
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Gustavo Amado Rigatto

**Como espécies invasoras afetam a diversidade
taxonômica e funcional de mamíferos na Mata
Atlântica?**



Rio Claro - SP
2023

GUSTAVO AMADO RIGATTO

**COMO ESPÉCIES INVASORAS AFETAM A DIVERSIDADE
TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE MAMÍFEROS NA MATA
ATLÂNTICA?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Tadeu de Siqueira Barros

Rio Claro - SP

2023

R565c Rigatto, Gustavo Amado
Como espécies invasoras afetam a diversidade taxonômica e funcional de mamíferos na Mata Atlântica? / Gustavo Amado Rigatto. -- Rio Claro, 2023
28 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Tadeu de Siqueira Barros

1. comunidades biológicas. 2. espécies exóticas. 3. biodiversidade. 4. diversidade funcional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GUSTAVO AMADO RIGATTO

**COMO ESPÉCIES INVASORAS AFETAM A DIVERSIDADE
TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE MAMÍFEROS NA MATA
ATLÂNTICA?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas.

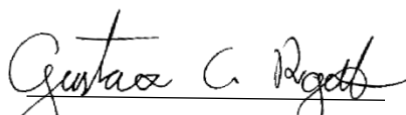
BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Tadeu de Siqueira Barros (orientador)

Dr. Mauricio Humberto Vancine

Dr. José Wagner Ribeiro Junior

Aprovado em: 05 de junho de 2023


Assinatura do discente


Assinatura do(a) orientador(a)

Ao meu irmão, Guilherme Amado Rigatto,
As memórias contigo são meu maior presente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu Pai, Pedro Rigatto, pela ajuda, suporte, conversas sobre abajures e, principalmente, por ser meu modelo. Obrigado por ser meu super-herói.

Agradeço minha mãe, Silvia Elisa, pelo carinho, risadas, conselhos, puxões de orelha e pela presença na minha vida.

Se consegui alcançar qualquer coisa na vida, foi porque vocês sempre estiveram comigo, sendo meu suporte. Tenho orgulho de ser filho de vocês, casal 20.

Agradeço a Tia Nena e vovó Tatá, pelas prosas sempre muito gostosas, por sempre terem um cafezinho, guloseima ou comida para mim e pelo eterno suporte e amor.

Agradeço aos (Ex-) cvjeiros: Logan Fitipaldi, meu mais velho amigo, e Danilo Bianchin, meu amigo velho, pelas noites de bebedeiras e churrasquinhos, mas principalmente por fazerem parte da minha vida. Vocês são os irmãos que eu escolhi, e não poderia ter escolhido melhor.

Agradeço a Júlia Araújo e a Carolina Campioni por sempre me escutarem reclamar dos mesmos problemas inúmeras vezes, por sempre me entenderem e me darem ótimos conselhos e por (quando possível) dar rolêzinhos comigo.

Agradeço a Catarina Cibim e Talita Santos El Hindi por aguentarem conviver comigo por 2 anos na mesma casa, pelos cházinhos de procrastinação e pelo suporte imenso. Foi uma experiência sensacional ser um suricato plutoniano com vocês e não a trocava por nada.

Agradeço a Juliana Rodrigues e Lucas Fazardo, dois terços do meu trisal favorito, pelas fofocas, zueiras, stalkeadas, noites de bebedeira e principalmente pelas conversas quase sempre instrutivas.

Agradeço a Mario Caccalano e Natália Alleoni pelas noites no Santa Loira, troca de vídeos (de curiosidades e de The Office, respectivamente) e por sempre estarem lá para me ajudar.

Agradeço a Isabela Reis e Alicia De Mitri, por compartilharem do meu humor duvidoso, mas sempre muito bom, e me acudir na faculdade.

Agradeço a Hayen Alonso, Dani Benace e Francisco Lara por enriquecer minhas experiências na faculdade, nas festas, nos rolês e nas conversas na cantina.

Vocês, meus amigos, são pessoas sensacionais e merecem ser felizes. Agradeço por terem feito parte da minha vida, da minha jornada, e, portanto, de quem eu sou. É minha felicidade levar um pouquinho de cada um de vocês comigo.

Agradeço a SEBio, ou melhor, as comissões de organização da SEBio que fiz parte. Com vocês pude aprender, desenvolver novas habilidades, ter contato com tantos temas dentro da biologia, e tudo isso sempre rindo muito.

Agradeço ao meu orientador e professor Tadeu de Siqueira Barros, por me introduzir na ecologia de comunidades e por me guiar na difícil tarefa de desenvolver uma iniciação científica, que posteriormente veio a ser esse trabalho. Obrigado pela paciência e dedicação na minha formação.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo fomento a minha pesquisa através do edital 4/2021-PIBIC.

Sem vocês não conseguiria ter feito este trabalho, muito menos a graduação. Obrigado.

"O maior bem do homem é uma mente inquieta."

Isaac Asimov

RESUMO

Animais invasores são uma das maiores ameaças à biodiversidade atualmente. Os mamíferos invasores, especificamente, são responsáveis por metade das extinções atuais de aves, répteis, e outros mamíferos. A interação nativo-invasor acontece de diferentes formas, podendo ser direta, como através da predação, competição e hibridização, ou indireta, quando os invasores interferem na relação da biota nativa com o ecossistema local. Ambas as interações resultam na modificação tanto da composição taxonômica como a de atributos das comunidades locais, sendo estas agravadas por distúrbios como desmatamento, incêndios e a pastagem de herbívoros que intensificam de forma sinérgica ou aditiva os efeitos das espécies invasoras. Com isso, pode-se argumentar que a Mata Atlântica é um dos biomas brasileiros potencialmente mais vulneráveis aos efeitos de mamíferos invasores pois, além de conter apenas 26% da sua mata original, é o território nacional que apresenta a maior população humana e sofre de problemas como caça e fragmentação. Mesmo que a presença dos animais invasores traga tantas consequências prejudiciais, essas ainda não são totalmente compreendidas. Assim, o presente estudo se propõe a analisar os efeitos de mamíferos invasores sobre comunidades de mamíferos nativos da Mata Atlântica. Mais especificamente testamos como a invasão afeta a riqueza de espécies e diversidade funcional de nativos. Esperávamos que a presença de invasores teria um efeito negativo na diversidade taxonômica e funcional de mamíferos da Mata Atlântica. Contrário à nossa previsão, encontramos uma relação positiva entre a riqueza de invasores e nativos. Isto é, locais com mais mamíferos invasores tendem a ter mais mamíferos nativos. Porém, confirmando nossa expectativa, encontramos uma relação negativa entre diversidade funcional de nativos e invasores, indicando que comunidades que tem mamíferos invasores mais funcionalmente diferentes tendem a ter mamíferos nativos mais funcionalmente parecidos.

Palavras-chave: comunidades biológicas, espécies exóticas, biodiversidade, diversidade funcional.

ABSTRACT

Invasive animals are currently one of the greatest threats to biodiversity. Specifically invasive mammals are responsible for half of the current extinctions of birds, reptiles and other mammals. This native-invasive interaction happens in different ways: directly, as through predation, competition and hybridization, or indirectly, when invasive species interfere in the native biotic relationship with the local ecosystem. Both interactions results in taxonomic and attribute modifications of communities. These being aggravated by disturbances such as deforestation, fires and large herbivore grazing, that synergistically or additively intensifies the effects of invasive species. Therefore, one could argue, that the Atlantic Forest is one of the most vulnerable Brazilian biomes the invasive mammals can affect, because, in addition to having only 26% of its original vegetation, it is the national territory with the biggest human population, and suffer from problems such as hunting and fragmentation. Even though the presence of invasive animals brings so many harmful consequences, these are not fully understood. Thus, this study aims to analyze the effects of invasive mammals on the community of Atlantic forest's native mammals. More precisely, we tested how the invasion affects native species' richness and functional diversity. We expected that the presence of invasive mammals would have a negative effect on the native taxonomic and functional diversity. Contrary to our predictions, we found a positive link between invasive and native richness. *i.e.* locations where there are more invasive mammals tend to have more native mammals. We also found a negative link, confirming our expectations, between invasive and native functional diversity, indicating that communities that have more functionally dissimilar invasive mammals, tend to have more functionally similar native mammals

Key-words: biological communities, exotic species, biodiversity, functional diversity.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	9
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
3.1	Obtenção dos dados	9
3.2	Geoprocessamento com arcmap.....	9
3.3	Manipulação de dados com R	11
4.	RESULTADOS	12
4.1	Riqueza Taxonômica.....	12
4.2	Diversidade Funcional	18
5.	DISCUSSÃO	22
6.	CONCLUSÃO	24
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

Espécies invasoras são aquelas não nativas à biota local e que afetam a dinâmica dos ecossistemas invadidos (ROSA, 2015). Dentre as espécies invasoras, os mamíferos são especialmente danosos, sendo responsáveis por 58% das extinções modernas de aves, de répteis, de outros mamíferos (DOHERTY *et al.*, 2016). Embora apenas uma pequena porção de mamíferos possa ser considerada invasora de sucesso, a taxa de estabelecimento desses animais, quando comparados a outros grupos, é alta (CLOUT; RUSSELL, 2008). Por isso, as recorrentes oportunidades que estes animais tiveram, ocasionais ou não, atuais e históricas, de se estabelecer, garantiram sua presença envolta do globo (BELLARD; GENOVESI; JESCHKE, 2016). A frequência com que um número de indivíduos de uma espécie é introduzida em um local (pressão de propágulo (SIMBERLOFF, 2009)) é especialmente prejudicial em áreas com alta densidade demográfica e atividade antrópica, já que estas causam distúrbios nos ecossistemas locais (SMALLWOOD, 1994), o que facilita o estabelecimento de espécies exóticas (JESCHKE; GENOVESI, 2011).

As espécies invasoras podem afetar os ecossistemas de diferentes maneiras. Elas podem interferir na biota local em diferentes níveis (genético, individual, populacional, de comunidade e ecossistêmico) (CRYSTAL-ORNELAS; LOCKWOOD, 2020) e através de diversos processos, de forma indireta, como ao preda, competir, disseminar doenças (DA ROSA *et al.*, 2018) e hibridizar (VILÀ *et al.*, 2011) com nativos e de forma indireta, como ao alterar características físico-químicas do ambiente (CROOKS, 2002; DA ROSA, 2015). O javali europeu (*Sus scrofa*) é um bom exemplo. Ele preda e compete com espécies de vertebrados locais e altera as características físicas e químicas locais por serem “engenheiros de ecossistemas”, causando grande prejuízo, tanto econômico, para lavouras, quanto ecológicos, com a destruição de habitats e ninhos (DA ROSA, 2015).

As implicações dessas espécies para além da dinâmica dos ecossistemas também são severas. Economicamente, o custo desses animais não é desprezível, os danos causados por estes em escala global, podem chegar a 100 bilhões anualmente (DA ROSA *et al.*, 2017). Na esfera ambiental, invasores têm profundos impactos, dentre esses efeitos pode-se citar a alteração da riqueza de espécies (MOLLOT; PANTEL; ROMANUK, 2017), a interferência na interação entre organismos

e processos ecossistêmicos (CLOUT; RUSSELL, 2008), o aumento do risco de extinção (BLACKBURN; BELLARD; RICCIARDI, 2019) e a modificação da diversidade funcional (SAYOL *et al.*, 2021). Tais impactos são maiores em ecossistemas deturpados do que naqueles sem distúrbios. Isso porque, distúrbios ambientais podem interagir entre si de forma sinérgica ou aditiva (DOHERTY *et al.*, 2015). Então, considerando esta relação, pode-se argumentar que a Mata Atlântica é um dos biomas brasileiros mais vulneráveis às espécies invasoras. Embora seja um *hotspot* de biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000), conta com apenas 28% de vegetação de sua área original (REZENDE *et al.*, 2018), é o território brasileiro com maior população humana e sofre com problemas de caça, fragmentação e incêndios (PINTO *et al.*, 2004)

Para se medir os impactos ambientais que espécies invasoras causam na biodiversidade pode-se utilizar, entre muitas ferramentas, a diversidade alfa. A diversidade alfa refere-se à diversidade de espécies em uma determinada área – e.g., riqueza de espécies, índices de diversidade. Porém análises baseadas em quantidade de espécies podem falhar em explicar as consequências ecológicas de invasão biológica (BLACKBURN *et al.*, 2005; SAYOL *et al.*, 2021) e em explicar todos os aspectos de uma comunidade, e.g. uma espécie abundante e uma espécie rara tem o mesmo peso na análise (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009).

Uma abordagem que pode ser utilizada para auxiliar na análise do efeito dos invasores é a diversidade funcional. Métricas de diversidade funcional são “medidas quantitativas baseadas na distribuição de espécies em um ‘espaço de atributo’ definido por um conjunto de importantes características funcionais específicas” (BLACKBURN *et al.*, 2005). A diversidade funcional mede aspectos diferentes daqueles da riqueza taxonômica (TSIANOU *et al.*, 2021). Assim ao se utilizar de ambas as métricas, possibilita-se um entendimento mais completo das dinâmicas da comunidade estudada.

Apesar de extensivamente documentada, a evidência para quantificar os impactos de mamíferos invasores é consideravelmente baixa, o que indica necessidade de mais pesquisas sobre essas espécies (DOHERTY *et al.*, 2016). Assim, o presente estudo propõe-se a analisar a relação que mamíferos invasores tem sob a fauna de mamíferos nativos no Bioma da Mata Atlântica.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo investigar o efeito causado pela presença de mamíferos invasores na diversidade taxonômica e funcional de comunidades de mamíferos nativos da Mata Atlântica. A expectativa é de efeitos negativos em ambas métricas, ou seja, que a presença de mamíferos invasores diminua a diversidade taxonômica e funcional de mamíferos nativos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos dados

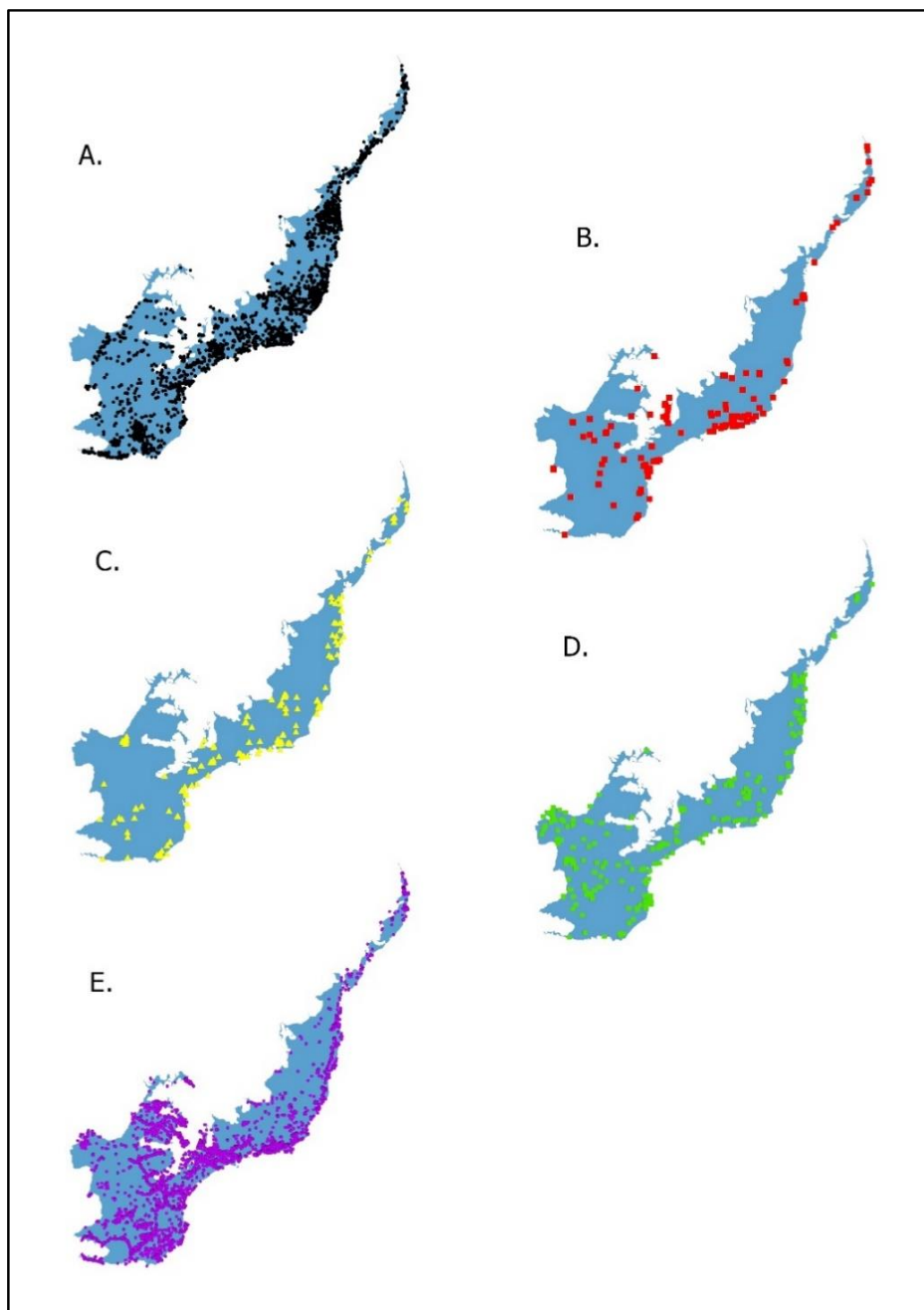
Os dados utilizados foram obtidos de *data papers* publicados no periódico Ecology da Ecological Society of America. Para mamíferos invasores, foi utilizado o conjunto de dados de mamíferos exóticos de toda América Latina (ROSA et al., 2020). Para mamíferos nativos, nós obtivemos dados de mamíferos pequenos (BOVENDORP et al., 2017), mamíferos médios e grandes (SOUZA et al., 2019), mamíferos volantes (MUYLEAERT et al., 2017) e primatas (CULOT et al., 2019) da região da Mata Atlântica. Todos os dados utilizados se apresentam em pontos georreferenciados e, com exceção do *data paper* de primatas, todos continham número de indivíduos por espécie por ponto de ocorrência em parte dos dados.

3.2 Geoprocessamento com Arcmap

Manipulamos os dados descritos acima com auxílio do programa de geoprocessamento ArcMap (ESRI, 2011). O primeiro passo foi unificar as planilhas da ocorrência de mamíferos pequenos e de morcegos com suas respectivas localizações, dado o fato de que ambos os conjuntos de dados vieram em planilhas separadas.

Utilizando um mapa dos biomas brasileiros (MMA/IGBE, 2019), plotamos as ocorrências dos mamíferos. Selecionamos os pontos de dentro da Mata Atlântica em um buffer de cinco quilômetros no entorno do bioma, assim considerando, parcialmente, a locomoção dos animais (Figura 1). Com isso geramos uma planilha de ocorrências dos mamíferos nativos e invasores que ocorriam no bioma.

Figura 1 - Ocorrências de mamíferos na Mata Atlântica por grupo - A) Primatas; B) Morcegos; C) Mamíferos de pequeno porte; D) Mamíferos de médio e grande porte e E) Mamíferos invasores. Os pontos representam as ocorrências de mamíferos extraídas dos data papers



Fonte: Elaborado pelo autor

Com as ocorrências plotadas no mapa, a próxima etapa foi gerar um grid sobre a Mata Atlântica, com polígonos regulares de dimensão 10,26km x 11,07 km totalizando uma área de 113,5782 km² por célula. Seleccionamos, então, apenas as células que continham ao menos uma ocorrência de mamífero dentro delas, o restante foi descartado. As ocorrências receberam um código referente as células em que se apresentavam. Gerou-se, assim, uma planilha por conjunto de dados, todas com o mesmo código numérico padronizado identificando cada célula.

3.3 Manipulação de dados com R

Após gerar e exportar as planilhas com as ocorrências e respectivas informações, utilizamos o programa R (R CORE TEAM, 2022) para a manipulação dos dados. Primeiramente medimos a riqueza taxonômica de cada grupo de mamíferos em cada célula. Para os grupos de mamíferos que não apresentavam nenhum dado (Primatas) ou dados insuficientes (invasores e médios e grandes) de número de indivíduos, a riqueza se baseou na soma do número de espécies presentes em cada célula. Já os bancos de dados que apresentavam números de indivíduos para todas as ocorrências (pequenos e morcegos) passaram por rarefação através da função rarefy do pacote vegan (OKSANEN et al., 2022). Além da riqueza dos grupos individuais (primatas, morcegos, mamíferos pequenos, mamíferos médios e grandes e invasores) também foi gerada a riqueza geral do conjunto dos mamíferos nativos, assim aumentando as possibilidades exploratórias dos dados.

Com intuito de verificar os efeitos da presença de mamíferos invasores nas comunidades de nativos, foram feitos modelos de regressões linear. Os modelos lineares tinham algum descritor de comunidades (e.g., riqueza) de invasores como variável preditora e um descritor de comunidades de nativos como variável resposta. Analisamos o conjunto de todos os nativos assim como cada grupo individualmente em relação aos invasores. Após análises gráficas exploratórias concluímos que poderia haver relações lineares em apenas parte dos dados, então realizamos uma regressão quantílica utilizando a função rq do pacote quantreg (KOENKER, 2005). Os dados foram divididos em 5 quantis para análise (0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90), e, para cada quantil, realizou-se uma regressão linear.

Para calcular a diversidade funcional das comunidades utilizamos a métrica entropia quadrática de Rao (BOTTA- DUKÁT, 2005). Devido à falta de informação em alguns bancos de dados, padronizamos as ocorrências como presença-ausência.

Então, utilizamos a função dbFD do pacote FD (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010) para calcular a diversidade funcional de nativos e invasores de cada comunidade. Os atributos utilizados na diversidade funcional foram retirados da lista de atributos intrínsecos e extrínsecos de mamíferos COMBINE (SORIA et al., 2021) e incluíam informações como: medidas morfológicas (como massa, massa do cérebro, tamanho do corpo), dieta (tipo de dieta, nível trófico, estrato de forrageio), reprodução (tamanho da ninhada, tempo de gestação, quantidade de ninhadas por ano) e comportamento (torpor, fossorialidade, ciclo de atividade).

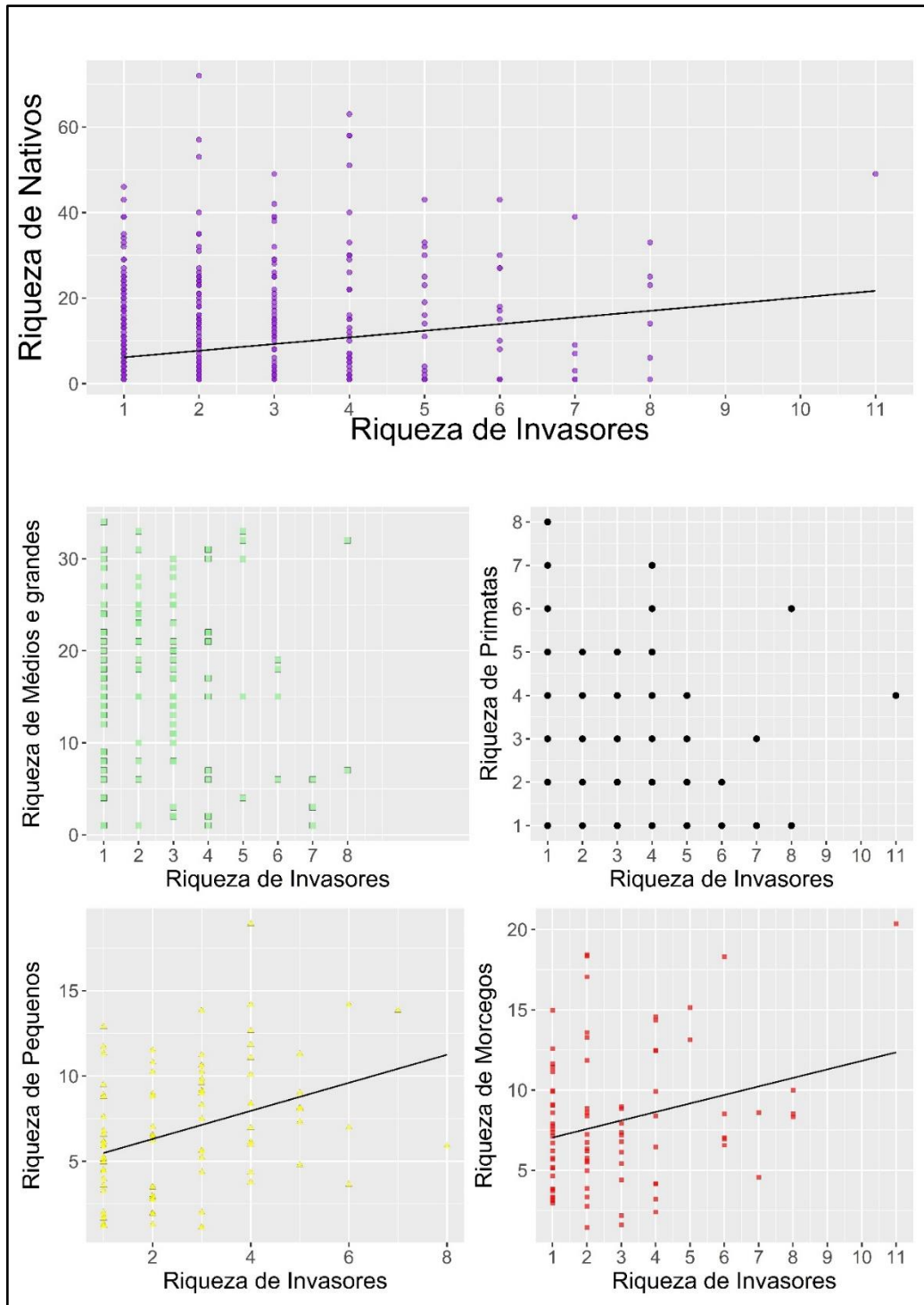
Devido à grande quantidade de comunidades com poucas espécies de invasores (1086 comunidades de invasores com menos de 3 espécies, cerca de 30% das comunidades), algumas métricas de diversidade funcional não poderiam ser estimadas. A solução que utilizamos foi calcular a diversidade funcional de todos os mamíferos de cada comunidade (nativos em conjunto com invasores) e, posteriormente, subtrair desta a diversidade funcional dos mamíferos nativos. Desse modo conseguimos dados de um número maior de comunidades, pois a riqueza total em cada comunidade era maior que apenas a de mamíferos invasores (apenas 13% das comunidades com riquezas combinadas tinham menos que 3 espécies). Com a diversidade funcional dos mamíferos nativos e a diferença entre a diversidade funcional total e a diversidade funcional dos nativos (daqui em diante, diversidade funcional dos invasores) geramos modelos de regressão linear.

4. RESULTADOS

4.1 Riqueza taxonômica

O modelo linear da relação da riqueza de todos os mamíferos nativos (variável resposta) com a riqueza de mamíferos invasores (variável preditora) indicou uma relação positiva ($p < 0,001$), porém fraca ($R^2=0,04$; Figura 2A)). Ao analisarmos os grupos individualmente observamos que os mamíferos de menor porte, os mamíferos pequenos e morcegos, foram os que apresentaram relação positiva com os mamíferos invasores ($p=0,0006$ e $p=0,01$; respectivamente) e, embora não sejam relações fortes, são as mais fortes dentre os grupos ($R^2= 0.11$ e $R^2= 0.06$ respectivamente). Já os mamíferos médios e grandes e os primatas não apresentaram relação com a riqueza dos mamíferos invasores ($p= 0,485$ e $p=0,67$, respectivamente; Figura 3B e 3C)

Figura 2 - Relação entre a riqueza de mamíferos nativos e a riqueza de mamíferos invasores discriminada por grupo: A) Conjunto de todos os mamíferos nativos; B) Mamíferos de médio e grande porte; C) Primatas; D) Mamíferos de pequeno porte e E) Morcegos



Fonte: Elaborado pelo autor

As regressões quantílicas resultaram em coeficientes não padronizados (Tabela 1; Figura 3), isto é, que não se limitam a um intervalo padrão de zero a um.

Considerando a mesma natureza das variáveis analisadas, os coeficientes, mesmo não padronizados, serviram como método comparativo da relação das variáveis dentre os diferentes quantis dos dados, uma vez que não comparamos modelos diferentes, mas sim coeficientes de um mesmo modelo que continha apenas uma variável explanatória. A regressão quantílica do grupo geral de nativos mostra que, à medida que se analisa as comunidades com maior riqueza de nativos, ou seja, os quantis superiores, uma relação positiva mais forte emerge entre a presença de espécies nativas e espécies invasoras (Tabela 1; Figura 3). Tal padrão pode ser observado também nos grupos individuais, que apresentam uma tendência de relação mais acentuada em quantis superiores.

Os modelos lineares dos quantis dos mamíferos médios e grandes indicaram que cada quantil se relaciona de modo diferente com a riqueza de invasores. Contudo, apenas o quantil 0,25 foi o que apresentou uma relação com a riqueza de invasores ($p < 0,005$). O grupo dos primatas não apresentou relação com os invasores independente do quantil analisado, resultado condizente com a regressão linear de todo o conjunto de dados do grupo. Tanto mamíferos pequenos quanto os morcegos apresentaram uma tendência a relações positivas mais fortes em quantis superiores, sendo o quantil 0,75 é o que apresenta a relação mais acentuada ($p = 0,01$ e $p = 0,078$, respectivamente; Figura 3D-E).

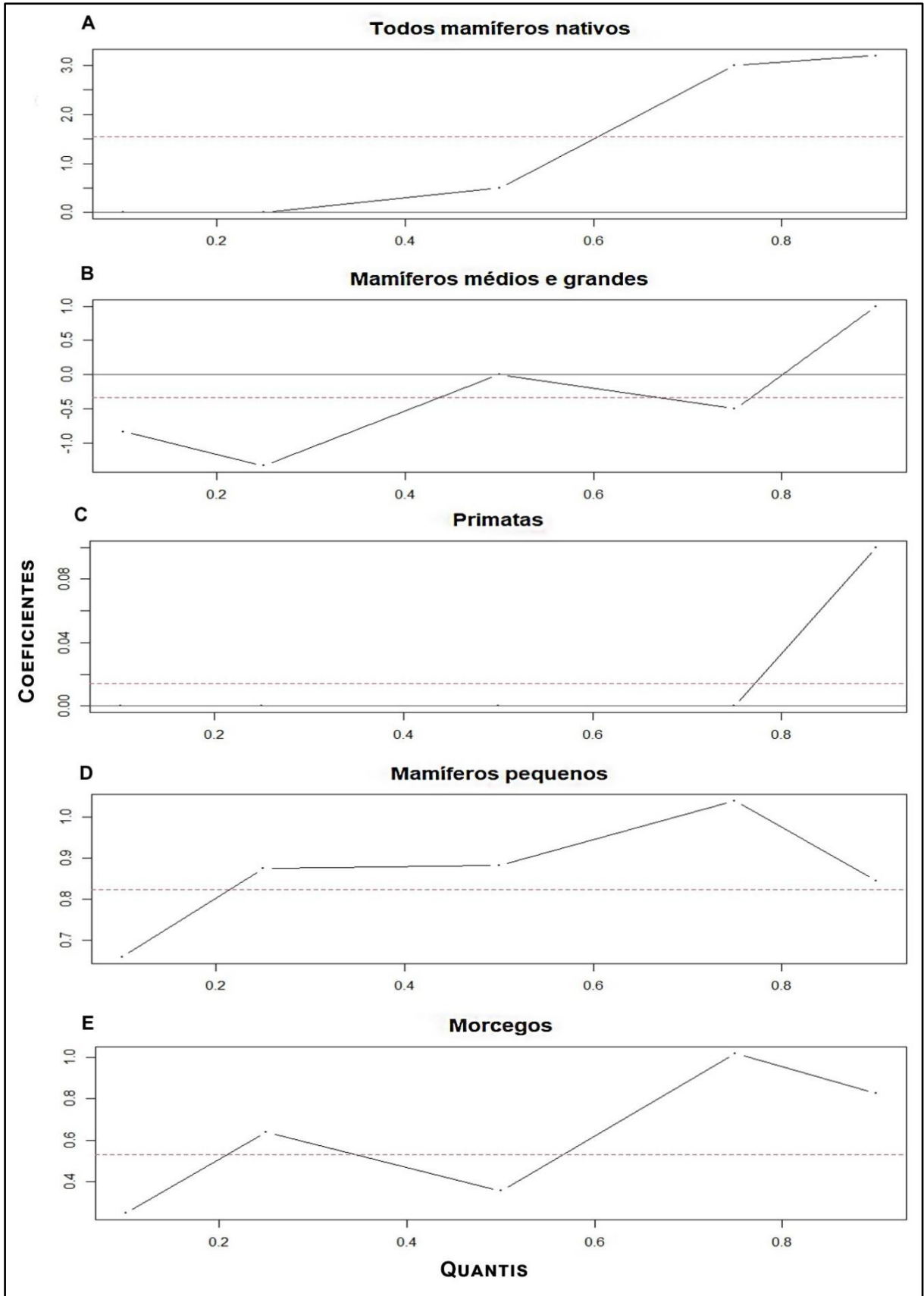
Tabela 1 - Resultado da análise de regressão quantílica da relação de mamíferos nativos e mamíferos invasores, discriminada em grupos por quantil:
A) Conjunto de todos os mamíferos nativos; B) Mamíferos de médio e grande porte; C) Primatas; D) Mamíferos de pequeno porte e E) Morcegos

A) Todos Nativos							
	Quantil	Coeficiente	Std. Error	Pr(> t)			
	0,1	0	0	NA			
	0,25	0,006	0,002	0,002			
	0,5	0,5	0,255	0,05			
	0,75	3,000	0,994	0,003			
	0,9	3,200	0,757	0			
B) Médios e Grandes				C) Primatas			
Quantil	Coeficiente	Std. Error	Pr(> t)	Quantil	Coeficiente	Std. Error	Pr(> t)
0,1	0,246	0,246	0,321	0,1	0	0	NaN
0,25	0,639	0,223	0,005	0,25	0	0	1,000
0,5	0,354	0,26	0,176	0,5	0	0,011	1,000
0,75	1,019	0,554	0,069	0,75	0	0,031	1,000
0,9	0,826	0,432	0,059	0,9	0,1	0,142	0,481
D) Pequenos				E) Morcegos			
Quantil	Coeficiente	Std. Error	Pr(> t)	Quantil	Coeficiente	Std. Error	Pr(> t)
0,1	0,658	0,199	0,001	0,1	0,246	0,263	0,353
0,25	0,875	0,413	0,037	0,25	0,639	0,208	0,003
0,5	0,883	0,359	0,016	0,5	0,354	0,272	0,197
0,75	1,041	0,396	0,01	0,75	1,019	0,572	0,078
0,9	0,846	0,467	0,073	0,9	0,826	0,413	0,049

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 - Dados gerados a partir da regressão quantílica da relação entre riqueza taxonômica de mamíferos nativos e mamíferos invasores – Coeficientes (eixo y)

referente aos quantis (eixo x) dos dados da relação entre riquezas taxonômica discriminada por grupo



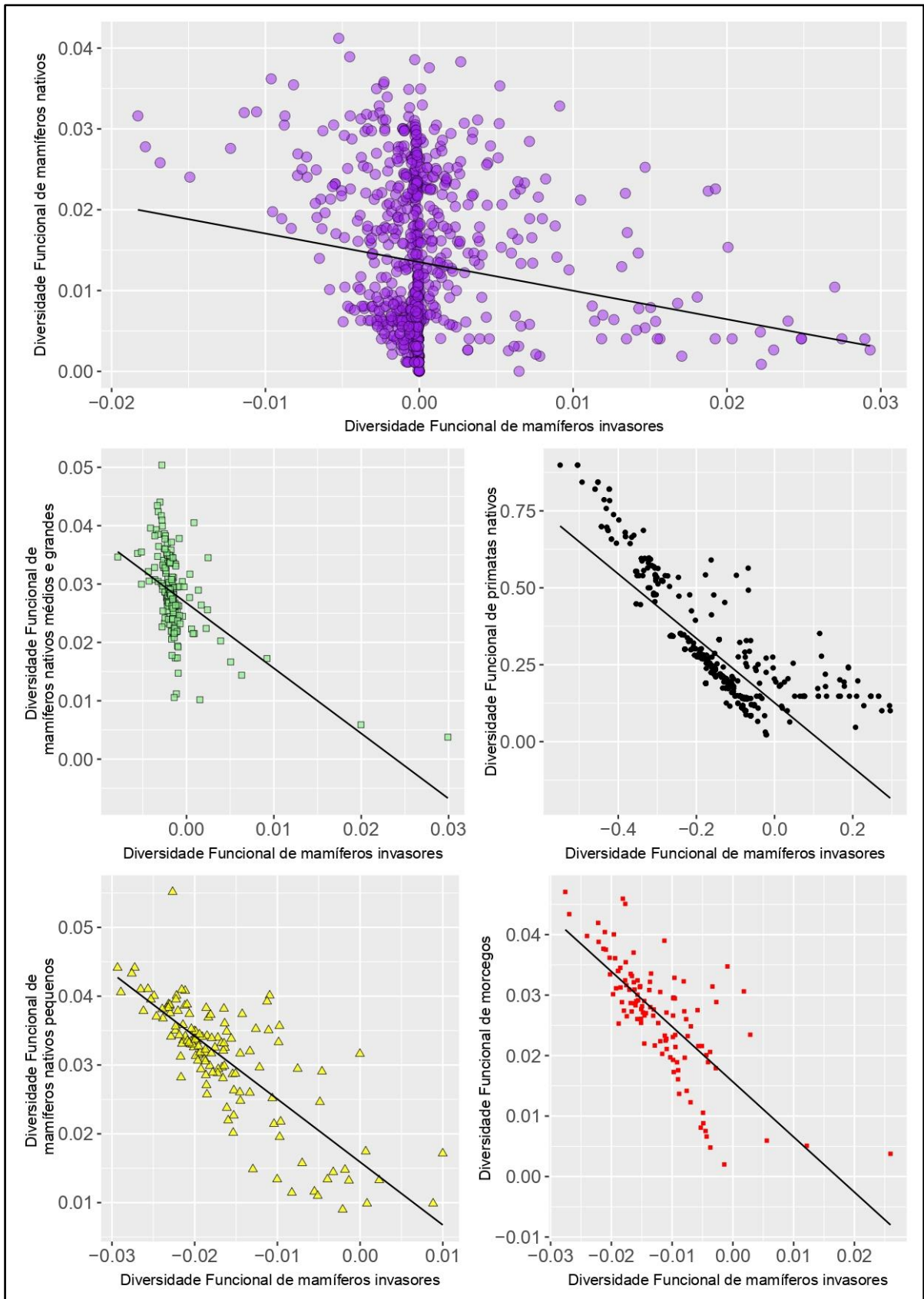
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Diversidade funcional

A análise da relação entre diversidade funcional de mamíferos invasores e mamíferos nativos apresentou uma relação negativa fraca para o conjunto dos mamíferos nativos ($p < 0,001$, $R^2 = 0,03$, Figura 4A), porém forte para os grupos individuais. Os primatas apresentaram a relação negativa mais fortes ($p < 0,001$, $R^2 = 0,63$, Figura 4C), seguido dos mamíferos pequenos e dos morcegos (Figura 4D e E; $p < 0,001$, $R^2 = 0,62$ e $p < 0,001$, $R^2 = 0,54$, respectivamente). Já os mamíferos médios e grandes, apresentaram uma relação fraca ($p < 0,001$, $R^2 = 0,25$, Figura 4B). Isto mostra que, em locais com mamíferos invasores funcionalmente mais diferentes, os mamíferos nativos são funcionalmente mais parecidos, principalmente as comunidades de primatas, morcegos e mamíferos pequenos.

Figura 4 - Relação entre a diversidade funcional de todos mamíferos nativos e mamíferos Invasores discriminado por grupo: A) Conjunto de todos os mamíferos

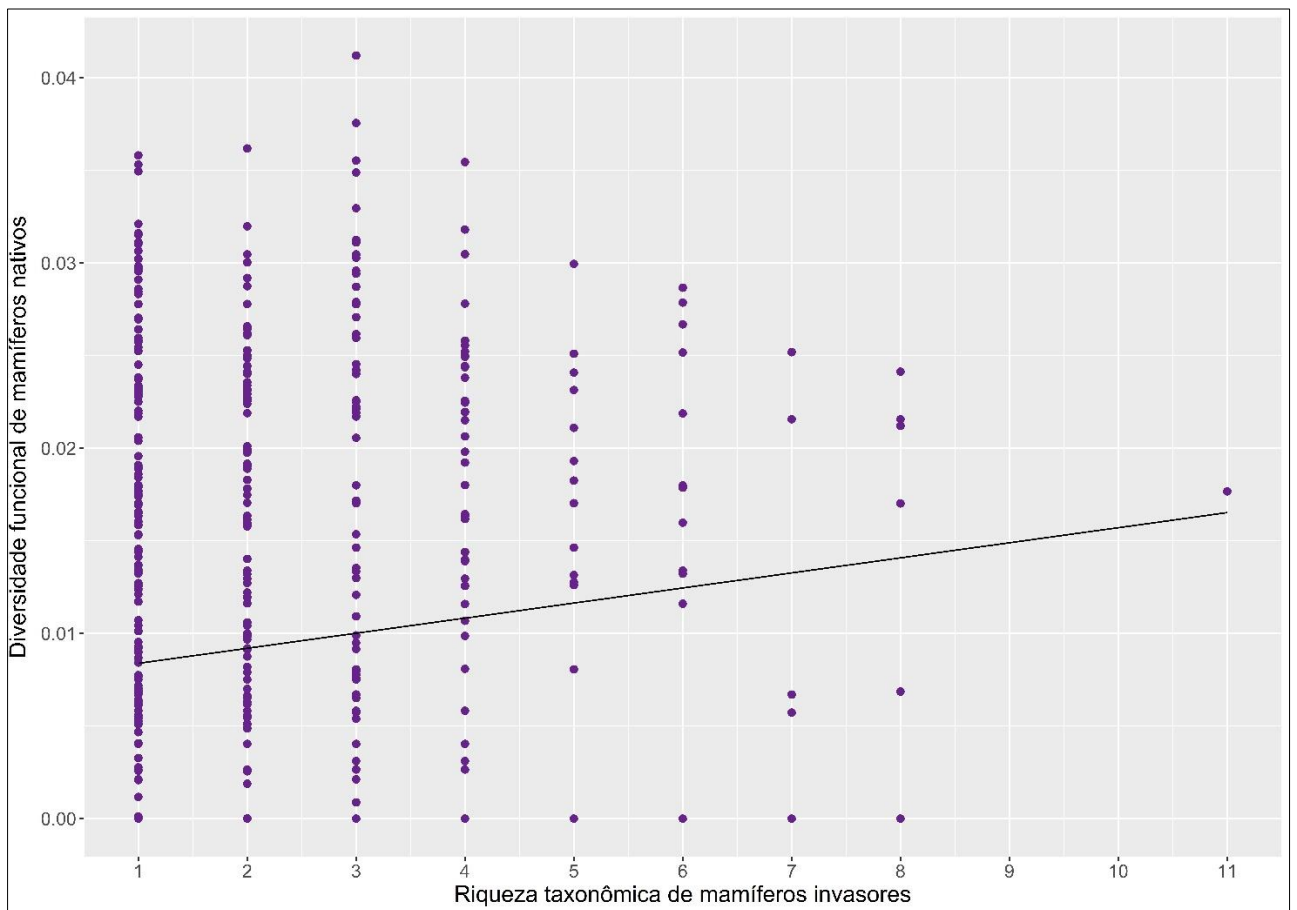
nativos; B) Mamíferos de médio e grande porte; C) Primatas; D) Mamíferos de pequeno porte e E) Morcegos



Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo linear da relação entre a diversidade funcional de mamíferos nativos e a taxonômica de invasores indicou uma relação muito fraca entre as variáveis ($R^2=0,01$, $p=0,02$; Figura 5). Ou seja, o conjunto de atributos funcionais que uma comunidade de mamíferos nativos apresenta não parece ser influenciado pela quantidade de espécies de mamíferos invasores em dado local.

Figura 5 - Relação entre diversidade funcional de mamíferos nativos e a riqueza taxonômica de mamíferos invasores



Fonte: Elaborado pelo autor

5. DISCUSSÃO

A relação positiva entre a riqueza de mamíferos invasores e a de mamíferos nativos não era esperada, porém não é inédita na literatura. A teoria da aceitação biótica sugere que há ambientes com condições mais favoráveis que beneficiam tanto nativos quanto invasores, o que gera um padrão do tipo “os ricos ficam mais ricos” (STOHLGREN, *et al.* 2006). Quando a relação entre riqueza de mamíferos nativos e mamíferos invasores por quantil é analisada, este padrão fica ainda mais evidente. Há uma tendência da relação entre nativo e invasores em quantis superiores (comunidades com mais espécies de nativos) ser mais acentuada. Ou seja, comunidades com maior riqueza de nativos tem maior tendência a possuir mais espécies de invasores, quando comparadas a comunidades com poucas espécies nativas.

Como Fridley e colaboradores (2007) mostram, o padrão “os ricos ficam mais ricos” está ligado a escala espacial das análises. A escala espacial define o quão heterogêneo o ambiente do estudo pode ser. Isto é, quanto maior a escala de um estudo, maior a possibilidade de ambientes com diferentes condições seres englobados. As condições atuais da Mata Atlântica também podem contribuir para a heterogeneidade do ambiente. Distúrbios, como fragmentação, regime de fogo alterado e massiva presença antrópica, presentes neste bioma (PINTO *et al.*, 2004), também podem diminuir a homogeneidade do ambiente (VERA Y CONDE; ROCHA, 2006). O aumento da riqueza de espécies devido a heterogeneidade do ambiente se baseia no oferecimento condições e recursos mais diversos dentro de um mesmo ambiente, atendendo a uma maior gama de animais (SIMPSON, 1964).

Como esperado, foi encontrado uma relação negativa, porém fraca, entre diversidade funcional de mamíferos invasores e a de mamíferos nativos. Esse resultado indica que em comunidades que apresentam mamíferos invasores mais funcionalmente diferentes há mamíferos nativos funcionalmente mais similares. Essa relação foi muito mais forte em primatas, mamíferos pequenos e morcegos. Ou seja, dentre os grupos estudados, estes são os que mais perdem diversidade funcional com a presença de mamíferos invasores mais funcionalmente diferentes.

A relação negativa entre as diversidades funcional de mamíferos invasores e nativos sugere que os invasores ocupariam nichos variados, levando a impactos

generalizados, o que causaria pressão ecológica nos mamíferos nativos. Dado evento com que apenas espécies nativas funcionalmente parecidas consigam permanecer nas comunidades invadidas. Tal interação pode ser explicada pela propensão de espécies mais funcionalmente distintas a extinção, o que levaria a eliminação de grupos com atributos distintos (SAYOL *et al.*, 2021) causando uma homogeneização funcional da comunidade (CLAVEL; JULLIARD; DEVICTOR, 2011). Os nativos restantes, então, devem ser mais generalistas considerando a diminuição de diversidade funcional (DENELLE *et al.*, 2020; SAYOL *et al.*, 2021) e o agravamento de já existentes distúrbios ambientais, ambos causados pelos invasores (DOHERTY *et al.*, 2016; JULLIARD *et al.*, 2006). Outro fator que pode influenciar a diversidade funcional é o tamanho dos fragmentos aonde as espécies se encontram (MAGIOLI *et al.*, 2015). A tendência da diminuição da diversidade funcional dos nativos quando há invasores mais diversos, então, pode ser ainda mais preocupante se considerarmos o estado atual da Mata Atlântica, com cerca de 80% dos fragmentos do bioma com menos que 50 Ha. de área, o que corresponde a 20% da área total do Bioma (RIBEIRO *et al.*, 2009).

Encontramos uma relação fraca entre a riqueza de mamíferos invasores e a diversidade funcional de mamíferos nativos. A relação entre a diversidade funcional dos invasores e dos nativos é muito mais forte. Isto é, quando comparada à quantidade de espécies invasoras, a dissimilaridade funcional dos invasores mostra-se uma melhor variável preditora para a variação na diversidade funcional dos nativos. Logo é necessário cautela ao utilizar riqueza de espécies como descritor dos impactos de invasores em comunidades. Como mostram nossos resultados, a riqueza não apresenta uma forte relação com a diversidade funcional nativa. Esta está ligada aos serviços ecossistêmicos, necessários para a manutenção e funcionamento dos ecossistemas (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHNICK, 2011; DÍAZ; CABIDO, 2001). Isso pois ela se relaciona a processos da comunidade, como o uso de recursos, estabilidade da comunidade e partição de nichos de um ecossistema (DÍAZ; CABIDO, 2001; CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHNICK, 2011; GOSWAMI *et al.*, 2017). Por isso a diversidade taxonômica pode falhar em explicar as consequências ecológicas das invasões (BLACKBURN *et al.*, 2005; SAYOL *et al.*, 2021). Ademais, quando comparada à diversidade funcional, a riqueza de espécies pode ser menos sensível (SOUZA *et al.*, 2021), ou até mesmo aumentar, em resposta à presença de invasores, mesmo quando há perda de diversidade funcional (SAYOL *et al.*, 2021).

Por isso a diversidade funcional se mostra mais interessante na avaliação de impactos ambientais, por exemplo (ERNST *et al*, 2006).

6. CONCLUSÃO

Nossas análises indicam que pode haver uma relação positiva entre número de espécies de mamíferos invasores e de mamíferos nativos. Os resultados apresentados neste trabalho não são novos para literatura, porém há uma discussão sobre origem e validade desse padrão. Para elucidar essas dúvidas, novas pesquisas devem ser realizadas, considerando a dependência de escala dos padrões.

Também mostramos que as invasões biológicas parecem causar um efeito negativo na diversidade de atributos biológicos das comunidades invadidas, fazendo com que estas sejam compostas por mamíferos nativos funcionalmente mais parecidos. Nossos resultados indicam que tal efeito, provém da dissimilaridade funcional dos mamíferos invasores, o quão funcionalmente diferente eles são, e não da quantidade de espécies invasoras presentes em determinado lugar. Esse resultado é mais preocupante, considerando que a diversidade funcional está ligada aos serviços ecossistêmicos, necessários para a estabilidade de uma comunidade.

Invasões biológicas apresentam muitas nuances, e podem interagir de modos não óbvios com outras variáveis, como pressão de caça, fragmentação, e mudança no uso do solo. As relações fracas encontradas indicam que modelos que descrevem a relação entre diversidade de mamíferos invasores e nativos devem incorporar também a complexidade das muitas variáveis que atuam na montagem de comunidades.

Animais invasores, sobretudo mamíferos, podem ter grande impacto na diversidade nativa. Pesquisando a relação entre esses grupos, mais especificamente o efeito dos invasores, entendemos melhor as consequências das invasões biológicas e suas implicações na biodiversidade local. Dessa forma, é possível embasar ações de manejo e remediação, como controle e possível erradicação de espécies invasoras. Fica evidente, assim, a importância dos esforços em impedir a introdução de novas espécies, evitando futuros prejuízos ambientais e econômicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLARD, C.; GENOVESI, P.; JESCHKE, J. M. Global patterns in threats to vertebrates by biological invasions. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1823, p. 20152454, 27 jan. 2016.

BLACKBURN, T. M. et al. FUNCTIONAL DIVERSITY OF MAMMALIAN PREDATORS AND EXTINCTION IN ISLAND BIRDS. **Ecology**, v. 86, n. 11, p. 2916–2923, nov. 2005.

BLACKBURN, T. M.; BELLARD, C.; RICCIARDI, A. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 4, p. 203–207, maio 2019.

BOTTA-DUKÁT, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 5, p. 533–540, out. 2005.

BOVENDORP, R. S. et al. Atlantic small-mammal: a dataset of communities of rodents and marsupials of the Atlantic forests of South America. **Ecology**, v. 98, n. 8, p. 2226–2226, ago. 2017.

CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services: Functional diversity in ecology and conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 5, p. 1079–1087, out. 2011.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 93–103, set. 2009.

CLAVEL, J.; JULLIARD, R.; DEVICTOR, V. Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 4, p. 222–228, maio 2011.

CLOUT, M. N.; RUSSELL, J. C. The invasion ecology of mammals: a global perspective. **Wildlife Research**, v. 35, n. 3, p. 180, 2008.

CROOKS, J. A. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. **Oikos**, v. 97, n. 2, p. 153–166, maio 2002.

CRYSTAL-ORNELAS, R.; LOCKWOOD, J. L. The 'known unknowns' of invasive species impact measurement. **Biological Invasions**, v. 22, n. 4, p. 1513–1525, abr. 2020.

CULOT, L. et al. ATLANTIC-PRIMATES a dataset of communities and occurrences of primates in the Atlantic Forests. **Ecology**, v. 100, n. 1, jan. 2019.

DA ROSA, C. A. et al. Alien terrestrial mammals in Brazil: current status and management. **Biological Invasions**, v. 19, n. 7, p. 2101–2123, jul. 2017.

DA ROSA, C. A. et al. Assessing the risk of invasion of species in the pet trade in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 38–42, jan. 2018.
DA ROSA, C. A. et al. NEOTROPICAL ALIEN MAMMALS: a data set of occurrence and abundance of alien mammals in the Neotropics. v. 101, n. 11, p. 5, 2020.

DENELLE, P. et al. Generalist plants are more competitive and more functionally similar to each other than specialist plants: insights from network analyses. **Journal of Biogeography**, v. 47, n. 9, p. 1922–1933, set. 2020.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, nov. 2001.

DOHERTY, T. S. et al. Multiple threats, or multiplying the threats? Interactions between invasive predators and other ecological disturbances. **Biological Conservation**, v. 190, p. 60–68, out. 2015.

DOHERTY, T. S. et al. Invasive predators and global biodiversity loss. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 40, p. 11261–11265, 4 out. 2016.

ERNST, R.; LINSENMAIR, K. E.; RÖDEL, M.-O. Diversity erosion beyond the species level: Dramatic loss of functional diversity after selective logging in two tropical amphibian communities. **Biological Conservation**, v. 133, n. 2, p. 143–155, nov. 2006.

ESRI. **ArcGIS**. Redlands, Califórnia, EUAENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, , 2011. Disponível em: <<https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-online/buy>>. Acesso em: 25 out. 2022

FRIDLEY, J. D. et al. THE INVASION PARADOX: RECONCILING PATTERN AND PROCESS IN SPECIES INVASIONS. **Ecology**, v. 88, n. 1, p. 3–17, jan. 2007.

GOSWAMI, M. et al. Functional Diversity: An Important Measure of Ecosystem Functioning. **Advances in Microbiology**, v. 07, n. 01, p. 82–93, 2017.

JESCHKE, J. M.; GENOVESI, P. Do biodiversity and human impact influence the introduction or establishment of alien mammals? **Oikos**, v. 120, n. 1, p. 57–64, jan. 2011.

JULLIARD, R. et al. Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. **Ecology Letters**, v. 9, n. 11, p. 1237–1244, nov. 2006.

KOENKER, R. **Quantile Regression**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, jan. 2010.

MAGIOLI, M. et al. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest: Thresholds between functional diversity and patch size. **Animal Conservation**, v. 18, n. 6, p. 499–511, dez. 2015.

MMA/IGBE. **Brazil biomes**, 2 abr. 2019.

MOLLOT, G.; PANTEL, J. H.; ROMANUK, T. N. The Effects of Invasive Species on the Decline in Species Richness. Em: **Advances in Ecological Research**. [s.l.] Elsevier, v. 56. p.61–83. 2017.

MUYLAERT, R. D. L. et al. ATLANTIC BATS: a data set of bat communities from the Atlantic Forests of South America. **Ecology**, v. 98, n. 12, p. 3227–3227, dez. 2017.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.

OKSANEN, J. et al. **Package ‘vegan’ - Community Ecology Package**. , 12 out. 2022. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>

PINTO, L. P. et al. Mata Atlântica Brasileira: os Desafios para Conservação da Biodiversidade de um Hotspot Mundial. p. 29, [s.d.].

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 9 jun. 2021

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, out. 2018.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.

ROSA, C. A. Mamíferos Exóticos Invasores no Brasil: situação atual, riscos potenciais e impactos da invasão de porcos selvagens em Florestas Tropicais Lavras, 2015. p. 160, 2015.

SAYOL, F. et al. Loss of functional diversity through anthropogenic extinctions of island birds is not offset by biotic invasions. **Science Advances**, v. 7, n. 46, p. eabj5790, 12 nov. 2021.

SIMBERLOFF, D. The Role of Propagule Pressure in Biological Invasions. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, n. 1, p. 81–102, 1 dez. 2009.

SIMPSON, G. G. Species Density of North American Recent Mammals. **Systematic Zoology**, v. 13, n. 2, p. 57, jun. 1964.

SMALLWOOD, SHAWN, K. Site invasibility by exotic birds and mammals. **Biological Conservation**, v. 69, n. 3, p. 251–259, 1994.

SORIA, C. D. et al. COMBINE: a coalesced mammal database of intrinsic and extrinsic traits. **Ecology**, v. 102, n. 6, jun. 2021.

SOUZA, C. P. DE et al. Drastic reduction of the functional diversity of native ichthyofauna in a Neotropical lake following invasion by piscivorous fishes. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, n. 3, p. e210033, 2021.

SOUZA, Y. et al. ATLANTIC MAMMALS a data set of assemblages of medium- and large-sized mammals of the Atlantic. **Ecology**, v. 100, n. 10, out. 2019.

TSIANOU, M. A. et al. The Effect of Climate and Human Pressures on Functional Diversity and Species Richness Patterns of Amphibians, Reptiles and Mammals in Europe. **Diversity**, v. 13, n. 6, p. 275, 18 jun. 2021.

VERA Y CONDE, C. F.; ROCHA, C. F. D. Habitat disturbance and small mammal richness and diversity in an Atlantic rainforest area in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 4, p. 983–990, nov. 2006.

VILÀ, M. et al. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems: Ecological impacts of invasive alien plants. **Ecology Letters**, v. 14, n. 7, p. 702–708, jul. 2011.