

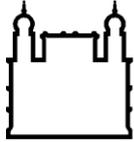
**MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde – BS

**ECOLOGIA DE COMUNIDADES, INFLUÊNCIA DO HABITAT E PARASITISMO
EM PEQUENOS MAMÍFEROS NA ESTAÇÃO BIOLÓGICA FIOCRUZ MATA
ATLÂNTICA, RJ.**

RAQUEL GONZALEZ BOULLOSA MALHEIRO DE CASTRO

**RIO DE JANEIRO – RJ
AGOSTO DE 2022**



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde

Raquel Gonzalez Boullosa Malheiro de Castro

Ecologia de comunidades, influência do habitat e parasitismo em pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, RJ.

Tese apresentada ao Instituto Oswaldo Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Rosana Gentile

RIO DE JANEIRO - RJ

AGOSTO DE 2022

Gonzalez Boullosa Malheiro de Castro, Raquel.

Ecologia de comunidades, influência do habitat e parasitismo em pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, RJ. / Raquel Gonzalez Boullosa Malheiro de Castro. - Rio de Janeiro, 2022.

124 f.; il.

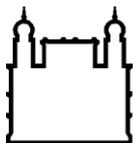
Tese (Doutorado) - Instituto Oswaldo Cruz, Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde, 2022.

Orientadora: Rosana Gentile.

Bibliografia: Inclui Bibliografias.

1. Diversidade. 2. Áreas urbanas. 3. Didelphimorphia. 4. Rodentia. 5. Helmintos. I. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca de Manginhos/Icict/Fiocruz com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Igor Falce Dias de Lima - CRB-7/6930.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde

RAQUEL GONZALEZ BOULLOSA MALHEIRO DE CASTRO:

ECOLOGIA DE COMUNIDADES, INFLUÊNCIA DO HABITAT E PARASITISMO EM PEQUENOS MAMÍFEROS NA ESTAÇÃO BIOLÓGICA FIOCRUZ MATA ATLÂNTICA, RJ.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Rosana Gentile

EXAMINADORES:

Prof. Dra. Cecília Siliansky de Andreazzi (FIOCRUZ/RJ) - Presidente da banca

Prof. Dra. Natalie Olifiers (UVA/RJ) – Revisora e membro da banca

Prof. Dr. Eduardo José Lopes Torres (UERJ) – Membro da banca

Prof. Dra. Simone Chinciz Cohen (FIOCRUZ/RJ) - Suplente

Prof. Dr. Diogo Lortetto Medeiros (PUC/MG) - Suplente

Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2022

Dedico este trabalho aos meus pais que são os maiores responsáveis por todo apoio, amor, devoção, paciência, torcida e amparo durante o período do meu doutorado.

AGRADECIMENTOS

No desenvolvimento e elaboração desta tese muitas pessoas foram envolvidas e preocupadas com seu resultado. A todas elas agradeço de todo o meu coração:

Aos meus pais Maria Dolores e Carlos Alberto por todo amor e carinho. Por me mostrarem o valor dos estudos sempre me apoiando nas minhas decisões e torcendo pelo meu sucesso.

Em especial, à minha orientadora Prof. Dra. Rosana Gentile, Pesquisadora do Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), FIOCRUZ, RJ, pela confiança, carinho, orientação, exemplo de profissionalismo, por compartilhar seus valiosos conhecimentos em campo e no laboratório ao longo desses nove anos. Sobretudo, por todo apoio dado durante esta fase de minha vida e oportunidade. E pelos puxões de orelha.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Maldonado Júnior, Pesquisador e Chefe do Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), FIOCRUZ, RJ, por estar sempre pronto a esclarecer minhas dúvidas, pela motivação, dicas, suporte e pelo vasto conhecimento científico.

Ao amigo Dr. Thiago dos Santos Cardoso por ser um exemplo de cientista, por sempre estar pronto a ajudar, pela atenção, conselhos valiosos quer na vida profissional, quer na vida pessoal e agradeço-lhe por todo o carinho comigo e amizade construída ao longo desses anos. Eu te admiro muito como pessoa e profissional.

Ao amigo Dr. Sócrates Fraga da Costa Neto, meu primeiro coorientador assim que entrei no laboratório, obrigada pelo incentivo no meio acadêmico, pelos ensinamentos nos trabalhos de campo, parceria, paciência e amizade construída ao longo desses anos.

Ao Prof. Dr. Bernardo Rodrigues Teixeira, Pesquisador do Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), FIOCRUZ, RJ, por todas as conversas esclarecedoras, pelo carinho, ensinamentos e amizade.

A Msc. Michele Maria dos Santos, Pesquisadora do Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), FIOCRUZ, RJ pelas conversas, ensinamentos, carinho, por me tornar uma profissional melhor e amizade construída ao longo desses anos.

A Dra. Ana Paula Nascimento Gomes por ser uma fonte de inspiração na ciência, incentivo, pelas dicas construtivas, por esclarecer minhas dúvidas. Você é incrível e eu te admiro.

Aos amigos e alunos da sala 69 do Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios, vocês são hilários! Obrigada pelo companheirismo, boa disposição e amizade que me acompanharam durante todo esse estudo. Obrigada por todo o apoio e incentivo em ultrapassar todos os momentos mais difíceis, mas também por tornarem exponencial a alegria nos bons momentos.

Agradeço especialmente aos pesquisadores, estudantes, técnicos e funcionários do Campus Fiocruz da Mata Atlântica, FIOCRUZ, RJ sempre presente nos trabalhos de campo, compromisso com o trabalho elaborado e colaboração com esta tese.

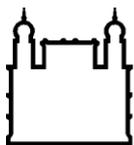
Agradeço aos coordenadores do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Saúde Dr. Cleber Galvão e Dra. Margareth Queiroz, aos docentes do programa e a secretária Luciana Mara pela disponibilidade e atenção nos momentos de dúvidas. Bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio financeiro. A Vice-Presidência de Ensino da Fiocruz (VPEIC) pelo financiamento da bolsa.

Ao meu amigo Marcelo Gonçalves por todo amor, apoio, paciência, dedicação e por me fortalecer nos momentos difíceis, inclusive assistindo ensaios das minhas apresentações e com isso me tranquilizando.

Aos meus amigos Michelle Giglio, Luana Delfoente, Thiago Alexandre, Jessica Burmeister, Amanda Cavalcanti, Caroline Bezerra, Thatiana Brito, Bianca Fraga, Júlia Graça, Mariana Caldas, Amanda Cambraia, Maria Júlia Willemes, Marcelle Madureira, por todo auxílio e ombro amigo que me ajudou a seguir em frente nos momentos conturbados.

“Dor, prazer e morte não são mais que um processo para a existência. A luta revolucionária neste processo é um portal aberto à inteligência.”

Frida Kahlo



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

ECOLOGIA DE COMUNIDADES, INFLUÊNCIA DO HABITAT E PARASITISMO EM PEQUENOS MAMÍFEROS NA ESTAÇÃO BIOLÓGICA FIOCRUZ MATA ATLÂNTICA, RJ.

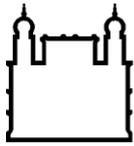
RESUMO

TESE DE DOUTORADO EM BIODIVERSIDADE E SAÚDE

Raquel Gonzalez Boullosa Malheiro de Castro

A urbanização e a expansão de atividades humanas sobre as áreas naturais alteram os habitats, estando estes fatores entre os principais a influenciar os padrões de diversidade, abundância e distribuição das espécies. O objetivo geral deste trabalho foi conhecer a diversidade, analisar a estrutura do habitat e investigar o parasitismo por helmintos em pequenos mamíferos silvestres não-voadores em áreas com diferentes perfis de conservação da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) e seu entorno, incluindo áreas do Parque Estadual da Pedra Branca, RJ. Foram realizadas seis amostragens de setembro de 2018 a dezembro 2019, em diferentes tipos de ambientes ao longo de um gradiente de ação antrópica, incluindo áreas de peridomicílio, áreas de transição entre os ambientes silvestres e urbanos e áreas de mata preservada. Foram capturadas cinco espécies de pequenos mamíferos silvestres – os marsupiais *Didelphis aurita*, *Marmosa paraguayana* e *Monodelphis americana* e os roedores *Oligoryzomys nigripes* e *Trinomys dimidiatus* – além do roedor sinantrópico *Rattus rattus*. A espécie mais abundante foi o gambá *D. aurita*, sendo capturada em todas as áreas e em todas as coletas. A fauna de pequenos mamíferos da EFMA formou um subconjunto da fauna de pequenos mamíferos do estado do Rio de Janeiro, sendo a riqueza de espécies baixa, comparando-se com outras localidades. Em transectos de áreas de peridomicílio, foram observados maiores valores de heterogeneidade e complexidade do habitat. Foi encontrada correlação direta entre a abundância dos pequenos mamíferos silvestres e a complexidade do habitat. Foi realizado um estudo de descrição e identificação de helmintos a partir de ovos coletados de amostras de fezes de *D.*

aurita. Foram identificadas sete espécies de helmintos em nível específico, sendo quatro do filo Nematoda, duas do filo Platyhelminthes e uma do filo Acanthocephala, todas já amostradas nos estudos anteriores. Os maiores valores de carga parasitária e prevalência foram observados para as famílias Viannaiidae e Trichuridae. A sazonalidade apresentou influência na carga parasitária de *Cruzia tentaculata* e na prevalência de *Aspidodera raillieti*, com maiores valores nos parâmetros na estação chuvosa em ambos os casos. A idade do hospedeiro foi um fator determinante da riqueza de espécies de helmintos em fêmeas adultas ($\beta=0,398$, $t=2,417$, $p=0,02$). Não foi observada influência da riqueza de espécies ou da carga parasitária dos helmintos no fator de condição dos hospedeiros.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

**COMMUNITY ECOLOGY, INFLUENCE OF HABITAT AND
PARASITISM IN SMALL MAMMALS AT FIOCRUZ MATA
ATLÂNTICA BIOLOGICAL STATION, RJ.**

ABSTRACT

THESIS IN BIODIVERSIDADE E SAÚDE

Raquel Gonzalez Boullosa Malheiro de Castro

Urbanization and the expansion of human activities over natural areas alter natural habitats, and these factors are among the main factors influencing patterns of species diversity, abundance and distribution. The general objective of this work was to assess the diversity, analyse the habitat structure and investigate the parasitism by helminths in wild non-flying small mammals in areas with different conservation profiles of the Fiocruz Mata Atlântica Biological Station (EFMA) and its surroundings, including areas of the Pedra Branca State Park, RJ. Six samplings were carried out from September 2018 to December 2019, in different types of environments along an anthropic gradient, including peridomicile areas, transition areas between wild and urban environments, and areas of preserved forest. Five species of small wild mammals were captured - the marsupials *Didelphis aurita*, *Marmosa paraguayana* and *Monodelphis americana* and the rodents *Oligoryzomys nigripes* and *Trinomys dimidiatus* – in addition to the synanthropic rodent *Rattus rattus*. The most abundant species was the common opossum *D. aurita*, captured in all areas and in all sampling events. The EFMA small mammal fauna formed a subset of the small mammal fauna of the state of Rio de Janeiro, with low species richness compared to other locations. In transects of peridomicile areas, higher values of habitat heterogeneity and complexity were observed. A direct correlation was found between the abundance of wild small mammals and the habitat complexity. A study of description and identification of helminths was carried out based on eggs collected from faeces samples of *D.*

aurita. Seven species of helminths were identified at a specific level, four from the phylum Nematoda, two from the phylum Platyhelminthes and one from the phylum Acanthocephala, all of which had already been sampled in previous studies. The highest values of parasite load and prevalence were observed for the families Viannaiidae and Trichuridae. Seasonality influenced the parasite load of *Cruzia tentaculata* and the prevalence of *Aspidodera raillieti*, with higher parameters values during the wet season in both cases. Host age was a determining factor in helminth species richness in adult females (beta=0.398, t=2.417, p=0.02). No influence of helminth species richness or parasite load on the host condition factor was observed.

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Comunidades.....	1
1.2 Degradação da Mata Atlântica.....	2
1.3 Pequenos Mamíferos não voadores	3
1.4 Ambiente e Saúde.....	4
1.5 Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA)	5
1.6 Justificativa	6
1.7 Hipóteses.....	7
2 OBJETIVO GERAL	7
3 MATERIAL E MÉTODOS GERAL	8
3.1 Área de estudo.. ..	8
3.2 Coleta de pequenos mamíferos.....	11
4 CAPÍTULO I: Estrutura de comunidades, dinâmica populacional e influência do habitat em pequenos mamíferos	13
4.1 INTRODUÇÃO.....	14
4.1.1 Uso do habitat.....	14
4.1.2 Dinâmica populacional.....	15
4.2 OBJETIVO GERAL.....	16
4.2.1 Objetivos específicos.....	16
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.3.1 Coleta de Variáveis de Habitat.....	17
4.3.2 Análises de Dados.....	21
4.4 RESULTADOS.....	26
4.4.1 Comunidade de pequenos mamíferos.....	26
4.4.2 Estrutura do habitat.....	34
4.4.3 Dinâmica populacional de <i>Didelphis aurita</i>	36
4.5 DISCUSSÃO.....	38

4.5.1	Diversidade e riqueza de espécies.....	38
4.5.2	Estrutura do Habitat.....	41
4.5.3	Dinâmica populacional de <i>D. aurita</i>	42
5	CAPÍTULO II: Parasitismo por helmintos em <i>Didelphis aurita</i> com base em caracterização morfológica e ecológica dos ovos	44
5.1	ABSTRACT.....	45
5.2	INTRODUCTION.....	46
5.3	MATERIAL AND METHODS.....	48
5.3.1	Study area.....	48
5.3.2	Sampling methods.....	48
5.3.3	Parasitological procedures.....	49
5.3.4	Data analysis.....	50
5.4	RESULTS	51
5.5	DISCUSSION	60
6	PERSPECTIVAS	64
7	CONCLUSÕES	65
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS66
9	APÊNDICES	78
	APÊNDICE A Tabela de presença e ausência utilizada para a análise de NMDS com relação as referências bibliográficas.....	78
	APÊNDICE B Tabela com as médias e desvios-padrão das variáveis quantitativas de habitat para cada transecto de captura de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ.....	85
	APÊNDICE C Tabela com os valores das variáveis qualitativas de habitat para cada transecto de captura de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.....	86

ANEXO A	Autorização para pesquisa científica e licença permanente para coleta de material zoológico Parque Estadual da Pedra Branca.....	87
ANEXO B	Artigo publicado na Revista Parasitology Research.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

MATERIAL E MÉTODOS GERAL

Figura 1: Mapa da área de estudo de pequenos mamíferos da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, indicando os transectos de captura do período 2018 a 2019.....10

CAPÍTULO I

Estrutura de comunidades, dinâmica populacional e influência do habitat em pequenos mamíferos

Figura 1: Esquema da disposição dos pontos de medição do micro-habitat para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002) 19

Figura 2: Instrumento utilizado para medição das variáveis verticais e horizontais para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002) 20

Figura 3: Medida de obstrução vertical para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002) 20

Figura 4: Medida de obstrução horizontal para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019 Fonte: adaptação de Freitas *et al.*, 2002.....21

Figura 5: Número total de indivíduos de pequenos mamíferos capturados pelos meses de coleta na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. 27

Figura 6: Curva do coletor gerada para os anos de 2001 a 2019 para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019...
..... 29

Figura 7: Similaridade na composição de espécies de pequenos mamíferos comparados com outros estudos de Mata Atlântica do Rio de Janeiro, utilizando a análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS)..... 33

Figura 8: Número de indivíduos de *Didelphis aurita* por sexo para cada mês de captura de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica36

Figura 9: Número de fêmeas em estado reprodutivo e total de fêmeas maduras de *Didelphis aurita* de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica37

Figura 10: Estrutura etária de *Didelphis aurita*, de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz d Mata Atlântica.....37

CAPÍTULO II

A longitudinal survey of gastrointestinal parasites of the black-eared opossum *Didelphis aurita* at an urban-sylvatic interface area in Southeast Brazil: a morphological and ecological characterization based on helminth eggs

Figure 1: Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Aspidodera raillieti*; **b** *Cruzia tentaculata*; **c** *Globocephalus marsupialis* (arrow indicating hyaline bark); **d** *Turgida turgida*; **e** family Trichuridae; and **f** family Viannaiidae..... 53

Figure 2: Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Oligacanthorhynchus microcephalus*; **b** *Duboisella proloba* (arrow indicating operculum opening); and **c** *Brachylaima advena* 54

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Estrutura de comunidades, dinâmica populacional e influência do habitat em pequenos mamíferos

Tabela 1: Lista de variáveis quantitativas de habitat utilizadas para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. 17

Tabela 2: Lista de variáveis qualitativas medidas para o estudo de habitat para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Variáveis foram avaliadas com relação a sua ocorrência, densidade e abundância..... 18

Tabela 3: Inventários e levantamentos de espécies de pequenos mamíferos realizados nos blocos de vegetação remanescentes do estado do Rio de Janeiro, RJ, disponíveis em literatura para comparação com o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Foi realizada a atualização dos nomes das espécies de pequenos mamíferos encontradas nos estudos para as comparações 25

Tabela 4: Abundância de pequenos mamíferos capturados por transectos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Trilha de Peridomicílio A (PA), trilha de Peridomicílio B (PB), trilha de Peridomicílio C (PC), trilha de Transição A (TA), trilha de Transição B (TB), trilha de Transição C (TC), trilha de Mata A (MA), trilha de Mata B (MB) e trilha de Mata D (MD)..... 27

Tabela 5: Sucesso de captura referente as áreas e aos transectos de captura para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019 Trilha de Peridomicílio A (PA), trilha de Peridomicílio B (PB), trilha de Peridomicílio C (PC), trilha de Transição A (TA), trilha de Transição B (TB), trilha de Transição C (TC), trilha de Mata A (MA), trilha de Mata B (MB) e trilha de Mata D (MD)..... 28

Tabela 6: Valores referentes a abundância total, riqueza observada, riqueza estimada (\pm desvio padrão) e equitabilidade entre áreas para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.29

Tabela 7: Lista de espécies de pequenos mamíferos silvestres não-voadores e sinantrópicos da Estação Biológica Fiocruz da Mata Atlântica, Estado do Rio de Janeiro, RJ, referentes as coletas dos anos de 2001 e 2012-2015 (Gentile e colaboradores (2018); 2017 (Tavares,2018), presente estudo e informações do CFMA sobre os roedores sinantrópicos. (x) Presença da espécie e (-) ausência da espécie 30

Tabela 8: Valores de diversidade beta relacionados a abundância dos indivíduos e a composição de espécies para o estudo de comunidades de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. 31

Tabela 9: Valores de diversidade beta relacionados a composição de espécies entre comunidades de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica e outras localidades do estado do Rio de Janeiro e entre localidades do Bloco da Região Metropolitana e do Bloco da Região Serrana Central..... 32

Tabela 10:, Complexidade, heterogeneidade e distância das habitações de pequenos mamíferos capturados por transectos e por tipo de ambiente na Estação Biológica Fiocruz da Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ..... 34

Tabela 11: Correlação de Pearson das variáveis ambientais com riqueza e abundância de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ.....35

CAPÍTULO II

A longitudinal survey of gastrointestinal parasites of the black-eared opossum *Didelphis aurita* at an urban-sylvatic interface area in Southeast Brazil: a morphological and ecological characterization based on helminth eggs

Table 1: Characteristics and measurements of helminth eggs found in *Didelphis aurita* feces in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil compared to Costa-Neto et al. 2019 and other references..... 55

Table 2: Mean parasitic load ($\pm SD$) and prevalence (95% confidence limits) of the nematodes *Aspidodera raillieti*, *Cruzia tentaculata*, *Globocephalus marsupialis* and *Turgida turgida* and for the families Trichuridae and Viannaiidae based on eggs recovered from faecal samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season..... 57

Table 3 Mean parasitic load ($\pm SD$) and prevalence (95% confidence limits) of the trematodes *Brachylaima advena* and *Duboisella proloba* and for the acanthocephalan *Oligacanthorhynchus microcephalus* based on eggs recovered from faecal samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season..... 58

Table 4 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth parasitic load for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta AICc < 2$) and the null models are presented 58

Table 5 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth prevalence for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta AICc < 2$) and the null models are presented 59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz

IOC: Instituto Oswaldo Cruz

EFMA: Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica

CFMA: Campus Fiocruz Mata Atlântica

PEPB: Parque Estadual da Pedra Branca

ICMBio: Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

INEA: Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro

CEUA/Fiocruz: Comissão de Ética no Uso de Animais da Fundação Oswaldo Cruz

PARNASO: Parque Estadual da Serra dos Órgãos

MSD: Município de Sumidouro

MTP: Município de Teresópolis

RBPA: Reserva Biológica de Poço das Antas

PNSB: Parque Nacional da Serra da Bocaina

PNI: Parque Nacional de Itatiaia

NMI: Número de morfotipos encontrados por hospedeiro individual

TPL: Carga parasitária total

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Comunidades

A diversidade biológica ou biodiversidade significa a variabilidade de organismos vivos de todas as fontes incluindo a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (CDB, 1992). A biodiversidade abrange múltiplas escalas espaciais que vão dos genes a espécies, e pode ser atribuída a espécies, populações, comunidades, ecossistemas, ecorregiões, biomas, chegando ao nível de organização da biosfera. Em estudos ecológicos, o conceito de diversidade na escala de comunidades é entendido como sendo um parâmetro que engloba tanto a composição de espécies quanto a abundância relativa destas (Begon, 2009; Cain *et al.*, 2008; Magurran, 2004). Whittaker (1972) propôs três escalas de diversidade: a diversidade alfa é considerada a diversidade de espécies em escala local; a diversidade beta compara a diversidade de espécies entre comunidades locais; e a diversidade gama é a diversidade global, ou seja, a diversidade de espécies em uma escala geográfica regional. A diversidade beta pode ser dividida em dois componentes: substituição (“*turnover*”) que está relacionada à renovação ou substituição de espécies ao longo do gradiente ambiental estudado, e aninhamento (“*nestedness*”), onde há perda ou ganho sequencial de espécies ao longo do gradiente. Estes componentes permitem um melhor entendimento da estruturação das comunidades (Baselga, 2010).

Comunidades biológicas são conjuntos de populações de diferentes espécies que interagem entre si e ocorrem juntas num mesmo local ou região num dado momento (Cain *et al.*, 2008; Begon, 2009; Stroud *et al.*, 2015). Estudos sobre ecologia de comunidades buscam entender como se dão as interações entre as espécies, os padrões de estruturação na comunidade e os fatores e processos que influenciam e explicam estes padrões (Stroud *et al.*, 2015).

As interações entre as espécies podem ser diretas ou indiretas, e sinérgicas, como mutualismo ou comensalismo, ou antagônicas, como competição, predação ou parasitismo (Cain *et al.*, 2008; Ricklefs, 2010; Stroud *et al.*, 2015). Diversos fatores bióticos e abióticos podem influenciar nestas interações que, por sua vez, variam no espaço e no tempo. Como resultado, determinadas espécies podem estar presentes em uma dada comunidade e não em outras, dentro de uma mesma região, em função das interações e dos fatores abióticos (Cain *et al.*, 2008). Deste modo, padrões de diversidade e distribuição de espécies variam em escala local, regional e global (Cain *et al.*, 2008).

1.2 Degradação da Mata Atlântica

O Brasil está entre os 17 países megadiversos do mundo (CBD, 2012), o que significa que sua rica diversidade tem importância em nível global. Com a crescente crise da biodiversidade, caracterizada pela perda da diversidade biológica, algumas espécies estão sendo extintas sem ao menos terem sido formalmente descritas (Bergallo *et al.*, 2000).

A Mata Atlântica é uma das regiões brasileiras inseridas no bioma de florestas tropicais, sendo a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano depois da floresta Amazônica. É considerada um dos *hotspots* mundiais da biodiversidade, por apresentar um elevado endemismo de espécies e acentuado grau de perda ambiental (Myers *et al.*, 2000). A Mata Atlântica é considerada o bioma brasileiro que mais sofreu com processos de fragmentação ao longo dos anos, perdendo aproximadamente 90% de sua área original (SOS Mata Atlântica, 2021).

As florestas úmidas, como a Mata Atlântica, têm papel fundamental na conservação de pequenos mamíferos, dada a diversidade de habitats, concentrando uma grande variedade de espécies. Alterações nas distribuições espaciais das espécies podem indicar influência de fatores bióticos e abióticos, locais e regionais, que podem ser decorrentes ou não de modificações de origem antrópica nos habitats naturais. Originalmente, a Mata Atlântica era formada por um cinturão de floresta contínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul (INPE, 2015; MMA, 2015). A perda de áreas florestadas, em particular a Mata Atlântica, está relacionada ao modo de produção e ocupação territorial desde o início na era colonial, no qual a abundância dos recursos estimulou uma rápida exploração predatória (Young, 2006). Com os ciclos do pau-brasil, café, açúcar, ouro e gado (séculos XV ao XIX) as atividades econômicas relacionadas a estes produtos estiveram ligadas ao desmatamento e ao uso descontrolado de recursos naturais, com graves danos ao ambiente, sem constituir formas sustentáveis que possibilitassem a superação das contradições econômicas e sociais (Dean, 1995; Young, 2006). Assim, a Mata Atlântica sofreu com o processo de devastação da sua cobertura vegetal por 500 anos sem que houvesse alguma preocupação com a redução dos seus recursos naturais (Dean, 1995).

1.3 Pequenos Mamíferos não-voadores.

Os pequenos mamíferos não voadores, que incluem os marsupiais e roedores, são o grupo de pequenos mamíferos mais diversificado do Brasil (Abreu *et al.*, 2021). A ordem Rodentia é a mais numerosa da Classe Mammalia em número de espécies, estando presente em todos os continentes, exceto na Antártida (Patton *et al.*, 2015), sendo listados até o momento 74 gêneros e 267 espécies com ocorrência no Brasil (Abreu *et al.*, 2021). A ordem Didelphimorphia ocorre nas Américas e inclui 127 espécies em 18 gêneros (Astúa *et al.*, no prelo). No Brasil, já foram descritas 67 espécies em 15 gêneros desta ordem (Abreu *et al.*, 2021). Esses animais exercem forte influência na dinâmica das florestas Neotropicais, uma vez que contribuem para a dispersão de sementes, atuam como predadores de pequenos vertebrados e invertebrados, são hospedeiros de diversos parasitos contribuindo para sua dispersão, além de serem bons indicadores de perturbações ambientais locais e da paisagem (Pardini & Umetsu, 2006).

Inventários da fauna de pequenos mamíferos já foram realizados em diversas áreas da Mata Atlântica (Albuquerque *et al.*, 2013; Bergallo *et al.*, 2005; Bittencourt & Rocha, 2002; Cronemberger *et al.*, 2019; Cunha & Rajão, 2007; D'Andrea *et al.*, 2007; Delciellos *et al.*, 2012; Feliciano *et al.*, 2002; Freitas, 2006; Geise *et al.*, 2004; Gonçalves *et al.*, 2016; Modesto *et al.*, 2008a; Modesto *et al.*, 2008b; Olifiers, 2002; Olifiers *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2012; Pereira, 2001; Pereira *et al.*, 2013; Pessôa *et al.*, 2009; Tavares, 2018; Vaz *et al.*, 2007; Viveiros de Castro & Fernandes, 2003). Alguns estudos também abordaram aspectos ecológicos sobre a estruturação de comunidades e uso do habitat (Deciellos *et al.*, 2018; Gentile *et al.*, 2018; Umetsu & Pardini, 2007; Vera y Conde & Rocha, 2006; Vieira *et al.*, 2009; Olifiers, 2002; Oliveira *et al.*, 2012).

O conhecimento da estruturação das comunidades e a diversidade de espécies de pequenos mamíferos dependem primariamente de inventários de espécies (Bergallo *et al.*, 2000; Patterson 2002). Os inventários de espécies, bem como os programas de monitoramento de fauna silvestres, são fundamentais para os estudos da diversidade, uma vez que agregam informações complementares com diferentes metodologias (Freitas *et al.*, 2006; Geise *et al.*, 2004). Contudo, existe uma grande lacuna em relação a inventários da fauna de mamíferos no Brasil. Este fator, aliado às dificuldades de identificação taxonômica, está entre os maiores problemas para o conhecimento da diversidade.

1.3 Ambiente e Saúde

Atualmente, sabe-se que animais silvestres são importantes fontes de patógenos para os seres humanos, podendo ser responsáveis pela emergência de zoonoses. Zoonoses são definidas como doenças transmitidas dos animais para os seres humanos e vice-versa. A atual pandemia de COVID-19 é um exemplo. O reconhecimento da relação entre saúde humana, saúde de animais domésticos e silvestres e saúde ambiental está inserido no conceito de Saúde Única (“One Health”). Esta abordagem vem ganhando espaço cada vez maior dentro de discussões científicas que tratam de questões ligadas a saúde e epidemiologia e, com isso, fornecendo subsídios técnicos para a adoção de políticas públicas efetivas para a prevenção e controle de enfermidades nos níveis local, regional, nacional e global (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018; Lerner & Berg, 2015). Neste contexto, a redução ou perda da biodiversidade, ou mesmo a introdução de espécies exóticas, que são espécies que não habitam naturalmente determinado local, tendo sido introduzidas pelos seres humanos, pode provocar efeitos em cascata e também na regulação das populações naturais e nos processos ecológicos. A urbanização e a expansão das atividades humanas sobre as áreas florestais degradam e fragmentam os habitats naturais, sendo a fragmentação florestal um dos principais fatores a alterar os padrões de diversidade, abundância e distribuição das espécies (Sancha *et al.*, 2014). Em ecossistemas perturbados, as espécies de animais generalistas ou oportunistas podem ser favorecidas pela antropização, o que frequentemente leva ao incremento de suas densidades em áreas rurais e de peridomicílio (D’Andrea *et al.*, 2007; Gentile *et al.*, 2004).

A transmissão de parasitos pode ser influenciada diretamente pela alteração na demografia e distribuição das populações de animais silvestres, principalmente nas áreas de interface entre ambientes periurbanos, rurais e ambientes silvestres (Kruse *et al.*, 2004), podendo aumentar o risco de transmissão de zoonoses em humanos (Begon, 2008; Johnson & Thielges, 2010; Mills, 2006; Ostfeld, 2009). Assim, as atividades humanas podem ser responsáveis pelo surgimento de endemias ou surtos locais de doenças como hantavíroses, malária, febre amarela, dengue, helmintoses, leishmanioses e Doença de Chagas (Gentile & D’Andrea, 2016; Lemos & D’Andrea, 2014).

Os roedores e marsupiais, juntamente com morcegos, são de grande interesse para estudos de ocorrência de zoonoses e surtos parasitários, pois são reconhecidos como reservatórios naturais de parasitos que afetam o ser humano (Han *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2016; Mills & Child, 1998). O conhecimento da biologia das espécies e o monitoramento das populações de animais silvestres são fundamentais para a compreensão dos ciclos de transmissão de parasitos e dos fatores que causam a emergência de uma determinada zoonose (Pavlovsky, 1966). Dentre as principais zoonoses associadas à mastofauna da Mata Atlântica, estão as hantavíroses (Suzuki *et al.*, 2004), rickettsioses (Coelho *et al.*, 2016), tripanossomíases (Carreira *et al.*, 2017; Rengifo-Correa *et al.*, 2017), leishmanioses

(Carreira *et al.*, 2012; Roque & Jansen, 2014) e helmintoses (Costa-Neto *et al.*, 2016).

Além disso, estudos sobre a diversidade de parasitos no contexto ecológico e taxonômico são fundamentais para a melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas (Poulin, 2007). Os parasitos são organismos relevantes na manutenção dos ecossistemas, pois podem influenciar na regulação e estruturação da população hospedeira, e interferir em processos como competição, migração, especiação e reprodução (Combes, 1996; Marcogliese, 2005). Estudos sobre as interações ecológicas parasito-hospedeiro são fundamentais para a compreensão do papel dos parasitos na estruturação de comunidades e ecossistemas (Poulin 2010, Poulin *et al.*, 2013).

Em populações de hospedeiros, helmintos parasitos têm sido bastante utilizados como indicadores de alterações ambientais, pois estas mudanças podem alterar os parâmetros parasitológicos destes organismos, resultando em efeitos negativos para a biodiversidade (Bush *et al.*, 2001; Gardner & Campbell 1992). Devido ao seu potencial de dispersão entre espécies e ambientes, e por serem parasitos que podem ter suas abundâncias estimadas, os helmintos são excelentes modelos de estudo da interação parasito-hospedeiro em ecossistemas naturais e antropizados (Cardoso *et al.*, 2016; Maldonado *et al.*, 2006; Simões *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2011).

1.5 Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica

O Campus Fiocruz Mata Atlântica (CFMA) fica localizado no Maciço da Pedra Branca, Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro, estando parcialmente inserido no Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB). Este parque possui uma das maiores florestas urbanas do mundo, sendo um dos principais remanescentes do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, abrangendo uma área de 12.500 hectares, representando 11% do território do município em que se encontra. A Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) está localizada dentro do CFMA e constitui-se em áreas não edificáveis acima da cota de altitude de 30m. A EFMA situa-se em uma região de grande avanço populacional do município do Rio de Janeiro. O avanço urbano constante e intenso em áreas de floresta é preocupante, pois a biota do local é pouco conhecida e as áreas de interface de ambientes urbanos com ambientes silvestres podem ser favoráveis à emergência de zoonoses.

Estudos preliminares realizados na EFMA pelo Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC) / FIOCRUZ e grupos colaboradores identificaram a ocorrência de ciclos silvestres de parasitos de interesse para a saúde humana e veterinária. Foi registrada a ocorrência de leishmaniose tegumentar e de isolados de *Trypanosoma cruzi* em pequenos mamíferos (Berbigier *et al.*, 2021; Pontes, 2015). Foi identificada uma nova espécie de *Trypanosoma*, *T. janseni* em espécimes do gambá *Didelphis aurita* (Lopes *et*

al., 2018). Foram encontradas 14 espécies de helmintos no gambá

D. aurita (Castro *et al.*, 2017; Costa-Neto,2017; Costa-Neto *et al.*, 2019). Dentre estes helmintos, a espécie *Heterostrongylus heterostrongylus* destaca-se por sua importância médico-veterinária, uma vez que este nematódeo parasita o sistema cardiopulmonar de mamíferos causando patologia grave, ocorrendo em animais domésticos e de criação (Costa-Neto *et al.*, 2016). O eucarioto unicelular *Blastocystis* sp., que ocorre em seres humanos, também foi registrado em pequenos mamíferos (Valença-Barbosa *et al.*, 2019). O carrapato *Ixodes loricatus*, potencial vetor de rickettsioses, foi encontrado em gambás (Luz *et al.*, 2018). *Bartonella* spp. foi registrada em morcegos (Gonçalves-Oliveira *et al.*, 2020). Também já foram registrados casos humanos de Febre Q e bartonelose, e soroprevalência para hantavirose em pacientes HIV positivos na região de Jacarepaguá (Lamas *et al.*, 2009; Lamas *et al.*, 2010; Lamas *et al.*, 2013).

Monitoramentos da fauna silvestre e seus parasitos são de grande importância em áreas de interface de ambientes urbano e silvestres, como a área da EFMA. Deste modo, o conhecimento da fauna de pequenos mamíferos nesta área é fundamental, considerando-se a importância dos mesmos para a manutenção dos ecossistemas florestais (Tavares, 2018) e sua participação em ciclos de zoonoses (Gonçalves-Oliveira *et al.*, 2020; Berbigier *et al.*, 2021).

1.6 Justificativa

A Mata Atlântica está entre alguns dos ecossistemas mais ameaçados do mundo, apresentando elevados índices de endemismo e evidenciando um estado crítico de alteração de seus ecossistemas naturais, alterando a área de distribuição de inúmeras espécies. Dentro do contexto de conservação, a degradação ambiental destas áreas de interface de ambiente urbano-silvestre, como a Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, tem afetado diretamente a biodiversidade. A maior abundância de espécies de pequenos mamíferos nas áreas mais perturbadas sugere o aumento de fatores favoráveis à ocorrência de espécies sinantrópicas, tais como o rato comum, e de espécies silvestres oportunistas ou generalistas, como alguns roedores sigmodontíneos e o gambá, que são importantes reservatórios de diversas zoonoses. Apesar da ampla ocorrência de endoparasitos infectando animais silvestres, observa-se um reduzido conhecimento acerca da biodiversidade de helmintos destes animais em condições naturais. A correta identificação taxonômica das espécies de parasitos em seus hospedeiros, assim como a descrição de novas espécies, são fundamentais para o conhecimento da biodiversidade parasitária, para o enriquecimento de inventários zoológicos, para os estudos da relação parasito-hospedeiro e para a saúde pública.

Este projeto de tese está inserido em um projeto maior sobre biodiversidade, ecologia e parasitismo de pequenos mamíferos reservatórios, envolvendo o estudo de seus parasitos e potenciais riscos de zoonoses em áreas da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, RJ. Sendo assim, o presente trabalho traz informações essenciais para os aspectos relacionados à biodiversidade, bem como para a compreensão da estrutura das comunidades de hospedeiros e seus parasitos em uma das maiores florestas urbanas do mundo.

1.7 Hipóteses

- 1) A riqueza e a diversidade de pequenos mamíferos não voadores variam dentro da área estudada na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica e arredores ao longo de um gradiente de interferência antrópica, sendo menor em áreas mais antropizadas e maior em áreas menos antropizadas;
- 2) Áreas de interface urbano/silvestre afetam a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a riqueza e a composição de espécies destas áreas. Assim, o ambiente de interface encontrado na EFMA pode levar a uma redução na diversidade de espécies em relação a outras localidades da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro.
- 3) A heterogeneidade e a complexidade do habitat influenciam na riqueza e abundância das espécies de pequenos mamíferos não voadores na área de estudo, uma vez que áreas mais heterogêneas e complexas oferecem maior oferta de recursos para as espécies influenciando na presença de espécies generalistas e especialistas;
- 4) O sexo, a idade e o fator de condição do hospedeiro, bem como a estação do ano, influenciam a carga parasitária e a prevalência de ovos de helmintos em *D. aurita*, uma vez que estes fatores são reconhecidamente determinantes para a ocorrência e abundância dos helmintos.

2 OBJETIVO GERAL

Conhecer a diversidade, analisar a estrutura do habitat, e investigar o parasitismo por helmintos em pequenos mamíferos silvestres não-voadores em áreas com diferentes perfis de conservação da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) e seu entorno, incluindo áreas do Parque Estadual da Pedra Branca, RJ.

3 MATERIAL E MÉTODOS GERAL

3.1 Área de Estudo

A EFMA foi criada em 2016 e tem como missão apoiar, estimular e acolher, no seu perímetro e área de influência, a pesquisa, a inovação, a educação e a disseminação e divulgação de conhecimentos sobre a complexidade socioambiental e a relação entre biodiversidade e saúde, no âmbito da missão da Fiocruz (Portaria do MS/nº 938, de 22.07.99). Anteriormente, esta área havia sido ocupada por engenhos de cana-de-açúcar e café. Os proprietários rurais no século XVIII viam a floresta como fonte inesgotável de recurso e como obstáculo de seus objetivos mercantis. As lavouras de cana-de-açúcar e café provocaram intenso desmatamento seguido de um rápido desgaste dos solos, erosão de encostas e o assoreamento de pequenos rios, provocando uma redução nos níveis de água e ocasionando o abandono das lavouras por seus proprietários. Posteriormente, a região apresentou núcleos de ocupação territorial que se desenvolveram principalmente a partir da confluência dos caminhos abertos e ao redor das fazendas, começando feições urbanas com grandes residências e estradas (Corrêa, 2017).

A paisagem geral da EFMA e seus arredores é formada por um mosaico de ambientes, contendo desde áreas com vegetação em avançado estágio de sucessão ecológica, passando por estágios intermediários e iniciais, agricultura, até áreas com urbanização consolidada (Figura1). O CFMA, onde está inserida a estação, engloba áreas tanto de peridomicílio, quanto áreas em fase de regeneração (área de interface) e áreas preservadas do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB). O clima da região é tropical úmido, sem estação seca, com verões quentes e chuvosos e inverno ameno (Ayoade, 1986).

O estudo foi realizado em três tipos de habitat:

Área de Peridomicílio, correspondendo a três transectos (PA-22°56'18.8"S 43°24'05.8"O; PB-22°56'17.1"S 43°23'59.2"O e PC-22°56'09.9"S 43°24'01.2"O) ao redor das residências em até 100 metros de distância destas. A cobertura vegetal não é contínua, sendo aberta em vários trechos, com altura média de 6 a 8 metros. Há pontos com alagamentos no decorrer das trilhas ou até mesmo pequenos corpos de água, dependendo da estação do ano. O sub-bosque é denso ou esparso próximo ao solo e ausente acima de cinco metros. Há presença de árvores frutíferas e presença de algumas espécies exóticas como bananeiras. O relevo é plano.

Área de Transição (três transectos: TA- 22°56'28.6"S 43°24'33.2"O; TB- 22°56'27.1"S 43°24'35.5"O e TC- 22°56'29.6"S 43°24'33.5"O): É uma área de floresta degradada em processo de regeneração. A cobertura vegetal é contínua, porém, espaçada. Há árvores de médio porte e poucas de grande porte. O sub-bosque é denso em sua maior parte. Há presença de árvores frutíferas e de

espécies exóticas como bananeiras em diversos pontos. O relevo é plano. Área de Mata Preservada (três transectos: MA-22°56'39.9"S 43°25'00.3"O; MB- 22°56'42.4"S 43°24'58.5"O e MD- 22°56'40.4"S 43°24'58.6"O): Há presença de árvores de médio e grande porte. O sub-bosque é esparso, o dossel não é contínuo e é aberto em alguns pontos. Há presença de árvores frutíferas e de espécies exóticas. O relevo é inclinado e há presença de rochas.



Figura 1: Mapa da área de estudo de pequenos mamíferos da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, indicando os transectos de captura do período 2018 a 2019.

3.1 Coleta de pequenos mamíferos

As coletas de pequenos mamíferos foram realizadas nos mesmos transectos em todas as expedições, em diferentes tipos de habitat representando áreas preservadas, áreas de transição e áreas de peridomicílio de acordo com a descrição acima.

As amostragens dos pequenos mamíferos foram realizadas a cada três meses: setembro 2018, dezembro 2018, março 2019, junho 2019, setembro 2018 e dezembro de 2019 (uma coleta por estação do ano), por quatro noites consecutivas, utilizando-se o método de captura-marcação-recaptura. Foram realizadas amostragens de pequenos mamíferos em nove transectos lineares de dez pontos de captura cada, sendo três transectos em cada tipo de habitat espaçados em 100 m e os pontos equidistantes em 20 m. Cada estação foi marcada utilizando-se uma fita vermelha (de cetim ou algum produto compatível), marcada com caneta retroprojeter, fixada em um arbusto ou árvore na altura dos olhos. Os transectos foram abertos com auxílio do facão, uma bússola para manter o mais linear possível e uma trena para medir as distâncias entre os pontos. Em cada ponto foram colocadas duas armadilhas no chão do tipo “live-trap” para pequenos mamíferos dos tipos Sherman® (7,62 cm x 9,53 cm x 30,48 cm) e Tomahawk® (40,64 cm x 12,70 cm x 12,70 cm). Também foram colocadas duas armadilhas no sub-bosque por transecto, sendo uma Tomahawk® e uma Sherman®. As armadilhas sempre que possível, estavam abrigadas do sol e da chuva. O esforço total de captura por área foi de 9504 e por transecto foi de 3168 armadilhas/noite. As armadilhas foram testadas e verificadas quanto ao seu bom funcionamento e foram iscadas com uma mistura de banana, toucinho, pasta de amendoim e aveia, incluindo-se itens representativos de diversos hábitos alimentares com forte odor para a atração dos animais (proteína animal, grãos, farelo e fruto). As armadilhas foram verificadas quanto a presença de animais e iscadas diariamente, durante todo o período da coleta. Caso nenhum animal tivesse sido capturado na armadilha, era observada a condição da isca para eventual reposição e o funcionamento do mecanismo de desarme da armadilha.

As expedições para captura dos animais estavam licenciadas por Licença Permanente de coleta/captura em todo território nacional (IBAMA – SISBIO número 13373-1), licença INEA 20/2011 (aditivo renovação) e licença da Comissão de ética de Uso de Animal da Fiocruz (CEUA – LW- 39 / 14).

Os animais capturados foram marcados individualmente com brincos numerados da marca National Band & Tag Company®, USA, nas duas orelhas. Os animais foram pesados utilizando-se balanças manuais da marca Pesola® dentro um saco de pano. Foram medidos o tamanho da cauda e do corpo com fita métrica. A atividade reprodutiva foi constatada em marsupiais pela presença de filhotes na bolsa das fêmeas e pelo intumescimento das tetas,

indicando presença de leite e desmame recente. A gravidez não foi considerada uma vez que é de difícil percepção já que os filhotes nascem pouco desenvolvidos. Os filhotes encontrados no marsúpio foram contados, medidos mantendo-os presos às mamas. e observados quanto ao sexo, quando possível. Nas fêmeas de roedores, foram observados como indicadores de atividade reprodutiva a condição externa da vagina (presença de secreção), a presença de leite nas tetas, e gravidez, quando possível. Foram coletadas amostras de sangue para diagnóstico sorológico para infecção por diversas zoonoses estudadas por grupos colaboradores, tais como para hantavirose, rickettsioses e leishmanioses. Os animais foram soltos em seus respectivos pontos de captura.

Foram coletadas fezes do gambá *D. aurita* para levantamento de parasitos intestinais por identificação dos ovos dos helmintos por exame parasitológico de fezes (sedimentação e flutuação com açúcar). Essas amostras foram coletadas por meio de gorros colocados sob as armadilhas ou coletadas imediatamente após a eliminação das fezes durante o manuseio dos animais. As amostras de fezes foram armazenadas em potes contendo fixador Milloning (100 ml de formol a 40%, 900 ml de água destilada, 18,6 g de fosfato monobásico de sódio e 4,2 g de hidróxido de sódio), até cobrir totalmente as mesmas, e mantidas em geladeira até o momento da análise em laboratório para exame parasitológico de fezes de ovos de helmintos.

4 CAPÍTULO I

Estrutura de comunidades, dinâmica populacional e influência do habitat em pequenos mamíferos

4.1 INTRODUÇÃO

4.1.1 Uso do habitat

O habitat é considerado o principal componente do nicho relacionado à coexistência de espécies e estruturação das comunidades em mamíferos (Alho, 2005; Chamber & Dickman, 2002; Corbalán, 2006). O habitat de uma espécie pode ser definido como uma porção do ambiente sobre a qual ela vive e desempenha seu papel (Hall *et al.*, 1997). Enquanto o habitat de uma espécie pode ser definido como um lugar físico, em uma escala particular de espaço e tempo, o nicho engloba o conjunto de recursos, condições e também o papel desempenhado pela espécie no ecossistema (Begon, 2009). As espécies podem selecionar o habitat que lhes ofereça recursos adequados para sua existência num dado ambiente (Dueser & Shugart Jr, 1978). Isso se dá pelas diferenças nas formas em que o habitat e o alimento se distribuem no espaço e são encontrados pelos indivíduos (Schoener, 1974).

Neste contexto, o habitat pode apresentar uma maior ou menor heterogeneidade e complexidade ambiental de acordo com a variação das condições de um determinado ambiente. A heterogeneidade refere-se à variação horizontal nas características do habitat (August, 1983) e pode ser decorrente da variedade de microhabitats, microclimas, maior quantidade de nichos e recursos e locais para os indivíduos poderem se esconder dos predadores. A complexidade do habitat refere-se ao desenvolvimento de estratos verticais no ambiente (August, 1983). Habitats complexos podem oferecer uma maior variedade de nichos potenciais do que um ambiente mais simples (Gentile & Fernandez, 1999), portanto, quanto maior a diversidade estrutural da floresta, mais espécies associadas a diferentes nichos são esperadas de ocorrer (August, 1983; MacArthur *et al.*, 1962; Williams & Marsh, 1998).

Com relação ao uso do habitat, algumas espécies podem ser mais especialistas, ou seja, usam partes restritas do ambiente, apresentando preferência por determinadas características, enquanto outras podem ocorrer em diversos tipos de ambiente (Rezende *et al.*, 2011). O grau de especialização em habitat pode ser um fator determinante na capacidade de ocupação de um dado ambiente perturbado por pequenos mamíferos, e está diretamente relacionado a sua vulnerabilidade aos processos de origem antrópica, tais como a fragmentação florestal (Püttker *et al.*, 2008).

A fragmentação de habitats é apontada como uma das principais causas da perda de biodiversidade (Vitousek *et al.*, 1997). O processo de fragmentação e de perda da área total de um habitat original ocorrem juntos, resultando também em um aumento da extensão dos habitats

de borda (Murcia, 1995). As principais consequências dessas mudanças podem ser a substituição de espécies vegetais dominantes, a redução de árvores de grande porte e o aumento da densidade de trepadeiras e arbustos no sub-bosque (Laurance, 2008; Mena & Medellín, 2010).

Estudos de preferência de habitat por pequenos mamíferos podem dar suporte à compreensão de como as comunidades deste grupo são estruturadas, bem como os efeitos de perturbações antrópicas na riqueza e diversidade das comunidades (August, 1983; Diffendorfe *et al.*, 1995; MacArthur *et al.*, 1966). Alguns estudos realizados na Mata Atlântica, como por exemplo o de Delciellos *et al.* (2016), mostraram que a estrutura do habitat foi um dos principais determinantes das comunidades de pequenos mamíferos em fragmentos florestais e que o isolamento entre os fragmentos teve influência na composição de espécies. Umetsu & Pardini (2007) mostraram a importância da heterogeneidade da floresta em microescala para a distribuição de pequenos mamíferos. O estudo de Grelle (2003) investigou a relação das variáveis de micro-habitat em escala local com a riqueza e abundância de espécies de pequenos mamíferos e encontrou uma relação positiva entre a complexidade do habitat e a riqueza de espécies. Pardini *et al.* (2005) sugeriram que a perturbação ou regeneração de florestas tropicais são associadas a gradientes de estrutura de habitats importantes para a diversidade de comunidades de pequenos mamíferos.

4.1.2 Dinâmica populacional

As populações dos organismos podem ser estudadas e compreendidas através de uma série de atributos denominados parâmetros populacionais, como por exemplo, número de indivíduos, taxa de nascimentos, taxa de sobrevivência, taxa de mortalidade, taxa de fecundidade, migração, dentre outros (Begon *et al.*, 1996). A variação destes parâmetros e a compreensão dos fatores que levam a estas flutuações no espaço e no tempo constitui-se na dinâmica de populações.

O estudo da dinâmica de populações de uma espécie busca relacionar a variação numérica dos parâmetros populacionais com suas causas. As taxas de nascimentos, mortes, imigrações e emigrações seriam as causas próximas da variação populacional, enquanto os fatores que afetam estas taxas seriam as causas finais (Begon, 2009; Kajin *et al.*, 2008). Os fatores finais podem ser intrínsecos, ou seja, atributos da própria população, ou extrínsecos, ou seja, fatores ambientais, competição entre espécies, predação, etc. Como exemplo de fatores intrínsecos, tem-se a dispersão dos indivíduos, a estrutura espacial, as interações sociais, os componentes da reprodução (tamanho de ninhada, tempos de gestação e lactação, tempo da

estação reprodutiva, sistema de acasalamento, razão sexual) e respostas fisiológicas ao estresse. São considerados como exemplos de fatores ambientais, a quantidade de chuvas, a temperatura, a umidade do ar, a produtividade da vegetação e dos recursos alimentares.

Marsupiais Neotropicais, por exemplo, apresentam reprodução estacional, ou seja, só se reproduzem num período definido do ano (Cerqueira, 1995, Gentile *et al.*, no prelo). É esperado que a época de reprodução esteja ligada a condições fisiológicas favoráveis à gravidez e à amamentação. Como consequência, exibem uma variação sazonal na densidade populacional (Ferreira *et al.*, 2016). Desta forma, uma maior frequência de reprodução numa determinada estação do ano deve vir em resposta a alguma variação estacional dos recursos de uma espécie, oferecendo assim uma vantagem ecológica aos indivíduos e evolutiva à população (Gentile *et al.*, 2012). A determinação e compreensão de padrões e processos ecológicos relacionados à dinâmica populacional e à estrutura das comunidades são fundamentais para o conhecimento da biodiversidade (Gentile & Kajin, 2015).

4.2 OBJETIVO GERAL

Conhecer a diversidade, analisar a comunidade e a estrutura do habitat de pequenos mamíferos silvestres não-voadores em áreas com diferentes perfis de conservação da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) e seu entorno, incluindo áreas do Parque Estadual da Pedra Branca, RJ.

4.2.1 Objetivos específicos

- 1) Calcular a riqueza, a abundância, a equitabilidade e a biomassa das espécies de pequenos mamíferos, por área e por transecto dentro de cada área;
- 2) Atualizar a lista de espécies de pequenos mamíferos da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica.
- 3) Calcular a beta-diversidade e seus componentes (substituição e aninhamento) entre áreas e transectos, considerando a abundância e a composição de espécies de pequenos mamíferos;
- 4) Analisar a influência da heterogeneidade e complexidade do habitat e da distância das habitações na riqueza e abundância de pequenos mamíferos nos diferentes tipos de ambiente da área de estudo;
- 5) Comparar a composição de espécies da área de estudo com outros estudos referentes a pequenos mamíferos na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro;

- 6) Analisar a dinâmica populacional, reprodução e estrutura etária da espécie-alvo *Didelphis aurita* ao longo do tempo de estudo.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Coleta das variáveis do habitat

Para a caracterização do habitat e estudo de sua associação com os pequenos mamíferos, foram realizadas medidas de diversas variáveis em todos os pontos onde foram colocadas armadilhas para captura dos pequenos mamíferos. As variáveis foram divididas em quantitativas e qualitativas (Tabelas 1 e 2). As variáveis quantitativas foram tomadas em cinco pontos de cada estação de captura em todos os transectos da seguinte forma: central e pontos adjacentes norte, sul, leste, oeste distando 1,5 m do ponto central, de acordo com Freitas *et al.*, (2002) (Figuras 1).

Tabela 1: Lista de variáveis quantitativas de habitat utilizadas para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

Variáveis quantitativas	Siglas
Porcentagem de cobertura de folhíço	FOL
Porcentagem de exposição do solo	SOL
Cobertura da vegetação do solo	CHL
Porcentagem de afloramentos rochosos	ROC
Número de troncos caídos	TRO
Número de árvores com mais de 1m de altura	ARV1
Número de árvores com diâmetro na altura do peito ≥ 5	ARV2
Somatório da área basal das árvores com diâmetro na altura do peito ≥ 5	BAS
Porcentagem de Cobertura do dossel	DOS
Altura do dossel	ALT
Densidade de obstrução vertical (partes herbáceas e lenhosas) na altura de 50cm a 1m	OFV

Tabela 2: Lista de variáveis qualitativas medidas para o estudo de habitat para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Variáveis foram avaliadas com relação a sua ocorrência, densidade e abundância.

Variáveis qualitativas	Caracterização Geral	Categorias
Alagamentos (ALA)	Observação direta da ocorrência de corpos d'água (rios, córregos, poças d'água ou demais regiões alagadas) nas estações de captura e ao redor.	Presença (1) ou Ausência (0)
Sub-bosque (SUB1)	Grau de abertura do sub-bosque em cada estação de captura de 1 a 5m de altura.	Aberto (0), Semi-aberto (1) ou Fechado (2)
Sub-bosque (SUB2)	Grau de abertura do sub-bosque em cada estação de captura de 5 a 10m de altura.	Aberto (0), Semi-aberto (1) ou Fechado (2)
Sub-bosque (SUB3)	Grau de abertura do sub-bosque em cada estação de captura acima de 10m de altura.	Aberto (0), Semi-aberto (1) ou Fechado (2)
Trilhas/Estradas (TRI)	Presença de trilhas ou de estradas nas estações de captura e ao redor.	Ausente (0), Cruzando as estações (1) ou Paralelas às estações (2).
Cipós (CIP)	Presença de cipós nas estações de captura e ao redor	Ausente (0), Pouco (1), Muito (2) ou Abundante (3).
Capinzal (CAP)	Presença de capinzal nas estações de captura e ao redor	Ausente (0), Pouco (1), Muito (2) ou Abundante (3).
Taquara (TAQ)	Presença de taquara (bambus) nas estações de captura e ao redor	Ausente (0), Pouco (1), Muito (2) ou Abundante (3).

As variáveis foram medidas com o auxílio de um instrumento para medição a partir da estaca central e em direção as outras quatro estacas. O instrumento constitui-se de um quadrado com bordas de madeira (0,50 x 0,50 m), dividido em 100 quadrados menores confeccionados com arame de modo a formar uma tela (Figura 2). As medições foram realizadas pela quantificação do número de obstrução dos quadrados, sendo considerados visualmente obstruídos aqueles com mais de 50% de obstrução ou vazios com menos de 50% de obstrução visual (Figura 3). A cobertura do dossel foi medida posicionando-se o instrumento de medição em sentido horizontal (Figura 4).

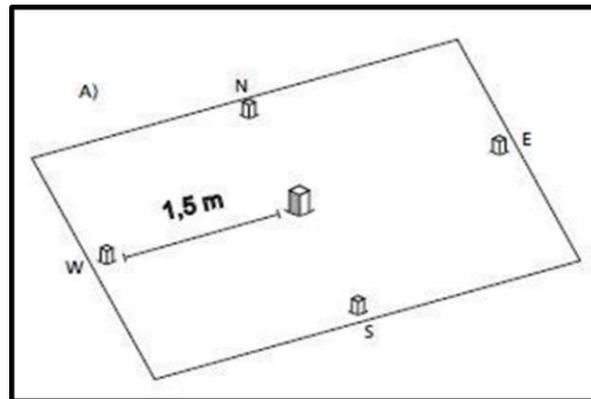


Figura 1: Esquema da disposição dos pontos de medição do micro-habitat para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002).

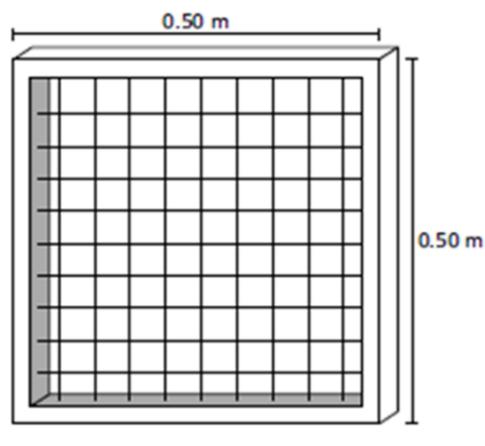


Figura 2: Instrumento utilizado para medição das variáveis verticais e horizontais para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002).

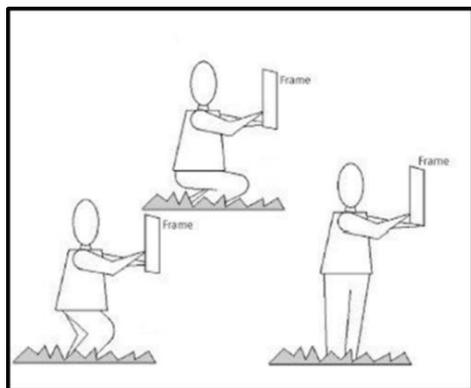


Figura 3: Medida de obstrução vertical para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002).

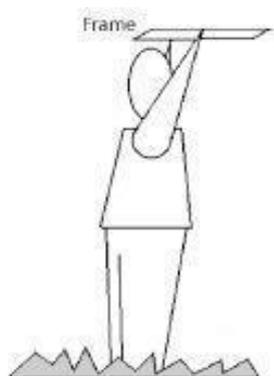


Figura 4: Medida de obstrução horizontal para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019 Fonte: adaptação de Freitas *et al.* (2002).

4.3.2 Análise dos Dados

A abundância de machos e fêmeas de *D. aurita* foi estimada de acordo com a quantidade de indivíduos capturados nos diferentes transectos e ambientes de captura. As proporções sexuais dos animais capturados foram comparadas utilizando-se o teste do qui-quadrado (Zar, 1996). O período reprodutivo das fêmeas de *D. aurita* foi determinado pela presença de filhotes na bolsa, ou com mamilos inchados indicando desmame recente.

Para o marsupial *D. aurita* a estrutura etária foi analisada classificando-se os indivíduos em quatro classes. A idade foi estimada pelas fórmulas dentárias de Motta (1988) baseadas na sequência de erupção dos dentes. As classes etárias foram divididas de acordo com Gentile *et al.* (2000). Para a classe lactante foram incluídos indivíduos encontrados dentro do marsúpio (classe 1), a classe jovem incluiu indivíduos com até 144 dias sem maturação sexual (classe 2), a classe sub-adultos incluiu indivíduos entre 144 e 336 dias (classe 3), e a classe adulto (classe 4) incluiu todos os indivíduos com mais de 337 dias, todos com grau de erupção dentária completa e com maturidade sexual.

O esforço amostral total foi calculado multiplicando-se o número de armadilhas pelo número de noites em que elas permaneceram abertas (28.512 armadilhas/noite). O sucesso de captura foi calculado pela razão entre o número de capturas e o esforço total empregado de

armadilhas×noites de captura. O sucesso de captura foi calculado para o total do estudo, por área e por transecto. A riqueza de espécies foi considerada como sendo o número de espécies capturadas no total para cada transecto e para cada área. Foi calculada a riqueza estimada utilizando-se o estimador Chao1, que estima o número absoluto de espécies levando-se em conta o número de espécies raras (Magurran, 2004). A abundância dos pequenos mamíferos foi considerada como sendo o número de indivíduos capturados por espécie em cada mês de coleta e para o total do estudo desconsiderando-se as recpturas. A equitabilidade foi calculada para cada área e cada transecto usando-se o índice de Pielou (*J*).

Foi feita uma lista de espécies de pequenos mamíferos da EFMA atualizada de acordo com os dados obtidos pelo presente estudo, agregando-se aos dados obtidos anteriormente por Gentile e colaboradores (2018) (coletas realizadas nos anos de 2001 e 2012-2015) e por Tavares (2018) (coletas realizadas em 2017). A partir desta lista de espécies compilada da EFMA, foi feita uma curva do coletor (em ordem decrescente do número de espécies) para observar a suficiência amostral usando dados de presença e ausência. Nesta curva foram utilizados os dados obtidos em todas as coletas já realizadas, (2001, 2012-2015, 2017 e do presente estudo - 2018- 2019) visando analisar se a composição de espécies da área já foi toda amostrada.

Foi calculada a diversidade beta de múltiplos sítios, bem como seus componentes de variação balanceada em abundância (substituição de indivíduos) e gradientes de abundância (aninhamento) para investigar se a diversidade foi caracterizada por perda ou substituição de pequenos mamíferos nas áreas e transectos estudados, de acordo com Baselga (2013; 2017). Esta análise foi realizada para cada área e para cada transecto estudado. Para isto, foi calculada uma matriz de dissimilaridade a partir da composição de espécies utilizando-se o índice de Sorensen. Também foi calculada uma matriz de dissimilaridade a partir da abundância de espécies de pequenos mamíferos utilizando-se o índice de Bray-Curtis.

Para as análises referentes ao habitat, as variáveis quantitativas foram transformadas em uma unidade de área padrão de acordo com Cerqueira & Freitas (1999) de forma a uniformizar sua quantificação, de acordo com o esquema abaixo. A porcentagem de cobertura vegetal foi somada. A quantidade de troncos em cada estação de captura foi somada e dividida por 9m². As variáveis cobertura vegetal no solo, serapilheira, solo exposto e rochas foram somadas e multiplicadas por A, enquanto a variável OFV foi somada e multiplicada por B, conforme abaixo:

Variáveis: CHL, FOL, SOL, ROC

\sum variável X A

A = 9 m² / 200 - área do ponto / (100 quadrados X 2 pontos medidos)

Variável: OFV

\sum variável X B

$B = 2 \text{ m}^2 / 400$ (4 lados X 0,50 cm de grade / 100 quadrados * 4 lados)

Fonte: Baseado em Cerqueira & Freitas (1999)

Índices de complexidade e de heterogeneidade do habitat foram calculados para cada transecto de captura utilizando-se variáveis previamente selecionadas. Neste caso, foram selecionadas as variáveis que mais variaram entre transectos por meio de análise de Kruskal-Wallis e variáveis menos correlacionadas entre si por meio de correlação de Spearman, dada a ausência de normalidade dos dados, testada por Shapiro-Wilk. Para o cálculo da heterogeneidade, foram utilizadas as variáveis selecionadas a priori CHL, SOL, DOS, TRO, ALA e TRI. Por sua vez, para o cálculo da complexidade foram utilizadas as variáveis selecionadas a priori ALT, OFV, SUB2, ARV1, ARV2 e CIP. Variáveis de habitat, como as que foram selecionadas tem potencial para influenciar a distribuição local e a abundância de pequenos mamíferos, como previamente relatado em outros estudos (Cassini & Galante, 1992).

Além das variáveis acima, também foi obtida a distância mínima (em metros) de cada transecto para uma habitação mais próxima utilizando-se o Google Earth website. Esta foi considerada como uma variável independente. O cálculo dos índices de heterogeneidade e complexidade seguiu o método utilizado por Paglia *et al.* (1995), onde foi utilizada a variância das variáveis entre os pontos. Posteriormente, a variância de cada variável foi dividida pela média das variâncias das variáveis em cada transecto.

Os índices de heterogeneidade e complexidade do habitat, bem como a medida de distância das habitações para os transectos, foram correlacionados com os valores de riqueza total e abundância total de espécies de pequenos mamíferos por transecto utilizando-se correlação de Pearson, dada a normalidade dos dados. O habitat total foi calculado a partir de todas as variáveis de habitat testadas, sendo de estrato vertical (complexidade) e horizontal (heterogeneidade) conjuntamente. A riqueza de espécies foi considerada como o número de espécies capturadas para cada transecto e a abundância como o número de indivíduos capturados para cada espécie, seguindo um esforço de captura padronizado.

Foi investigada a influência do habitat (heterogeneidade, complexidade, habitat total e distância das habitações) na abundância e na riqueza de espécies utilizando-se correlação de Pearson e na composição de espécies utilizando-se o teste de Mantel (Mantel, 1967) com 1000 permutações. Para isso, a abundância foi transformada utilizando-se logaritmo. O teste de Mantel foi feito através de correlações de matrizes de dissimilaridade dos dados de habitat,

abundância e composição de espécies entre transectos. A matriz de dissimilaridade de composição de espécies foi feita utilizando-se o índice de Jaccard. As matrizes de dissimilaridade dos índices de heterogeneidade, complexidade e habitat total foram calculadas utilizando índice de Bray Curtis e a de dissimilaridade na distância das habitações utilizando-se distância euclidiana.

A fim de se comparar a área de estudo com outros inventários de pequenos mamíferos na Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, foi realizado um levantamento bibliográfico referente as localidades adjacentes a área de estudo e a outras localidades de Mata Atlântica (Apêndice A). A nomenclatura das espécies foi corrigida e atualizada em relação aos artigos citados de acordo com Gardner (2008), Faria *et al.* (2019), Patton *et al.* (2015) e artigos recentes correlatos ao tema. Foram consideradas nesta análise apenas as espécies capturadas em armadilhas do tipo Sherman e Tomahawk.

Os estudos foram divididos em blocos de vegetação por regiões (Tabela 3). Foi feita uma análise de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) para ordenar e agrupar as comunidades de pequenos mamíferos registradas em cada estudo. A NMDS foi realizada a partir de uma matriz de presença e ausência das espécies em cada comunidade (estudos amostrados), utilizando-se distância de Sorensen para investigar a dissimilaridades na composição de espécies entre as comunidades. A qualidade do ajuste foi avaliada utilizando-se a medida stress, que indica a proporção da variação das distâncias originais em relação às distâncias preditas pelo NMDS (Legendre & Legendre, 2012). Adicionalmente, foi realizada uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para investigar se as diferenças na composição de espécies podem ser explicadas pelo tipo de bloco regional.

Também foram calculados índices de diversidade beta e os seus componentes de substituição de espécies e aninhamento, utilizando o índice de Sorensen, em relação a composição de espécies de pequenos mamíferos. Esta análise foi feita de três formas: entre todos os estudos levantados, entre os estudos do bloco da região Metropolitana compilados e do bloco da região Serrana Central compilados, e entre a lista compilada da EFMA e os outros estudos compilados, excluindo-se os estudos da região metropolitana.

As análises de Kruskal-Wallis, Shapiro-Wilk, correlação de Pearson, correlação de Spearman e Equitabilidade de Pielou (J) foram realizadas no software PAST version 3.21 (Hammer *et al.*, 2001). A riqueza estimada, curvas de acúmulo e de rarefação, matrizes de distância, teste de Mantel, NMDS e Permanova foram realizadas usando o pacote Vegan (Oksanen, 2020) do software R versão 4.1.0 (R Core Team, 2021). O nível de significância considerado foi de 0,05 em todas as análises estatísticas.

Tabela 3: Inventários e levantamentos de espécies de pequenos mamíferos realizados nos blocos de vegetação remanescentes do estado do Rio de Janeiro, RJ, disponíveis em literatura para comparação com o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Foi realizada a atualização dos nomes das espécies de pequenos mamíferos encontradas nos estudos para as comparações.

Bloco de Vegetação	Área de Comparação	Riqueza	Referência
Bloco Região Metropolitana	Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA)	5	Presente estudo
Bloco Região Metropolitana	Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica	8	Gentile et al., 2018
Bloco Região Metropolitana	Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica	3	Tavares (2018)
Bloco Região Metropolitana	Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	8	Oliveira et al., 2012
Bloco Região Serrana Central	Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	25	Olifiers et al., 2007
Bloco Região Serrana Central	Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	34	Cronemberger et al., 2019
Bloco Região Serrana Central	Município de Sumidouro (MSD)	11	D'Andrea et al., 2007
Bloco Região Serrana Central	Município de Teresópolis (MTP)	14	Vaz et al., 2007
Bloco Região Serrana Central	Reserva Biológica de Poço das Antas (RBPA)	12	Viveiros de Castro & Fernandes, 2003
Bloco Região Serrana Central	Município de Guapimirim (MG)	18	Vieira et al., 2009
Bloco Região Sul Fluminense	Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB)	9	Delciellos et al., 2012
Bloco Região Sul Fluminense	Município de Mangaratiba (MM)	11	Pessôa et al., 2009
Parque Nacional da Serra da Mantiqueira	Parque Nacional do Itatiaia (PNI)	27	Geise et al., 2004
Bloco Região Norte Fluminense	Parque Estadual do Desengano (PED)	15	Modesto et at., 2008
Bloco Região Noroeste Fluminense	Fragmentos Rurais (Cambuci, Varre-Sai, Miracema, Itaperuna)	13	Gonçalves et al., 2016

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Comunidade de pequenos mamíferos

Foram capturados 85 animais, sendo três animais recapturados ao longo do estudo. O valor do esforço amostral e o do sucesso de captura considerando-se o total do estudo foram respectivamente 28.512 armadilhas-noite e 0,2%. Foram capturadas cinco espécies de pequenos mamíferos silvestres considerando-se os três ambientes (peridomicílio, transição e mata). Dentre estes, foram registradas três espécies da ordem Didelphimorphia, *Didelphis aurita* (Wied-Neuwied, 1826), *Marmosa paraguayana* (Tate, 1931) e *Monodelphis americana* (Müller, 1776), e duas espécies da ordem Rodentia, *Oligoryzomys nigripes* (Olfers, 1818), *Trinomys dimidiatus* (Günther, 1877). Também foi registrado o roedor sinantrópico da espécie *Rattus rattus* (Rodentia, Muridae) (Tabela 4 e Figura 5). Além disso, também foi coletada uma carcaça (pele e ossos) de tatu da espécie *Dasypus novencinctus* Linnaeus, 1758 (Cingulata, Dasypodidae), encontrado em uma trilha de peridomicílio.

A espécie mais abundante foi o gambá *D. aurita*, sendo encontrada em todas as áreas e em todas as coletas, porém em maior abundância em áreas de peridomicílio (Tabela 4). Os transectos que apresentaram maior riqueza e abundância em relação a pequenos mamíferos foram os de peridomicílio e transição (Tabela 4 e Figura 5).

A curva do coletor gerada para os dados referentes as coletas de 2001 a 2019 indica suficiência amostral uma vez que a curva atingiu a assíntota (Figura 6). Em relação ao sucesso de captura por trilha e por área, os valores para as áreas e transectos de transição e mata foram menores que no peridomicílio (Tabela 5). Foram registrados valores similares de riqueza observada e riqueza estimada para o conjunto de dados referente ao presente estudo (Tabela 6). Com relação a equitabilidade de indivíduos por espécies, foram registrados maiores valores desta medida na área de mata preservada seguida pelo peridomicílio e pela transição (Tabela 6).

Tabela 4: Abundância de pequenos mamíferos capturados por transectos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Trilha de Peridomicílio A (PA), trilha de Peridomicílio B (PB), trilha de Peridomicílio C (PC), trilha de Transição A (TA), trilha de Transição B (TB), trilha de Transição C (TC), trilha de Mata A (MA), trilha de Mata B (MB) e trilha de Mata D (MD).

Espécies	PA	PB	PC	TA	TB	TC	MA	MB	MD
Família Didelphidae									
<i>Didelphis aurita</i>	20	15	7	7	4	9	2	3	4
<i>Marmosa paraguayana</i>	1	3	0	0	1	0	0	0	0
<i>Monodelphis americana</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Família Cricetidae									
<i>Oligoryzomys nigripes</i>	1	1	1	0	1	0	1	1	0
Família Echimydae									
<i>Trinomys dimidiatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0

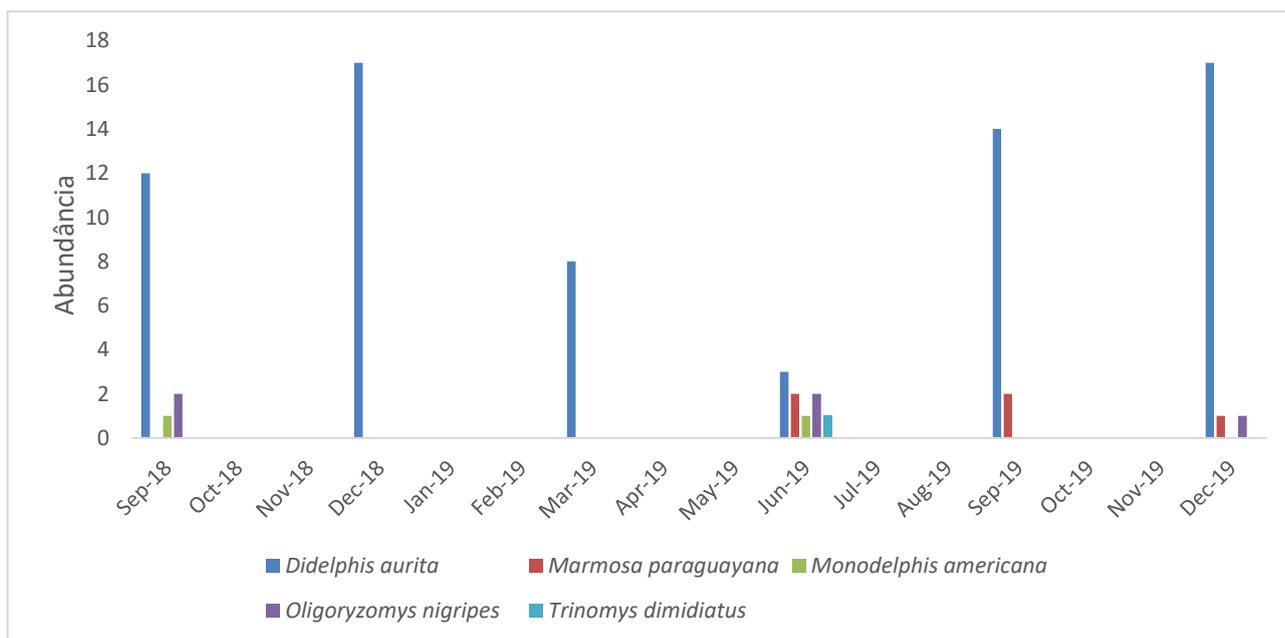


Figura 5: Número total de indivíduos de pequenos mamíferos capturados pelos meses de coleta na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

Tabela 5: Sucesso de captura referente as áreas e aos transectos de captura para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019. Trilha de Peridomicílio A (PA), trilha de Peridomicílio B (PB), trilha de Peridomicílio C (PC), trilha de Transição A (TA), trilha de Transição B (TB), trilha de Transição C (TC), trilha de Mata A (MA), trilha de Mata B (MB) e trilha de Mata D (MD).

Área	Sucesso de Captura (%)
Peridomicílio	0,5
Transição	0,2
Mata	0,1
Transectos	
PA	0,6
PB	0,5
PC	0,2
TA	0,2
TB	0,2
TC	0,2
MA	0,1
MB	0,1
MD	0,1

Tabela 6: Valores referentes a abundância total, riqueza observada, riqueza estimada (\pm desvio padrão), e equitabilidade entre áreas para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

Índices / Áreas	Peridomicílio	Transição	Mata Preservada	Total
Abundância total	44	24	8	85
Riqueza observada	3	4	3	5
Riqueza estimada	3 \pm 0	7 \pm 4,34	3 \pm 0	5 \pm 0,22
Equitabilidade	0,443	0,382	0,756	0,390

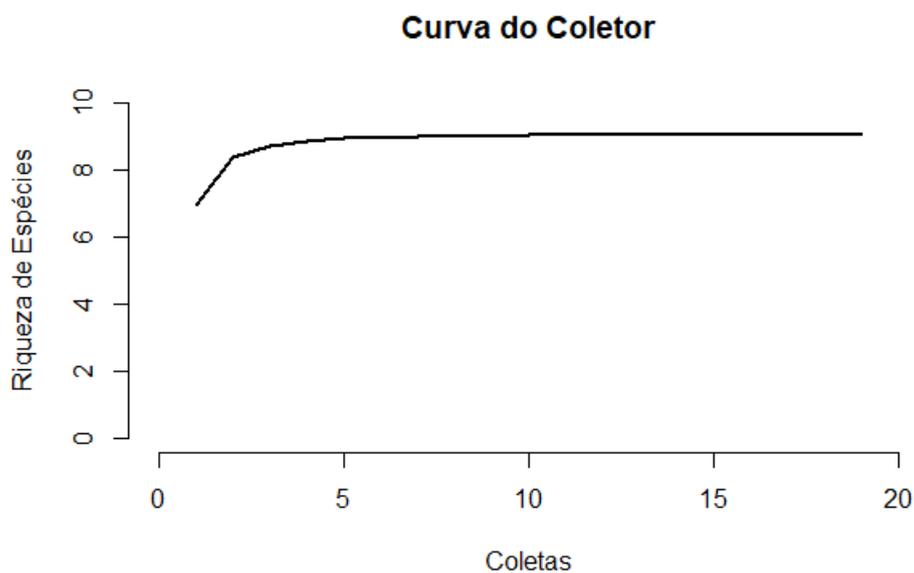


Figura 6: Curva do coletor gerada para os anos de 2001 a 2019 para o estudo de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

A lista atual de pequenos mamíferos silvestres não-voadores da EFMA contém nove espécies, sendo cinco da ordem Didelphimorphia e quatro da ordem Rodentia (Tabela 8). Além destas espécies, também já foram capturados os roedores sinantrópicos *Rattus rattus* (este estudo, Gentile et al. 2018), e mais recentemente, *Rattus norvegicus* e *Mus musculus* (CFMA, comunicação pessoal).

Tabela 7: Lista de espécies de pequenos mamíferos silvestres não-voadores e sinantrópicos da Estação Biológica Fiocruz da Mata Atlântica, Estado do Rio de Janeiro, RJ, referentes as coletas dos anos de 2001 e 2012-2015 (Gentile e colaboradores (2018); 2017 (Tavares, 2018), presente estudo e informações do Campus Fiocruz da Mata Atlântica (CFMA) sobre os roedores sinantrópicos. (x) Presença da espécie e (-) ausência da espécie.

Espécies	CFMA 2001	CFMA 2014-2015	CFMA 2017	Presente estudo	EFMA
Família Didelphidae					
<i>Didelphis aurita</i>	X	X	X	X	X
<i>Gracilinanus microtarsus</i>	X	-	-	-	X
<i>Marmosa paraguayana</i>	X	X	-	X	X
<i>Metachirus nudicaudatus</i>	-	X	-	-	X
<i>Monodelphis americana</i>	X	-	X	X	X
Família Cricetidae					
<i>Akodon cursor</i>	X	X	-	-	X
<i>Oligoryzomys nigripes</i>	X	X	X	X	X
Família Echimyidae					
<i>Trinomys dimidiatus</i>	-	-	-	X	X
Família Erethizontidae					
<i>Coendou spinosus</i>	X	-	-	-	X
Família Muridae					
<i>Mus musculus</i>					X
<i>Rattus rattus</i>	-	X	-	X	X
<i>Rattus norvegicus</i>					X

A diversidade beta indicou maior diferença entre transectos e áreas em relação à abundância do que em relação à composição de espécies de pequenos mamíferos (Tabela 8). Contudo, tanto os valores de substituição quanto de aninhamento foram baixos em todos os casos. Os índices variam entre zero e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a diferença entre as áreas.

Tabela 8: Valores de diversidade beta relacionados a abundância dos indivíduos e a composição de espécies para o estudo de comunidades de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

		Abundância de indivíduos	Composição de espécies
Diversidade beta entre transectos	Total	0,72	0,64
	Substituição	0,34	0,33
	Aninhamento	0,38	0,31
Diversidade beta entre áreas	Total	0,57	0,37
	Substituição	0,15	0,28
	Aninhamento	0,42	0,08

A diversidade beta entre todos os estudos levantados foi alta, sendo o componente substituição com maiores valores que o aninhamento (Tabela 9). Os resultados da comparação entre a EFMA e os estudos compilados indicaram um valor médio de diversidade beta sendo todo ele atribuído a perda de espécies (aninhamento) (Tabela 9), indicando que todas as espécies encontradas na EFMA já haviam sido registradas em outros estudos no estado do Rio de Janeiro. Comparando-se a região Metropolitana com a região Serrana Central, observou-se um valor médio de diversidades beta, sendo atribuído em sua maior parte à perda de espécies (Tabela 9), indicando que as espécies encontradas nos estudos da região Metropolitana formaram um subconjunto das espécies encontradas nos estudos da região Serrana Central.

Tabela 9: Valores de diversidade beta relacionados a composição de espécies entre comunidades de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica e outras localidades do estado do Rio de Janeiro e entre localidades do Bloco da Região Metropolitana e do Bloco da Região Serrana Central.

	Beta total	Substituição	Aninhamento
Total entre os estudos	0,84	0,69	0,15
EFMA x Estudos Compilados	0,69	0	0,69
Metropolitana compilado x Serrana Central Compilado	0,58	0,09	0,49

O resultado da análise de NMDS mostrou um agrupamento dos estudos em relação aos blocos florestais do estado do Rio de Janeiro, exceto para os blocos com apenas um estudo (Figura 7). A PERMANOVA mostrou diferenças estatisticamente significativas na composição de espécies entre os estudos conduzidos ao longo dos distintos blocos geográficos ($F_{5,9} = 3,34$; $R^2 = 0,65$; $p < 0,01$) (Figura 7).

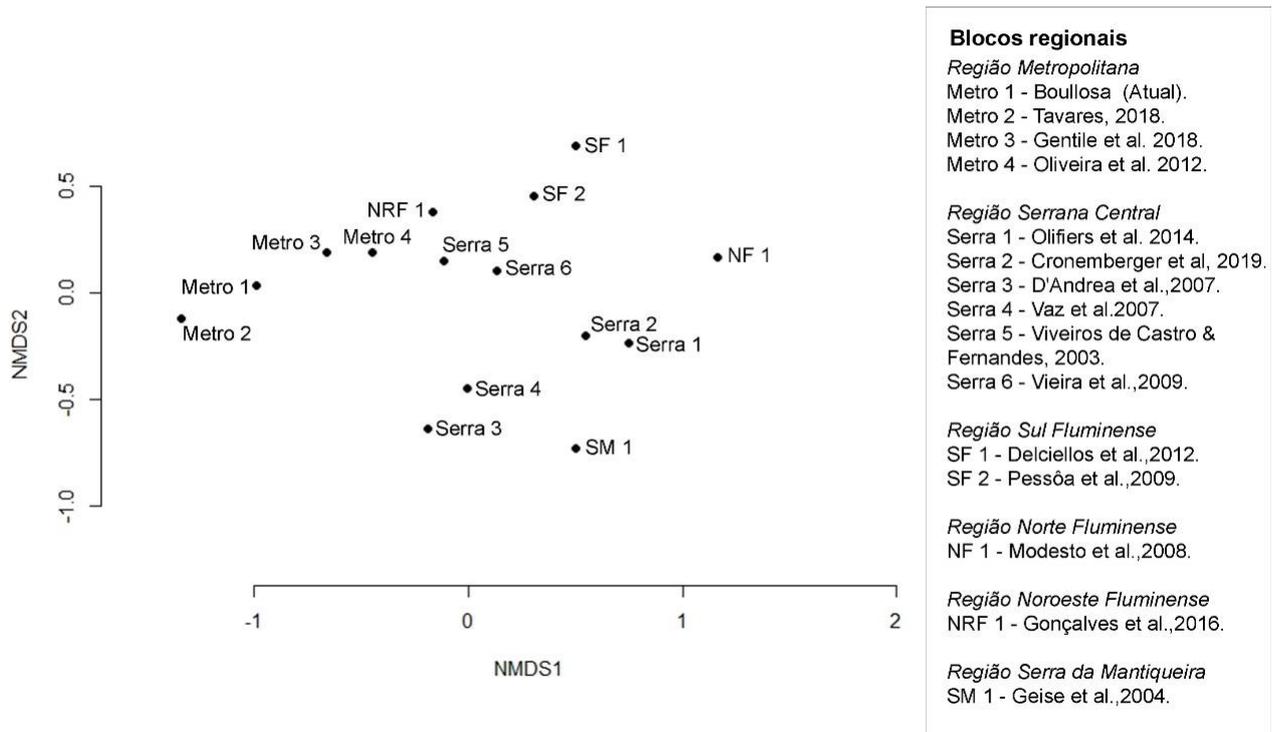


Figura 7: Similaridade na composição de espécies de pequenos mamíferos comparados com outros estudos de Mata Atlântica do Rio de Janeiro, utilizando a análise de escalonamento multidimensional não métrica (NMDS).

4.4.2 Estrutura do habitat

Os transectos com maior e menor heterogeneidade foram PC e TA nos ambientes de peridomício e transição, respectivamente (Tabela 10). Os transectos com maior e menor complexidade foram PB e TC nos ambientes de peridomício e transição respectivamente (Tabela 10). Foi observada uma correlação inversa da abundância total de mamíferos com a distância das habitações (Tabela 11). Também foi observada uma correlação direta desta abundância com a complexidade de habitat (Tabela 11). Para os demais resultados não foram observadas correlações estatisticamente significativas (Tabela 11).

Também foi observada correlação entre a matriz de dissimilaridade de composição de espécies com a de complexidade de habitat ($r=0,33$; $p=0,04$). Para as demais correlções e testes de Mantel não foram observadas associações estatisticamente significativas ($p>0,05$).

Tabela 10: Complexidade, heterogeneidade e distância das habitações de pequenos mamíferos capturados por transectos e por tipo de ambiente na Estação Biológica Fiocruz da Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ.

Ambientes	Transectos	Complexidade	Heterogeneidade	Distância das habitações
Peridomício	PA	5,51	2,88	12,2
Peridomício	PB	8,36	6,47	93,5
Peridomício	PC	4,59	9,68	24
Transição	TA	2,99	0,71	241,81
Transição	TB	5,07	2,59	297,22
Transição	TC	2,79	3,03	141,79
Mata	MA	4,24	3,81	692,96
Mata	MB	3,87	3,2	674
Mata	MD	3,33	1,71	566

Tabela 11: Correlação de Pearson das variáveis ambientais com riqueza e abundância de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ. Número de transectos amostrados = 9.

Variável ambiental / Variável biótica	Heterogeneidade		Complexidade		Habitat total		Distância das habitações	
	Coef. Corr.	P	Coef. Corr.	P	Coef. Corr.	P	Coef. Corr.	P
Riqueza	0,149	0,700	0,650	0,057	0,394	0,293	0,043	0,911
(log) Abundância	0,209	0,492	0,688	0,040	0,491	0,178	-0,835	0,005

4.4.3 Dinâmica populacional de *Didelphis aurita*

Foram capturados 71 indivíduos da espécie *D. aurita*, sendo 38 fêmeas e 33 machos. Não houve diferença significativa na razão sexual entre o número total de machos e fêmeas capturados ($\chi^2 = 0,178$; $p = 0,675$) (Figura 8). Foram recapturados quatro indivíduos da espécie *D. aurita*, sendo que três foram capturados em meses de coleta consecutivos e um foi capturado nove meses após a primeira captura.

Fêmeas grávidas e lactantes foram registradas em setembro/18, dezembro/18, setembro/19 e dezembro/19. A fêmea lactante mais jovem apresentou dentição dp3M2/2, indicando ter aproximadamente 144 dias. Dentre as fêmeas lactantes, apenas uma foi capturada duas vezes com filhotes na bolsa de diferentes ninhadas (dezembro/18 e setembro/19) (Figura 9). Gambás adultos e sub-adultos foram capturados em todos os meses exceto em março/19 e setembro/19, respectivamente. Jovens estiveram ausentes nos meses de setembro/2018, junho/19 e setembro/19 (Figura 10).

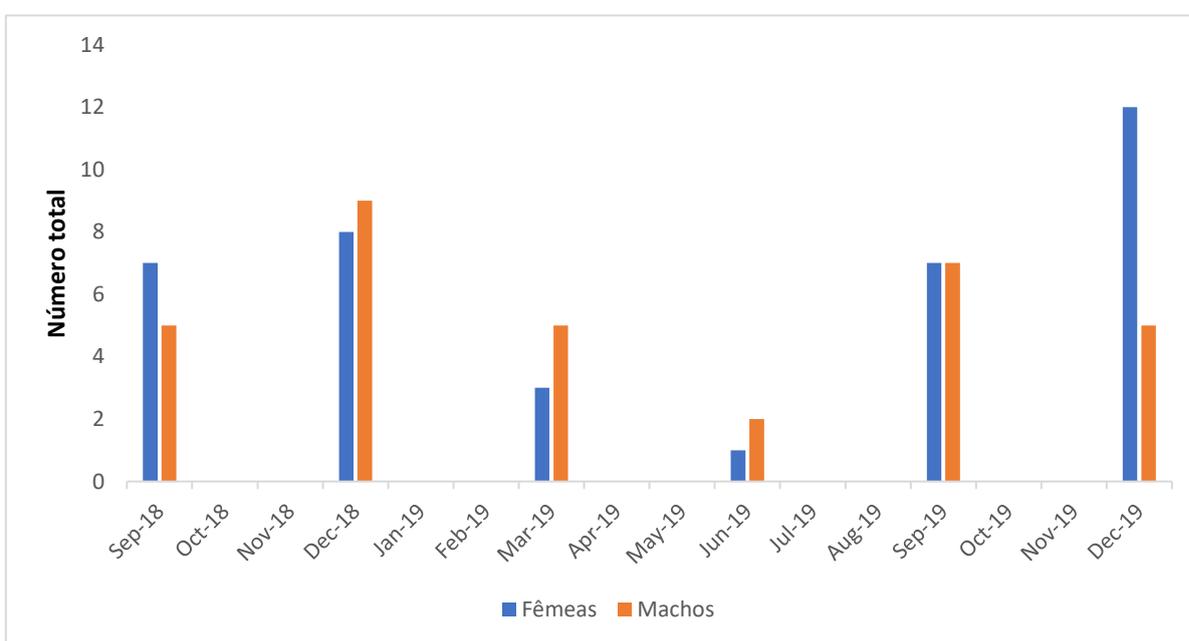


Figura 8: Número de indivíduos de *Didelphis aurita* por sexo para cada mês de captura de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica.

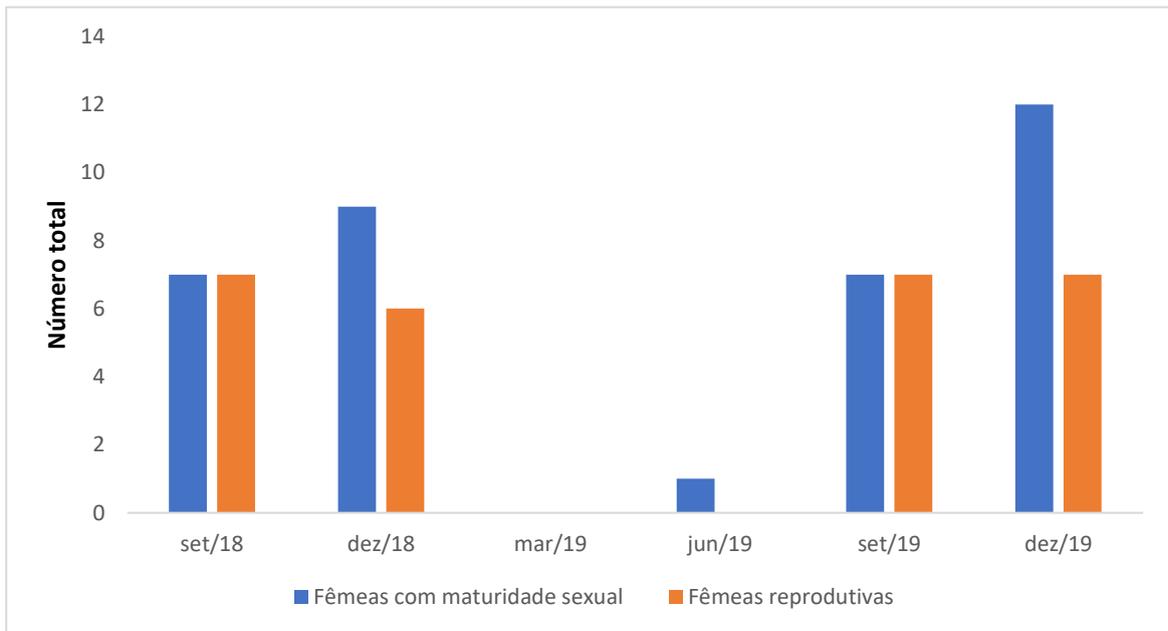


Figura 9: Número de fêmeas em estado reprodutivo e total de fêmeas maduras de *Didelphis aurita* de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica.

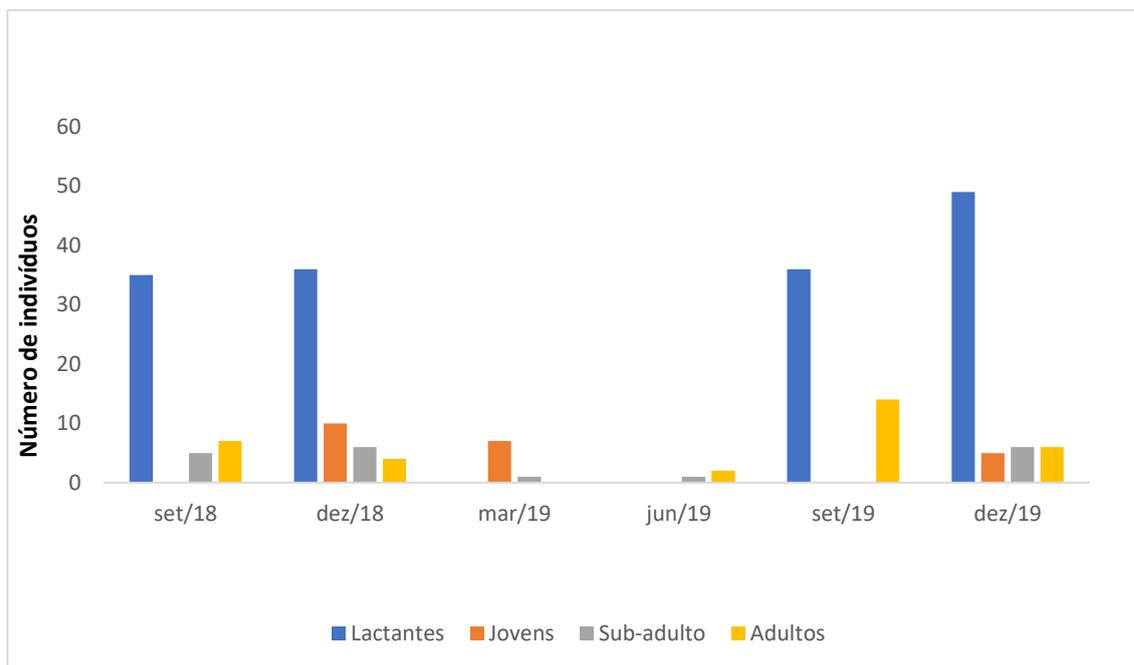


Figura 10: Estrutura etária de *Didelphis aurita*, de setembro de 2018 a dezembro de 2019, na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica.

4.5 DISCUSSÃO

4.5.1 Diversidade e riqueza de espécies

Dentre as cinco espécies de mamíferos silvestres encontradas, quatro já haviam sido relatadas anteriormente por Gentile *et al.* (2018) na mesma área. Este é o primeiro relato de captura do roedor *Trinomys dimidiatus* na área de estudo. Apesar desta espécie já ter sido registrada por meio de armadilhas fotográficas na mesma localidade (dados não publicados), a coleta permitiu a confirmação de sua identificação em nível específico.

O gambá *D. aurita* foi uma espécie dominante no estudo. Esta espécie distribui-se desde o nordeste e centro-oeste do Brasil até o Paraguai e norte da Argentina (Cerqueira & Lemos, 2000). É uma espécie que demonstra eficiência adaptativa aos mais variados habitats, particularmente a ambientes alterados pelo homem e próximos de habitações humanas, vivendo até mesmo em grandes centros urbanos (Graipel & Santos Filho, 2006). Os gambás apresentam uma dieta onívora, consumindo frutas, invertebrados e vertebrados, são escansoriais e podem ser capturados em vários estratos da vegetação (Cárceres & Monteiro-Filho, 2001; Faria *et al.*, 2019).

Marmosa paraguayana foi capturada no sub-bosque nos transectos de peridomicílio e transição. Esta espécie ocorre do sul da Bahia ao Rio Grande do Sul, Paraguai e Argentina (Faria *et al.*, 2019). É um marsupial que possui hábito alimentar insetívoro-onívoro e que explora o estrato arbóreo e arbustivo das florestas (Moraes-Junior & Chiarello, 2005). O marsupial *M. americana* foi capturado apenas em transectos de mata. Esta espécie ocorre desde o estado do Pará até o estado de Santa Catarina, com registro no estado de Goiás (Faria *et al.*, 2019). Este marsupial possui hábitos terrestres e sua alimentação é insetívora-onívora (Paglia *et al.*, 2012).

Dentre as espécies de roedores coletadas neste estudo, *O. nigripes* foi a única capturada nos três tipos de ambientes. Essa espécie apresenta ampla distribuição geográfica, ocorrendo na Mata Atlântica e em parte do Cerrado, incluindo também parte da Argentina, Paraguai e Uruguai (Patton *et al.*, 2015). É uma espécie com hábitos terrestres e generalistas, podendo ocorrer tanto em florestas quanto em áreas perturbadas. Possui hábitos alimentares insetívoro-onívoro (Talamoni, 2008). O roedor *T. dimidiatus* foi capturado apenas uma vez em um transecto de transição. Sua distribuição geográfica é restrita ao estado do Rio de Janeiro e ao norte da costa do estado de São Paulo (Bonvicino *et al.*, 2008, Patton *et al.*, 2015). É um roedor que apresenta hábitos solitários e terrestres, se alimenta de frutas, sementes, insetos e algumas folhas (Emmons & Feer, 1997).

Comparando-se com os estudos anteriores realizados na área da EFMA, nas coletas de 2001 haviam sido reportadas sete espécies e nas coletas do período entre 2012 e 2015, seis espécies (Gentile *et al.*, 2018). O marsupial *Gracilinanus microtarsus* (Wagner, 1842) e o roedor *Coendou spinosus* (F. Cuvier, 1823) foram registrados somente em 2001, e o marsupial *Metachirus myosurus* (Desmarest, 1817) e o roedor *Akodon cursor* (Winge, 1887) somente no período 2012-2015, não tendo sido encontrados no presente estudo. Tavares (2018) coletou apenas três espécies de pequenos mamíferos no local em 2017, sendo duas espécies de marsupiais (*D. aurita* e *M. americana*) e uma de roedor (*O. nigripes*), tendo avistado também *M. myosurus*.

Uma vez que a curva do coletor apresentou grande estabilidade, todas as espécies de pequenos mamíferos silvestres não voadores da EFMA provavelmente já foram amostradas. A lista atualizada de pequenos mamíferos silvestres não voadores desta área engloba nove espécies, incluindo roedores e marsupiais. Esta riqueza de espécies pode ser considerada baixa quando comparada com outros estudos realizados em áreas de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, que variaram entre 9 e 34 espécies (Cronemberger *et al.*, 2019; D'Andrea *et al.*, 2007; Delciellos *et al.*, 2012; Geise *et al.*, 2004; Gentile *et al.*, 2018; Olifiers *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2012; Vaz *et al.*, 2007; Viveiros de Castro & Fernandes, 2003; Tavares, 2018). Contudo, o esforço de captura foi diferente entre os estudos e não foi feita uma análise estatística comparando-se o número de espécies registrados em cada estudo com o do presente estudo em função do esforço. Entretanto, as análises de beta-diversidade realizadas entre os diversos estudos levantados basearam-se somente na composição de espécies, uma vez que esta variável apresenta menor influência nas amostragens do que a riqueza em função de diferentes esforços de captura.

A composição de espécies variou ao longo do gradiente antrópico estudado na EFMA, corroborando em parte a primeira hipótese, pois apesar desta variação, as espécies *D. aurita* e *O. nigripes* foram comuns aos três ambientes. Os valores de riqueza estimada para as áreas de peridomicílio e mata preservada não indicaram acréscimo de espécies em relação a riqueza observada para essas mesmas áreas. O menor valor de equitabilidade para a área de transição, bem como para a equitabilidade total, se deu devido a dominância numérica da espécie *D. aurita* em relação às demais. Em áreas fragmentadas ou perturbadas algumas espécies de pequenos mamíferos podem ter seus tamanhos populacionais aumentados por serem mais generalistas ou pela extinção local de seus predadores (Delciellos *et al.*, 2016). Além disso, a abundância de espécies mais especialistas tende a diminuir (Rocha *et al.*, 2001). A alta abundância de *D. aurita* e *O. nigripes* nas três áreas contribuiu para a baixa beta diversidades entre áreas.

Comparando-se com outros estudos realizados no Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), Oliveira *et al.* (2012) registraram dez espécies de pequenos mamíferos entre 2005 e 2007, sendo quatro espécies de roedores e seis de marsupiais. Foram relatadas as espécies: *A. cursor*, *D. aurita*, *M. incanus*, *M. paraguayanus*, *M. nudicaudatus*, *M. americana*, *O. nigripes*, *P. frenatus*, *R. norvegicus* e *R. rattus*. A espécie *M. incanus* não foi relatada no presente estudo, nem por Gentile *et al.* (2018). Em uma análise de distribuição altitudinal dos pequenos mamíferos no PEPB, Oliveira *et al.* (2012) registraram relação do número de animais capturados com a heterogeneidade do ambiente.

A alta beta diversidade encontrada entre todos os estudos levantados indica que as comunidades apresentam diferentes composições de espécies. Isso pode se dar por uma alta heterogeneidade ambiental entre as áreas, tendo as localidades diferentes características ambientais. A maior substituição do que perda de espécies corrobora esta hipótese, uma vez que pode ser devido à presença de diferentes recursos entre as áreas, os quais, por sua vez, propiciam a ocorrência de distintas espécies ao longo destes ambientes (Gianuca *et al.*, 2017; Henriques-Silva *et al.*, 2013).

Por outro lado, ao analisar a beta diversidade entre a EFMA e os outros estudos, bem como entre a Região Metropolitana e a Serrana-Central, foi observada uma maior perda de espécies do que substituição. Este resultado indica que locais pobres em espécies formam subconjuntos de locais mais ricos em espécies (Patterson & Atmar, 1986). Algumas espécies de mamíferos com tolerâncias ambientais mais específicas em relação ao uso do habitat (por exemplo, *Oecomys catherinae* e *Castoria angustidens*) não foram registradas na EFMA ou na região metropolitana como um todo. Deste modo, a fauna de pequenos mamíferos silvestres não-voadores da EFMA pode ser considerada um subconjunto daquela encontrada em outras localidades do estado do Rio de Janeiro, corroborando a hipótese 2. Além disso, pôde-se notar menor riqueza de espécies na região metropolitana (N=11) em relação à região Serrana-Central (N=37).

Corroborando os resultados da beta diversidade, na análise de NMDS foi possível observar que a composição de espécies do presente estudo foi mais similar à de outros estudos desenvolvidos na área do Bloco da Região Metropolitana no Rio de Janeiro do que em relação aos estudos desenvolvidos nas regiões Serrana, Norte e Sul Fluminense. Fora do Bloco da Região Metropolitana, a qual pertence, houve similaridade com um estudo da Região Norte Fluminense (Gonçalves *et al.*, 2016).

A diferença da composição de espécies entre as áreas mais próximas a centros urbanos e as áreas mais preservadas indica que o processo de fragmentação e degradação dos habitats

naturais implica em possíveis perdas de biodiversidade devido à forte pressão sobre a fauna, principalmente em espécies especialistas em relação ao habitat. A presença de animais domésticos e caçadores nas áreas florestadas também é um fator que influencia na biodiversidade. Em trabalhos de levantamentos faunísticos, espécies raras e especialistas são difíceis de serem amostradas, pois são necessários métodos de coleta diferentes, utilizando-se outros métodos de amostragem, como armadilhas de queda, além de busca direta/indireta e iscas variadas (Bergallo *et al.*, 2000).

4.5.2 Estrutura do habitat

De modo geral, os maiores valores de heterogeneidade e de complexidade do habitat foram observados em transectos de peridomicílio. Isto pode indicar que o maior grau de perturbação em áreas de peridomicílio pode ter resultado em características de habitat mais heterogêneas entre os pontos. Apesar disso, estas características não favoreceram de forma acentuada o aumento da riqueza de espécies ($p = 0,06$) devido ao grau de perturbação e proximidade da área urbana.

A correlação direta da abundância dos pequenos mamíferos com a complexidade do habitat pode estar relacionada com o fato de que alterações na estrutura vertical das florestas podem em alguns casos aumentar a abundância de espécies. No caso, as áreas de peridomicílio, que são degradadas pela antropização, podem apresentar um ambiente com características diferentes, sendo que as espécies podem encontrar recursos mais facilmente por estarem próximo as habitações. Assim, a disponibilidade de alimento aumenta para aquelas espécies generalistas (Gentile *et al.*, 2018). Isso favorece estas espécies em detrimento de outras que necessitam de uma estrutura vertical mais complexa, com maior densidade vegetal no dossel do que no sub-bosque, como por exemplo espécies de predadores (Dotta, 2005; Penteadó, 2006; De Walt *et al.*, 2003).

A correlação negativa da abundância com a distância para habitações indica que transectos mais próximos de habitações humanas apresentaram maior abundância total de mamíferos, independentemente da riqueza de espécies. A correlação positiva da abundância com a complexidade de habitat também estaria relacionada com o fato de os transectos de peridomicílio apresentarem maior complexidade, conforme discutido acima e com a grande abundância de *D. aurita* nestas áreas. Este resultado confirma a hipótese 3 de que a heterogeneidade e a complexidade influenciam na abundância de espécies na área de estudo.

Comparando-se com outros estudos que também avaliaram a influência da heterogeneidade e complexidade do habitat em comunidades de pequenos mamíferos, Gentile & Fernandez, (1999) investigaram a influência da heterogeneidade e complexidade do habitat na abundância e riqueza de espécies de pequenos mamíferos em uma área rural em Sumidouro, no estado do Rio de Janeiro. Os autores encontraram que a abundância foi influenciada pela complexidade e esta área sofreu com distúrbios antrópicos. No estudo de Delciellos *et al.* (2016), realizado na Bacia do Rio Macacu, no estado do Rio de Janeiro, os autores encontraram que a abundância de pequenos mamíferos terrestres estava relacionada a baixa densidade de vegetação no sub-bosque. Por outro lado, no estudo de Vera y Conde & Rocha (2007), verificaram influência antrópica na riqueza de espécies. A maior heterogeneidade nas áreas de estudo tornou disponível a variedade de recursos favorecendo a ocorrência de espécies. Estes autores apontaram que espécies que apresentaram modo de vida mais especializado para um determinado habitat podem ter sido excluídas devido ao aumento da perturbação sobre as florestas.

Na escala estudada, sendo uma área de interface silvestre-urbano, a distância das habitações foi mais determinante do que a estrutura do habitat, influenciando na ocorrência do gambá *D. aurita*, que foi a espécie mais abundante e dominante do estudo. Isto pode estar relacionado à presença de recursos existentes nestes ambientes peridomiciliares, servindo como abrigo e alimento para o gambá, que se alimenta de diversos itens encontrados próximos de residências (Santori *et al.*, 2012). Em áreas de interface de ambientes silvestre/urbanos ou silvestres/rurais, os tamanhos populacionais do gambá são maiores do que em áreas de floresta preservada (D'Andrea *et al.*, 2007; Gentile *et al.*, 2004; Kajin *et al.*, 2008).

4.5.3 Dinâmica populacional de *D. aurita*

A dominância de *Didelphis aurita* nos transectos estudados, principalmente nas localidades de peridomicílio está relacionada ao hábito oportunista/generalista deste marsupial em relação ao uso de habitat. Esta espécie foi capturada em todos os transectos, sendo a mais abundante, considerando-se todas as áreas. Este mesmo padrão foi observado no estudo anterior (Gentile, *et al.*, 2018). Este marsupial apresenta hábitos predominantemente terrestres e ocasionalmente arborícolas (Cunha & Vieira, 2002), sendo frequentemente dominante em comunidades de pequenos mamíferos em áreas perturbadas (Gentile *et al.*, 2000; Gentile *et al.*, 2004).

A baixa recaptura de indivíduos do estudo se deu devido principalmente a dois fatores, ao delineamento do estudo e à baixa permanência dos gambás nos transectos. O delineamento em transectos distantes objetivou uma maior abrangência de perfis ambientais, uma vez que este estudo estava inserido em um projeto maior, contudo, isso reduz o índice de recapturas. O comportamento de grandes deslocamentos dos gambás também dificulta sua recaptura, uma vez que sua permanência em cada área diminui. A baixa recapturabilidade dificulta as estimativas de sobrevivência e recrutamento, necessárias a um estudo de dinâmica populacional e demografia mais aprofundado. Contudo, os resultados obtidos permitiram uma análise da variação populacional do gambá ao longo do ano, bem como de sua dinâmica reprodutiva.

O mês de março é considerado o final do período reprodutivo e provavelmente fêmeas ainda amamentam por mais um tempo, mas sem os filhotes da bolsa, (Gentile *et al.*, 1995; Kajin *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2007) nos meses de março/19 e junho/19 as fêmeas não foram capturadas fêmeas com filhotes nas bolsas. O período reprodutivo observado neste estudo é compatível com os padrões encontrados para marsupiais Neotropicais (Cerqueira, 2005; D'Andrea *et al.*, 2007; Gentile *et al.*, 2004; Gentile *et al.*, 2018; Kajin *et al.*, 2008). Foram observadas maiores abundâncias de indivíduos nas estações chuvosas devido ao recrutamento de jovens e sub-adultos nascidos durante a estação reprodutiva anterior (Bonecker *et al.*, 2009; Gentile *et al.*, 2000; Gentile *et al.*, 2018).

A grande oferta de recursos alimentares contribuiu para a ocorrência mais frequente de espécies silvestres generalistas em habitat e recursos alimentares como o gambá e oportunistas em relação à dinâmica reprodutiva como o roedor *O. nigripes* no ambiente, além da espécie sinantrópica *R. rattus* (Gentile *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2017). Uma vez que estas espécies são reconhecidamente reservatórios silvestres de patógenos zoonóticos, estes resultados ressaltam a importância da realização de monitoramentos contínuos das populações destas espécies nestas áreas de interface de ambientes urbano-silvestre.

5 CAPÍTULO II

Parasitismo por helmintos em *Didelphis aurita* com base em caracterização morfológica e ecológica dos ovos

Artigo Publicado na revista Parasitology Research

A longitudinal survey of gastrointestinal parasites of the black-eared opossum *Didelphis aurita* at an urban-sylvatic interface area in Southeast Brazil: a morphological and ecological characterization based on helminth eggs.

Boullosa, R.G., Costa-Neto, S. F., Morgado, L., Maldonado, A., Gentile, R.

5.1 ABSTRACT

Parasites are important organisms in ecosystem dynamics and take part in the regulation and structure of host populations. The prevalence, abundance, and distribution of parasites in their host species may be affected by biotic and abiotic factors. Most studies of helminths of Brazilian marsupials are taxonomic descriptions or re-descriptions and records of occurrence. The use of noninvasive techniques for studying parasitic worms of vertebrate hosts is more common in large or threatened species. The aims of this study were to describe and identify the helminth morphotypes and to analyse the parasitological parameters of gastrointestinal helminth eggs obtained in faecal samples of marsupial *Didelphis aurita* at the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station and surroundings, municipality of Rio de Janeiro, southeast Brazil. The common opossums were sampled during a capture-mark-recapture study. Faecal samples collected from each animal were analysed for helminth egg diagnosis using the methods of flotation in sugar solution and sedimentation. Eggs were compared with samples obtained from the uterus of adult worms obtained from a previous study carried out in the same area. Eleven helminth egg morphotypes were found. Among them, seven were identified at the species level. The highest values of parasitic load and prevalence were observed for the families Viannaiidae and Trichuridae. A significant relationship was found between the number of morphotypes and host body size in females. The influence of parasite load on host condition factor or body size was not observed.

Keywords: Ecology · Parasitism · Mammals · Nematoda · Atlantic Forest

5.2 INTRODUCTION

Parasites strongly influence biodiversity by affecting host population sizes, survival and reproduction, species interactions, ecosystem dynamics, and evolutionary processes (Combes, 2001; Loreau *et al.*, 2005). Biotic and abiotic factors may affect parasitological parameters such as the prevalence, abundance and distribution of parasites in their hosts (Combes, 2001). Seasonality is one of the most important abiotic factors that influences the infectious stages of many parasites and some intermediate hosts (Gomes *et al.*, 2019; Taylor *et al.*, 2017), according to the characteristics of the life cycles of the parasites.

Helminths are considered good models for studying parasitism because they are one of the most abundant metazoan parasites and may act as indicators of environmental variations (Gardner and Campbell, 1992). However, most studies on helminth fauna require euthanasia of the animals to recover adult worms, allowing the morphological and morphometric identification of the species. Investigations of animal parasitism by gastrointestinal helminths based on studies involving capture-mark-recapture methods can only be done with the search for parasite eggs in the hosts faeces. In this case, it is possible to identify the parasites based on morphology or morphometry by comparison with literature information. Despite this, this noninvasive technique of studying animal parasitism is more common in large or threatened vertebrate species, and in many cases, it is not possible to identify the helminth at the species level unless using techniques of molecular genetics, which is not always possible.

Most studies of helminth parasites of Brazilian marsupials are taxonomic descriptions or re-descriptions and records of occurrence (Chagas-Moutinho *et al.*, 2014; Costa-Neto *et al.*, 2016; Thatcher, 2006). Studies of helminth fauna and community structure have been carried out more recently (Antunes, 2005; Byles *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2017; Cirino *et al.*, 2020; Costa-Neto *et al.*, 2019; Jiménez *et al.*, 2011; Silva & Costa 1999). Surveys of gastrointestinal helminths of Brazilian marsupials based on faecal samples have already been carried out for species of the genus *Didelphis* in the states of São Paulo and Minas Gerais, Brazil (Bezerra-Santos *et al.*, 2020a, b; Teodoro *et al.*, 2019). However, only in a few cases was it possible to identify morphotypes at the species level.

Species of the genus *Didelphis* are generalists that occur in different types of habitats, and some of them are found in high abundance in urban and rural areas (Gentile & Fernandez 1999; Gentile *et al.*, 2018; Kajin *et al.*, 2008). For this reason, *Didelphis* is a genus of great interest in parasitological studies, since they are important reservoirs of several zoonoses, such as trypanosomiasis, leishmaniosis and helminthiases (Costa-Neto *et al.*, 2016; Jansen *et al.*,

2015; Lima *et al.*, 2012; Thatcher 2006). *Didelphis aurita* Wied-Neuwied, 1826 (Didelphimorphia: Didelphidae), is the common opossum species found in the Atlantic Forest and occurs from northeastern to southern Brazil (Faria *et al.*, 2019).

The aims of this study were to describe and identify the helminth morphotypes and to analyse the parasitological parameters of gastrointestinal helminth eggs obtained in faecal samples of marsupial *D. aurita* at the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica) (EFMA hereafter) and its surroundings, municipality of Rio de Janeiro, southeast Brazil, using a non-invasive sampling technique. We hypothesized that (1) season, host sex and host age influenced parasite load and prevalence rates; (2) adult hosts would be more parasitized than young hosts due to the accumulation of parasites over time; and (3) the parasitic load and the number of morphotypes in each host could negatively affect their body condition. This study also contributes to the morphological and morphometric characteristics of helminth eggs.

5.3 MATERIAL AND METHODS

5.3.1 Study area

This study was carried out in areas of EFMA and its surroundings, which are located in an urban-sylvatic interface environment. EFMA covers areas of Pedra Branca State Park (PBSP hereafter) and its buffer zone in a densely populated area of the city of Rio de Janeiro. This park is located in one of the world's hotspots of biodiversity (Mittermeier et al. 2005) and is the largest forest reserve settled in an urban region in the Americas, encompassing 12,492 ha. Therefore, this region is of great interest for studies of biodiversity, ecology and parasitology. The predominant vegetation is ombrophilous dense Atlantic forest. The climate of the region is humid mesothermal, with hot and rainy summers and mild winters (Ayoade, 1986).

The samples were collected in three types of habitat: (1) Peridomicile in the surroundings of the EFMA (22° 56'18 "S 43° 24" 11 "W), with open understorey, canopy ranging from 6 to 15 m, predominance of shrubs and small trees, some wetlands, and smooth slope. (2) Disturbed forest areas in regeneration process (22° 56'28 "S 43° 24'34" W), with vegetation in different stages of ecological succession, located between peridomicile and preserved areas of the PBSP, presenting open to closed understorey, canopy height ranging from 6 to 20 m, and fat ground. (3) Preserved forest within the limits of the PBSP (22° 56'47 "S 43° 25'07" W), with open to closed understoreys, canopies ranging from 10 to 30 m and irregular slopes varying from fat to steep.

5.3.2 Sampling methods

During a capture-mark-recapture study, common opossums were captured from September 2018 to December 2019 every 3 months, totalling six trapping sessions, three in the dry season (September 2018, June 2019 and September 2019) and three in the rainy season (December 2018, March 2019 and December 2019). All trapping sessions lasted four consecutive nights. Captures were made in nine linear transects, three in each type of habitat. Each transect had ten trapping points spaced 20 m apart. Tomahawk® traps were placed on the ground baited with a mixture of banana, peanut butter, oat and bacon. The total trapping effort included 4752 trap nights. The animals were marked with ear tags and were observed in relation to sex, reproductive activity, body size, body mass, and stage of tooth eruption. Faecal samples were collected using caps placed under the traps or directly from the animal's anus in case of defecation handling. After these procedures, the animals were released at their trapping points.

The animals were captured under the authorization of the Chico Mendes Institute for Biodiversity and Conservation of the Brazilian Government (ICMBIO, licence number 13373) and the Environmental Institute of the state of Rio de Janeiro (INEA, licence 020/2011). All procedures followed the guidelines for capture, handling and care of animals of the Ethics Committee on Animal Use of the Oswaldo Cruz Foundation (CEUA licence number LW-39/14 and L-036/2018). Biosafety protocols were used during all field and laboratory procedures.

5.3.3 Parasitological procedures

The faecal samples collected from each animal were weighed and stored in Millonig at 8 °C and analysed at the laboratory using two usual methods for the diagnosis of endoparasites: flotation in sugar solution (density 1.27) (Sheather, 1923) and sedimentation (Bowman, 1999). The samples were homogenized, washed in distilled water and filtered using cotton gauze. For the sedimentation technique, 2 mL of this mixture was added to 15 mL of distilled water in a tube for sedimentation. After the sedimentation process, the sediment was suspended in 2 mL, and three subsamples of 100 µL were mounted on slides (Monteiro *et al.*, 2007). For the sugar flotation technique, 2 mL of the samples were centrifuged at 1500 rotations for 10 min and again for 5 min with the addition of the sucrose solution. Subsequently, more sucrose solution was added to form the meniscus. A coverslip was placed on the tube for eggs floating for 3 min prior to mounting the slides. Three slides of each technique, sugar flotation and sedimentation, were analysed using optical microscopy at 20 × and 40 × amplifications and, when necessary, at 100×magnification in a Zeiss Axio Cam HRC (Zeiss, Germany) using Axio Vision Rel accessory software. 4.7. All measurements are shown in micrometres. For helminth species identification, eggs were photographed, measured, and compared with egg morphology and measures of each species published in Travassos (1917), Travassos (1937), Freitas & Lent (1936), Caballero *et al.* (1956), Freitas *et al.* (1967), Vicente *et al.* (1997), Chagas Moutinho *et al.* (2007), Adnet *et al.* (2009), and Richardson *et al.* (2014). Eggs were also compared with samples obtained from the uterus of dissected adult helminths collected in a previous study carried out in the same area from 2012 to 2015, when animals were euthanized (Costa-Neto *et al.* 2019). Samples of recaptured animals within and between trapping sessions were analysed together. Only two animals had samples collected in more than one trapping session.

5.3.4 Data analysis

The number of eggs per gram of faeces was counted, multiplied by the volume of the solution and divided by the number of slides analysed. This value was divided by the faeces weight to provide an estimate of the parasitic load for each helminth morphotype for each host analysed. In addition, prevalence was estimated for each egg morphotype as the number of infected hosts divided by the total number of analysed hosts (Bush *et al.*, 1997). The average number of morphotypes was considered the sum of the number of morphotypes found per individual host (NMI) divided by the number of analysed hosts.

Parasitic loads and prevalence were compared in relation to host sex, host age and season (dry and rainy) for the helminth morphotypes whose prevalence was larger than 30%. Body size was used as a measure of host age. Parasitic load and prevalence were compared regarding these factors by using generalized linear models (GLMs). The best models were chosen by the Akaike information criterion (AICc). When the null model was accepted ($\Delta\text{AICc} < 2.0$), there was insufficient evidence to consider the explanatory variables as a plausible explanation for the response variable.

The total parasitic load (TPL) was estimated as the number of eggs per gram of faeces found in each host as described above, considering all morphotypes found. The influence of host age on TPL and on NMI was investigated based on host body size using linear regression. This analysis was carried out for each host sex separately. The influence of TPL and NMI on the condition factor of each individual host was investigated using linear regression. The condition factor was calculated using the residuals of a linear regression between body mass and body size of each animal (Püttker *et al.*, 2008; Schulte-Hostedde *et al.*, 2005). This analysis was performed using only adult individuals and excluding lactating females.

Chi-square tests and regression analyses were performed using Past Software version 3.09 (Hammer *et al.*, 2001). GLM analyses were performed in R Software version 3.6.3 (R Core Team 2020), “vegan” package (Oksanen *et al.*, 2019). The significance level considered was 5%.

5.4 RESULTS

Sixty faecal samples of opossums (33 females and 27 males) were analysed. Four samples were negative for helminth eggs, indicating that 93.3% of the analysed animals were infected with at least one helminth species. Eleven helminth egg morphotypes were found. Among them, seven were identified at the species level. The number of morphotypes per host ranged from 0 to 8, with an average of 3.5. The parasitic load ranged from 0 to 3468.93 eggs with an average of 509.96 eggs per gram of faeces. The nematode eggs were *Aspidodera raillieti* Travassos, 1913 (Heterakoidea; Aspidoderidae) (Fig. 1a), *Cruzia tentaculata* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1922 (Cosmoceroidea; Kathlaniidae) (Fig. 1b), *Globocephalus marsupialis* Freitas & Lent, 1936 (Rhabditida, Ancylostomatidae) (Fig. 1c) and *Turgida turgida* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1919 (Spiruroidea; Physalopteridea) (Fig. 1d) (Table 1). We also detected eggs of the families Trichuridae (Railliet, 1915) (Fig. 1e) and Viannaiidae (Durette-Desset & Chabaud, 1981) (Trichostrongylinea: Heligmosomoidea) (Fig. 1f) (Table 1). From the phylum Platyhelminthes, *Brachylaima advena* Dujardin, 1843 (Brachylaimidae Joyeux & Foley, 1930) (Fig. 2c) and *Duboisella prolobo* Baer, 1938 (Strigeidae Raillieti, 1919) (Fig. 2b) were identified. The acanthocephalan *Oligacanthorhynchus microcephalus* (Rudolphi, 1819) Schmidt, 1972 (Oligacanthorhynchidae Southwell & Macfe, 1925) (Fig. 2a) was also detected. The morphological and morphometric characteristics of the eggs are presented in Table 1, together with literature data, including Costa-Neto *et al.* (2019) measurements.

The highest values of parasitic load and prevalence were observed for the family Viannaiidae, followed by Trichuridae (Tables 2 and 3). We must note that there may be more than one species found for the Viannaiidae and Trichuridae specimens. It was not possible to identify these specimens at the species level since the morphology and morphometry of the eggs among species within these families are similar.

The GLM analysis carried out for parasitic load showed plausible models that included season, host sex and host age for *C. tentaculata* (Table 4), with the highest values of parasitic load for adult female individuals during the rainy season (Table 3). For *A. raillieti*, *D. prolobo*, and the families Trichuridae and Viannaiidae, the analyses did not reject the null model (Table 4). Considering prevalence, only for *A. raillieti* was the null model not plausible, showing a significant model that included season (Table 5), with higher prevalence during the

rainy season (Table 3). For the other morphotypes analysed, the null models were always accepted (Table 5).

A significant relationship was found between NMI and host body size in females (males: $\beta=0.298$, $t=1.563$, $P=0.131$, $N=27$; females: $\beta=0.398$, $t=2.417$, $P=0.022$, $N=33$). However, no significant relationship was observed between TPL and host body size in either males or females ($P>0.05$ in all cases). No significant relationship was found either between TPL and the host condition factor ($\beta=0.083$; $t=0.457$; $P=0.651$; $N=32$) or between NMI and the host condition factor ($\beta=-0.130$; $t=-0.720$; $P=0.477$; $N=32$).

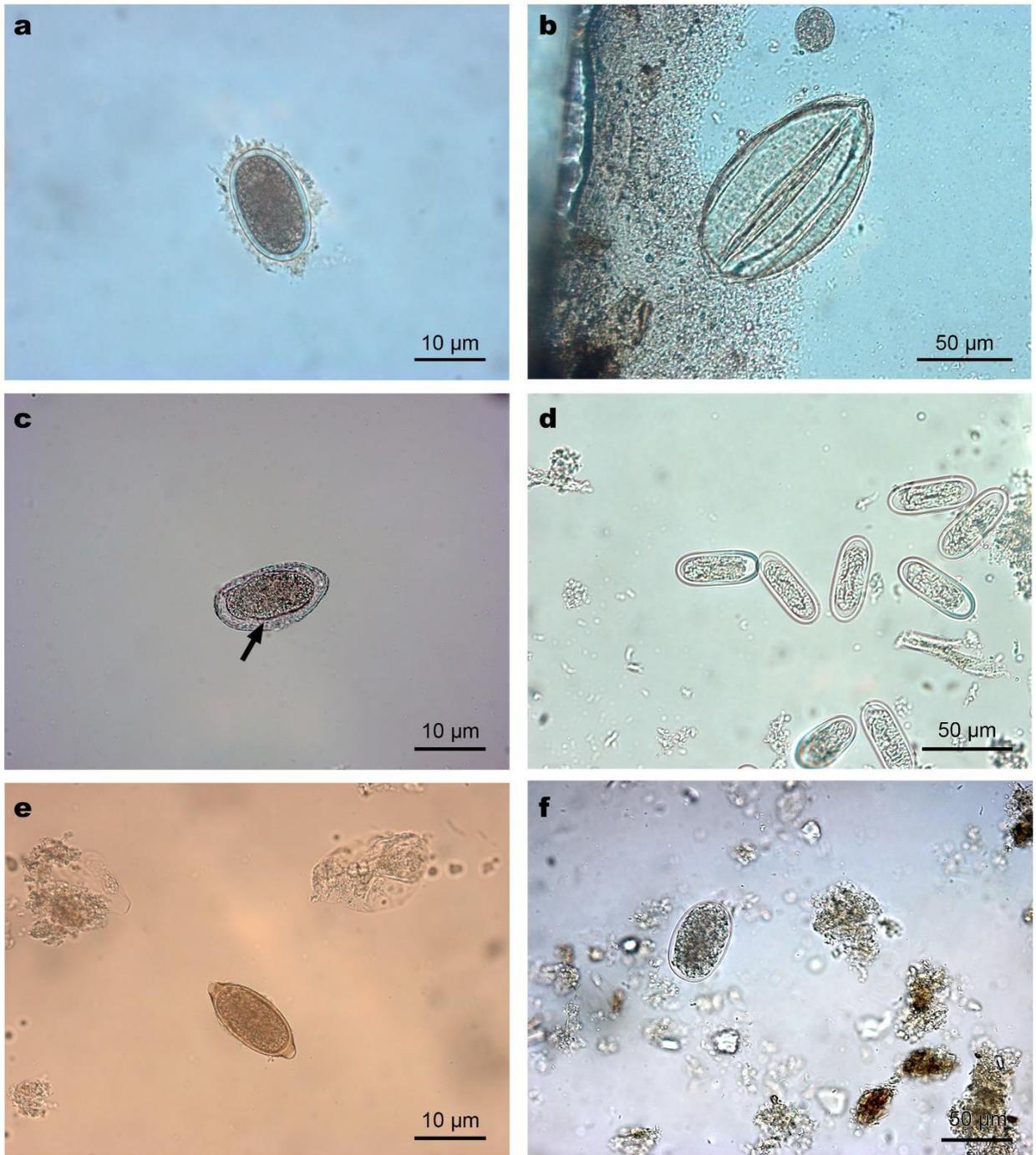


Fig.1 Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Aspidodera raillieti*; **b** *Cruzia tentaculata*; **c** *Globocephalus marsupialis* (arrow indicating hyaline bark); **d** *Turgida turgida*; **e** family Trichuridae; and **f** family Viannaiidae.

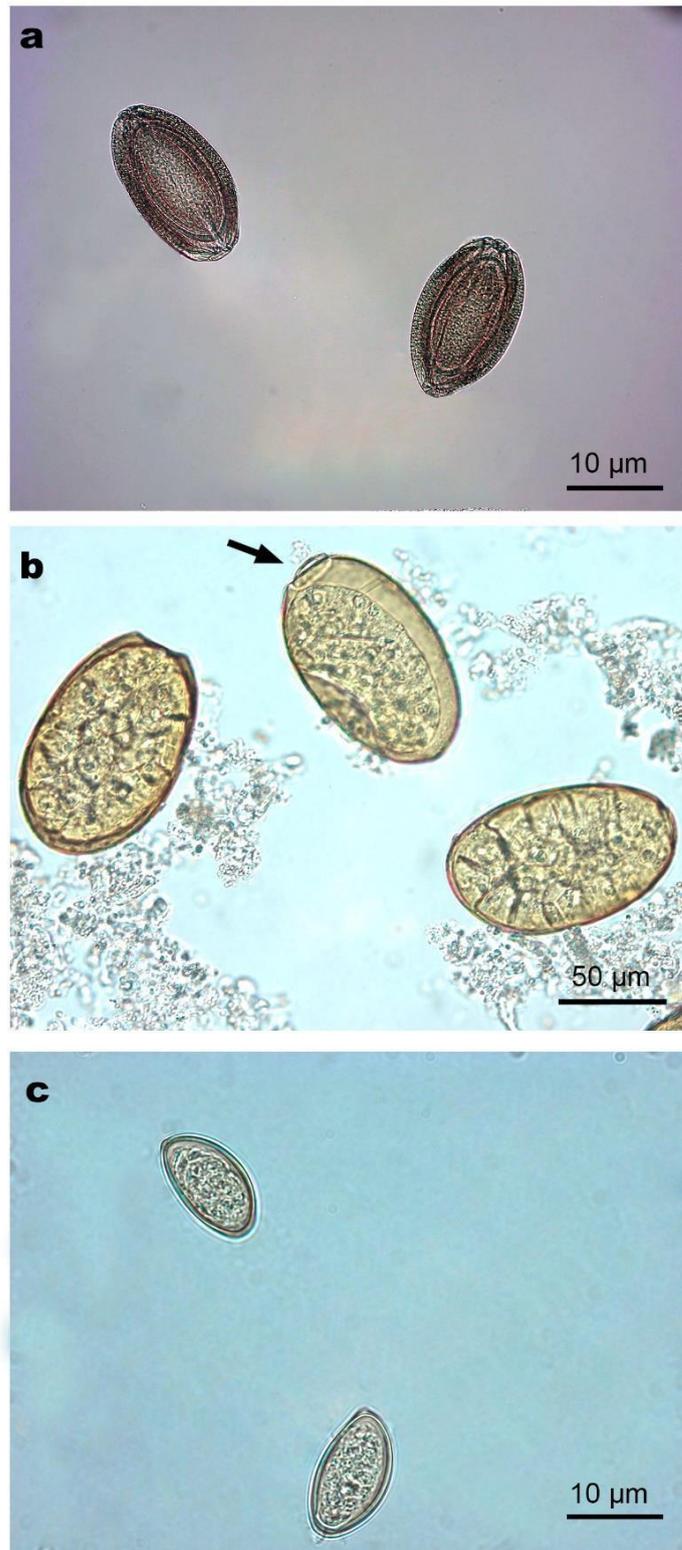


Fig. 2 Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Oligacanthorhynchus microcephalus*; **b** *Duboisiiella proloba* (arrow indicating operculum opening); and **c** *Brachylaima advena*.

Table 1 Characteristics and measurements of helminth eggs found in *Didelphis aurita* feces in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil compared to Costa-Neto *et al.* 2019 and other references

Parasite	Morphological characteristics	Present study (eggs from stool samples)	Costa-Neto et al. 2019 (eggs from the helminths uterus)	Measures from the literature	References
Phylum Nematoda Family Aspidoderidae <i>Aspidodera raillieti</i>	Elliptical eggs, not embryonated in uterus, with thick and smooth shell.	71-80 μ (76.8) μ m long 43-51 μ (45.5) μ m wide	59-73 (66.8) μ m long 40-47 (42.5) μ m wide	0.052-0.070 mm long 0.030-0.040 mm wide	Vicente et al. 1997
Family Kathlanidae <i>Cruzia tentaculata</i>	Relatively large eggs, with thick and wrinkled shell. Embryonated when eliminated.	106-117 (111) μ m long 55-79 (70.9) μ m wide	106-114 (108) μ m long 47-55 (52) μ m wide	0.10-0.13 mm long 0.6 mm wide	Adnet et al. 2009
Family Ancylostomatidae <i>Globocephalus marsupialis</i>	Large eggs with thick smooth and hyaline bark showing striation in one extremity.	86-96 (91) μ m long 43-48 (46) μ m wide	88-103 (96) μ m long 43-53 (50.3) μ m wide	0.088-0.096 mm long 0.48 mm wide	Freitas and Lent 1936
Family Physalopteridea <i>Turgida turgida</i>	Relatively small eggs.	42-49 (47) μ m long 18-20 (19) μ m wide	43-49 (45.9) μ m long 21-24 (22.6) μ m wide	0.042-0.049 mm long 0.028-0.031 mm wide	Travassos 1917
Family Trichuridae	Barrel-shaped eggs. Thick, brown skin with an operculum at each extremity.	72-78 (75) μ m long 34-44 (36) μ m wide	71-80 (75.76) μ m long 32-35 (33.6) μ m wide		Vicente et al. 1997
Family Viannaiidae	Thin shell eggs.	56-65 (63) μ m long 37-44 (39) μ m wide	42-56 (48) μ m long 28-40 (31.7) μ m wide		Travassos 1937

Phylum Platyhelminthes					
Class Trematoda					
Family Brachylaimidae					
<i>Brachylaima advena</i> Dujardin, 1843	Brown coloured capped eggs.	24-27 (25) μm long 13-15 (14) μm wide	26-29 (27.6) μm long 15-17 (15.6) μm wide	0.020-0.026 mm long 0.015-0.017 mm wide	Freitas et al. 1967
Family Strigeidae					
<i>Duboisella proloba</i>	Eggs with a thick yellowish shell. Capped and large eggs.	104-115 (109) μm long 65-73 (68) μm wide	97-105 (101.2) μm long 65-97 (72.6) μm wide	0.100-0.116 mm long 0.66-0.75 mm wide	Caballero et al. 1956
Phylum Acanthocephala					
Family Oligacanthorhynchidae					
<i>Oligacanthorhynchus microcephalus</i>	Ellipsoid eggs with sculpted membranes and fully embryonated.	117-134 (126.9) μm long 65-72 (69.2) μm wide	103-115 (110) μm long 62-66 (64) μm wide	83-110 μm long 38-50 μm wide	Richardson et al. 2014

Table 2 Mean parasitic load (\pm SD) and prevalence (95% confidence limits) of the nematodes *Aspidodera raillieti*, *Cruzia tentaculata*, *Globocephalus marsupialis* and *Turgida turgida* and for the families Trichuridae and Viannaiidae based on eggs recovered from faecal samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season.

	<i>Aspidodera raillieti</i>	<i>Cruzia tentaculata</i>	<i>Globocephalus marsupialis</i>	<i>Turgida turgida</i>	Trichuridae	Viannaiidae
Parasitic load	32.22 \pm 77.04	44.13 \pm 107.25	8.18 \pm 56.61	22.63 \pm 140.13	71.77 \pm 159.83	260.21 \pm 557.84
Female hosts	27.17 \pm 59.76	65.28 \pm 139.06	2.29 \pm 9.46	37.24 \pm 188.62	53.50 \pm 105.61	332.44 \pm 720.70
Male hosts	38.40 \pm 94.46	18.28 \pm 32.26	15.38 \pm 77.92	4.77 \pm 13.06	94.10 \pm 208.09	171.93 \pm 228.38
Young hosts	49.91 \pm 95.97	12.30 \pm 28.42	17.15 \pm 76.73	0.89 \pm 4.72	69.63 \pm 194.13	441.76 \pm 637.88
Adult hosts	16.74 \pm 51.62	71.98 \pm 139.55	0.33 \pm 1.67	41.65 \pm 191.19	73.65 \pm 125.64	127.60 \pm 446.06
Dry season	17.77 \pm 56.53	26.43 \pm 55.82	0.39 \pm 1.88	5.29 \pm 14.04	69.54 \pm 115.51	145.51 \pm 505.03
Wet season	42.54 \pm 88.39	56.76 \pm 131.78	13.74 \pm 68.73	35.01 \pm 183.19	73.36 \pm 186.83	342.13 \pm 585.98
Prevalence	51.66 (38.39-64.77)	56.66 (43.20-69.41)	11.66 (04.82-22.57)	21.66 (12.07-34.20)	65 (51.60-76.87)	83.33 (71.48-91.71)
Female hosts	54.54 (36.35-71.89)	57.57 (39.22-74.52)	12.12 (03.40-28.20)	15.15 (05.11-31.90)	54.54 (26.35-71.89)	81.81 (64.54-93.02)
Male hosts	48.14 (28.67-68.05)	45.45 (28.11-63.65)	11.11 (02.35-29.16)	29.62 (13.75-50.18)	77.77 (57.74-91.38)	85.18 (66.27-95.81)
Young hosts	67.85 (47.65-84.12)	32.14 (15.88-52.35)	14.28 (04.03-32.67)	3.57 (00.09-18.35)	60.71 (40.58-78.50)	89.28 (71.77-97.73)
Adult hosts	37.50 (21.10-56.31)	78.12 (60.03-90.72)	9.37 (01.98-25.02)	37.50 (21.10-56.31)	68.75 (49.99-83.88)	78.12 (60.03-90.72)
Dry season	24 (50.61-87.93)	72 (50.61-87.93)	8 (00.98-26.03)	32 (14.95-53.50)	64 (42.52-82.03)	76 (54.87-90.64)
Wet season	71.42 (53.70-85.36)	45.71 (28.83-63.35)	14.28 (04.81-30.26)	14.29 (04.81-30.26)	65.71 (47.79-80.87)	88.57 (73.26-96.80)

Table 3 Mean parasitic load ($\pm SD$) and prevalence (95% confidence limits) of the trematodes *Brachylaima advena* and *Duboisella prolobo* and for the acanthocephalan *Oligacanthorhynchus microcephalus* based on eggs recovered from faecal samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season.

	<i>Brachylaima advena</i>	<i>Duboisella prolobo</i>	<i>Oligacanthorhynchus microcephalus</i>
Parasitic load	1.15 \pm 5.28	49.41 \pm 149.77	20.16 \pm 64.30
Female hosts	0.20 \pm 0.97	49.51 \pm 131.09	26.17 \pm 77.79
Male hosts	2.31 \pm 7.72	49.28 \pm 172.48	12.81 \pm 42.81
Young hosts	0.59 \pm 7.51	56.65 \pm 169.97	0
Adult hosts	0.64 \pm 1.87	43.07 \pm 132.06	37.80 \pm 84.74
Dry season	0.67 \pm 1.85	51.36 \pm 148.55	19.32 \pm 49.34
Rainy season	1.56 \pm 6.75	48.02 \pm 152.78	20.76 \pm 73.86
Prevalence	11.66 (04.82-22.57)	35 (23.13-48.40)	18.33 (09.52-30.44)
Female hosts	6.06 (00.74-20.23)	35 (23.13-48.40)	15.15 (05.11-31.90)
Male hosts	18.51 (06.30-38.08)	29.62 (13.75-50.18)	22.22 (08.62-42.26)
Young hosts	7.14 (00.88-23.50)	17.85 (06.06-36.89)	0
Adult hosts	15.63 (05.28-32.79)	50 (31.89-68.11)	34.37 (18.57-53.19)
Dry season	12 (02.55-31.22)	48 (27.80-68.69)	28 (12.07-49.39)
Rainy season	11.42 (03.20-26.74)	28.57 (14.64-46.30)	11.42 (03.20-26.74)

Table 4 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth parasitic load for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta AICc < 2$) and the null models are presented.

Species/Family	Models	AICc	$\Delta AICc$	wAICc	k
<i>Aspidodera raillieti</i>	Host Age	693.259	0	0.286	2
	Null	693.964	0.705	0.201	1
<i>Cruzia tentaculata</i>	Season	694.608	1.349	0.145	2
	Season + Host Age	705.539	0	0.702	3
	Host Sex + Season + Host Age	707.262	1.723	0.297	4
	Null	734.499	28.960	3.617	1
	Null	774.572	0	0.416	1
<i>Duboisella prolobo</i>	Null	782.371	0	0.367	1
	Host Sex	783.607	1.236	0.198	2
Viannaiidae	Host Age	930.506	0	0.294	2
	Host Sex + Host Age	931.317	0.811	0.196	3
	Null	932.364	1.858	0.116	1

Table 5 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth prevalence for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta\text{AICc} < 2$) and the null models are presented.

Species/Family	Models	AICc	ΔAICc	wAICc	k
<i>Aspidodera raillieti</i>	Season	116.176	0	0.406	2
	Null	118.817	2.641	0.108	1
<i>Cruzia tentaculata</i>	Host Age	123.422	0	0.362	2
	Null	125.095	1.673	0.157	1
	Season + Host Age	125.357	1.935	0.137	3
<i>Duboisiiella proloba</i>	Host Age	91.147	0	0.265	2
	Null	92.043	0.896	0.169	1
	Season	92.155	1.008	0.160	2
	Host Sex + Host Age	92.851	1.704	0.113	3
Trichuridae	Null	134.824	0	0.386	1
Viannaiidae	Null	153.651	0	0.402	1
	Season	155.640	1.989	0.148	2

5.5 DISCUSSION

The helminth eggs found in the stool samples analysed were mostly nematodes, represented by seven of the ten morphotypes recorded, corroborating the pattern usually found in samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season studies of small mammal helminth fauna (Anderson, 2000). More than 90% of the animals were infected with at least one helminth species, corroborating other studies for this host, which indicates that common opossums are highly parasitized by helminths (Gomes *et al.*, 2003; Silva & Costa 1999; Vicente *et al.*, 1987; Zabott *et al.*, 2017). All helminth species and families found had been registered in *D. aurita* by Castro *et al.* (2017) and Costa-Neto *et al.* (2019) in a previous study carried out in the same area. The morphological and morphometric characteristics of the eggs found were in accordance with the samples obtained from the previous study and with the literature. Differences in morphometry among studies may be due to the origin of the samples. Eggs collected from faeces may usually be larger than eggs obtained from the uterus, and as in the latter, they may not be completely mature. Differences in host species, measurement methods or fixation techniques may also result in morphometric discrepancies (Lee *et al.*, 1984).

The most abundant and prevalent morphotype observed was of the family Viannaiidae, which belongs to the superfamily Heligmosomoidea. This superfamily has a direct life cycle, and eggs develop infective L3 larvae (Durette-Desset, 1968; Taylor *et al.*, 2017). These larvae may penetrate the host skin or may be ingested by the host (Anderson, 2000). Based on the previous study (Costa-Neto *et al.*, 2019), we suggest that the morphotypes of the family Viannaiidae could be *Viannia hamata* and/or *Travassostrongylus orlof*. Costa-Neto *et al.* (2019) also found the highest abundances and prevalences in these tricostrongilid species among all helminth species. Teodoro *et al.* (2019) found eggs of the family Trichostrongylidae in faecal samples of *D. aurita* and *D. albiventris* in urban areas of the state of São Paulo, Brazil. This family is commonly found infecting Brazilian marsupials (Durette-Desset 1968; Gomes *et al.*, 2003).

The family Trichuridae was the second most abundant of the study. We suggest, based on the previous study, that the morphotypes of the family Trichuridae were probably *Trichuris didelphis*, *Trichuris minuta* and/or *Capillaria* spp., which were reported by Costa-Neto *et al.* (2019). Teodoro *et al.* (2019) found eggs of the family Trichuridae in faecal samples of both *D. albiventris* and *D. aurita*. Bezerra-Santos *et al.* (2020a) also reported the presence of the genera *Trichuris* and *Capillaria* in *D. aurita* in the state of Minas Gerais, Brazil. Both taxa are of public and veterinary health concern because they have been reported to infect humans and a large

number of wild mammals (marsupials, rodents and primates) and livestock animals (Robles *et al.*, 2014). Both genera have a direct life cycle, and eggs containing L1 infective larvae are present in the soil. Under ideal conditions, these larvae survive and remain viable for several years in the environment (Taylor *et al.*, 2017), and their development is influenced by temperature (Robles *et al.*, 2014). Nevertheless, some species of the genus *Capillaria* have indirect life cycles, and their intermediate hosts are birds (Taylor *et al.*, 2017).

Considering the helminth morphotypes identified at the species level, *C. tentaculata* and *A. raillieti* were the most abundant and prevalent of this study. Costa-Neto *et al.* (2019) also found high abundance and prevalence in these species, as well as other studies (Antunes, 2005; Gomes *et al.*, 2003; Jiménez *et al.*, 2011). *Aspidodera raillieti* has a direct life cycle similar to other Aspidoderid species (Anderson, 2000). In contrast, a recent study showed that *C. tentaculata* has an indirect life cycle (Ramos-de-Souza *et al.*, 2021). The authors reported the presence of *C. tentaculata* larvae in the terrestrial molluscs *Latipes erinaceus* and *Thaumastus taunaisii* and in the introduced giant African snail *Achatina fulica*, the latter two found in the study area (Rangel *et al.*, 2021). The genus *Didelphis* has an opportunistic and generalist feeding habit, and invertebrates are common in their diets (Bezerra-Santos *et al.*, 2021; Cáceres & Monteiro-Filho, 2001), which may favour their infection by ingesting a parasitized mollusc.

Although Castro *et al.* (2017) and Costa-Neto *et al.* (2019) reported a high prevalence of *T. turgida* in *D. aurita* in the study area, the same was not observed in the present study when analysing the faecal samples. Teodoro *et al.* (2019) found adults of *T. turgida* and Spiruroidea eggs in *D. albiventris*. *Turgida turgida* belongs to the superfamily Spiruroidea, has a heteroxenous life cycle, and is a possible intermediate host animal of the orders Orthoptera and Coleoptera (Anderson, 2000). These animals are food items of *D. aurita* (Santori *et al.*, 2012), which favours their infection by this nematode, similar to *C. tentaculata* and other helminths, which have invertebrates as intermediate hosts.

Globocephalus marsupialis, which belongs to the superfamily Ancylostomatoidea, was a new record in *D. aurita* in the study of Costa-Neto *et al.* (2019). Hookworms are also helminths of medical and veterinary importance, causing cutaneous larva migrans disease in humans and dogs (Heukelbach & Feldmeier 2008). Although no other species of hookworm has been recorded in this host in the study area, studies have shown that opossums may participate in the zoonotic cycle of hookworms. Teodoro *et al.* (2019) recorded the presence of hookworms in *D. aurita* and *D. albiventris*. Recently, Bezerra-Santos *et al.* (2020b) found a high prevalence of *Ancylostoma caninum* in *D. aurita* in the state of Minas Gerais, Brazil.

Concerning the trematodes, eggs of *Duboisiiella proloba* and *Brachylaima advena* were also found in low abundance and prevalence, corroborating the study of Costa-Neto *et al.* (2019). These helminths have a heteroxenous life cycle, and their intermediate hosts may be slugs or freshwater fishes (Taylor *et al.* 2017). Thus, the low infection rates may be due to a low probability of encountering opossums and these animals. Bezerra-Santos *et al.* (2020a) found trematode eggs in *D. aurita* and suggested that they were more similar to *Rhopalias* spp. Teodoro *et al.* (2019) also found trematode eggs, which were not identified. The trematode *Rophalias coronatus* was previously recorded by Costa-Neto *et al.* (2019), but no eggs of this trematode were found in the samples of the present study (Fig. 2).

Oligacanthorhynchus microcephalus belongs to the phylum Acanthocephala. Its life cycle is indirect, involving an intermediate host that is an aquatic or terrestrial arthropod (Taylor *et al.*, 2017). In addition to the previous study of Costa-Neto *et al.* (2019), Aragón-Pech *et al.* (2018) also reported acanthocephalan eggs of *Oligacanthorhynchus* sp. in *Didelphis virginiana* in Mexico.

Considering helminths, not only adult worms but also eggs and larvae may have their growth and survival dependent on environmental factors, such as temperature and humidity (Taylor *et al.*, 2017). In the present study, significant differences in parasitic load and prevalence between seasons were only observed for *C. tentaculata* and *A. raillieti*, respectively. The rainy season seemed to promote an increase in *C. tentaculata* abundance and in *A. raillieti* prevalence. Castro *et al.* (2017) found that *C. tentaculata* intensity was significantly higher during the rainy season. As *A. raillieti* has a direct life cycle, embryonated eggs remain latent in the soil and are more susceptible to the effects of temperature and humidity to remain viable for infection (Anderson, 2000; Jiménez *et al.*, 2011; Oliveira-Menezes *et al.*, 2011). Thus, we suggest that dry conditions may hamper egg development in this species. For *C. tentaculata*, which has molluscs as intermediate hosts, we suggest that the rainy season may favour helminth transmission due to the increase in abundance of molluscs during this period (Silva *et al.*, 2020). In relation to host sex, although male opossums have larger movements than females (Cáceres & Monteiro-Filho, 2001), which can increase their chances of contact with parasites, we observed a larger parasitic load of *C. tentaculata* in adult female hosts, which may be a consequence of the highly aggregated distribution of this parasite (Costa-Neto *et al.*, 2019). In addition, adult mammalian hosts are likely to accumulate parasites during their lifetime, resulting in higher infection rates than young mammalian hosts (Behnke *et al.*, 1999).

The number of helminth morphotypes (NMIs) increased with increasing host body size only in females. This may be related to the host's metabolism and its relationship with the

availability of resources for parasites (Guégan *et al.*, 1992; Poulin & George-Nascimento 2007), as larger body sizes would provide more resources for parasites. Morand & Harvey (2000) reported that the basic metabolic rate of mammals was positively correlated with helminth species richness. As a result, host species with a high metabolic index may increase their exposure to parasites, since animals with high metabolic rates need a large amount of food and have large activity rates (Gregory *et al.*, 1996). However, the relationship between TPL and host body size was not observed.

Regarding the influence of NMI and TPL on the condition factor of the hosts, no relationship was observed. Body conditions in animals are related to their energy reserves and consumption (Schulte-Hostedde *et al.*, 2001) and may be an indicator of their health condition (Peig & Green 2009). Püttker *et al.* (2008) did not find this relationship for other marsupial species and used the helminth parasite load estimated from faecal samples, agreeing with our results.

The method used for this longitudinal helminth survey in *D. aurita* was very efficient, considering that, in this species, it is possible to collect a large amount of faecal samples when compared to other small mammals and that more than 90% of the animals were infected by helminths. The previous study was fundamental for morphotype identification, especially due to the comparison with the eggs obtained from the dissected uterus of adult helminths recovered in that study. All morphotypes recorded are typical of the helminth fauna of *D. aurita*. Considering our first hypothesis, the influence of seasonality on the parasite rates was observed only in *C. tentaculata* and *A. railietti*, with rainy seasons increasing their infection rates. The former species was also influenced by host age and sex, with adult females being more infected than males and young females. Meanwhile, our second hypothesis was accepted only considering females, indicating that older females had a larger number of helminth morphotypes accumulated during their lifetime. Moreover, our third hypothesis was rejected, as we did not observe any influence of these parasites on the condition factor of the hosts.

6 PERSPECTIVAS

A partir das contribuições desta tese, as amostragens de pequenos mamíferos não voadores na EFMA continuarão a serem feitas dentro do projeto geral de monitoramento de longo prazo da biodiversidade de pequenos mamíferos e de seus parasitos com delineamento aprimorado com base nos resultados obtidos. A metodologia de investigação indireta por exame parasitológico de fezes foi eficaz, pois permitiu a identificação a nível específico dos ovos dos helmintos da maioria das espécies do gambá *D. aurita*, possibilitando que estudos de ecologia de helmintos sejam feitos nos futuros estudos de marcação e recaptura de pequenos mamíferos na localidade.

7 CONCLUSÕES

- A fauna de pequenos mamíferos encontrada na EFMA é um subconjunto da fauna do estado do Rio de Janeiro.
- A maior abundância de espécies em áreas mais perturbadas sugere o aumento de fatores que favorecem a ocorrência de espécies generalistas em uso do habitat.
- A distância das habitações influenciou inversamente a abundância de pequenos mamíferos na EFMA.
- A complexidade do habitat influenciou diretamente a abundância de pequenos mamíferos encontrada na EFMA.
- O método utilizado de sedimentação e flutuação foi eficiente para obtenção dos ovos e identificação das espécies de helmintos nas fezes do gambá *D. aurita*, permitindo associar estudos de parasitismo de helmintos com estudos de marcação e recaptura de pequenos mamíferos.
- Os morfotipos encontrados no estudo dos ovos são típicos da helmintofauna de *D. aurita*.
- Houve influência da sazonalidade nas taxas de infecção de helmintos das espécies *C. tentaculata* e *A. railietti*.
- A idade do hospedeiro foi um fator determinante da riqueza de espécies de helmintos, sendo que fêmeas mais velhas apresentaram maior riqueza de helmintos.
- O fator de condição dos indivíduos de *D. aurita* não foi influenciado pela riqueza ou carga parasitária dos helmintos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu EF, Casali D, Costa-Araújo R, Garbino GST, Libardi GS, Loretto D, et al. Lista de Mamíferos do Brasil. Zenodo. 2021. doi: 10.5281/zenodo.5802047.
- Adnet FAO, Anjos DHS, Menezes-Oliveira A, Lanfredi RM. Further description of *Cruzia tentaculata* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1917 (Nematoda: Cruzidae) by light and scanning electron microscopy. *Parasitology Research*. 2009; 104:1207–1211. doi: 10.1007/s00436-008-1316-6.
- Albuquerque HG, Martins PF, Pessôa FS, Modesto TC, Luz JL, Raíces DSL, et al. Mammals of a forest fragment in Cambuci municipality, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Check List* 2013; 9:1505–1509.
- Alho CJR. Intergradation of habitats of non-volant small mammals in the patchy cerrado landscape. *Arquivos do Museu Nacional do Rio Janeiro*. 2005; 63:41–8.
- Anderson RC. Nematode parasites of vertebrates: Their development and transmission. 2. Ed. AB Publishing, London. 2000. 672 p.
- Antunes GM. Diversidade e potencial zoonótico de parasitos de *Didelphis albiventris* Lund, 1841 (Marsupialia: Didelphidae) [dissertation]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2005. 122 p.
- Aragón-Pech RA, Ruiz-Piña HA, Rodríguez-Vivas RI, Cuxim-Koyoc AD, Reyes-Novelo E. Prevalence, abundance and intensity of eggs and oocysts of gastrointestinal parasites in the opossum *Didelphis virginiana* Kerr, 1792 in Yucatan, Mexico. *Helminthologia*. 2018; 2:119 – 126. doi: 10.2478/helm-2018-0008.
- Astúa D, Cherem JJ, Teta P. No prelo. Taxonomic checklist of living American Marsupials. In: Cáceres NC, Dickman CR. *American and Australasian Marsupials: An Evolutionary, Biogeographical, and Ecological Approach*.
- August PV. The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. *Ecology*. 1983; 64:1495–1507.
- Ayoade JO. Introdução à climatologia para os trópicos. 1 ed. São Paulo, Difel. 1986; 332p.
- Baselga A. Separating the two components of abundance-based dissimilarity: balanced changes in abundance vs. abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013; 4:552–557.
- Baselga A. Partitioning abundance-based multiple-site dissimilarity into components: balanced variation in abundance and abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution*. 2017; 8: 799-808.
- Begon M, Mortimer M, Thompson DJ. *Population Ecology: a unified study of animals and plants*. Blackwell Science. Liverpool. 3ª ed. 1996; 247 p.
- Begon M. 2008. Effects of host diversity on disease dynamics. In: *Infectious Disease Ecology: Effects of Ecosystems on Disease and of Disease on Ecosystems* (eds Ostfeld, R.S., Keesing, F. & Eviner, V.T.). Princeton University Press, Princeton, NJ. 2008; 12–29 p.
- Begon M. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4 ed. Blackwell Publishing Ltd, Malden, USA. 2009; 1-738 p.
- Behnke J.M, Lewis JW, Mohd Zain SN, Gilbert FS. Helminth infections in *Apodemus sylvaticus* in southern England: interactive effects of host-age, sex and year on prevalence and abundance of infections. *Journal of Helminthology*. 1999; 73: 31–44. doi:10.1017/S0022149X99000049.
- Bergallo HG, Rocha CFD, Alves MAS, Van Sluys M. A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro. Ed. UERJ. 2000; 166p.

- Bergallo HG, Luz JL, Raíces DS, Hatano FH, Martins-Hatano F. Habitat use by *Oryzomys subflavus* (rodentia) in an open shrubland formation in restinga de Jurubatiba National Park, RJ, Brazil. *Brazilian Journal Biology*. 2005; 65: 583-588.
- Bezerra-Santos MA, Fontes CS, Nogueira BCF, Yamatogi RS, Ramos RAN, Galhardo JA, et al. Gastrointestinal parasites in the opossum *Didelphis aurita*: Are they a potential threat to human health? *Journal of Parasitic Disease*. 2020a; 44:355–363. doi: 10.1007/s12639-020-01205-9.
- Bezerra-Santos MA, Furtado LFV, Rabelo EML, Nogueira BCF, Yamatogi RS, Campos AK. High prevalence of *Ancylostoma caninum* infection in black-eared opossums (*Didelphis aurita*) in an urban environment. *Parasitology Research*. 2020b; 119:2343–2346. doi: 10.1007/s00436-020-06708-1.
- Bezerra-Santos MA, Ramos RAN, Campos AK, Dantas-Torres F, Otranto D. *Didelphis* spp opossums and their parasites in the Americas: A One Health perspective. *Parasitology Research*. 2021; 120: 4091–4111 doi: 10.1007/s00436-021-07072-4.
- Berbigier AP, Barros JHDS, Pontes E, Lisboa C, Gentile R, Xavier SCDC et al. Trypanosomatid Richness in Wild and Synanthropic Small Mammals from a Biological Station in Rio de Janeiro, Brazil. *Pathogens*. 2021; 10:1442. doi: 10.3390/pathogens10111442.
- Bittencour TEB, Rocha CFD. Spatial use of rodents (Rodentia: Mammalia) host body surface by ectoparasites. *Brazilian Journal of Biology*. 2002; 62: 419-425.
- Bonecker ST, Portugal LG, Costa-Neto SF, Gentile R. A long term study of small mammal populations in a Brazilian agricultural landscape. *Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkd*. 2009; 74: 467–477. Doi: 10.1016/j.mambio.2009.05.010.
- Bonvicino CR, Oliveira JA, D’Andrea PS. Guia dos roedores do Brasil, com chaves para gêneros baseados em caracteres externos. Centro PanAmericano de Febre Aftosa, Rio de Janeiro. 2008.
- Bowman DD. *Georgis’ parasitology for veterinarians*. 7th ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company. 1999.
- Bush AO, Lafferty KD, Lotz JM, Shostak AW. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *Journal of Parasitology*. 1997; 83: 575-583. doi: 10.2307/3284227. PMID:9267395.
- Bush AO, Fernández JC, Esch GWSJR. *Parasitism: the diversity and ecology of animal parasites*. United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge. 2001
- Byles B, Catzeflis F, Scheibel RP, Agustín JFA. 2013. Gastrointestinal helminths of two species of mouse opossums (*Marmosa demerarae* and *Marmosa murina*) from French Guiana. *Comparative Parasitology*. 2013; 80:210–216.
- Caballero E, Barroeta LF, Grocott RG. Helminths de la República de Panamá. *Revista de Biología Tropical*. 1956; 4: 161- 177.
- Cáceres NC, Monteiro-Filho E. Food habits, home range and activity of *Didelphis aurita* (Mammalia, Marsupialia) in a forest fragmente of Southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 2001; 36: 85–92.
- Cain ML, Bowman WD, Hacker SD. *Ecologia*. Porto Alegre: Artmed. 2008; 1-640 pp.
- Cardoso TS, Simões RO, Luque JLF, Maldonado Jr A, Gentile R. The influence of habitat fragmentation on helminth communities in rodent populations from Brazilian Mountain Atlantic Forest. *Journal of Helminthology*. 2016; 90:460- 468.
- Carreira JCA, Magalhães MAFM, Brazil RP, Silva AVM. *Leishmania* in Marsupials - An Overview of Infection Records in the Americas and Australia. *Open Journal of Animal Sciences*. 2017; 7: 315-343.

- Carreira JCA, Silva AVM, Pereira DP, Peçanha R. Natural infection of *Didelphis aurita* (Mammalia: Marsupialia) with *Leishmania infantum* in Brazil. *Parasites & Vectors*. 2012; 5: 111.
- Cassini MH, Galante ML. Foraging under predation risk in the wild guinea pig: the effect of vegetation height on habitat utilization. *Annales Zoologici Fennici*. 1992; 29: 285-290.
- Castro RGBM, Costa-Neto SF, Maldonado AJ, Gentile R. Ecological aspects of nematode parasites of *Didelphis aurita* (Didelphimorpha, Didelphidae) in urban-sylvatic habitats in Rio de Janeiro, Brazil. *Oecologia Australis*. 2017; 1: 54-61.
- Cerqueira R, Gentile R, Guapyassu SMS. Escalas, amostras, populações e a variação da diversidade. *Oecologia Brasiliensis*. 1995; 1:131-141.
- Cerqueira R, Freitas SRA. New study method of microhabitat structure of small mammals. *Revista Brasileira de Biologia*. 1999; 59: 219–23.
- Cerqueira R, Lemos B. Morphometric differentiation between Neotropical black-eared opossums, *Didelphis marsupialis* and *D. aurita* (Didelphimorpha, Didelphidae). *Mammalia*. 2000; 64: 319-327.
- Cerqueira R. Fatores ambientais e a reprodução de marsupiais e roedores no leste do Brasil. *Arquivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro*. 2005; 63: 29–39.
- Chamber LK, Dickman CR. Habitat selection of the long-nosed bandicoot, *Perameles nasuta* (Mammalia, Peramelidae), in a patchy urban environment. *Austral Ecology*. 2002; 27:334–42.
- Chagas-Moutinho VA, Oliveira-Menezes A, Cárdenas MQ, Lanfredi RM. Further description of *Aspidodera raillieti* (Nematoda: Aspidoderidae) from *Didelphis marsupialis* (Mammalia: Didelphidae) by light and scanning electron microscopy. *Parasitology Research*. 2007; 101:1331–1336. doi: 10.1007/s00436-007-0641-5.
- Chagas-Moutinho VA, Sant’Anna V, Oliveira-Menezes A, De Souza W. New Aspidoderidae species parasite of *Didelphis aurita* (Mammalia: Didelphidae): a light and scanning electron microscopy approach. *Acta Tropica*. 2014; 130: 162–166. doi: 10.1016/j.actatropica.2013.10.005.
- Cirino BS, Costa Neto SF, Maldonado Júnior A, Gentile R. First study on the helminth community structure of the neotropical marsupial *Metachirus myosuroides* (Didelphimorpha, Didelphidae). *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 2020; 29: 1–13.
- Coelho GC, Ramos VN, Limongi JE, Lemos ERS, Guterres A, Costa-Neto SF, et al. Serologic evidence of the exposure of small mammals to spotted-fever *Rickettsia* and *Rickettsia bellii* in Minas Gerais, Brazil. *The Journal of Infection in Developing Countries*. 2016; 10: 275-282.
- Combes C. Parasites, Biodiversity and ecosystem stability. *Biodiversity and Conservation* 1996; 5: 953-962.
- Combes C. Parasitism: The ecology and evolution of intimate interactions. 1 ed. Chicago: University of Chicago, Press. 2001.
- Convenção sobre a Biodiversidade Biológica – CDB. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. 1992. Rio de Janeiro, Brasil. Acesso em 26/09/2022.
- Convention on Biological Diversity – CBD. Aichi Biodiversity Targets. 2012. Disponível em <http://www.cbd.int/sp/targets/#GoalD>. Acesso em 26/05/2022.
- Corbalán V. Microhabitat selection by murid rodents in the Monte desert of Argentina. *Journal of Arid Environments*. 2006; 65:102–10.
- Corrêa AM. O Sertão Carioca. Armando Magalhães Corrêa; apresentação Marcus Venício Ribeiro; introdução de José Augusto Drummond. -2ª edição.- Rio de Janeiro. 2017; 328 p.
- Costa-Neto SF, Simões RO, Mota EM, Val Vilela R, Torres E JL, Barbosa HS, et al. Lungworm

- Heterostrongylus heterostrongylus* Travassos, 1925 from the black-eared opossum in South America: Morphologic, histopathological and phylogenetic aspects. *Veterinary Parasitology*. 2016; 228: 144–152. doi:10.1016/j.vetpar.2016.08.018.
- Costa-Neto SF. Composição e estrutura das comunidades de helmintos de *Didelphis aurita* Wied-Neuwied, 1826 (Didelphimorphia, Didelphidae), em três ambientes distintos da Mata atlântica no estado do Rio de Janeiro [tese] em Biodiversidade e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz. 2017.
- Costa-Neto SF, Cardoso TS, Boullosa RG, Maldonado Jr A, Gentile R. Metacommunity structure of the helminths of the black-eared opossum *Didelphis aurita* in peri-urban, sylvatic and rural environments in south-eastern Brazil. *Journal of Helminthology*. 2019; 93: 720-731. doi: 10.1017/S0022149X18000780.
- Cronemberger C, Delciellos AC, Barros CS, Gentile R, Weksler M, Braz AG, et al. Mamíferos do Parque Nacional da Serra dos Órgãos: atualização da lista de espécies e implicações para a conservação. *Oecologia Australis*. 2019; 23: 191-214.
- Cunha AA, Rajão H. Mamíferos terrestres e aves da Terra Indígena Sapukai (Aldeia Guarani do Bracu) Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil. *Boletim do Museu de Biologia Prof. Mello Leitão, Nova Série*. 2007; 21:19-34.
- Cunha AA, Vieira MV. Support diameter, incline, and vertical movements of four didelphid marsupials in the Atlantic Forest of Brazil. *Journal of Zoology*. 2002; 258:419-426.
- D’Andrea P, Gentile R, Maroja L, Fernandes F, Coura R, Cerqueira R. Small mammal populations of an agroecosystem in the Atlantic Forest domain, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology [Internet]*. 2007; 67:179–86.
- Dean W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. Companhia das letras. São Paulo. 1995; 484 pp.
- Delciellos AC, Novaes RLM, Loguercio MFC, Geise L, Santori RT, Souza RF, Papi BS, Raices DSL, Vieira NR, Felix S, Detogne N, Silva CCS, Bergallo HG, Rocha Barbosa O. Mammals of Serra da Bocaina National Park, state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Check List*. 2012; 8:675-692.
- Delciellos AC, Vieira MV, Grelle CEV, Cobra P, Cerqueira R. Habitat quality versus spation variables as determinants os small mammal assemblages in Atlantic Forest fragments. *Journal of Mammology*. 2016; 97:253-265.
- Delciellos AC, Borges-Júnior VNT, Prevedello JA, Ribeiro SE, Braga C, Vieira MV, et al. Seasonality in metacommunity structure: an empirical test in the Atlantic Forest. *Landscape Ecology*. 2018; 33: 1769–1783. doi: 10.1007/s10980-018-0701-5.
- Destoumieux-Garzón D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, et al. The One Health Concept: 10 Years Old and a Long Road Ahead. *Front. Veterinary Epidemiologic and Economics*. 2018; 5:14. doi: 10.3389/fvets.2018.00014.
- De Walt SJ, Maliakal SK, Denslow JS. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife. *Forest Ecology and Management, Amsterdam*. 2003; 182:139-151.
- Diffendorfer JR, Gaines MS, Holt RD. Habitat fragmentation and movements of three small mammals (*Sigmodon*, *Microtus*, and *Peromyscus*). *Ecology*. 1995; 76: 827-839.
- Dotta G. Diversidade de mamíferos de médio e grande porte em relação à paisagem da Bacia do Rio Passa-Cinco, São Paulo. [Dissertação] Mestrado em Ecologia de Agrossistemas- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005. 116p.
- Dueser RD, Shugart JRHH. Microhabitat in a forest floor small mammal fauna. *Ecology*. 1978; 59: 89-98.
- Durette-Desset MC. Helminthes de marsupiaux américains, Trichostrongyloidea. *Bulletin de La Société Zoologique de France*. 1968 93:581–594.
- Emmons LH, Feer F. Neotropical Rainforest mammals: a field guide. Chicago, University of

- Chicago Press, 2nd ed. 1997. 281 pp.
- Faria MB, Lanes RO, Bonvicino CR. Marsupiais do Brasil: guia de identificação com base em caracteres morfológicos externos e cranianos. 1st ed. São Caetano do Sul: Amélie Editorial. 2019.
- Feliciano BR, Fernandez FAS, Freitas D, Figueiredo MSL. Population dynamics of small rodents in a grassland between fragments of Atlantic Forest in southeastern Brazil. *Mammalian Biology*. 2002; 67(5): 304–314.
- Ferreira MS, Vieira MV, Cerqueira R, Dickman CR. Seasonal dynamics with compensatory effects regulate populations of tropical forest marsupials: a 16-year study. *Oecologia*. 2016; 182: 1095-1106.
- Freitas JFT, Lent H. Estudo sobre o gênero *Globocephalus* Molin, 1861 (Nematoda: Strongyloidea). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 1936; 31: 69-83.
- Freitas JFT, Kohn A, Ibáñez NH. Sobre espécies de *Brachylaemus* (*Brachylaemus*) Dujardin, 1843 (Trematoda). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 1967; 65: 41-61.
- Freitas SR, Cerqueira R, Vieira MV. A device and standard variables to describe microhabitat structure of small mammals based on plant cover. *Brazilian Journal of Biology*. 2002; 62:795–800.
- Freitas RS, Neves CL, Chernicharo P. 2006. Tijuca National Park: Two Pioneering Restorationist initiatives in Atlantic forest in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 2006; 66: 975-982.
- Gardner SL, Campbell ML. Parasites as probes for biodiversity. *The Journal of Parasitology*. 1992; 4: 596–600.
- Gardner AL. *Mammals of South America: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats*. ed. Gardner, A. L. University of Chicago Press, Chicago. 2008; 690 pp.
- Geise L, Pereira LG, Bossi DEP, Bergallo HG. 2004. Pattern of elevational distribution and richness of non volant mammals in Itatiaia National Park and its surrounding, in the southeastern Brazil. *Brazilian Journal Biology*. 2004; 64: 599-61.
- Gentile RS, D'Andrea PS, Cerqueira R. Age structure of two marsupials in a Brazilian Restinga. *Journal of Tropical Ecology*. 1995; 11: 679-682.
- Gentile R, Fernandez FAS. 1999. Influence of habitat structure on a streamside small mammal community in a Brazilian rural area. *Mammalia (Paris), França*. 1999; 1:29-10.
- Gentile R, D'Andrea, PS, Cerqueira R, Maroja LS, 2000. Population and reproduction of marsupials and rodents in a Brazilian rural area: a five-year study. *Stud. Neotrop. Fauna & Environment*. 2000; 35: 1-9.
- Gentile R, Finotti R, Rademaker V, Cerqueira R. Population dynamics of four marsupials and its relation to resource production in the Atlantic forest in southeastern Brazil. *Mammalia*. 2004; 68: 109–119. Doi: 10.1515/mamm.2004.012.
- Gentile R, Bergallo HG, Teixeira BR. Dinâmica de populações de marsupiais brasileiros. In: Nilton C. Cáceres. (Org.). *Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e conservação*. 2ªed. Campo Grande: Editora da UFMS. 2012; 311-326.
- Gentile R, Kajin M. Estudos empíricos de longo prazo de pequenos mamíferos: a contribuição do professor Rui Cerqueira à biologia de populações. *Oecologia Australis*. 2015; 19: 1-15.
- Gentile R, D'Andrea PS. Biodiversidade e Saúde: uma relação que precisa ser reconhecida. In: Ariane Luna Peixoto; José Roberto Pujol; Maria Aparecida de Brito. (Org.). *Conhecendo a Biodiversidade*. 1ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes. 2016, 156-171.
- Gentile R, Cardoso TS, Costa-Neto SF, Teixeira BR, D'Andrea PS. Community structure and population dynamics of small mammals in an urban-Sylvatic interface area in Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia*. 2018; 35: 1-12. Doi: 10.3897/zoologia.35.e13465
- Gentile, R, Kajin, M, Bergallo, HG no prelo. Population dynamics of Neotropical Marsupials.

- Gianuca AT, Declerck AS, Lemmens P, Meester L. Effects of dispersal and environmental heterogeneity on the replacement and nestedness components of β -diversity. *Ecology*. 2017; 98:525–533
- GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>. 2009.
- Gomes APN, Maldonado A, Bianchi RC, Souza JGR, D’Andrea PS, Gompper ME, Ollifiers N. Variation in the prevalence and abundance of acanthocephalans in brown-nosed coatis *Nasua nasua* and crab-eating foxes *Cerdocyon thous* in the Brazilian Pantanal. *Brazilian Journal of Biology*. 2019; 79: 533-542. doi: 10.1590/1519-6984.187881.
- Gomes CD, Cruz PR, Vicente, JJ, Pinto RM. Nematode parasites of marsupials and small rodents from the Brazilian Atlantic Forest in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2003; 20: 699-707.
- Gonçalves J, Teixeira BR, Olifiers N, Lucio CS, Riski LL, Costa-Neto SF, et al. A survey of small mammals in the Atlantic Forest of the northwestern region of Rio de Janeiro state. *Oecologia australis*. 2016; 20: 492-500. Doi: 10.4257/oeco.2016.2004.08.
- Gonçalves-Oliveira J, Rozental T, Guterres A, Teixeira BR, Andrade-Silva BE, Costa-Neto S F, Furtado MC, et al. Investigation of *Bartonella* spp. in Brazilian mammals with emphasis on rodents and bats from the Atlantic Forest. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2020; 13: 80-89. Doi: 10.1016/j.ijppaw.2020.07.004.
- Graipel ME, Santos-Filho M. Reproduction and population dynamics of *Didelphis aurita* Wied-Neuwied (Mammalia: Didelphimorphia) in the periurban environment of Santa Catarina Island, in southern Brazil. *Biotemas*. 2006; 19: 65-73.
- Grelle CEV. Forest Structure and Vertical Stratification of Small Mammals in a Secondary Atlantic Forest, Southeastern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 2003; 38: 81–85. doi:10.1076/snfe.38.2.81.15926.
- Gregory RD, Keymer AE, Harvey PH. Helminth parasite richness among vertebrates. *Biodiversity Conservation*. 1996; 5:985-989.
- Guégan JF, Lambert A, Lévêque C, Combes C, Euzet L. Can host body size explain the parasite species richness in tropical freshwater fishes? *Oecologia*. 1992; 90: 197-204. doi:10.1007/BF00317176.
- Hall LS, Krausman PR, Morrison ML. The habitat concept and plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*. 1997; 25: 173-182
- Hammer O, Harper DA, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 2001; 4: 9.
- Heukelbach J, Feldmeier H. Epidemiological and clinical characteristics of hookworm-related cutaneous larva migrans. *Lancet Infectious Diseases*. 2008; 8:302–309. doi: 10.1016/S1473-3099(08)70098-7.
- Han BA, Schmidt JP, Bowden SE, Drake JM. Rodent reservoirs of future zoonotic diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015; 112: 7039-7044.
- Han BA, Kramer AM, Dranke JM. Global Patterns of Zoonotic Disease in Mammals. *Trends in Ecology & Evolution*. 2016; 7: 565-577.
- Henriques-Silva R, Lindo Z, Peres-Neto PRA. Community of metacommunities: exploring patterns in species distributions across large geographical areas a community of metacommunities: exploring patterns in species distributions across large geographical areas. 2013. 94: 627–639.
- Heukelbach J, Feldmeier H. Epidemiological and clinical characteristics of hookworm-related cutaneous larva migrans. *Lancet Infectious Diseases*. 2008; 8:302–309.
- INPE. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. 2015. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3299.

- Jansen AM, Xavier SCC, Roque ALR. The multiple and complex and changeable scenarios of the *Trypanosoma cruzi* transmission cycle in the sylvatic environment. *Acta Tropica* 2015; 151:1–15. Doi : 10.1016/j.actatropica.2015.07.018.
- Jiménez FA, Catzefflis F, Gardner SL. Structure of parasite componente communities of didelphid marsupials: insights from a comparative study. *Journal of Parasitology*. 2011; 97:779–787. Doi: 10.1645/GE-2711.1.
- Johnson PTJ, Thieltges DW. Diversity, decoys and the dilution effect: how ecological communities affect disease risk. *Journal of Experimental Biology*. 2010; 213: 961-970.
- Kajin M, Cerqueira R, Vieira MV, Gentile R. 2008. Nine-year demography of the black-eared opossum *Didelphis aurita* (Didelphimorphia: Didelphidae) using life tables. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2008; 25: 206-213
- Kruse H, Kirkemo AM, Handeland K. Wildlife as source of zoonotic infections. *Emerging Infectioud Diseases*. 2004; 12: 2067-2072.
- Lamas CC, Rozental T, Bóia MN, Favacho ARM, Kirsten A, Silva AP, Lemos ERS. 2009. Seroprevalence of *Coxiella burnetii* antibodies in human immunodeficiency virus-positive patients in Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brazil. *Clinical Microbiology and Infection*. 2009; 15: 140-141.
- Lamas CC, Mares-Guia MA, Rozental T, Moreira N, Favacho ARM, Barreira J, et al. *Bartonella* spp. infection in HIV positive individuals, their pets and ectoparasites in Rio de Janeiro, Brazil: Serological and molecular study. *Acta Tropica*. 2010; 115: 137-141.
- Lamas CC, Oliveira R, Vicente LHB, Almeida EB, Lemos ERS, Bóia M N. Hantavirus infection in HIV positive individuals in Rio de Janeiro, Brazil: A seroprevalence study. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*. 2013; 17: 120-121.
- Laurance WF. Theory meets reality: how habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation*. 2008; 143:1731–1744.
- Lee SH, Hwang SW, Chai JY, Seo BS. Comparative morphology of eggs of heterophyids and *Clonorchis sinensis* causing human infections in Korea. *Korean J Parasitol*. 1984; 22:171–180.
- Legendre P, Legendre L. *Numerical Ecology*, 3rd Edn. Elsevier Academic Press. 2012; 864pp.
- Lemos ERS, D’Andrea PS. *Trabalho de Campo com Animais: Procedimentos, Riscos e Biossegurança*. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Oswaldo Cruz. 2014; 180 p.
- Lerner H, Berg C. 2015. The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health? *Infection Ecology & Epidemiology*. 2015; 5: 25300. doi: 10.3402/iee.v5.25300.
- Lima MM, Sarquis O, Oliveira TG, Gomes TF, Coutinho C, Teixeira NFD, et al. Investigation of Chagas disease in four periurban areas in northeastern Brazil: epidemiologic survey in man, vectors, non-human hosts and reservoirs. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2012; 106: 143–149. doi: 10.1016/j.trstmh.2011.10.013.
- Lopes CMT, Menna-Barreto RFS, Pavan MG, Pereira MCS, Roque ALR. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro. 2018; 113: 45-55.
- Loreau M, Roy J, Tilman D. 2005. Linking ecosystem and parasite ecology. In: Thomas, F., Renaud, F., Guégan, J.F. *Parasitism and Ecosystems*. 1ed. Oxford University Press. 2005; 13-21 pp.
- Luz H, Costa-Neto, SF, Weksler M, Gentile R, Faccini JLH. Ticks parasitizing wild mammals in Atlantic Forest areas in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*. 2018; 27: 409 – 414.
- MacArthur RH, MacArthur JW, Preer J. On bird species diversity: II predictions of bird census from habitat measurements. *The American Naturalist*. 1962; 96:167 – 174.
- Mac Arthur RH, Recher H. & Cody ML. On the relation between Habitat selection and species diversity. *The American Naturalist*. 1966; 100: 319-332.

- Macedo J, Loretto D, Mello MCS, Freitas SR, Vieira MV, Cerqueira R. História natural dos mamíferos de uma área perturbada do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. In: Cronemberger C, Castro EBV (Eds) *Ciência e Conservação na Serra dos Órgãos*. Ibama, Rio de Janeiro. 2007; 167–181.
- Magurran AE. *Medindo a diversidade biológica*. Curitiba, Editora UFPR. 2004; 261 pp.
- Maldonado Jr A, Gentile R, Fernandes-Moraes CC, D'Andrea PS, Lanfredi RM, Rey L. Helminth communities of *Nectomys squamipes* naturally infected by the exotic trematode *Schistosoma mansoni* in southeastern Brazil. *Journal of Helminthology*. 2006; 80: 369-375.
- Ministério do Meio Ambiente. MMA, Mata Atlântica. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mataatlantica>.
- Mantel N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*. 2015; 27: 209–220.
- Marcogliese DJ. 2005. Parasites of superorganisms: are they indicators of ecosystem health. *Int Journal of Parasitology*. 2005; 35: 705-716.
- Mena JL, Medellín RA. 2010. Small mammal assemblages in a disturbed tropical landscape at Pozuzo, Peru. *Mammalian Biology*. 2010; 75:83–91.
- Mills JN, Childs JE. Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance of human health. *Emerging Infectious Diseases*. 1998; 4: 529-537.
- Mills JN. Biodiversity loss and emerging infectious disease: an example from the rodent-borne hemorrhagic Fevers. *Biodiversity*. 2006; 7: 9-17.
- Mittermeier RA, Gil RP, Hofman M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, Lamoreux J, Fonseca GAB. *Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, 2nd. 2005.
- Modesto TC, Pessôa, FST, Jordão-Nogueira MC, Enrici LM, Costa N, Attias J, et al. Mammals, Serra da Concórdia, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Check List*. 2008(a); 4: 341-348.
- Modesto TC, Pessôa FS, Enrici MC, Attias N, Jordão-Nogueira T, Costa LM, et al. Mamíferos do Parque Estadual do Desengano, Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotropica*. 2008(b); 8: 153-159.
- Monteiro RV, Diet, JM, Raboy B, Beck B, Vleeschower KD, Baker A, et al. Parasite community interactions: *Trypanosoma cruzi* and intestinal helminthes infecting wild golden lion tamarins *Leontopithecus rosalia* and golden-headed lion tamarins *L. chrysomelas* (Callitrichidae, L., 1766). *Parasitology Research*. 2007; 101: 1689-1698. DOI:10.1007/s00436-007-0652-2.
- Morand S, Harvey PH. Mammalian metabolism, longevity and parasite species richness. *Proceedings: Biological Sciences Royal Society of London*. 2000; 267: 1999-2003.
- Moraes-Junior EA, Chiarello AG. A radio tracking study of home range and movements of the marsupial *Micoreus demerarae* (Thomas) (Mammalia, Didelphidae) in the Atlantic forest of south-eastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2005; 22: 85-91.
- Motta MFD. Estudo do desenvolvimento extra-uterino de *Didelphis aurita* Wied, 1826, em cativeiro – Investigação de critérios para estimativa de idade. MSc thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional, Rio de Janeiro. 1988.
- Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Reviews. Tree*. 1995; 10:58-62. Doi: 10.1016/S0169-5347(00)88977-6.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000; 403:853–858.
- Olifiers N. Fragmentação, habitat e as comunidades de pequenos mamíferos da Bacia do Rio Macacu, RJ. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais. 2002.
- Olifiers N, Cunha A, Grelle CEV, Bonvicino CR, Geise L, Pereira LG, et al. Lista de espécies de pequenos mamíferos não-voadores do Parque Nacional da Serra dos Órgãos; p.

- Ciência e Conservação na Serra dos órgãos. Brasília: IBAMA, Centro Nacional de Informação, Tecnologias Ambientais e Editoração. 2007; 183-192.
- Oliveira HH, Silva AB, Gomes V, Quinelato IPF, Morelli-Amaral VF, Serra-Freire NM, et al. Roedores e marsupiais capturados no Parque Estadual da Pedra Branca, Rio de Janeiro: distribuição e relação com o ambiente. *Revista Uniabeu* [Internet]. 2012; 5:158–180.
- Oliveira-Menezes A, Lanfredi-Rangel A, Lanfredi RM. The first description of eggs in the male reproductive system of *Physaloptera bispiculata* (Nematoda: Spiruroidae). *Journal of Helminthology*. 2011; 85:142–145. Doi:10.1017/S0022149X10000374
- Oliveira RC, Guterres A, Teixeira BR, Fernandes J, Penna J Jr, Oliveira R Jr, Strecht L, Bosco J Jr, Meneguete P, Dias C, Bonvicino CR, D’Andrea OS, Lemos ERS. A fatal hantavirus pulmonary syndrome misdiagnosed as dengue: an investigation into the first reported case in Rio de Janeiro state, Brazil. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2017; 97: 125-129. Doi: 10.4269/ajtmh.16-0845
- Oksanen J, Guillaume Blanchet F, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlenn D, Minchin PR, O’Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5–6. 2019
- Oksanen J, Blanchet GF, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlenn D, Peter R, Minchin RB, O’Hara GL, Simpson PS, Henry MH, Stevens ES, Helene. 2021.
- Ostfeld RS. Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens. *Clinical Microbiology Infection*. 2009; 15: 40-43.
- Paglia A, Júnior PDM, Costa FM, Pereira RF, Lessa G. Heterogeneidade estrutural e diversidade de pequenos mamíferos em um fragmento de mata secundária de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 1995; 12(1):67–79.
- Paglia AP, Fonseca GAB, Rylands AB, Herrmann G, Aguiar LMS, Chiarello AG, et al. Annotated Checklist of Brazilian Mammals. 2nd. Arlington, VA. Occasional Papers in Conservation Biology, No. 6. Conservation International. 2012; 83 pp
- Pardini R. Effects of forest fragmentation on small mammals in an Atlantic Forest landscape. *Biodiversity and Conservation*. 2005; 13:2567-2586.
- Pardini R, Souza SM, Braga-Netto R, Metzger JP. The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in a tropical forest landscape. *Biology Conservation*. 2005; 124:253-266.
- Pardini R, Umetsu F. Pequenos mamíferos nãovoadores da Reserva Florestal do Morro Grande – distribuição das espécies e da diversidade em uma área de Mata Atlântica. *Biota Neotropica*. 2006; 6: 1–22.
- Patterson BD, Atmar W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biological Journal of the Linnean Society*. 1986; 28: 65–82.
- Patterson BD. On the continuing need for scientific collecting of mammals. *Biologia Neotropical*. 2002; 9: 253-262.
- Patton JL, Pardiñas UFJ, D’Elia G. *Mammals of South America, volume 2: rodents*. Chicago, The University of Chicago Press. 2015; 1384 pp.
- Pavlovsky EN. *Natural nidality of transmissible diseases, with special reference to the landscape epidemiology of zoonoses*. University of Illinois Press, Urbana. 1966; 261pp.
- Peig J, Green AJ. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. *Oikos*. 2009; 118: 1883-1891. doi: 10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x.
- Penteado M. 2006. Distribuição e abundância de aves em relação ao uso da terra na bacia do Rio Passa-Cinco, Estado de São Paulo, Brasil. 131p. [Tese]. Doutorado em Ecologia de Agrossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

- Pereira LG, Torres SEM, Da Silva HS, Geise L. 2001. Non-volant mammals of Ilha Grande and adjacent areas in Southern Rio de Janeiro State, Brazil. *Boletim do Museu Nacional*. 2011; 459: 1-15.
- Pereira SN, Dias D, Lima IP, Maas ACS, Martins MA, Bolzan DP, França DS, Oliveira MB, Peracchi AL, Ferreira MFS. 2013. Mamíferos de um fragmento florestal em volta redonda, estado do Rio de Janeiro. *Bioscience Journal*. 2013; 29: 1017-1027.
- Pessoa FS, Modesto TC, Albuquerque HG, Attias N, Bergallo HG. Non-volant mammals, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Rio das Pedras, municipality of Mangaratiba, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Check List*. 2009; 5: 577-586.
- Poulin R. *Evolutionary ecology of parasites*. Princeton: Princeton University Press. 2007.
- Pontes ES. Infecção por tripanossomatídeos em pequenos mamíferos provenientes de áreas com distintos perfis de degradação ambiental no entorno do Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro / RJ. Monografia de Graduação, Faculdades São José, Rio de Janeiro. 2015; 48pp.
- Poulin R, George-Nascimento M. The scaling of total parasite biomass with host body mass. *International Journal for Parasitology*. 2007; 37: 359-364. DOI: 10.1016/j.ijpara.2006.11.009.
- Poulin R. Network analysis shining light on parasite ecology and diversity. *Trends in Parasitology*. 2010; 26: 492–498.
- Poulin R, Krasnov BR, Pilosof S, Thieltges DW. Phylogeny determines the role of helminth parasites in intertidal food webs. *Journal of Animal Ecology*. 2013; 82: 1265–1275.
- Püttker T, Meyer-Lucht Y, Sommer S. 2008. Effects of fragmentation on parasite burden (nematodes) of generalist and specialist small mammal species in secondary forest fragments of the coastal Atlantic Forest, Brazil. *Ecological Research*. 2008; 23: 207–215. doi: 10.1007/s11284-007-0366-z.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.
- Ramos-de-Souza J, Maldonado-Jr A, Vilela RV, Andrade-Silva BE, Barbosa HS, Gomes SR, et al. First report of the nematode *Cruzia tentaculata* using molluscs as natural intermediate hosts, based on morphology and genetic markers. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2021; 15: 105–11. doi 10.1016/j.ijppaw.2021.02.013.
- Rangel FCS, Gomes, SR, Canuto T, Rodrigues OS, Thiengo SC. Diversity of non-marine gastropods of the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station and adjacent urban areas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021; 93. Doi:1590/0001- 3765202120190691.
- Rengifo-Correa L, Stephens CR, Morrone JJ, Téllez-Redón JL, González-Salazar C. Understanding transmissibility patterns of Chagas disease through complex vector–host networks. *Parasitology*. 2017; 144: 760-772.
- Rezende N, Figueiredo MSL, Grelle CEV. Características determinantes do risco de extinção global de mamíferos. *Oecologia Australis*. 2011; 15: 275–90.
- Ricklefs RE. *A Economia da Natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2010. 546 p.
- Richardson DJ, Gardner SL, Allen JW. 2014. Redescription of *Oligacanthorhynchus microcephalus* (Rudolphi, 1819) Schmidt 1972 (syn. *Oligacanthorhynchus tortuosa* (Leidy, 1850) Schmidt 1972) (Acanthocephala: Oligacanthorhynchidae). *Comparative Parasitology*. 2014; 81: 53–60. DOI: 10.1654/4673.1.
- Robles MR, Cutillas C, Panei CJ, Callejón R. Morphological and molecular characterization of a new *Trichuris* species (Nematoda-Trichuridae), and phylogenetic relationships of *Trichuris* species of Cricetid Rodents from Argentina. *Plos One* 2014; e112069.

- Roque ALR, Jansen AM. Wild and synanthropic reservoirs of *Leishmania* species in the Americas. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2014; 3: 251-262.
- Sancha NU, Higgins CL, Presley SJ, Strauss RE. Metacommunity structure in a highly fragmented forest: has deforestation in the Atlantic Forest altered historic biogeographic patterns? *Diversity and Distributions*. 2014; 20: 1058–1070.
- Santori RT, Lessa LG, Astúa MD. Alimentação, nutrição e adaptações alimentares de marsupiais brasileiros. In: Cáceres NC, editor. *Os marsupiais do Brasil Biologia, Ecologia e Conservação*. 2 a ed. Campo Grande: UFMS. 2012; p. 383–404.
- Schoener TW. Resource partitioning in ecological communities. *Science*. 1974; 185:27-39.
- Schulte-Hostedde AI, Millar JS, Hickling GJ. Evaluating body condition in small mammals. *Canadian Journal of Zoology*. 2011; 79:1021–1029.
- Schulte-Hostedde AI, Zinner B, Millar JS, Hickling GJ. Restitution of mass-size residuals: validating body condition indices. *Ecology*. 2005; 86:155–163.
- Sheather AL. The Detection of Intestinal Protozoa and Mange Parasites by a Floatation Technique. *Journal of Pathology and Therapy*. 1923; 36: 266-275.
- Silva MGQ, Costa HMA. Helminths of white-bellied opossum from Brazil. *Journal of Wildlife Diseases*. 1999; 35: 371 – 374.
- Silva GM, Santos MB, Melo CM, Jeraldo VLS. *Achatina fulica* (Gastropoda:Pulmonata): occurrence, environmental aspects and presence of nematodes in Sergipe. *Brasil. Brazilian Journal of Biology*. 2020; 80. doi: 10.1590/1519-6984.190291
- Simões RO, Gentile R, Rademaker V, D'Andrea PS, Herrera H, Freitas T, et al. Variation in the helminth community structure of *Thrichomys pachyurus* (Rodentia, Echimyidae) in two sub-regions of the Brazilian Pantanal: the effects of land use and seasonality. *Journal of Helminthol*. 2010; 84: 266 - 275.
- Simões R, Souza JGR, Maldonado Jr A, Luque JL. Variation in the helminth community structure of three sympatric sigmodontine rodents from the coastal Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Helminthol*. 2011; 85: 171-178.
- SOS Mata Atlântica. 2021. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/>
- Stroud JT, Bush MR, Ladd MC, Nowicki RJ, Shantz AA, Sweatman J. Is a community still a community? Reviewing definitions of key terms in community ecology. *Ecology and Evolution*. 2015; 5:4757–4765.
- Suzuki A, Bisordi I, Levis S, Garcia J, Pereira LE, Souza RP, Sugahara TKN, Pini N, Enria D, Souza LTM. Identifying rodent hantavirus reservoirs, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*. 2004; 10: 2127-2134.
- Talamoni SA, Couto D, Cordeiro Júnior DA, Diniz FM. Diet of some species of Neotropical small mammals. *Mammalian Biology* 2008; 73: 337-341.
- Tavares JA. 2018. Diversidade de pequenos mamíferos da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica. [Dissertação] em Biodiversidade e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz. 2018.
- Taylor MA, Coop RL, Wall RL. *Parasitologia Veterinária*. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2017; 1-965 pp.
- Teodoro AKM, Cutolo AA, Motoie G, Meira-Strejevitch CS, Pereira-Chioccola VL, Mendes TMF, et al. Gastrointestinal, skin and blood parasites in *Didelphis* spp. from urban and sylvatic areas in São Paulo state, Brazil. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*. 2019; 16:100286.
- Thatcher VE. Endoparasitos dos marsupiais brasileiros. In Cáceres N and Monteiro Filho E (Eds), *Os marsupiais do Brasil: biologia, ecologia e evolução*. Campo Grande: Editora UFMS. 2006; pp. 53–68.
- Travassos L. Contribuições para o conhecimento da fauna helmintológica brasileira. VI Revisão dos acantocefalos brasileiros. Parte I. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 1917; 9: 5-

- Travassos LP. Revisão da família Trichostrongylidae Leiper, 1912. Monografias do Instituto Oswaldo Cruz. 1937; 511pp.
- Umetsu F, Pardini R. Small mammals in a mosaic of forest remnants and anthropogenic habitats—evaluating matrix quality in an Atlantic forest landscape. *Landscape Ecology* 2007; 22: 517–530. Doi: 10.1007/s10980-006-9041-y.
- Vaz VC, D’Andrea PS, Jansen AM. Effects of habitat fragmentation on wild mammal infection by *Trypanosoma cruzi*. *Parasitology*. 2007; 134: 1785-1793.
- Valença-Barbosa, C, Do Bomfim TCB; Teixeira BR, Gentile R, Costa-Neto SF, Magalhães BSN, Balthazar DA, Da Silva FA, Biot R, D’Avila L, Masini C, Santos HLC. Molecular epidemiology of *Blastocystis* isolated from animals in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *PLoS One*. 2019; 14 p.e0210740
- Vera y Conde CF, Rocha CFD. Habitat disturbance and small mammal richness and diversity in an Atlantic Rainforest area in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 2006; 66: 983-990.
- Vicente JJ, Rodrigues HO; Gomes DC, Pinto RM. Nematoides do Brasil. Parte V: Nematoides de mamíferos. *Revista Brasileira de Zoologia*. 1997; 452 pp.
- Vicente JJ, Rodrigues HO, Steindel M, Padovani CR, Schlemper JRBR. Contribuição ao conhecimento da fauna helmintológica de mamíferos da Ilha de Santa Catarina, SC. *Atas da Sociedade de Biologia do Rio de Janeiro*. 1987; 27: 5-8.
- Vieira MV, Olifiers N, Delciellos AC, Antunes VZ, Bernardo LR, Grelle CEV, et al. Land use vs. fragment size and isolation as determinants of small mammal composition and richness in Atlantic Forest remnants. *Biological Conservation*. 2009; 142: 1191-1200.
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM. Human domination of Earth’s Ecosystems. *Science*. 1997; 277:494–499.
- Viveiros De Castro EB, Fernandez FAS. Determinants of differential extinction vulnerabilities of small mammals in Atlantic forest fragments in Brazil. *Biological Conservation*. 2003;119(1):73–8.
- Whittaker RH. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*. 1972; 21: 213-251.
- Williams SE, Marsh H. Changes in small mammal assemblage structure across a rain forest open forest ecotone. *Journal of Tropical Ecology*. 1998; 14: 187–198.
- Young CEF. 2006. Desmatamento e desemprego rural na Mata Atlântica. *Floresta e Ambiente*. 2006; 13: 75– 88.
- Zabott MV, Benghi Pinto S, Viott AM, Gruchouskei L, Bittencourt LHFB. Helmintofauna de *Didelphis albiventris* (Lund, 1841) no município de Palotina, Paraná, Brasil. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR, Umuarama*. 2017; 20: 19-22.
- ZAR JH. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1996; 662pp.

9 APÊNDICES

APÊNCICE A

Tabela de presença e ausência utilizada para a análise de NMDS com relação as referências bibliográficas.

Localidades/ Espécies	<i>D. aurita</i>	<i>M. paraguayana</i>	<i>M. murina</i>	<i>M. americana</i>	<i>M. dimidiata</i>	<i>M. scalops</i>	<i>M. iheringi</i>
EFMA copilado	1	1	0	1	0	0	0
CFMA presente	1	1	0	1	0	0	0
CFMA Tavares	1	0	0	1	0	0	0
CFMA Gentile	1	1	0	1	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	1	1	0	1	0	0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	0	1	0	0	1	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	0	1	1	1	1
Município e Sumidouro	1	0	0	0	0	0	0
Município de Teresópolis	1	0	0	1	0	0	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	1	1	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra da Bocaina	1	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional do Itatiaia	1	1	1	1	1	1	0
Municípios Rio de Janeiro	1	1	0	0	0	0	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	1	1	0	0	0	0	0
Cachoeiras de Macacu	1	1	0	1	0	0	0

Localidades/ Espécies	<i>C. philander</i>	<i>G. microtarsus</i>	<i>P. frenatus</i>	<i>M. incanus</i>	<i>M. paulensis</i>	<i>M.nudicaudatus</i>	<i>L. crassicaudata</i>
EFMA copilado	0	1	0	0	0	1	0
CFMA presente	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Tavares	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	0	1	0	0	0	1	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	0	0	1	1	0	1	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	0	1	1	0	1	1	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	1	1	1	1	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	1	1	1	1	0
Município e Sumidouro	0	0	1	0	0	0	0
Município de Teresópolis	0	1	1	0	1	0	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	1	1	1	1	0	1	0
Parque Nacional da Serra da Bocaina	0	0	1	1	0	1	0
Parque Nacional do Itatiaia	1	0	1	1	1	0	1
Municípios Rio de Janeiro	0	1	1	1	0	1	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	0	0	1	0	0	1	0
Cachoeiras de Macacu	1	1	1	1	0	1	0

Localidades/ Espécies	<i>O. nigripes</i>	<i>O. flavescens</i>	<i>Oligoryzomys</i> sp	<i>T.dimidiatus</i>	<i>T. setosus</i>	<i>T. graciosus</i>	<i>T. eliasi</i>
EFMA copilado	1	0	0	1	0	0	0
CFMA presente	1	0	0	1	0	0	0
CFMA Tavares	1	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	1	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	1	0	0	0		0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	0	0	0	1	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	0	0	1	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	0	1	1	0	1	0
Município e Sumidouro	1	0	0	1	0	0	0
Município de Teresópolis	1	0	0	1	0	0	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	1	0	0	0	0	0	1
Parque Nacional da Serra da Bocaina	0	0	0	1	0	0	0
Parque Nacional do Itatiaia	1	1	0	0	0	1	0
Municípios Rio de Janeiro	1	0	0	0	1	0	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	0	0	0	1	0	0	0
Cachoeiras de Macacu	1	0	0	1	0	0	0

Localidades/ Espécies	<i>E. spinosus</i>	<i>A. cursor</i>	<i>A. montensis</i>	<i>A. reigi</i>	<i>C. angustidens</i>	<i>N. squamipes</i>	<i>O. catherinae</i>
EFMA copilado	0	1	0	0	0	0	0
CFMA presente	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Tavares	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	0	1	0	0	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	0	1	0	0	0	0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	1	0	0	0	1	1	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	0	1	1	0	1	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	0	1	1	0	0	1	0
Município e Sumidouro	1	1	1	0	0	1	1
Município de Teresópolis	0	1	1	0	1	1	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	0	1	0	0	0	1	1
Parque Nacional da Serra da Bocaina	0	0	0	0	0	0	1
Parque Nacional do Itatiaia	1	1	1	1	1	1	1
Municípios Rio de Janeiro	0	1	0	0	0	1	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	0	1	0	0	0	1	0
Cachoeiras de Macacu	0	1	0	0	0	1	1

Localidades/ Espécies	<i>E.russatus</i>	<i>O. quaestor</i>	<i>O. judex</i>	<i>O. dasytrichus</i>	<i>B. griserufescens</i>	<i>P. pattoni</i>	<i>R. itoan</i>
EFMA copilado	0	0	0	0	0	0	0
CFMA presente	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Tavares	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	1	0	0	1	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	1	0	1	1	1
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	0	0	1	1	1
Município e Sumidouro	0	0	1	0	0	0	0
Município de Teresópolis	0	0	1	0	0	0	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra da Bocaina	1	0	0	0	0	0	1
Parque Nacional do Itatiaia	0	0	0	1	0	0	1
Municípios Rio de Janeiro	0	0	0	1	0	0	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	1	0	0	1	0	0	0
Cachoeiras de Macacu	1	0	0	1	0	1	1

Localidades/ Espécies	<i>R. mastacalis</i>	<i>H. laticeps</i>	<i>C. cerqueirai</i>	<i>C. tener</i>	<i>T.nigrita</i>	<i>D. collinus</i>	<i>D. dorsalis</i>
EFMA copilado	0	0	0	0	0	0	0
CFMA presente	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Tavares	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	1	1	0	0	1	0	1
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	0	0	0	0	1	0	1
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	0	0	0	0	1	0	1
Município e Sumidouro	0	0	0	0	0	0	0
Município de Teresópolis	0	0	0	0	0	0	1
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra da Bocaina	0	0	0	0	0	0	1
Parque Nacional do Itatiaia	0	0	0	0	1	1	1
Municípios Rio de Janeiro	0	0	1	1	0	0	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	0	1	0	0	0	0	0
Cachoeiras de Macacu	0	0	0	0	0	0	0

Localidades/ Espécies	<i>D. sublineatus</i>	<i>J. ossitenuis</i>	<i>J. rimofrons</i>	<i>J. pictipes</i>	<i>K. amblyonyx</i>	<i>N.lasiurus</i>	<i>S. angouya</i>
EFMA copilado	0	0	0	0	0	0	0
CFMA presente	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Tavares	0	0	0	0	0	0	0
CFMA Gentile	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Estadual do Desengano (PED)	1	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	0	0	1	0	0	0
Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO)	1	1	0	1	0	0	1
Município e Sumidouro	0	0	0	0	0	1	0
Município de Teresópolis	0	0	0	1	0	0	0
Reserva Biológica Poço das Antas (RBPA)	0	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional da Serra da Bocaina	0	0	0	0	0	0	0
Parque Nacional do Itatiaia	0	0	1	0	1	0	0
Municípios Rio de Janeiro	0	0	0	0	0	0	0
Reserva Biológica Rio das Pedras	0	0	0	0	0	0	0
Cachoeiras de Macacu	0	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE B

Tabela com as médias e desvios-padrão das variáveis quantitativas de habitat para cada transecto de captura de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz da Mata Atlântica (EFMA), Rio de Janeiro, RJ.

Variáveis quantitativas	PA	PB	PC	TA	TB	TC	MA	MB	MD
Cobertura da vegetação do solo	1,1±1,43	1,76±2,91	3,38±2,39	0,72±0,53	1,44±1,25	0,36±0,55	0,63±1,28	0,72±0,31	1,94±1,64
Porcentagem de folhço	6,75±3,15	7,25±2,91	2,12±2,27	7,61±1,23	5,94±2,42	7,92±1,53	3,83±3,20	6,57±2,24	6,26±1,26
Porcentagem de exposição do solo	1,1±1,84	0	3,65±2,65	0,68±,1,17	1,58±2,67	0,72±,1,15	4,41±3,38	1,67±2,10	0,36±0,99
Porcentagem de afloramentos rochosos	0	0	0	0	0,05±0,14	0	0,14±0,30	0,05±0,14	0,45±0,9
Porcentagem de cobertura do dossel	194,44±11,30	182±46,86	142±78,00	200±0	190±22,11	194±15,78	200±0	200±0	200±0
Altura do dossel	6,89±1,96	5,6±2,37	5,7±3,13	14,2±3,46	10,3±4,62	11,9±2,47	12,7±6,53	13,6±6,08	19,4±2,88
OFV	0,43±0,36	0,60±0,54	0,92±0,44	0,33±0,21	0,49±0,26	0,26±0,16	0,33±1,2	0,51±0,32	0,44±0,23
ARV1_1M	2,67±2,18	2,5±1,96	2±,133	2,6±2,01	3,4±1,65	3±0,67	4,7±1,64	2,8±0,92	4,7±1,89
ARV2_DAP	0,78±0,83	1,3±1,64	0,6±0,70	1,2±1,03	0,9±0,99	1,2±1,14	1,2±0,79	2,3±1,06	2±1,33
TRONCOS	0,35±0,10	0,22±0,17	0,3±0,20	0,12±0,10	0,17±0,11	0,19±,019	0,14±0,11	0,06±0,11	0,11±0,13
SOMA_AREA_BASAL	537,83±86 1,20	544,78±80 7,31	239,43±40 0,33	615,78±92 4,09	293,46±47 7,67	790,91±101 4,98	761,87±82 1,94	1492,94±167 3,14	2788,09±436 3,95

APÊNDICE C

Tabela com valores das variáveis qualitativas de habitat para cada transecto de captura de pequenos mamíferos na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ, de 2018 a 2019.

Variáveis qualitativas	PA	PB	PC	TA	TB	TC	MA	MB	MD
SUB1	1 (0-2)	1 (1-2)	0 (0-2)	1 (0-1)	1 (1-2)	1 (1-0)	1 (1-2)	1 (1-2)	1
SUB2	1 (0-1)	0 (0-1)	0 (0-1)	1	1 (0-1)	1(1-0)	1 (1-0)	1 (1-0)	1
SUB3	0	0	0	1 (1-0)	0 (0-1)	0 (1-0)	0 (1-0)	0 (1-0)	1
TRILHAS	2	2 (0-2)	1 (1-2)	2	0	2	0 (2-0)	0 (0-3)	1
CIPÓS	3 (1-3)	2 (0-3)	1 (1-2)	1 (1-2)	1 (1-3)	1	2 (1-3)	3 (2-3)	1 (1-2)
CAPINZAL	0 (0-1)	0 (0-3)	3 (0-3)	0	0	0	0	0	0

ANEXO A

Autorização para pesquisa científica e licença permanente para coleta de material zoológico
Parque Estadual da Pedra Branca


GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE – SEA
INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA

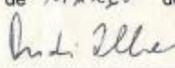
AUTORIZAÇÃO DE PESQUISA CIENTÍFICA INEA N° 020/2011

AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA CIENTÍFICA
EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

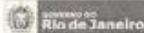
O Diretor de Biodiversidade e Áreas Protegidas do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, no uso de suas atribuições legais, considerando a Portaria IEF/RJ/PR nº 227, de 18/12/2007, e considerando ainda o que consta no procedimento administrativo E-07/500.901/2010, **AUTORIZA** o pesquisador **PAULO SERGIO D'ANDREA**, vinculado à Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, e sua equipe, Ana Maria Jansen-Franken, André Luiz Rodrigues Roque, Arnaldo Maldonado Júnior, Cibele Rodrigues Bonvicino, Elba Regina Sampaio Lemos, Fabiano Araújo Fernandes, José Luis Passos Cordeiro, José Roberto Machado Silva, Márcio Neves Bóia, Pedro Cordeiro Estrela, Ricardo Moratelli Mendonça da Rocha, Rosana Gentile, Rosângela Rodrigues Silva, Bernardo Rodrigues Teixeira, Carla Nunes Kauffman, Cecília Silianky de Andreazzi, Cinthia Coutinho Rosa, Fernanda Bittencourt de Oliveira, Gabriele de Almeida Liano, Ingrid Lorenzato Ferrelra Viana, Jonathan Gonçalves, Juberlan Silva Garcia, Juliana Ferraz, Liana Stretch Pereira, Marta Júlia Faro dos Santos, Raquel de Oliveira Simões, Renata Carvalho de Oliveira Pires dos Santos, Rodrigo Agrellos e Sócrates Fraga da Costa Neto a obter dados no Parque Estadual da Pedra Branca – PEPB, com vistas à execução do projeto de pesquisa **“Estudos taxonômicos, ecológicos, genéticos e parasitológicos sobre mamíferos reservatórios de zoonoses de importância para a saúde pública em um mosaico de ocupação antrópica no Campus da Fiocruz da Mata Atlântica e áreas adjacentes, RJ”**, devendo ser observadas as condições discriminadas no verso deste documento e ainda aquelas previstas na Portaria supra mencionada.

A presente autorização tem validade de **05 (cinco) anos** a partir da data de sua assinatura.

Rio de Janeiro, 31 de *MARÇO* de 2011.



André Ilha
Diretor de Biodiversidade e Áreas Protegidas

  **inea** Instituto Estadual do Ambiente 

Avenida Venezuela, 110 – Saúde – Rio de Janeiro - RJ-CEP: 20081-312 – Tel.: 2332-4640
www.inea.rj.gov.br

Condicionantes desta autorização:

1. Fica o pesquisador autorizado a:

a) Capturar:

a.1) espécimes dos táxons Rodentia, Didelphimorphia, por meio de armadilhas do tipo Tomahawk e Sherman, coletar sangue, fezes e ectoparasitos e utilizar brincos para marcação; e

a.2) espécimes do táxon Chiroptera, por meio de rede de neblina (mist-net) e puçás, coletar sangue, fezes e ectoparasitos e utilizar colares para marcação.

b) Coletar por excursão e por localidade, até:

b.1) 10 (dez) espécimes de *Oligoryzomys nigripes* e *Akodon cursor*, assim como sangue, fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos;

b.2) 06 (seis) espécimes de *Didelphis aurita*, *Philander frenatus*, *Metachirus nudicaudatus*, *Monodelphis americana*, *Micoreus demerare*, *Gracilinanus microtarsus*, *Eurioryzomys sp.*, *Sphiggurus villosus*, *Cavia aperea*, *Cavia fulgida* e *Tinnomys dimidiatus*, assim como sangue, fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos;

b.3) 01 (um) espécime de *Dasyprocta leporin*, assim como sangue, fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos;

b.4) todos os espécimes de *Mus musculus*, *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, assim como sangue, fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos; e

2. Fica o pesquisador autorizado, durante todo o projeto, a coletar até 10 (dez) machos e 10 (dez) fêmeas por espécie do táxon Chiroptera, assim como sangue, fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos.

3. Esta autorização não autoriza a coleta das espécies presentes nas listas oficiais de espécies ameaçadas.

4. O pesquisador deverá entrar em contato com o Serviço de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Biodiversidade e Áreas Protegidas, pelo telefone (21) 2334-6207, bem como com o administrador da unidade de conservação pelo telefone (21) 3347- 1786 para agendamento das atividades.

5. O pesquisador deverá apresentar ao INEA relatórios parciais semestrais da atividade de pesquisa.

6. Ao término da pesquisa científica deverão ser encaminhadas ao INEA duas cópias impressas e assinadas do relatório final de pesquisa e uma cópia em meio digital em formato pdf, não podendo ser ultrapassado o prazo máximo de 3 (três) meses após o término da pesquisa, bem como duas cópias das publicações científicas e quaisquer outros materiais produzidos a partir dos dados obtidos.

7. O pesquisador deverá mencionar o nome da unidade de conservação nos trabalhos publicados a partir desta pesquisa.

8. O pesquisador deverá dar entrada no pedido de renovação da Autorização de pesquisa 30 (trinta) dias antes de seu término, caso necessite dar continuidade à mesma.

9. O pesquisador e sua equipe ficam comprometidos em apresentar a Autorização de pesquisa, acompanhada de um documento de identidade, sempre que solicitado por servidor do INEA, bem como a executar exclusivamente o que foi previsto no projeto de pesquisa aprovado pelo INEA.

10. Fica o pesquisador comprometido a comunicar qualquer alteração do projeto antes de sua execução, devidamente justificada, para prévia aprovação.

11. A inobservância das determinações relacionadas, bem como qualquer intervenção não autorizada na Unidade de Conservação em questão, implicará na suspensão total ou parcial da referida Autorização, e na aplicação de sanções administrativas previstas na Lei 3.467/2000 e na Lei 9.605/1998.

**ADITIVO À AUTORIZAÇÃO
DE PESQUISA CIENTÍFICA INEA Nº 020/2011**

O Diretor de Biodiversidade e Áreas Protegidas do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, no uso de suas atribuições legais, considerando a Portaria IEF/RJ/PR nº 227 de 18/12/2007 e considerando, ainda, o que consta no administrativo E-07/500901/2011, **AUTORIZA:**

(1) a inclusão dos pesquisadores **Carla Elizabeth Macabu Nogueira Lobo, Fernando de Oliveira Santos, Leticia Lutke Riski, Luana Delfoente Fernandes, Mateus Rodrigues de Araujo Soares, Natalia Alves Costa, Raquel Gonzalez Boulosa Malheiro de Castro, Roberto do Val Vilela e Thiago dos Santos Cardoso** à equipe do projeto de pesquisa;

(2) a exclusão dos pesquisadores **Carla Nunes Kaufmann, Cinthia Coutinho Rosa, Fabiano Araujo Fernandes, Fernanda Bittencourt de Oliveira, Gabriele de Almeida Liano, Ingrid Lorenzato Ferreira Vianna, Joice dos Santos Lima Bernardo, José Roberto Machado e Silva, Juliana São Luiz de Barros, Juliana de Souza Ferraz, Liana Strecht Pereira, Marcio Neves Boia, Nathalie Maria Loureiro da Cruz, Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto, Rosângela Rodrigues e Silva, Rodrigo Agrellos Costa** da equipe do projeto de pesquisa;

(3) a coleta, por excursão e localidade, de até **06 (seis) indivíduos** de *Micoureus paraguayanus*, assim como sangue fezes, ectoparasitos, endoparasitos, tecidos e órgãos;

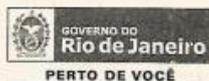
(4) a prorrogação do prazo da Autorização de Pesquisa Científica **INEA nº 020/2011** por **05 (cinco) anos**.

Ficam mantidas as condicionantes e demais disposições da Autorização de Pesquisa INEA nº 020/2011

Rio de Janeiro, 29 de julho de 2016.



Paulo Schiavo
Diretor de Biodiversidade e Áreas Protegidas



Avenida Venezuela, 110 – Saúde – Rio de Janeiro - RJ-CEP: 20081-312 – Tel.: 2332-4640
www.inea.rj.gov.br



Licença permanente para coleta de material zoológico

Número: 13373-1		Data da Emissão: 19/11/2007 17:02
Dados do titular		
Registro no Ibama: 608054	Nome: PAULO SÉRGIO D ANDREA	CPF: 062.639.198-02
Nome da Instituição: FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ		CNPJ: 33.781.055/0001-35

Observações, ressalvas e condicionantes

1	A participação do(a) pesquisador(a) estrangeiro(a) nas atividades previstas nesta autorização depende de autorização expedida pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (CNPq/MCT);
2	A licença permanente não é válida para: a) coleta ou transporte de espécies que constem nas listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção; b) manutenção de espécimes de fauna silvestre em cativeiro; c) recebimento ou envio de material biológico ao exterior; e d) realização de pesquisa em unidade de conservação federal ou em caverna. A restrição prevista no item d não se aplica às categorias Reserva Particular do Patrimônio Natural, Área de Relevante Interesse Ecológico e Área de Proteção Ambiental constituídas por terras privadas;
3	O pesquisador titular da licença permanente, quando acompanhado, deverá registrar a expedição de campo no Sisbio e informar o nome e CPF dos membros da sua equipe, bem como dados da expedição, que constarão no comprovante de registro de expedição para eventual apresentação à fiscalização;
4	Esta licença permanente não exige o seu titular da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade;
5	Esta licença permanente não poderá ser utilizada para fins comerciais, industriais, esportivos ou para realização de atividades inerentes ao processo de licenciamento ambiental de empreendimentos;
6	Esta autorização NÃO exige o pesquisador titular da necessidade de atender ao disposto na Instrução Normativa Ibama nº 27/2002, que regulamenta o Sistema Nacional de Anilhamento de Área Silvestre;
7	O pesquisador titular da licença permanente será responsável pelos atos dos membros da equipe (quando for o caso);
8	O órgão gestor de unidade de conservação estadual, distrital ou municipal poderá, a despeito da licença permanente e das autorizações concedidas pelo Ibama, estabelecer outras condições para a realização de pesquisas nessas unidades de conservação;
9	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ;
10	O titular da licença permanente deverá apresentar, anualmente, relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias após o aniversário de emissão da licença permanente;
11	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo Ibama e o material biológico coletado apreendido nos termos da legislação brasileira em vigor;
12	A licença permanente será válida enquanto durar o vínculo empregatício do pesquisador com a instituição científica a qual ele estava vinculado por ocasião da solicitação;
13	Este documento não dispensa a obtenção de autorização de acesso ao componente do patrimônio genético ou ao conhecimento tradicional associado nos termos da legislação vigente;
14	As atividades contempladas nesta autorização NÃO abrangem espécies brasileiras constantes de listas oficiais (de abrangência nacional, estadual ou municipal) de espécies ameaçadas de extinção, sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração;

Taxons autorizados

#	Nível taxonômico	Taxon(s)
1	ORDEM	Rodentia, Didelphimorpha
2		

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo Destino
1	Museu Nacional (UFPA)	colecção

Este documento (Licença permanente para coleta de material zoológico) foi expedido com base na Instrução Normativa Ibama nº154/2007. . Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Ibama/Sisbio na internet (www.ibama.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 91827146



Página 1/2



Licença permanente para coleta de material zoológico

Número: 13373-1		Data da Emissão: 19/11/2007 17:02
Dados do titular		
Registro no Ibama: 608054	Nome: PAULO SÉRGIO D'ANDREA	CPF: 062.639.198-62
Nome da Instituição: FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ		CNPJ: 33.781.055/0001-35

Observações, ressalvas e condicionantes

1	A participação do(a) pesquisador(a) estrangeiro(a) nas atividades previstas nesta autorização depende de autorização expedida pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (CNPq/MCT).
2	A licença permanente não é válida para: a) coleta ou transporte de espécies que constem nas listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção; b) manutenção de espécimes de fauna silvestre em cativeiro; c) recebimento ou envio de material biológico ao exterior; e d) realização de pesquisa em unidade de conservação federal ou em caverna. A restrição prevista no item d não se aplica às categorias Reserva Particular do Patrimônio Natural, Área de Relevante Interesse Ecológico e Área de Proteção Ambiental constituídas por terras privadas.
3	O pesquisador titular da licença permanente, quando acompanhado, deverá registrar a expedição de campo no Sisbio e informar o nome e CPF dos membros da sua equipe, bem como dados da expedição, que constarão no comprovante de registro de expedição para eventual apresentação à fiscalização.
4	Esta licença permanente não exime o seu titular da necessidade de obter as anulações previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade.
5	Esta licença permanente não poderá ser utilizada para fins comerciais, industriais, esportivos ou para realização de atividades inerentes ao processo de licenciamento ambiental de empreendimentos.
6	Esta autorização NÃO exige o pesquisador titular da necessidade de atender ao disposto na Instrução Normativa Ibama nº 27/2002, que regulamenta o Sistema Nacional de Anilhamento de Aves Silvestres.
7	O pesquisador titular da licença permanente será responsável pelos atos dos membros da equipe (quando for o caso).
8	O órgão gestor de unidade de conservação estadual, distrital ou municipal poderá, a despeito da licença permanente e das autorizações concedidas pelo Ibama, estabelecer outras condições para a realização de pesquisas nessas unidades de conservação.
9	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
10	O titular da licença permanente deverá apresentar, anualmente, relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias após o aniversário de emissão da licença permanente.
11	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo Ibama e o material biológico coletado apreendido nos termos da legislação brasileira em vigor.
12	A licença permanente será válida enquanto durar o vínculo empregatício do pesquisador com a instituição científica a qual ele estava vinculado por ocasião da solicitação.
13	Este documento não dispensa a obtenção de autorização de acesso ao componente do patrimônio genético ou ao conhecimento tradicional associado nos termos da legislação vigente.
14	As atividades contempladas nesta autorização NÃO abrangem espécies brasileiras constantes de listas oficiais (de abrangência nacional, estadual ou municipal) de espécies ameaçadas de extinção, sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração.

Taxons autorizados

#	Nível taxonômico	Taxon(s)
1	ORDEM	Nothia, Didelphimorpha
2		

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo Destino
1	Museu Nacional (LFRJ)	colecção

Este documento (Licença permanente para coleta de material zoológico) foi expedido com base na Instrução Normativa Ibama nº154/2007. . Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Ibama/Sisbio na internet (www.ibama.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 91827146



Página 1/2



A longitudinal survey of gastrointestinal parasites of the black-eared opossum *Didelphis aurita* at an urban-sylvatic interface area in Southeast Brazil: a morphological and ecological characterization based on helminth eggs

Raquel Gonzalez Boulosa^{1,2} · Sócrates F. Costa-Neto^{2,3} · Leonardo Morgado¹ · Arnaldo Maldonado Jr.¹ · Rosana Gentile¹

Received: 22 July 2021 / Accepted: 9 September 2021 / Published online: 27 September 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2021

Abstract

Parasites are important organisms in ecosystem dynamics and take part in the regulation and structure of host populations. The prevalence, abundance, and distribution of parasites in their host species may be affected by biotic and abiotic factors. Most studies of helminths of Brazilian marsupials are taxonomic descriptions or re-descriptions and records of occurrence. The use of noninvasive techniques for studying parasitic worms of vertebrate hosts is more common in large or threatened species. The aims of this study were to describe and identify the helminth morphotypes and to analyse the parasitological parameters of gastrointestinal helminth eggs obtained in faecal samples of marsupial *Didelphis aurita* at the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station and surroundings, municipality of Rio de Janeiro, southeast Brazil. The common opossums were sampled during a capture-mark-recapture study. Faecal samples collected from each animal were analysed for helminth egg diagnosis using the methods of flotation in sugar solution and sedimentation. Eggs were compared with samples obtained from the uterus of adult worms obtained from a previous study carried out in the same area. Eleven helminth egg morphotypes were found. Among them, seven were identified at the species level. The highest values of parasitic load and prevalence were observed for the families Viannaiidae and Trichuridae. A significant relationship was found between the number of morphotypes and host body size in females. The influence of parasite load on host condition factor or body size was not observed.

Keywords Ecology · Parasitism · Mammals · Nematoda · Atlantic Forest

Introduction

Parasites strongly influence biodiversity by affecting host population sizes, survival and reproduction, species interactions, ecosystem dynamics, and evolutionary processes (Combes 2001; Loreau et al. 2005). Biotic and abiotic factors may affect parasitological parameters such as the prevalence, abundance and distribution of parasites in their hosts (Combes 2001). Seasonality is one of the most important abiotic factors that influences the infectious stages of many parasites and some intermediate hosts (Taylor et al. 2017; Gomes et al. 2019), according to the characteristics of the life cycles of the parasites.

Helminths are considered good models for studying parasitism because they are one of the most abundant metazoan parasites and may act as indicators of environmental variations (Gardner and Campbell 1992). However, most

Section Editor: Abdul Jabbar

Raquel Gonzalez Boulosa
castroraquel18@gmail.com

¹ Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Av. Brasil 4365, Manguinhos, Rio de Janeiro, RJ 21040-360, Brazil

² Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Av. Brasil, Manguinhos, Rio de Janeiro, RJ 4365, 21040-360, Brazil

³ Fundação Oswaldo Cruz, Campus Fiocruz Mata Atlântica, Rio de Janeiro, RJ 22713-560, Brazil

studies on helminth fauna require euthanasia of the animals to recover adult worms, allowing the morphological and morphometric identification of the species. Investigations of animal parasitism by gastrointestinal helminths based on studies involving capture-mark-recapture methods can only be done with the search for parasite eggs in the hosts' faeces. In this case, it is possible to identify the parasites based on morphology or morphometry by comparison with literature information. Despite this, this non-invasive technique of studying animal parasitism is more common in large or threatened vertebrate species, and in many cases, it is not possible to identify the helminth at the species level unless using techniques of molecular genetics, which is not always possible.

Most studies of helminth parasites of Brazilian marsupials are taxonomic descriptions or re-descriptions and records of occurrence (Thatcher 2006; Chagas-Moutinho et al. 2014; Costa-Neto et al. 2016). Studies of helminth fauna and community structure have been carried out more recently (Silva and Costa 1999; Antunes 2005; Jiménez et al. 2011; Byles et al. 2013; Castro et al. 2017; Costa-Neto et al. 2019; Cirino et al. 2020). Surveys of gastrointestinal helminths of Brazilian marsupials based on faecal samples have already been carried out for species of the genus *Didelphis* in the states of São Paulo and Minas Gerais, Brazil (Teodoro et al. 2019; Bezerra-Santos et al. 2020a, b). However, only in a few cases was it possible to identify morphotypes at the species level.

Species of the genus *Didelphis* are generalists that occur in different types of habitats, and some of them are found in high abundance in urban and rural areas (Gentile and Fernandez 1999; Kajin et al. 2008; Gentile et al. 2018). For this reason, *Didelphis* is a genus of great interest in parasitological studies, since they are important reservoirs of several zoonoses, such as trypanosomiasis, leishmaniasis and helminthiasis (Lima et al. 2012; Jansen et al. 2015; Thatcher 2006; Costa-Neto et al. 2016). *Didelphis aurita* Wied-Neuwied, 1826 (Didelphimorphia: Didelphidae), is the common opossum species found in the Atlantic Forest and occurs from northeastern to southern Brazil (Faria et al. 2019).

The aims of this study were to describe and identify the helminth morphotypes and to analyse the parasitological parameters of gastrointestinal helminth eggs obtained in faecal samples of marsupial *D. aurita* at the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica) (EFMA hereafter) and its surroundings, municipality of Rio de Janeiro, southeast Brazil, using a non-invasive sampling technique. We hypothesized that (1) season, host sex and host age influenced parasite load and prevalence rates; (2) adult hosts would be more parasitized than young hosts due to the accumulation of parasites over time; and (3) the parasitic load and the number of morphotypes in each host could negatively affect their body condition. This

study also contributes to the morphological and morphometric characteristics of helminth eggs.

Material and methods

Study area

This study was carried out in areas of EFMA and its surroundings, which are located in an urban-sylvatic interface environment. EFMA covers areas of Pedra Branca State Park (PBSP hereafter) and its buffer zone in a densely populated area of the city of Rio de Janeiro. This park is located in one of the world's hotspots of biodiversity (Mittermeier et al. 2005) and is the largest forest reserve settled in an urban region in the Americas, encompassing 12,492 ha. Therefore, this region is of great interest for studies of biodiversity, ecology and parasitology. The predominant vegetation is ombrophilous dense Atlantic forest. The climate of the region is humid mesothermal, with hot and rainy summers and mild winters (Ayoade 1986).

The samples were collected in three types of habitat: (1) Peridomicile in the surroundings of the EFMA (22° 56'18" S 43° 24' 11" W), with open understorey, canopy ranging from 6 to 15 m, predominance of shrubs and small trees, some wetlands, and smooth slope. (2) Disturbed forest areas in regeneration process (22° 56'28" S 43° 24'34" W), with vegetation in different stages of ecological succession, located between peridomicile and preserved areas of the PBSP, presenting open to closed understorey, canopy height ranging from 6 to 20 m, and flat ground. (3) Preserved forest within the limits of the PBSP (22° 56'47" S 43° 25'07" W), with open to closed understoreys, canopies ranging from 10 to 30 m and irregular slopes varying from flat to steep.

Sampling methods

During a capture-mark-recapture study, common opossums were captured from September 2018 to December 2019 every 3 months, totalling six trapping sessions, three in the dry season (September 2018, June 2019 and September 2019) and three in the rainy season (December 2018, March 2019 and December 2019). All trapping sessions lasted four consecutive nights. Captures were made in nine linear transects, three in each type of habitat. Each transect had ten trapping points spaced 20 m apart. Tomahawk® traps were placed on the ground baited with a mixture of banana, peanut butter, oat and bacon. The total trapping effort included 4752 trap nights. The animals were marked with ear tags and were observed in relation to sex, reproductive activity, body size, body mass, and stage of tooth eruption. Faecal samples were collected using caps placed under the traps or directly from the animal's anus in case of defecation during

handling. After these procedures, the animals were released at their trapping points.

The animals were captured under the authorization of the Chico Mendes Institute for Biodiversity and Conservation of the Brazilian Government (ICMBIO, licence number 13373) and the Environmental Institute of the state of Rio de Janeiro (INEA, licence 020/2011). All procedures followed the guidelines for capture, handling and care of animals of the Ethics Committee on Animal Use of the Oswaldo Cruz Foundation (CEUA licence number LW-39/14 and L-036/2018). Biosafety protocols were used during all field and laboratory procedures.

Parasitological procedures

The faecal samples collected from each animal were weighed and stored in Millonig at 8 °C and analysed at the laboratory using two usual methods for the diagnosis of endoparasites: flotation in sugar solution (density 1.27) (Sheather, 1923) and sedimentation (Bowman, 1999). The samples were homogenized, washed in distilled water and filtered using cotton gauze. For the sedimentation technique, 2 ml of this mixture was added to 15 ml of distilled water in a tube for sedimentation. After the sedimentation process, the sediment was suspended in 2 ml, and three subsamples of 100 µl were mounted on slides (Monteiro et al., 2007). For the sugar flotation technique, 2 ml of the samples were centrifuged at 1500 rotations for 10 min and again for 5 min with the addition of the sucrose solution. Subsequently, more sucrose solution was added to form the meniscus. A coverslip was placed on the tube for eggs floating for 3 min prior to mounting the slides.

Three slides of each technique, sugar flotation and sedimentation, were analysed using optical microscopy at 20× and 40× amplifications and, when necessary, at 100× magnification in a Zeiss Axio Cam HRC (Zeiss, Germany) using Axio Vision Rel accessory software. 4.7. All measurements are shown in micrometres.

For helminth species identification, eggs were photographed, measured, and compared with egg morphology and measures of each species published in Travassos (1917), Travassos (1937), Freitas and Lent (1936), Caballero et al. (1956), Freitas et al. (1967), Vicente et al. (1997), Chagas-Moutinho et al. (2007), Adnet et al. (2009), and Richardson et al. (2014). Eggs were also compared with samples obtained from the uterus of dissected adult helminths collected in a previous study carried out in the same area from 2012 to 2015, when animals were euthanized (Costa-Neto et al. 2019).

Samples of recaptured animals within and between trapping sessions were analysed together. Only two animals had samples collected in more than one trapping session.

Data analysis

The number of eggs per gram of faeces was counted, multiplied by the volume of the solution and divided by the number of slides analysed. This value was divided by the faeces weight to provide an estimate of the parasitic load for each helminth morphotype for each host analysed. In addition, prevalence was estimated for each egg morphotype as the number of infected hosts divided by the total number of analysed hosts (Bush et al. 1997). The average number of morphotypes was considered the sum of the number of morphotypes found per individual host (NMI) divided by the number of analysed hosts.

Parasitic loads and prevalence were compared in relation to host sex, host age and season (dry and rainy) for the helminth morphotypes whose prevalence was larger than 30%. Body size was used as a measure of host age. Parasitic load and prevalence were compared regarding these factors by using generalized linear models (GLMs). The best models were chosen by the Akaike information criterion (AICc). When the null model is accepted, there is insufficient evidence to consider the explanatory variables as a plausible explanation for the response variable.

The total parasitic load (TPL) was estimated as the number of eggs per gram of faeces found in each host as described above, considering all morphotypes found. The influence of host age on TPL and on NMI was investigated based on host body size using linear regression. This analysis was carried out for each host sex separately. The influence of TPL and NMI on the condition factor of each individual host was investigated using linear regression. The condition factor was calculated using the residuals of a linear regression between body mass and body size of each animal (Schulte-Hostedde et al. 2005; Püttker et al. 2008). This analysis was performed using only adult individuals and excluding lactating females.

Chi-square tests and regression analyses were performed using Past Software version 3.09 (Hammer et al. 2001). GLM analyses were performed in R Software version 3.6.3 (R Core Team 2020), “vegan” package (Oksanen et al. 2019). The significance level considered was 5%.

Results

Sixty faecal samples of opossums (33 females and 27 males) were analysed. Four samples were negative for helminth eggs, indicating that 93.3% of the analysed animals were infected with at least one helminth species. Eleven helminth egg morphotypes were found. Among them, seven were identified at the species level. The number of morphotypes per host ranged from 0 to 8, with an average of 3.5. The parasitic load ranged from 0 to 3468.93 eggs

with an average of 509.96 eggs per gram of faeces. The nematode eggs were *Aspidodera raillieti* Travassos, 1913 (Heterakoidea; Aspidoderidae) (Fig. 1a), *Cruzia tentaculata* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1922 (Cosmoceeroidea; Kathlaniiidae) (Fig. 1b), *Globocephalus marsupialis* Freitas & Lent, 1936 (Rhabditida; Ancylostomatidae) (Fig. 1c) and *Turgida turgida* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1919 (Spirouroidea; Physalopteridae) (Fig. 1d) (Table 1). We also detected eggs of the families Trichuridae (Railliet, 1915) (Fig. 1e) and Viannaiidae (Durette-Desset & Chabaud, 1981) (Trichostrongylina; Heligmosomoidea) (Fig. 1f) (Table 1). From the phylum Platyhelminthes, *Brachylaima advena* Dujardin, 1843 (Brachylaimidae Joyeux & Foley, 1930) (Fig. 2c) and *Duboisella proloba* Baer, 1938 (Strigeidae Railliet, 1919) (Fig. 2b) were identified. The acanthocephalan *Oligacanthorhynchus microcephalus* (Rudolphi, 1819) Schmidt, 1972 (Oligacanthorhynchidae Southwell & Macfie, 1925) (Fig. 2a) was also detected. The morphological and

morphometric characteristics of the eggs are presented in Table 1, together with literature data, including Costa-Neto et al. (2019) measurements.

The highest values of parasitic load and prevalence were observed for the family Viannaiidae, followed by Trichuridae (Tables 2 and 3). We must note that there may be more than one species found for the Viannaiidae and Trichuridae specimens. It was not possible to identify these specimens at the species level since the morphology and morphometry of the eggs among species within these families are similar.

The GLM analysis carried out for parasitic load showed plausible models that included season, host sex and host age for *C. tentaculata* (Table 4), with the highest values of parasitic load for adult female individuals during the rainy season (Table 3). For *A. raillieti*, *D. proloba*, and the families Trichuridae and Viannaiidae, the analyses did not reject the null model (Table 4). Considering prevalence, only for *A. raillieti* was the null model not plausible, showing

Fig. 1 Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Flocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Aspidodera raillieti*; **b** *Cruzia tentaculata*; **c** *Globocephalus marsupialis* (arrow indicating hyaline bark); **d** *Turgida turgida*; **e** family Trichuridae; and **f** family Viannaiidae

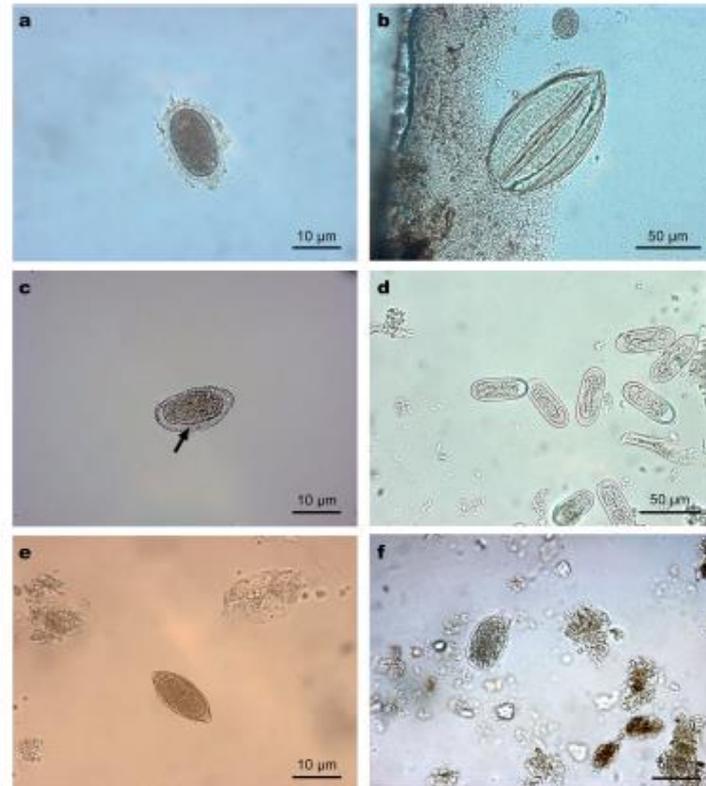


Table 1 Characteristics and measurements of helminth eggs found in *Didelphis aurita* feces in Flocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil compared to Costa-Neto et al. 2019 and other references

Parasite	Morphological characteristics	Present study (eggs from stool samples)	Costa-Neto et al. 2019 (eggs from the helminths uterus)	Measurements from the literature	References
Phylum Nematoda					
Family Aspidoderidae					
<i>Aspidodera raillieti</i>	Elliptical eggs, not embryonated in uterus, with thick and smooth shell	71–80 μ (76.8) μ m long 43–51 μ (45.5) μ m wide	59–73 (66.8) μ m long 40–47 (42.5) μ m wide	0.052–0.070 mm long 0.030–0.040 mm wide	Vicente et al. 1997
Family Kathlanidae					
<i>Cruzia tentaculata</i>	Relatively large eggs, with thick and wrinkled shell. Embryonated when eliminated	106–117 (111) μ m long 55–79 (70.9) μ m wide	106–114 (108) μ m long 47–55 (52) μ m wide	0.10–0.13 mm long 0.6 mm wide	Adnet et al. 2009
Family Ancylostomatidae					
<i>Globocephalus marsupialis</i>	Large eggs with thick smooth and hyaline bark showing striation in one extremity	86–96 (91) μ m long 43–48 (46) μ m wide	88–103 (96) μ m long 43–53 (50.3) μ m wide	0.088–0.096 mm long 0.48 mm wide	Freitas and Lent 1936
Family Physalopteridae					
<i>Turgida turgida</i>	Relatively small eggs	42–49 (47) μ m long 18–20 (19) μ m wide	43–49 (45.9) μ m long 21–24 (22.6) μ m wide	0.042–0.049 mm long 0.028–0.031 mm wide	Travassos 1917
Family Trichuridae					
	Barrel-shaped eggs. Thick, brown skin with an operculum at each extremity	72–78 (75) μ m long 34–44 (36) μ m wide	71–80 (75.76) μ m long 32–35 (33.6) μ m wide		Vicente et al. 1997
Family Wiannaiidae					
	Thin shell eggs	56–65 (63) μ m long 37–44 (39) μ m wide	42–56 (48) μ m long 28–40 (31.7) μ m wide		Travassos 1937
Phylum Platyhelminthes					
Class Trematoda					
Family Brachylaimidae					
<i>Brachylaima advena</i> Dujardin, 1843	Brown-coloured capped eggs	24–27 (25) μ m long 13–15 (14) μ m wide	26–29 (27.6) μ m long 15–17 (15.6) μ m wide	0.020–0.026 mm long 0.015–0.017 mm wide	Freitas et al. 1967
Family Strigeidae					
<i>Duboisiiella protoba</i>	Eggs with a thick yellowish shell. Capped and large eggs	104–115 (109) μ m long 65–73 (68) μ m wide	97–105 (101.2) μ m long 65–97 (72.6) μ m wide	0.100–0.116 mm long 0.66–0.75 mm wide	Caballero et al. 1956
Phylum Acanthocephala					
Family Oligacanthorhynchidae					
<i>Oligacanthorhynchus microcephalus</i>	Ellipsoid eggs with sculpted membranes and fully embryonated	117–134 (126.9) μ m long 65–72 (69.2) μ m wide	103–115 (110) μ m long 62–66 (64) μ m wide	83–110 μ m long 38–50 μ m wide	Richardson et al. 2014

a significant model that included season (Table 5), with higher prevalence during the rainy season (Table 3). For the other morphotypes analysed, the null models were always accepted (Table 5).

A significant relationship was found between NMI and host body size in females (males: $\beta=0.298$, $t=1.563$, $P=0.131$, $N=27$; females: $\beta=0.398$, $t=2.417$, $P=0.022$, $N=33$). However, no significant relationship was observed between TPL and host body size in either males or females ($P>0.05$ in all cases). No significant relationship was found either between

TPL and the host condition factor ($\beta=0.083$; $t=0.457$; $P=0.651$; $N=32$) or between NMI and the host condition factor ($\beta=-0.130$; $t=-0.720$; $P=0.477$; $N=32$).

Discussion

The helminth eggs found in the stool samples analysed were mostly nematodes, represented by seven of the ten morphotypes recorded, corroborating the pattern usually found in

Table 2 Mean parasitic load (\pm SD) and prevalence (95% confidence limits) of the nematodes *Aspidodera raillieti*, *Cruzia tentaculata*, *Globocephalus marsupialis* and *Turgida turgida* and for the families Trichuridae and Viannaiidae based on eggs recovered from faecal

	<i>Aspidodera raillieti</i>	<i>Cruzia tentaculata</i>	<i>Globocephalus marsupialis</i>	<i>Turgida turgida</i>	Trichuridae	Viannaiidae
Parasitic load	32.22 \pm 77.04	44.13 \pm 107.25	8.18 \pm 56.61	22.63 \pm 140.13	71.77 \pm 159.83	260.21 \pm 557.84
Female hosts	27.17 \pm 59.76	65.28 \pm 139.06	2.29 \pm 9.46	37.24 \pm 188.62	53.50 \pm 105.61	332.44 \pm 720.70
Male hosts	38.40 \pm 94.46	18.28 \pm 32.26	15.38 \pm 77.92	4.77 \pm 13.06	94.10 \pm 208.09	171.93 \pm 228.38
Young hosts	49.91 \pm 95.97	12.30 \pm 28.42	17.15 \pm 76.73	0.89 \pm 4.72	69.63 \pm 194.13	441.76 \pm 637.88
Adult hosts	16.74 \pm 51.62	71.98 \pm 139.55	0.33 \pm 1.67	41.65 \pm 191.19	73.65 \pm 125.64	127.60 \pm 446.06
Dry season	17.77 \pm 56.53	26.43 \pm 55.82	0.39 \pm 1.88	5.29 \pm 14.04	69.54 \pm 115.51	145.51 \pm 505.03
Wet season	42.54 \pm 88.39	56.76 \pm 131.78	13.74 \pm 68.73	35.01 \pm 183.19	73.36 \pm 186.83	342.13 \pm 585.98
Prevalence	51.66 (38.39–64.77)	56.66 (43.20–69.41)	11.66 (04.82–22.57)	21.66 (12.07–34.20)	65 (51.60–76.87)	83.33 (71.48–91.71)
Female hosts	54.54 (36.35–71.89)	57.57 (39.22–74.52)	12.12 (03.40–28.20)	15.15 (05.11–31.90)	54.54 (26.35–71.89)	81.81 (64.54–93.02)
Male hosts	48.14 (28.67–68.05)	45.45 (28.11–63.65)	11.11 (02.35–29.16)	29.62 (13.75–50.18)	77.77 (57.74–91.38)	85.18 (66.27–95.81)
Young hosts	67.85 (47.65–84.12)	32.14 (15.88–52.35)	14.28 (04.03–32.67)	3.57 (00.09–18.35)	60.71 (40.58–78.50)	89.28 (71.77–97.73)
Adult hosts	37.50 (21.10–56.31)	78.12 (60.03–90.72)	9.37 (01.98–25.02)	37.50 (21.10–56.31)	68.75 (49.99–83.88)	78.12 (60.03–90.72)
Dry season	24 (50.61–87.93)	72 (50.61–87.93)	8 (00.98–26.03)	32 (14.95–53.50)	64 (42.52–82.03)	76 (54.87–90.64)
Wet season	71.42 (53.70–85.36)	45.71 (28.83–63.35)	14.28 (04.81–30.26)	14.29 (04.81–30.26)	65.71 (47.79–80.87)	88.57 (73.26–96.80)

Table 3 Mean parasitic load (\pm SD) and prevalence (95% confidence limits) of the trematodes *Brachylaima advena* and *Duboisella prolobo* and for the acanthocephalan *Oligacanthorhynchus microcephalus* based on eggs recovered from faecal samples of *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil, in relation to host sex, age and season

	<i>Brachylaima advena</i>	<i>Duboisella prolobo</i>	<i>Oligacanthorhynchus microcephalus</i>
Parasitic load	1.15 \pm 5.28	49.41 \pm 149.77	20.16 \pm 64.30
Female hosts	0.20 \pm 0.97	49.51 \pm 131.09	26.17 \pm 77.79
Male hosts	2.31 \pm 7.72	49.28 \pm 172.48	12.81 \pm 42.81
Young hosts	0.59 \pm 7.51	56.65 \pm 169.97	0
Adult hosts	0.64 \pm 1.87	43.07 \pm 132.06	37.80 \pm 84.74
Dry season	0.67 \pm 1.85	51.36 \pm 148.55	19.32 \pm 49.34
Rainy season	1.56 \pm 6.75	48.02 \pm 152.78	20.76 \pm 73.86
Prevalence	11.66 (04.82–22.57)	35 (23.13–48.40)	18.33 (09.52–30.44)
Female hosts	6.06 (00.74–20.23)	35 (23.13–48.40)	15.15 (05.11–31.90)
Male hosts	18.51 (06.30–38.08)	29.62 (13.75–50.18)	22.22 (08.62–42.26)
Young hosts	7.14 (00.88–23.50)	17.85 (06.06–36.89)	0
Adult hosts	15.63 (05.28–32.79)	50 (31.89–68.11)	34.37 (18.57–53.19)
Dry season	12 (02.55–31.22)	48 (27.80–68.69)	28 (12.07–49.39)
Rainy season	11.42 (03.20–26.74)	28.57 (14.64–46.30)	11.42 (03.20–26.74)

studies of small mammal helminth fauna (Anderson 2000). More than 90% of the animals were infected with at least one helminth species, corroborating other studies for this host, which indicates that common opossums are highly parasitized by helminths (Vicente et al. 1987; Silva and Costa 1999; Gomes et al. 2003; Zabott et al. 2017). All helminth species and families found had been registered in *D.*

aurita by Castro et al. (2017) and Costa-Neto et al. (2019) in a previous study carried out in the same area. The morphological and morphometric characteristics of the eggs found were in accordance with the samples obtained from the previous study and with the literature. Differences in morphometry among studies may be due to the origin of the samples. Eggs collected from faeces may usually be larger

Table 4 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth parasitic load for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta AICc < 2$) and the null models are presented

Species/family	Models	AICc	$\Delta AICc$	wAICc	k
<i>Aspidodera raillieti</i>	Host age	693.259	0	0.286	2
	Null	693.964	0.705	0.201	1
	Season	694.608	1.349	0.145	2
<i>Cruzia tentaculata</i>	Season + host age	705.539	0	0.702	3
	Host sex + season + host age	707.262	1.723	0.297	4
	Null	734.499	28.960	3.617	1
<i>Duboisella prolobo</i>	Null	774.572	0	0.416	1
	Trichuridae	782.371	0	0.367	1
Viannaiidae	Host sex	783.607	1.236	0.198	2
	Host age	930.506	0	0.294	2
	Host sex + host age	931.317	0.811	0.196	3
	Null	932.364	1.858	0.116	1

Table 5 Generalized linear models (GLMs) of the effects of host sex, host age and season on the helminth prevalence for the common opossum *Didelphis aurita* in Fiocruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. Only the plausible models chosen using the Akaike information criterion ($\Delta AICc < 2$) and the null models are presented

Species/family	Models	AICc	$\Delta AICc$	wAICc	k
<i>Aspidodera raillieti</i>	Season	116.176	0	0.406	2
	Null	118.817	2.641	0.108	1
<i>Cruzia tentaculata</i>	Host age	123.422	0	0.362	2
	Null	125.095	1.673	0.157	1
	Season + host age	125.357	1.935	0.137	3
<i>Duboisella prolobo</i>	Host age	91.147	0	0.265	2
	Null	92.043	0.896	0.169	1
	Season	92.155	1.008	0.160	2
	Host sex + host age	92.851	1.704	0.113	3
Trichuridae	Null	134.824	0	0.386	1
Viannaiidae	Null	153.651	0	0.402	1
	Season	155.640	1.989	0.148	2

than eggs obtained from the uterus, and as in the latter, they may not be completely mature. Differences in host species, measurement methods or fixation techniques may also result in morphometric discrepancies (Lee et al. 1984).

The most abundant and prevalent morphotype observed was of the family Viannaiidae, which belongs to the superfamily Heligmosomoidea. This superfamily has a direct life cycle, and eggs develop infective L3 larvae (Durette-Desset 1968; Taylor et al. 2017). These larvae may penetrate the host skin or may be ingested by the host (Anderson 2000). Based on the previous study (Costa-Neto et al. 2019), we suggest that the morphotypes of the family Viannaiidae could be *Viannia hamata* and/or *Travassostrongylus orloffi*. Costa-Neto et al. (2019) also found the highest abundances and prevalences in these trichostrongylid species among all

helminth species. Teodoro et al. (2019) found eggs of the family Trichostrongylidae in faecal samples of *D. aurita* and *D. albiventris* in urban areas of the state of São Paulo, Brazil. This family is commonly found infecting Brazilian marsupials (Durette-Desset 1968; Gomes et al. 2003).

The family Trichuridae was the second most abundant of the study. We suggest, based on the previous study, that the morphotypes of the family Trichuridae were probably *Trichuris didelphis*, *Trichuris minuta* and/or *Capillaria* spp., which were reported by Costa-Neto et al. (2019). Teodoro et al. (2019) found eggs of the family Trichuridae in faecal samples of both *D. albiventris* and *D. aurita*. Bezerra-Santos et al. (2020a) also reported the presence of the genera *Trichuris* and *Capillaria* in *D. aurita* in the state of Minas Gerais, Brazil. Both taxa are of public and veterinary health concern because they have been reported to infect humans and a large number of wild mammals (marsupials, rodents and primates) and livestock animals (Robles et al. 2014). Both genera have a direct life cycle, and eggs containing L1 infective larvae are present in the soil. Under ideal conditions, these larvae survive and remain viable for several years in the environment (Taylor et al. 2017), and their development is influenced by temperature (Robles et al. 2014). Nevertheless, some species of the genus *Capillaria* have indirect life cycles, and their intermediate hosts are birds (Taylor et al. 2017).

Considering the helminth morphotypes identified at the species level, *C. tentaculata* and *A. raillieti* were the most abundant and prevalent of this study. Costa-Neto et al. (2019) also found high abundance and prevalence in these species, as well as other studies (Antunes 2005; Jiménez et al. 2011; Gomes et al. 2003). *Aspidodera raillieti* has a direct life cycle similar to other *Aspidoderid* species (Anderson 2000). In contrast, a recent study showed that *C. tentaculata* has an indirect life cycle (Ramos-de-Souza et al. 2021). The authors reported the presence of *C. tentaculata* larvae in the terrestrial molluscs *Latipes erinaceus* and *Thaumastus*

taunaisii and in the introduced giant African snail *Achatina fulica*, the latter two found in the study area (Rangel et al. 2021). The genus *Didelphis* has an opportunistic and generalist feeding habit, and invertebrates are common in their diets (Cáceres and Monteiro-Filho 2001; Bezerra-Santos et al. 2021), which may favour their infection by ingesting a parasitized mollusc.

Although Castro et al. (2017) and Costa-Neto et al. (2019) reported a high prevalence of *T. turgida* in *D. aurita* in the study area, the same was not observed in the present study when analysing the faecal samples. Teodoro et al. (2019) found adults of *T. turgida* and Spiruroidea eggs in *D. albiventris*. *Turgida turgida* belongs to the superfamily Spiruroidea, has a heteroxenous life cycle, and is a possible intermediate host animal of the orders Orthoptera and Coleoptera (Anderson 2000). These animals are food items of *D. aurita* (Santori et al. 2012), which favours their infection by this nematode, similar to *C. tentaculata* and other helminths, which have invertebrates as intermediate hosts.

Globocephalus marsupialis, which belongs to the superfamily Ancylostomatoidea, was a new register in *D. aurita* in the study of Costa-Neto et al. (2019). Hookworms are also helminths of medical and veterinary importance, causing cutaneous larva migrans disease in humans and dogs (Heukelbach and Feldmeier 2008). Although no other species of hookworm has been recorded in this host in the study area, studies have shown that opossums may participate in the zoonotic cycle of hookworms. Teodoro et al. (2019) recorded the presence of hookworms in *D. aurita* and *D. albiventris*. Recently, Bezerra-Santos et al. (2020b) found a high prevalence of *Ancylostoma caninum* in *D. aurita* in the state of Minas Gerais, Brazil.

Concerning the trematodes, eggs of *Duboisella prolobo* and *Brachylaima advena* were also found in low abundance and prevalence, corroborating the study of Costa-Neto et al. (2019). These helminths have a heteroxenous life cycle, and their intermediate hosts may be slugs or freshwater fishes (Taylor et al. 2017). Thus, the low infection rates may be due to a low probability of encountering opossums and these animals. Bezerra-Santos et al. (2020a) found trematode eggs in *D. aurita* and suggested that they were more similar to *Rhopalium* spp. Teodoro et al. (2019) also found trematode eggs, which were not identified. The trematode *Rophalium coronatus* was previously recorded by Costa-Neto et al. (2019), but no eggs of this trematode were found in the samples of the present study (Fig. 2).

Oligacanthorhynchus microcephalus belongs to the phylum Acanthocephala. Its life cycle is indirect, involving an intermediate host that is an aquatic or terrestrial arthropod (Taylor et al. 2017). In addition to the previous study of Costa-Neto et al. (2019), Aragón-Pech et al. (2018) also reported acanthocephalan eggs of *Oligacanthorhynchus* sp. in *Didelphis virginiana* in Mexico.

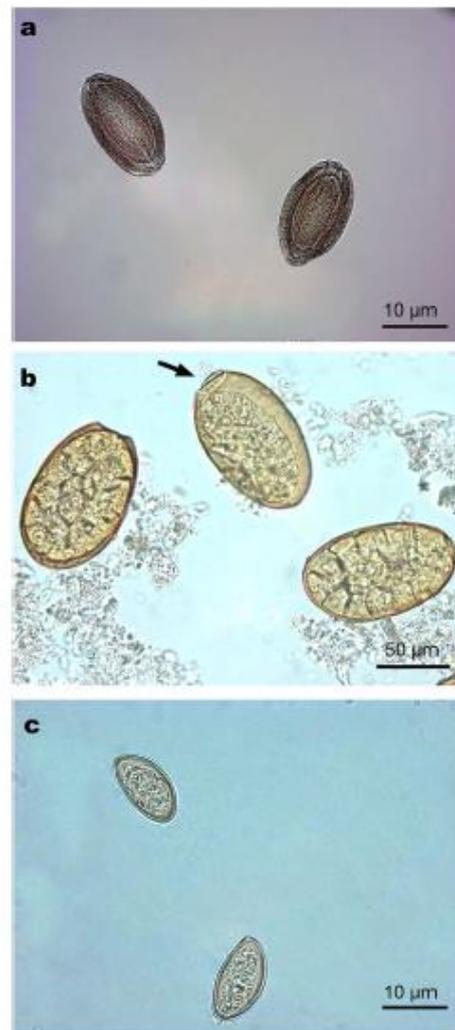


Fig. 2 Light microscopy of helminth eggs from *Didelphis aurita* at Fioacruz Atlantic Forest Biological Station (EFMA) and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **a** *Oligacanthorhynchus microcephalus*; **b** *Duboisella prolobo* (arrow indicating operculum opening); and **c** *Brachylaima advena*

Considering helminths, not only adult worms but also eggs and larvae may have their growth and survival dependent on environmental factors, such as temperature and

humidity (Taylor et al. 2017). In the present study, significant differences in parasitic load and prevalence between seasons were only observed for *C. tentaculata* and *A. raillieti*, respectively. The rainy season seemed to promote an increase in *C. tentaculata* abundance and in *A. raillieti* prevalence. Castro et al. (2017) found that *C. tentaculata* intensity was significantly higher during the rainy season. As *A. raillieti* has a direct life cycle, embryonated eggs remain latent in the soil and are more susceptible to the effects of temperature and humidity to remain viable for infection (Anderson 2000; Jiménez et al. 2011; Oliveira-Menezes et al. 2011). Thus, we suggest that dry conditions may hamper egg development in this species. For *C. tentaculata*, which has molluscs as intermediate hosts, we suggest that the rainy season may favour helminth transmission due to the increase in abundance of molluscs during this period (Silva et al. 2020).

In relation to host sex, although male opossums have larger movements than females (Cáceres and Monteiro-Filho 2001), which can increase their chances of contact with parasites, we observed a larger parasitic load of *C. tentaculata* in adult female hosts, which may be a consequence of the highly aggregated distribution of this parasite (Costa-Neto et al. 2019). In addition, adult mammalian hosts are likely to accumulate parasites during their lifetime, resulting in higher infection rates than young mammalian hosts (Behnke et al. 1999).

The number of helminth morphotypes (NMIs) increased with increasing host body size only in females. This may be related to the host's metabolism and its relationship with the availability of resources for parasites (Guégan et al. 1992; Poulin and George-Nascimento 2007), as larger body sizes would provide more resources for parasites. Morand and Harvey (2000) reported that the basic metabolic rate of mammals was positively correlated with helminth species richness. As a result, host species with a high metabolic index may increase their exposure to parasites, since animals with high metabolic rates need a large amount of food and have large activity rates (Gregory et al. 1996). However, the relationship between TPL and host body size was not observed.

Regarding the influence of NMI and TPL on the condition factor of the hosts, no relationship was observed. Body conditions in animals are related to their energy reserves and consumption (Schulte-Hostedde et al. 2001) and may be an indicator of their health status (Peig and Green 2009). Püttker et al. (2008) did not find this relationship for other marsupial species and used the helminth parasite load estimated from faecal samples, agreeing with our results.

The method used for this longitudinal helminth survey in *D. aurita* was very efficient, considering that, in this species, it is possible to collect a large amount of faecal samples when compared to other small mammals and that

more than 90% of the animals were infected by helminths. The previous study was fundamental for morphotype identification, especially due to the comparison with the eggs obtained from the dissected uterus of adult helminths recovered in that study. All morphotypes recorded are typical of the helminth fauna of *D. aurita*. Considering our first hypothesis, the influence of seasonality on the parasite rates was observed only in *C. tentaculata* and *A. raillieti*, with rainy seasons increasing their infection rates. The former species was also influenced by host age and sex, with adult females being more infected than males and young females. Meanwhile, our second hypothesis was accepted only considering females, indicating that older females had a larger number of helminth morphotypes accumulated during their lifetime. Moreover, our third hypothesis was rejected, as we did not observe any influence of these parasites on the condition factor of the hosts.

Acknowledgements We would like to thank the staff and students of Laboratório de Biologia e Parasitologia de Mamíferos Silvestres Reservatórios and Laboratório de Biologia de Tripanossomatídeos for helping in the field work, Dr Paulo D'Andrea for the ICMBio and INEA licenses, the coordinator of Fiocruz Atlantic Forest Campus, Gilson Antunes, for providing local facilities and supporting the general project, and the team of Fiocruz Atlantic Forest Campus, especially to Dr. Ricardo Moratelli.

Author contribution RGB, AMJ and RG contributed to the study conception and design. RGB, RG, SFCN and LM carried out the fieldwork. RGB, SFCN and LM analysed the samples collected. RGB and RG analysed the data. The first draft of the manuscript was written by RGB and RG. All authors contributed to the final version of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding This work was financially supported by Instituto Oswaldo Cruz—IOC/FIOCRUZ, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro—FAPERJ (APQ1 E-26010.001597/2019) and Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde (IOC-FIOCRUZ). RGB received PhD grants from Fundação Oswaldo Cruz. LM received undergraduate grants from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico—CNPq. RG received researcher grants from CNPq (PQ-304355/2018-6).

Data availability The datasets generated during and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Code availability Not applicable.

Declarations

Ethics approval The animals were captured under the authorization of the Chico Mendes Institute for Biodiversity and Conservation of the Brazilian Government (ICMBIO, license number 13373) and the Environmental Institute of the state of Rio de Janeiro (INEA, license 020/2011). All procedures followed the guidelines for capture, handling and care of animals of the Ethics Committee on Animal Use of the Oswaldo Cruz Foundation (CEUA license number LW-39/14 and L-036/2018).

Consent to participate Not applicable.

Consent for publication Not applicable.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

References

- Adnet FAO, Anjos DHS, Menezes-Oliveira A, Lanfredi RM (2009) Further description of *Cruzia tentaculata* (Rudolphi, 1819) Travassos, 1917 (Nematoda: Cruzidae) by light and scanning electron microscopy. *Parasitol Res* 104:1207–1211. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1316-6>
- Anderson RC (2000) Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission, 2nd edn. Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, London
- Antunes GM (2005) Diversidade e potencial zoonótico de parasitos de *Didelphis albiventris* Lund, 1841 (Marsupialia: Didelphidae). Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Aragón-Pech RA, Ruiz-Piña HA, Rodríguez-Vivas RI, Cuxim-Koyoc AD, Reyes-Novelo E (2018) Prevalence, abundance and intensity of eggs and oocysts of gastrointestinal parasites in the opossum *Didelphis virginiana* Kerr, 1792 in Yucatan, Mexico. *Helminthol* 55:119–126. <https://doi.org/10.2478/helm-2018-0008>
- Ayodele JO (1986) Introdução à climatologia para os trópicos. Diel, São Paulo
- Behnke JM, Lewis JW, Mohd Zain SN, Gilbert FS (1999) Helminth infections in *Apodemus sylvaticus* in southern England: interactive effects of host-age, sex and year on prevalence and abundance of infections. *J Helminthol* 73:31–44. <https://doi.org/10.1017/S0022149X99000049>
- Bezerra-Santos MA, Fomcs CS, Nogueira BCF, Yamatogi RS, Ramos RAN, Galhardo JA, Furtado LFV, Rabelo EML, Araújo JV, Campos AK (2020a) Gastrointestinal parasites in the opossum *Didelphis aurita*: are they a potential threat to human health? *J Parasit Dis* 44:355–363. <https://doi.org/10.1007/s12639-020-01205-9>
- Bezerra-Santos MA, Furtado LFV, Rabelo EML, Nogueira BCF, Yamatogi RS, Campos AK (2020b) High prevalence of *Ancylostoma caninum* infection in black-eared opossums (*Didelphis aurita*) in an urban environment. *Parasitol Res* 119:2343–2346. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06708-1>
- Bezerra-Santos MA, Ramos RAN, Campos AK, Dantas-Torres F, Otranto D (2021) *Didelphis* spp. opossums and their parasites in the Americas: a one health perspective. *Parasitol Res*. <https://doi.org/10.1007/s00436-021-07072-4>
- Bowman DD (1999) Georgan's parasitology for veterinarians, 7th edn. WB Saunders Company, Philadelphia
- Bush AO, Lafferty KD, Lotz JM, Shostak AW (1997) Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al Revisited*. *J Parasitol* 83:575–583. <https://doi.org/10.2307/3284227>
- Byles B, Catzeflis F, Scheibel RP, Agustín JFA (2013) Gastrointestinal helminths of two species of mouse opossums (*Marmosa demerarae* and *Marmosa murina*) from French Guiana. *Comp Parasitol* 80:210–216
- Caballero E, Barroeta LF, Grocott RG (1956) Helminths de la República de Panamá. *Rev Biol Trop* 4:161–177
- Cáceres NC, Monteiro-Filho E (2001) Food habits, home range and activity of *Didelphis aurita* (Mammalia, Marsupialia) in a forest fragment of Southern Brazil. *Stud Neo Fauna Environ* 36:85–92
- Castro RGBM, Costa-Neto SF, Maldonado AJ, Gentile R (2017) Ecological aspects of nematode parasites of *Didelphis aurita* (Didelphimorphia, Didelphidae) in urban-sylvatic habitats in Rio de Janeiro, Brazil. *Oecol Aust* 1:54–61. <https://doi.org/10.4257/oeco.2017.2101.06>
- Chagas-Moutinho VA, Oliveira-Menezes A, Cárdenas MQ, Lanfredi RM (2007) Further description of *Aspidodera raillieti* (Nematoda: Aspidoderidae) from *Didelphis marsupialis* (Mammalia: Didelphidae) by light and scanning electron microscopy. *Parasitol Res* 101:1331–1336. <https://doi.org/10.1007/s00436-007-0641-5>
- Chagas-Moutinho VA, Sant'Anna V, Oliveira-Menezes A, De Souza W (2014) New Aspidoderidae species parasite of *Didelphis aurita* (Mammalia: Didelphidae): a light and scanning electron microscopy approach. *Acta Trop* 130:162–166. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.10.005>
- Cirino BS, Costa Neto SF, Maldonado Júnior A, Gentile R (2020) First study on the helminth community structure of the neotropical marsupial *Metachirus myosuros* (Didelphimorphia, Didelphidae). *Rev Bras Parasitol Vet* 29:1–13. <https://doi.org/10.1590/S1984-296120200064>
- Combes C (2001) Parasitism: the ecology and evolution of intimate interactions, 1st edn. University of Chicago Press, Chicago
- Costa-Neto SF, Simões RO, Mota EM, Vilela RV, Torres EJJ, Barbosa HS, Gentile R, Maldonado AJr (2016) Lungworm *Heterostrogylus heterostrogylus* Travassos, 1925 from the black-eared opossum in South America: morphologic, histopathological and phylogenetic aspects. *Vet Parasitol* 228:144–152. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.08.018>
- Costa-Neto SF, Cardoso TS, Boullosa RG, Maldonado AJr, Gentile R (2019) Metacommunity structure of the helminths of the black-eared opossum *Didelphis aurita* in peri-urban, sylvatic and rural environments in south-eastern Brazil. *J Helminthol* 93:720–731. <https://doi.org/10.1017/S0022149X18000780>
- Durette-Desset MC (1968) Helminthes de marsupiaux américains, Trichostrongyloidea. *Bull Soc Zool Fr* 93:581–594
- Faria MB, Lanes RO, Bonvicino CR (2019) Marsupiais do Brasil: guia de identificação com base em caracteres morfológicos externos e crânianos, 1st edn. Amélie Editorial, São Caetano do Sul
- Freitas JFT, Lent H (1936) Estudo sobre o gênero *Globocephalus* Molin, 1861 (Nematoda: Strongyloidea). *Mem Inst Oswaldo Cruz* 31:69–83
- Freitas JFT, Kohn A, Ibáñez NH (1967) Sobre espécies de *Brachylaelmus* (*Brachylaelmus*) Dujardin, 1843 (Trematoda). *Mem Inst Oswaldo Cruz* 65:41–61
- Gardner SL, Campbell ML (1992) Parasites as probes for biodiversity. *J Parasitol* 78:596–600
- Gentile R, Fernandez FAS (1999) Influence of habitat structure on a streamside small mammal community in a Brazilian rural area. *Mamm* 63:29–40
- Gentile R, Cardoso TS, Costa-Neto SF, Teixeira BR, D'Andrea PS (2018) Community structure and population dynamics of small mammals in an urban-sylvatic interface area in Rio de Janeiro, Brazil. *Zoo* 35:1–12. <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e13465>
- Gomes APN, Maldonado A, Bianchi RC, Souza JGR, D'Andrea PS, Gompfer ME, Ollifiers N (2019) Variation in the prevalence and abundance of acanthocephalans in brown-nosed coatis *Nasua nasua* and crab-eating foxes *Cerdocyon thous* in the Brazilian Pantanal. *Braz J Biol* 79. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.187881>
- Gomes CD, Cruz PR, Vicente JJ, Pinto RM (2003) Nematode parasites of marsupials and small rodents from the Brazilian Atlantic Forest in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Rev Bras Zool* 20:699–707. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000400024>
- Guégan JF, Lambert A, Lévêque C, Combes C, Euzet L (1992) Can host body size explain the parasite species richness in tropical freshwater fishes? *Oecol* 90:197–204. <https://doi.org/10.1007/BF00317176>
- Gregory RD, Keymer AE, Harvey PH (1996) Helminth parasite richness among vertebrates. *Biodivers Conserv* 5:985–997
- Hammer O, Harper DA, Ryan PD (2001) PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 4:9

- Heulebach J, Feldmeier H (2008) Epidemiological and clinical characteristics of hookworm-related cutaneous larva migrans. *Lancet Infect Dis* 8:302–309. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(08\)70098-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(08)70098-7)
- Jansen AM, Xavier SCC, Roque ALR (2015) The multiple and complex and changeable scenarios of the *Trypanosoma cruzi* transmission cycle in the sylvatic environment. *Acta Trop* 151:1–15. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.07.018>
- Jiménez FA, Catzeflis F, Gardner SL (2011) Structure of parasite component communities of *Didelphis marsupialis*: insights from a comparative study. *J Parasitol* 97:779–787. <https://doi.org/10.1645/GE-2711.1>
- Kajin M, Cerqueira R, Vieira MV, Gentile R (2008) Nine-year demography of the black-eared opossum *Didelphis aurita* (Didelphimorphia: Didelphidae) using life tables. *Rev Bras Zool* 25:206–213. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752008000200007>
- Lima MM, Sarquis O, Oliveira TG, Gomes TP, Coutinho C, Teixeira NFD, Toma HK, Brito C, Teixeira BR, D'Andrea PS, Jansen AM, Bóia MN, Costa FAC (2012) Investigation of Chagas disease in four periurban areas in northeastern Brazil: epidemiologic survey in man, vectors, non-human hosts and reservoirs. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 106:143–149. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2011.10.013>
- Lee SH, Hwang SW, Chai JY, Seo BS (1984) Comparative morphology of eggs of heterophyids and *Clonorchis sinensis* causing human infections in Korea. *Korean J Parasitol* 22:171–180
- Loreau M, Roy J, Tilman D (2005) Linking ecosystem and parasite ecology. In: Thomas F, Renaud F, Guégan JF (eds) Parasitism and ecosystems, 1st edn. Oxford University Press, London, pp 13–21
- Mittermeier RA, Gil RP, Hoffman M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, Lameroux J, Fonseca GAB (2005) Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions, 2nd edn. University of Chicago Press (Boston), Conservation International
- Monteiro RV, Dietz JM, Raboy B, Beck B, Vleeschouwer KD, Baker A, Martins A, Jansen AM (2007) Parasite community interactions: *Trypanosoma cruzi* and intestinal helminths infecting wild golden lion tamarins *Leontopithecus rosalia* and golden-headed lion tamarins *L. chrysomelas* (Callitrichidae, L., 1766). *Parasitol Res* 101:1689–1698. <https://doi.org/10.1007/s00436-007-0652-2>
- Morand S, Harvey PH (2000) Mammalian metabolism, longevity and parasite species richness. *Proc R Soc* 267:1999–2003. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1241>
- Oksanen J, Guillaume Blanchet F, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szöcs E, Wagner H (2019) vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5–6
- Oliveira-Menezes A, Lanfredi-Rangel A, Lanfredi RM (2011) The first description of eggs in the male reproductive system of *Physaloptera hispicalata* (Nematoda: Spiruridae). *J Helminthol* 85:142–145. <https://doi.org/10.1017/S0022149X10000374>
- Peig J, Green AJ (2009) New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. *Oikos* 118:1883–1891. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x>
- Poulin R, George-Nascimento M (2007) The scaling of total parasite biomass with host body mass. *Internat J Parasitol* 37:359–364. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2006.11.009>
- Püttker T, Meyer-Lucht Y, Sommer S (2008) Effects of fragmentation on parasite burden (nematodes) of generalist and specialist small mammal species in secondary forest fragments of the coastal Atlantic Forest, Brazil. *Ecol Res* 23:207–215. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0366-z>
- Ramos-de-Souza J, Maldonado-Jr A, Vilela RV, Andrade-Silva BE, Barbosa HS, Gomes SR, Thiengo SC (2021) First report of the nematode *Cruzia tentaculata* using molluscs as natural intermediate hosts, based on morphology and genetic markers. *Inter J Parasitol: Parasite Wildl* 15:105–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijpaw.2021.02.013>
- Rangel FCS, Gomes SR, Camuto T, Rodrigues OS, Thiengo SC (2021) Diversity of non-marine gastropods of the Flocruz Atlantic Forest Biological Station and adjacent urban áreas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *An Acad Bras Cienc* 93. <https://doi.org/10.1590/0001-376520210190691>
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Richardson DJ, Gardner SL, Allen JW (2014) Redescription of *Oligacanthorhynchus microcephalus* (Rudolphi, 1819) Schmidt 1972 (syn. *Oligacanthorhynchus tortuosa* (Leidy, 1850) Schmidt 1972) (Acanthocephala: Oligacanthorhynchidae). *Comparat Parasitol* 81:53–60. <https://doi.org/10.1654/4673.1>
- Robles MR, Cutillas C, Panei CJ, Callejón R (2014) Morphological and molecular characterization of a new *Trichuris* species (Nematoda: Trichuridae), and phylogenetic relationships of *Trichuris* species of Cricetid rodents from Argentina. *PLoS ONE* 11:1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112069>
- Santori RT, Lessa LG, Astúa-de-Morais D (2012) Alimentação, nutrição e adaptações alimentares de marsupiais brasileiros. In: Cáceres NC (ed) Os marsupiais do Brasil: Biologia, Ecologia e Conservação. 2nd edn. Editora UFMS, Campo Grande, pp 383–404
- Schulte-Hosteède AI, Millar JS, Hickling GJ (2001) Evaluating body condition in small mammals. *Can J Zool* 79:1021–1029. <https://doi.org/10.1139/cjz-79-6-1021>
- Schulte-Hosteède AI, Zinner B, Millar JS, Hickling GJ (2005) Restitution of mass-size residuals: validating body condition indices. *Ecol* 86:155–163. <https://doi.org/10.1890/04.0232>
- Sheather AL (1923) The detection of intestinal protozoa and mange parasites by a flotation technique. *J Pathol Ther* 36:266–275
- Silva MGQ, Costa HMA (1999) Helminths of White-bellied opossum from Brazil. *J Wildl Dis* 35:371–374. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-35.2.371>
- Silva GM, Santos MB, Melo CM, Jeraldo VLS (2020) Achatina fulica (Gastropoda:Pulmonata): occurrence, environmental aspects and presence of nematodes in Sergipe, Brasil. *Braz J Biol*. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.190291>
- Taylor MA, Coop RL, Wall RL (2017) Parasitologia Veterinária, 4th edn. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro
- Teodoro AKM, Cutolo AA, Motaie G, Meira-Strejvitch CS, Pereira-Chioccola VL, Mendes TMF, Allegritti SM (2019) Gastrointestinal, skin and blood parasites in *Didelphis* spp. from urban and sylvatic areas in São Paulo state, Brazil. *Vet Parasitol Reg Stud Rep*. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2019.100286>
- Thatcher VE (2006) Endoparasitos dos marsupiais brasileiros. In: Cáceres N, Monteiro Filho E (eds) Os marsupiais do Brasil: biologia ecologia e evolução, 1st edn. Editora UFMS, Campo Grande, pp 53–68
- Travassos L (1917) Contribuições para o conhecimento da fauna helmintológica brasileira. VI Revisão dos acantocéfalos brasileiros. Parte I. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 9:5–62
- Travassos LP (1937) Revisão da família Trichostrongylidae Leiper, 1912. Monography, Instituto Oswaldo Cruz
- Vicente JJ, Rodrigues HO, Gomes DC, Pinto RM (1997) Nematóides do Brasil. Parte V: Nematóides de mamíferos. *Rev Bras Zool* 14:452
- Vicente JJ, Rodrigues HO, Steindel M, Padovani CR, Schlemper JBRB (1987) Contribuição ao conhecimento da fauna helmintológica de mamíferos da Ilha de Santa Catarina, SC. *At Soc Biol Rio De Janeiro* 27:5–8
- Zabott MV, Pinto SB, Viott AM, Gruchouskai L, Bittencourt LHFB (2017) Helmintofauna de *Didelphis albiventris* (Lund, 1841) no município de Palotina Paraná, Brasil. *Arq de Ciênc Vet Zool UNIPAR* 20:19–22. <https://doi.org/10.25110/arqvet.v20i1.6315>

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.