenta a incidência de predação sobre as sementes, devido ao crescimento da população de pequenos roedores, principais granívoros, que além de não serem espécies preferenciais de caçadores, tendem a ser favorecidas pela ausência das espécies maiores (Figura 2) (Galetti et al. 2015a; Galetti et al. 2015b; Wright et al. 2000).

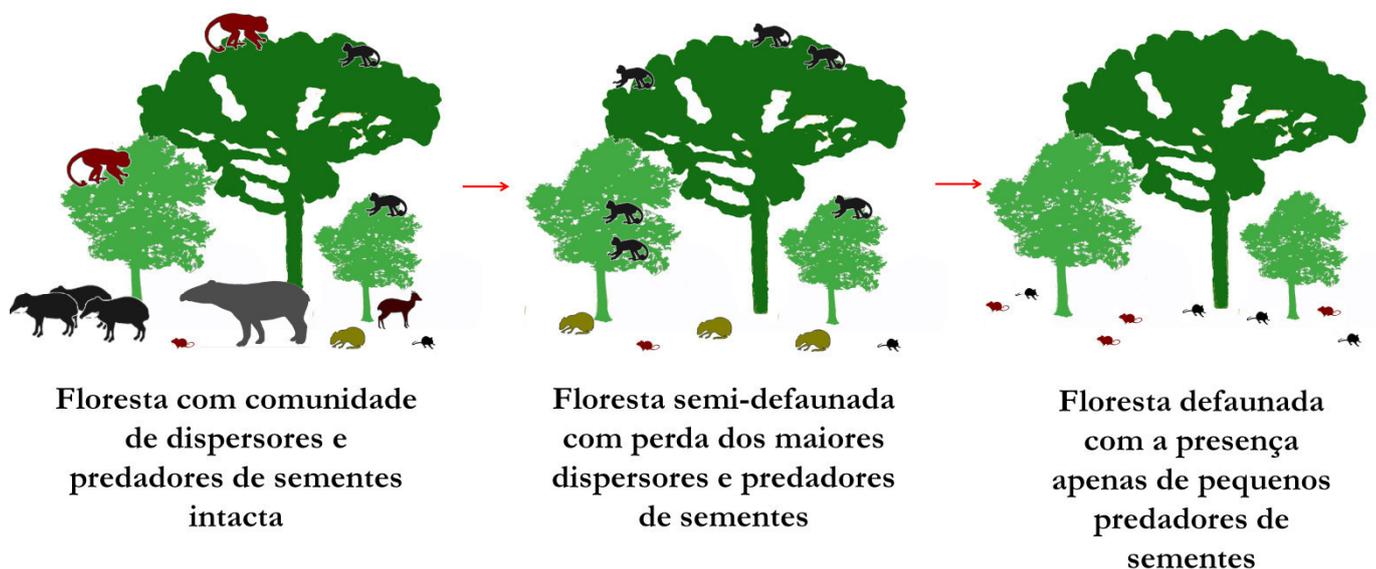


Figura 2. Mudança na comunidade de mamíferos frugívoros e predadores de sementes em diferentes níveis de defaunação, com a gradual perda de dispersores de maior porte e crescimento na abundância de pequenos predadores de sementes.

Além dos danosos efeitos que a quebra de interações têm nos ecossistemas, em última instância a defaunação afeta os serviços ecossistêmicos providos às sociedades humanas (Bello et al. 2015; Galetti et al. 2015b; Young et al. 2016). Por exemplo, animais de maior porte dispersam sementes maiores, que pertencem às espécies de árvores com madeira mais dura, ou seja, que têm maior potencial de sequestro de carbono, desse modo, com a perda de grandes dispersores a floresta passa a reter menos carbono (Bello

et al. 2015). Assim ampliar a proteção sobre as espécies e os ecossistemas tem implicações não só na conservação da biodiversidade, mas também importância vital para nossa própria existência no planeta (Crist et al. 2017; Johnson et al. 2017). Para esse propósito é fundamental compreender quais mecanismos permitem a persistência das espécies, e como suas interações ecológicas são afetadas em um mundo antrópico. Da mesma forma é um grande desafio indicar como podemos atuar para minimizar os impactos das ações humanas, e como reverter esses processos.

No capítulo I desse trabalho apresento uma descrição do ambiente de estudo e as ameaças à sua conservação. Nos capítulos subsequentes apresento resultados de minha pesquisa em campo. No capítulo II (Large forest remnants and connectivity explain mammal resilience in a landscape dominated by commodity croplands) avaliei a resiliência, riqueza, abundância e biomassa de mamíferos de médio e grande porte na Mata Atlântica subtropical, sobretudo na Floresta Ombrófila Mista em relação aos efeitos do tamanho do habitat remanescente e a conectividade. Em um segundo experimento (Capítulo III: Forest fragmentation and selective logging affect the seed survival and recruitment of a relictual conifer) medi os efeitos combinados da fragmentação florestal e da alteração na comunidade de granívoros sobre a predação e regeneração da árvore dominante nesse ecossistema, *Araucaria angustifolia*, testando as hipóteses apresentadas na Figura 3.

Os resultados obtidos nessa tese preenchem uma lacuna de conhecimento sobre uma importante região do Bioma Mata Atlântica, bem como direcionam medidas que poderão mitigar os efeitos antrópicos sobre esse e outros ecossistemas.

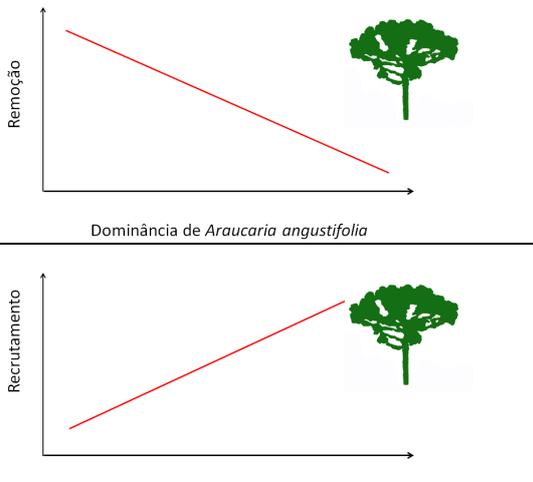
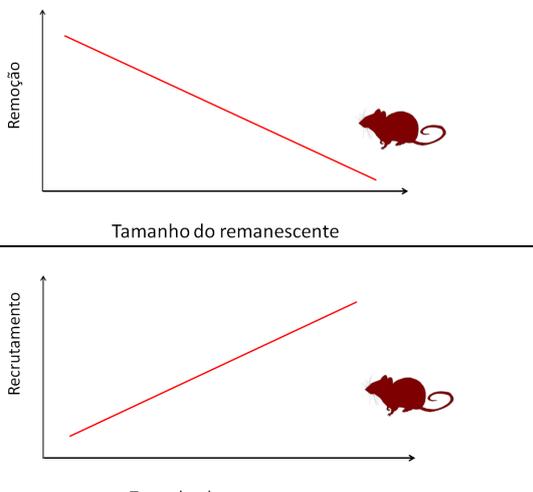
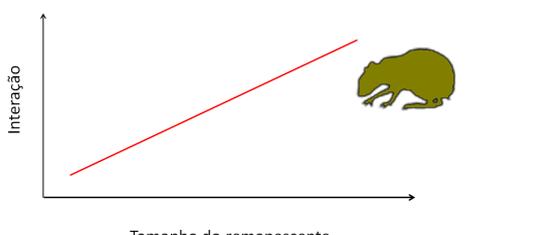
Hipótese	Reposta esperada
<p>Hipótese I: A remoção de sementes de <i>Araucaria angustifolia</i> será negativamente relacionada à dominância dessa espécie, e em sentido oposto, a regeneração será positivamente relacionada à dominância.</p>	
<p>Hipótese II: A remoção de sementes de <i>Araucaria angustifolia</i> será negativamente relacionada ao tamanho do remanescente florestal, devido, sobretudo ao crescimento nas interações com pequenos roedores. A regeneração seguirá sentido oposto, sendo positivamente relacionada ao tamanho do remanescente.</p>	
<p>Hipótese III: A interação com cutias (<i>Dasyprocta azarae</i>), maior dispersor de <i>A. angustifolia</i>, será negativamente relacionada ao tamanho da área remanescente.</p>	
<p>Hipótese IV: Sementes enterradas (estocadas no solo) terão maior probabilidade de sobreviver do que sementes deixadas acima do solo, independentemente da distância de <i>A. angustifolia</i> produtivas.</p>	

Figura 3. Hipóteses testadas no capítulo III.

Referências bibliográficas

- Antunes, A. P., R. M. Fewster, E. M. Venticinque, C. A. Peres, T. Levi, F. Rohe, and G. H. Shepard. 2016. Empty forest or empty rivers? A century of commercial hunting in Amazonia
10.1126/sciadv.1600936. *Science Advances* **2**.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, and K. C. Maguire. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* **471**:51-57.
- Bello, C., M. Galetti, M. A. Pizo, L. F. S. Magnago, M. F. Rocha, R. A. F. Lima, C. A. Peres, O. Ovaskainen, and P. Jordano. 2015. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Science Advances* **1**.
- Benítez-López, A., R. Alkemade, A. Schipper, D. Ingram, P. Verweij, J. Eikelboom, and M. Huijbregts. 2017. The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science* **356**:180-183.
- Brocardo, C. R., V. B. Zipparro, R. A. F. de Lima, R. Guevara, and M. Galetti. 2013. No changes in seedling recruitment when terrestrial mammals are excluded in a partially defaunated Atlantic rainforest. *Biological Conservation* **163**:107-114.
- Ceballos, G., and P. R. Ehrlich. 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* **296**:904-907.
- Côté, S. D., T. P. Rooney, J.-P. Tremblay, C. Dussault, and D. M. Waller. 2004. Ecological Impacts of Deer Overabundance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **35**:113-147.
- Crist, E., C. Mora, and R. Engelman. 2017. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection

- 10.1126/science.aal2011. Science **356**:260-264.
- Cullen, L., E. Bodmer, and C. Valladares-Padua. 2001. Ecological consequences of hunting in Atlantic forest patches, São Paulo, Brazil. *Oryx* **35**:137-144.
- Dirzo, R., and A. Miranda. 1990. Contemporary neotropical defaunation and forest structure, function, and diversity "a sequel to John Terborgh". *Conservation Biology* **4**:444-447.
- Dirzo, R., and A. M. Miranda. 1991. Altered patterns of herbivory and diversity in forest understory: a case study of the possible consequences of contemporary defaunation. Pages 273-287 in P. W. Price, T. M. Lewinsohn, G. W. Fernández, and W. W. Benson, editors. *Plant-Animal interactions: Evolutionary ecology in tropical and temperate regions*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Dirzo, R., H. S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N. J. B. Isaac, and B. Collen. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* **345**:401-406.
- Estes, J. A., J. Terborgh, J. S. Brashares, M. E. Power, J. Berger, W. J. Bond, S. R. Carpenter, T. E. Essington, R. D. Holt, J. B. C. Jackson, R. J. Marquis, L. Oksanen, T. Oksanen, R. T. Paine, E. K. Pikitch, W. J. Ripple, S. A. Sandin, M. Scheffer, T. W. Schoener, J. B. Shurin, A. R. E. Sinclair, S. M. E., R. Virtanen, and D. A. Wardle. 2011. Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science* **333**:301-306.
- Galetti, M., R. S. Bovendorp, and R. Guevara. 2015a. Defaunation of large mammals leads to an increase in seed predation in the Atlantic forests. *Global Ecology and Conservation* **3**:824-830.
- Galetti, M., C. Brocardo, R. Begotti, L. Hortenci, F. Rocha-Mendes, C. Bernardo, R. Bueno, R. Nobre, R. Bovendorp, and R. Marques. 2016. Defaunation and

biomass collapse of mammals in the largest Atlantic forest remnant. *Animal Conservation*.

Galetti, M., and R. Dirzo. 2013. Ecological and evolutionary consequences of living in a defaunated world. *Biological Conservation* **163**:1-6.

Galetti, M., C. I. Donatti, A. S. Pires, P. R. Guimarães, and P. Jordano. 2006. Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation. *Botanical Journal of the Linnean Society* **151**:141-149.

Galetti, M., R. Guevara, M. C. Côrtes, R. Fadini, S. Von Matter, A. B. Leite, F. Labecca, T. Ribeiro, C. S. Carvalho, R. G. Collevatti, M. M. Pires, P. R. Guimarães, P. H. Brancalion, M. C. Ribeiro, and P. Jordano. 2013. Functional Extinction of Birds Drives Rapid Evolutionary Changes in Seed Size. *Science* **340**:1086-1090.

Galetti, M., R. Guevara, C. L. Neves, R. R. Rodarte, R. S. Bovendorp, M. Moreira, J. B. Hopkins, and J. D. Yeakel. 2015b. Defaunation affects the populations and diets of rodents in Neotropical rainforests. *Biological Conservation* **190**:2-7.

Gaston, K. J., T. M. Blackburn, and K. K. Goldewijk. 2003. Habitat conversion and global avian biodiversity loss. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **270**:1293-1300.

Haddad, N. M., L. A. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzalez, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, J. O. Sexton, M. P. Austin, C. D. Collins, W. M. Cook, E. I. Damschen, R. M. Ewers, B. L. Foster, C. N. Jenkins, A. J. King, W. F. Laurance, D. J. Levey, C. R. Margules, B. A. Melbourne, A. O. Nicholls, J. L. Orrock, D.-X. Song, and J. R. Townshend. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* **1**.

- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. Stehman, S. Goetz, and T. Loveland. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science* **342**:850-853.
- Hoffmann, M., C. Hilton-Taylor, A. Angulo, M. Böhm, T. M. Brooks, S. H. Butchart, K. E. Carpenter, J. Chanson, B. Collen, and N. A. Cox. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *science* **330**:1503-1509.
- Johnson, C. N., A. Balmford, B. W. Brook, J. C. Buettel, M. Galetti, L. Guangchun, and J. M. Wilmshurst. 2017. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene
10.1126/science.aam9317. *Science* **356**:270-275.
- Morrison, J. C., W. Sechrest, E. Dinerstein, D. S. Wilcove, and J. F. Lamoreux. 2007. Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts. *Journal of Mammalogy* **88**:1363-1380.
- Núñez-Iturri, G., O. Olsson, and H. F. Howe. 2008. Hunting reduces recruitment of primate-dispersed trees in Amazonian Peru. *Biological Conservation* **141**:1536-1546.
- Peres, C. A. 2001. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on Amazonian forest vertebrates. *Conservation biology* **15**:1490-1505.
- Peres, C. A., and E. Palacios. 2007. Basin-Wide Effects of Game Harvest on Vertebrate Population Densities in Amazonian Forests: Implications for Animal-Mediated Seed Dispersal. *Biotropica* **39**:304-315.
- Pimm, S. L., C. N. Jenkins, R. Abell, T. M. Brooks, J. L. Gittleman, L. N. Joppa, P. H. Raven, C. M. Roberts, and J. O. Sexton. 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* **344**:1246752.
- Redford, K. H. 1992. The Empty Forest. *BioScience* **42**:412-422.

- Sanderson, E. W., M. Jaiteh, M. A. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo, and G. Woolmer. 2002. The Human Footprint and the Last of the Wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *BioScience* **52**:891-904.
- Silman, M. R., J. W. Terborgh, and R. A. Kiltie. 2003. Population regulation of a dominant rain forest tree by a major seed predator. *Ecology* **84**:431-438.
- Smith, B. D., and M. A. Zeder. 2013. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene* **4**:8-13.
- Steffen, W., J. Grinevald, P. Crutzen, and J. McNeill. 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**:842-867.
- Terborgh, J., G. Nuñez-Iturri, N. C. A. Pitman, F. H. C. Valverde, P. Alvarez, V. Swamy, E. G. Pringle, and C. E. T. Paine. 2008. Tree recruitment in an empty forest. *Ecology* **89**:1757-1768.
- Wilkie, D. S., E. L. Bennett, C. A. Peres, and A. A. Cunningham. 2011. The empty forest revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1223**:120-128.
- Wright, S. J., A. Hernández, and R. Condit. 2007. The bushmeat harvest alters seedling banks by favoring lianas, large seeds, and seeds dispersed by bats, birds, and wind. *Biotropica* **39**:363-371.
- Wright, S. J., H. Zeballos, I. Dominguez, M. M. Gallardo, M. C. Moreno, and R. Ibáñez. 2000. Poachers alter mammal abundance, seed dispersal, and seed predation in a Neotropical forest. *Conservation Biology* **14**:227-239.

Young, H. S., D. J. McCauley, R. Dirzo, J. R. Goheen, B. Agwanda, C. Brook, E.

Otarola-Castillo, A. W. Ferguson, S. N. Kinyua, and M. M. McDonough. 2015.

Context-dependent effects of large-wildlife declines on small-mammal

communities in central Kenya. *Ecological Applications* **25**:348-360.

Young, H. S., D. J. McCauley, M. Galetti, and R. Dirzo. 2016. Patterns, Causes, and

Consequences of Anthropocene Defaunation. *Annual Review of Ecology,*

Evolution, and Systematics **47**.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conversão de terras para agricultura e a caça constituem as principais ameaças a resiliência de vertebrados nos mais diversos ecossistemas. A primeira atua na redução de ambientes disponíveis, e a segunda persiste mesmo nos habitats remanescentes. Como resultado ocorrem extinções locais, baixa na abundância de várias espécies e alteração na intensidade das interações ecológicas. Essa tese trouxe resultados inéditos para uma região de Mata Atlântica subtropical pouco explorada cientificamente que, contudo, já foi altamente convertida em uma paisagem dominada por atividades antrópicas.

No capítulo II fica evidente o efeito prejudicial da redução de habitat sobre a riqueza e biomassa de mamíferos de médio e grande porte. Assim a presença de grandes remanescentes florestais se mostrou fundamental para manutenção de riqueza de espécies e, sobretudo, em abrigar os maiores mamíferos. Aumentar a conectividade e, principalmente a proteção contra a caça, são medidas urgentes e necessárias para crescer as probabilidades de persistência dos mamíferos na paisagem de estudo. Nesse contexto, evitar desmatamentos, mesmo que de pequenos fragmentos ou parte de grandes áreas, é essencial para que os mamíferos possam aumentar suas populações e expandir suas ocupações. Oportunidades para recomposição de vegetação nativa também existem, por exemplo, na mata ciliar do rio Iguaçu, que conecta o Parque Nacional do Iguaçu e o Parque Estadual Rio Guarani, há um grande déficit de cobertura florestal nativa, situação que está em desacordo com o que legisla o Código Florestal. Essa recomposição poderia ser financiada por hidrelétricas (em funcionamento em construção) como medida de mitigação de impactos ambientais causados ao longo desse rio.

Os resultados do capítulo III demonstraram que a fragmentação florestal e alterações na comunidade de predadores de sementes levaram ao crescimento na remoção de sementes da árvore dominante (*Araucaria angustifolia*), o que somado a baixa abundância da espécie, devido ao corte seletivo no passado, reduz a regeneração em fragmentos florestais. Esse resultado destaca o efeito negativo do corte seletivo, medida de manejo proposta por setores madeireiros, e mesmo acadêmicos, como alternativa sustentável para conservação e uso da Floresta Ombrófila Mista. Como a presença e a dominância de *A. angustifolia* definem a Floresta Ombrófila Mista, o seu baixo recrutamento resultará em uma floresta ainda mais descaracterizada no futuro. Dado o baixo número de *A. angustifolia* em diversos fragmentos, a melhor medida de conservação seria o replantio ativo da espécie dentro dessas áreas, principalmente nas bordas florestais, o que poderia no futuro gerar maiores taxas de recrutamento dessa conífera globalmente ameaçada. Em áreas onde ainda ocorre a dominância da espécie, um controle rigoroso na coleta de sementes poderia resultar em maior saciação dos dispersores – que têm persistência mesmo nos menores fragmentos - aumentando assim as taxas de regeneração natural.

Em conclusão, embora a fragmentação florestal na Floresta Ombrófila Mista tenha causado perdas pontuais de espécies de mamíferos nos fragmentos e alterações na regeneração florestal, os resultados obtidos nessa tese demonstram que tanto a riqueza de mastofauna quanto o processo de recrutamento florestal, embora alterados, continuam resilientes dentro da paisagem amostrada. Um manejo integrado das Unidades de Conservação e de florestas particulares pode crescer substancialmente o nosso poder de conservação nessa situação, sendo fundamental, contudo, o engajamento da sociedade civil, cobrando e atuando junto com o poder público, para obtenção de melhores resultados e em menor espaço de tempo.