

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de pós graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Jéssica Mascarello Graciano

**DIVERSIDADE DE HELMINTOS DE PEQUENOS MAMÍFEROS EM TRÊS
AMBIENTES ADJACENTES NA MATA ATLÂNTICA**

Belo Horizonte

2022

Jéssica Mascarello Graciano

**DIVERSIDADE DE HELMINTOS DE PEQUENOS MAMÍFEROS EM TRÊS
AMBIENTES ADJACENTES NA MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

Orientador: Dr. Adriano Pereira Paglia

Co-orientadora: Lara Ribeiro de Almeida

Belo Horizonte

2022

043

Graciano, Jéssica Mascarello.

Diversidade de helmintos de pequenos mamíferos em três ambientes adjacentes na Mata Atlântica [manuscrito] / Jéssica Mascarello Graciano. – 2022.

48 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Dr. Adriano Pereira Paglia. Co-orientadora: Dra. Lara Ribeiro de Almeida.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

1. Ecologia. 2. Doenças Parasitárias. 3. Interações Hospedeiro-Parasita. 4. Helmintos. I. Paglia, Adriano Pereira. II. Almeida, Lara Ribeiro de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 502.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Diversidade de helmintos de pequenos mamíferos em três ambientes adjacentes na Mata Atlântica"

JÉSSICA MASCARELLO GRACIANO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 23 de setembro de 2022, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Doutor(a) Arnaldo Maldonado Junior
(Instituto Oswaldo Cruz)

Doutor(a) Newton Pimentel de Ulhoa Barbosa
(UFMG)

Doutor(a) Adriano Pereira Paglia
(Presidente da Banca)

Belo Horizonte, 23 de setembro de 2022.

Assinaturas dos Membros da Banca



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Pereira Paglia**, Professor do Magistério Superior, em 27/09/2022, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Newton Pimentel de Ulhoa Barbosa**, Professor Magistério Superior-Substituto, em 04/10/2022, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arnaldo Maldonado Junior**, Usuário Externo, em 05/10/2022, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1787249 e o código CRC 65159102.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem a presença de todos que, de alguma forma, colaboraram. Por isso, meu muito obrigada!

Primeiramente agradeço a minha mãe por me apoiar em cada etapa da minha vida e por ser minha fortaleza sempre! Ao meu irmão por toda amizade e companheirismo e ao meu pai por todo apoio e cuidado sempre. Sem vocês eu não seria nada!

Agradeço ao meu orientador, Adriano Paglia, que me confiou a oportunidade de participar do projeto “Serro-CDC”, do qual se originou o presente estudo. Obrigada pela oportunidade e por me dar espaço e respeito para crescer como pesquisadora e se fazer presente todas as vezes que precisei.

A Lara Ribeiro, minha co-orientadora, pela parceria na identificação dos helmintos, pelas conversas e reclamações nas longas horas de laboratório e também na ajuda para elaboração deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia e Conservação (LEC) da UFMG, pelas colaborações. Especialmente ao Rodrigo Massara que compartilhou seus infinitos conhecimentos e pela parceria nas análises de ocupação e revisão do trabalho. Ao Arthur pela parceria na elaboração da rede e nos momentos de apoio e desabafo. A Marcela, pelas trocas de ideias e também pelos conselhos. Meu muito obrigada, pessoal!

A equipe do projeto “Serro-CDC”: Wesley, Iago, Lara, Natalia e Kamila, que compartilharam seus conhecimentos e tornaram o trabalho de campo/laboratório leve e divertido. Em especial a Natália, que se tornou uma amiga e com que aprendi muito sobre os pequenos mamíferos.

Agradeço ao “*Centers for Disease Control and Prevention (CDC)*” pelo financiamento de toda pesquisa de campo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilização da bolsa de mestrado.

Agradeço a todos os professores do ICB que compartilharam seus infinitos conhecimentos durante as disciplinas e foram extremamente atenciosos em fornecer o melhor a nós com o ensino a distância, por conta da pandemia.

Aos meus amigos da vida toda que sempre estão comigo me apoiando e acreditando em mim: Marília, Taynara, Gabriel, Amandinha, Tainara e Renatinha, com quem eu tenho aprendido muito. E também agradeço todos os outros que, não foram citados aqui, mas também foram essenciais em cada etapa.

RESUMO

A fragmentação de habitats naturais tem tornado os ambientes silvestres cada vez mais escassos, aproximando populações de animais silvestres a ambientes antrópicos, onde podem se tornar abundantes e participarem do ciclo de transmissão de patógenos para seres humanos e animais domésticos. O grupo dos pequenos mamíferos e as espécies de helmintos podem ser ótimos modelos para estudos ecológicos da interação parasito-hospedeiro em habitats com diferentes tipos de uso do solo. Frente a esse contexto, nosso objetivo principal foi analisar a diversidade da metacomunidade de helmintos de pequenos mamíferos entre três diferentes tipos de ambiente (mata, pasto e peridomicílio) que configuram a interface de ambientes naturais e de uso antrópico, no Município do Serro, Minas Gerais, Brasil. Avaliamos se os atributos dos hospedeiros e o tipo de ambiente em que o hospedeiro foi coletado afetam a probabilidade de ocupação das espécies de helmintos. Também avaliamos a estrutura da metacomunidade de helmintos entre os três tipos de ambientes e a interação entre as espécies de hospedeiros e os helmintos. Capturamos pequenos mamíferos em três ambientes: mata, pasto e peridomicílio. Analisamos 115 espécimes de pequenos mamíferos para a presença de helmintos. Para avaliar nossos objetivos de interesse, realizamos modelagem de ocupação, análise de diversidade beta e rede de interação. Registramos 15 espécies de helmintos e descobrimos que o peso e o tipo de ambiente em que o hospedeiro foi coletado atuam como preditores na probabilidade de ocupação dos helmintos. A metacomunidade de helmintos é estruturada tanto por *turnover* quanto por *nestedness* entre os três ambientes e os helmintos são compartilhados apenas entre hospedeiros da mesma ordem. De modo geral, nossos resultados reforçam a ideia de que os parasitos são fortemente associados aos seus hospedeiros, ocorrendo especificidade das espécies de helmintos com seus hospedeiros devido as relações de coevolução entre eles.

Palavras-chave: Parasitismo; Beta diversidade; Análise de ocupação; Rede de interação.

ABSTRACT

The fragmentation of natural habitats makes wild environments increasingly scarce, bringing wild animal populations closer to anthropic environments, where they can become abundant and participate in the cycle of pathogen transmission to humans and domestic animals. The small mammal group and the helminth species can be excellent models for ecological studies of the parasite-host interaction in habitats with different types of land use. In view of this context, our main objective was to analyze the diversity of the small mammal helminth metacommunity among three different types of environments (forest, pasture and peridomicile) that configure the interface of natural environments and human use, in the Municipality of Serro, Minas Gerais, Brazil. We evaluated whether host attributes and the type of environment in which the host was collected affect the probability of occupancy of helminth species. We also evaluated the structure of the helminth metacommunity among the three types of environments and the interaction between host species and helminths. We captured small mammals in three environments: forest, pasture and peridomicile. We analyzed 115 specimens of small mammals for the presence of helminths. To assess our objectives of interest, we performed occupancy modeling, beta diversity analysis, and interaction network. We recorded 15 helminth species and found that the weight and type of environment in which the host was collected act as predictors of the probability of helminth occupancy. The helminth metacommunity is structured by both turnover and nestedness between the three environments and helminths are shared only between hosts of the same order. Overall, our results reinforce the idea that parasites are strongly associated with their hosts, specificity of helminth species with their hosts occurs, probably due to coevolution relationships between them.

Key-words: Parasitism; Beta diversity; Occupancy analysis; Interaction network.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa ilustrando as delimitações das três fazendas em que realizamos o presente estudo, com destaque para os transectos instalados nos três tipos de ambiente de cada fazenda para a captura dos pequenos mamíferos no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. 17
- Figura 2. Os três diferentes tipos de ambientes amostrados em cada fazenda, onde realizamos as capturas dos pequenos mamíferos para avaliar a diversidade de helmintos, no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. A: Fragmento de mata nativa; B: Área de pastagem; C: Área de peridomicílio. 18
- Figura 3. Exemplos dos dois tipos de Armadilhas utilizadas para captura dos pequenos mamíferos (Sherman e Tomahawk) instaladas em cada ambiente das fazendas selecionadas, no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. 18
- Figura 4. Exemplares de espécies de roedores que foram capturados durante o nosso estudo no município de Serro, Minas Gerais, Brasil. A: *Calomys* sp; B: *Necromys lasiurus*; C: *Rhipidomys* sp. 24
- Figura 5. Exemplares de espécies de marsupiais que foram capturados durante o nosso estudo no município de Serro, Minas Gerais, Brasil. A: *Didelphis albiventris*; B: *Marmosops incanus*; C: *Didelphis aurita*. 24
- Figura 6. Distribuição de abundância relativa das espécies de pequenos mamíferos capturados em cada ambiente estudado, no município Serro, Minas Gerais, Brasil. 26
- Figura 7. Probabilidade de detecção de helmintos em função do peso corporal de duas espécies de marsupiais. As estimativas são derivadas do modelo mais parcimonioso que incluiu essa variável preditora e o efeito do peso na detecção é o mesmo independente da espécie de hospedeiro avaliada, sendo o tamanho do efeito maior (ou menor) a depender da variação de peso existente em cada espécie. Aqui, exemplificamos o efeito do peso dos hospedeiros na probabilidade de detecção de helmintos utilizando como exemplo duas espécies de marsupiais, sendo uma espécie mais pesada (*P. quica*) e outra mais leve (*G. microtarsus*). 29
- Figura 8. Probabilidade de detecção de helmintos em função do peso corporal de duas espécies de roedores. As estimativas são derivadas do modelo mais parcimonioso que incluiu essa variável preditora e o efeito do peso na detecção é o mesmo independente da espécie de hospedeiro avaliada, sendo o tamanho do efeito maior (ou menor) a depender da variação de peso existente em cada espécie. Aqui, exemplificamos o efeito do peso dos hospedeiros na

probabilidade de detecção de helmintos utilizando como exemplo duas espécies de roedores, sendo uma espécie mais pesada (<i>T. setosus</i>) e outra mais leve (<i>O. nigripes</i>).	29
Figura 9. Probabilidade de ocorrência de helmintos na metacomunidade de pequenos mamíferos em função do ambiente em que os hospedeiros foram coletados (mata, pasto e peridomicílio) no município do Serro, Minas Gerais, sudeste do Brasil.....	31
Figura 10. Diversidade beta de múltiplos locais para as espécies de helmintos, com destaque para os índices de “ <i>turnover</i> ” e “ <i>nestedness</i> ” em cada ambiente de coleta, no Município do Serro, Minas Gerais, Brasil.....	32
Figura 11. Análise de rede bipartida mostrando a interação entre helmintos e as espécies de hospedeiros de marsupiais (cor cinza escuro) e roedores (cinza claro). Os vértices (barras) indicam a riqueza de espécies, enquanto os links apontam a frequência de ligações entre as espécies de helmintos e seus hospedeiros, o link é ponderado de acordo com a frequência de interação.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies de pequenos mamíferos e helmintos registradas em cada ambiente de coleta, número de hospedeiros infectados e analisados e a prevalência para cada espécie de helminto.26

Tabela 2. Resultados dos modelos desenvolvidos para avaliar as variáveis que poderiam influenciar as probabilidades de ocorrência (Ψ) e detecção (p) de helmintos em pequenos mamíferos no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. O parâmetro p foi modelado considerando as espécies de helmintos coletadas em cada ambiente em função de variáveis dos hospedeiros (*i.e.* peso, sexo, abundância). O parâmetro Ψ foi modelado em função do peso e do ambiente que o hospedeiro foi coletado.30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	16
2.2	CAPTURA DE PEQUENOS MAMÍFEROS	16
2.3	COLETA E IDENTIFICAÇÃO HELMINTOS	19
2.4	ANÁLISE DE DADOS	20
2.5	MODELAGEM DE OCUPAÇÃO E DETECÇÃO	21
2.6	BETA DIVERSIDADE	22
2.7	ANÁLISE DE REDE	23
3	RESULTADOS	23
3.1	ESPÉCIES DE PEQUENOS MAMÍFEROS E HELMINTOS.....	23
3.2	MODELAGEM DE OCUPAÇÃO E DETECÇÃO	28
3.3	BETA DIVERSIDADE	31
3.4	ANÁLISE DE REDE	32
4	DISCUSSÃO	33
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais detêm a maior parte da biodiversidade mundial e estão enfrentando uma redução drástica em sua cobertura florestal nativa (BOVENDORP et al., 2019). Esse é o caso da Mata Atlântica, que abriga uma elevada diversidade de espécies, principalmente endêmicas, mas a urbanização, industrialização e expansão agrícola levaram a redução e fragmentação de sua cobertura original (RIBEIRO et al., 2011), configurando o bioma como um *hotspot* de biodiversidade (MYERS et al., 2000). Atualmente, a cobertura de vegetação nativa da Mata Atlântica se caracteriza por manchas de vegetação inseridas em áreas degradadas para pastagem, agricultura, silvicultura e áreas urbanas (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; REZENDE et al., 2018).

A fragmentação de ambientes naturais para uso antrópico do solo, além de tornar o habitat disponível para muitas espécies silvestres escasso, pode aumentar o contato entre vida silvestre e seres humanos (GIBB et al., 2020), já que, áreas urbanas e periurbanas podem ser muito atraentes para espécies silvestres devido a disponibilidade de recursos alimentares de fácil acesso (*i.e.* resíduos de alimentos humanos, alimentos para animais domésticos, entre outros), tornando essas áreas atraentes para espécies generalistas sinantrópicas (MACKENSTEDT; JENKINS; ROMIG, 2015). Exatamente por essa maior oferta de recursos, essas espécies generalistas podem se tornar mais abundantes em áreas antropizadas e esse aumento na abundância pode favorecer o contato dessas espécies com os animais domésticos e os seres humanos (GIBB et al., 2020; GONÇALVES-OLIVEIRA et al., 2020). Esse contato pode potencializar as taxas de transmissão e a chance de *spillover* de doenças da vida silvestre para os seres humanos (FERREIRA et al., 2021). Nas últimas décadas, a incidência de doenças infecciosas emergentes nos seres humanos aumentou significativamente (GAY et al., 2014; JONES et al., 2008), sendo cerca de 60% delas originadas de patógenos (*i.e.* micro e macroparasitas) compartilhados com animais silvestres ou domésticos (KARESH et al., 2012).

Dentre os patógenos que afetam os seres humanos e a vida silvestre, podemos destacar as infecções causadas pelos helmintos. Como exemplo, cestódeos do gênero *Hymenolepis*, que tem roedores e seres humanos como hospedeiros definitivos ou intermediários, e em seres humanos causam a himenolepiase (THOMPSON, 2015). Roedores sinantrópicos podem atuar como reservatório desse cestódeo (HERNÁNDEZ, 2016), podendo contribuir para o ciclo de transmissão aos seres humanos e animais domésticos, visto que é muito comum espécies de

roedores viverem próximas a habitações humanas. De modo geral, as espécies de helmintos parasitos podem funcionar como bons indicadores de alterações ambientais (CAMPIÃO et al., 2017; GARDNER; CAMPBELL, 1992; SIMÕES et al., 2011), uma vez que mudanças ambientais podem alterar seus parâmetros parasitológicos causando efeitos deletérios nas espécies de hospedeiros (BORDES et al., 2015). Além disso, os helmintos são considerados o grupo de parasitos mais abundante, sendo difícil estimar a diversidade de suas espécies (POULIN, 2014), por isso podem ser excelentes objetos de estudo para entender as interações parasito-hospedeiro em ecossistemas naturais e antropizados (CARDOSO et al., 2016; COSTA et al., 2019).

O estudo da ecologia de interações dos parasitos e seus hospedeiros é comumente realizada na escala de infracomunidades, ou seja, a comunidade parasitária dentro de um indivíduo ou espécime hospedeira, e na escala da comunidade componente, que inclui todas as espécies de parasitos encontrados em uma população hospedeira (POULIN, 2007). Por sua vez, o conjunto de infracomunidades ou comunidades componentes, forma a metacomunidade de parasitos. Mais precisamente, a metacomunidade é definida como um conjunto de comunidades ecológicas em diferentes locais, que podem ou não, estarem ligadas por dispersão de várias espécies em uma escala maior (LEIBOLD et al., 2004; PRESLEY; HIGGINS; WILLIG, 2010).

A composição e riqueza de comunidades de parasitos em populações de hospedeiros mudam no espaço e no tempo (GONZÁLEZ; BARRIENTOS; MORENO, 2006). Características da paisagem e variações na escala espacial podem moldar as relações parasitos-hospedeiros ao longo de diferentes ambientes (CARDOSO et al., 2020; RICHGELS; HOVERMAN; JOHNSON, 2013), por isso os parasitos em uma comunidade devem ter características que lhes permitam sobreviver não apenas no hospedeiro, mas no habitat do hospedeiro, visto que o ambiente abiótico pode ser determinante na sua ocorrência (DALLAS; PRESLEY, 2014). Características biológicas e ecológicas dos hospedeiros também podem afetar a diversidade de espécies de parasitos entre as comunidades que constituem a metacomunidade (CARDOSO et al., 2020; HEINO et al., 2017). Hospedeiros com populações mais abundantes podem ter maior exposição a parasitos no ambiente do que os menos abundantes, determinando as taxas de contato entre indivíduos infectados e não infectados (CARDOSO et al., 2018, 2021; DALLAS; HOLIAN; FOSTER, 2020; MORAND, 2015). Hospedeiros que possuem uma maior massa corporal podem ter um maior número de “habitats” para serem colonizados (COSTA et al., 2022; DALLAS et al., 2019), e diferenças na

mobilidade entre sexos nos hospedeiros pode levar a variação na susceptibilidade a infecção parasitária (KERSUL et al., 2020).

Entre os animais silvestres, o grupo dos pequenos mamíferos (*i.e.* marsupiais e roedores) também podem ser bons indicadores de alterações do habitat, visto que respondem rapidamente às mudanças ambientais e podem ocorrer em áreas de interface entre ambiente silvestre e urbano ou silvestre/rural (COSTA-NETO et al., 2019; UMETSU; PARDINI, 2007). Marsupiais e roedores também são conhecidos por serem hospedeiros de uma elevada diversidade parasitária, atuando como reservatórios naturais de parasitos, incluindo os que apresentam potencial zoonótico (MORAND; KRASNOV; POULIN, 2006). Quatro filos de metazoários são reconhecidos como macroparasitas de pequenos mamíferos: Platyhelminthes (cestódeos e trematódeos), Syndermata (acantocéfalos), Nematoda e Arthropoda (pulgas, carrapatos e moscas) (MORAND; KRASNOV; POULIN, 2006). Esses parasitos podem apresentar ciclos de vida direto ou indireto, onde mamíferos podem ser seus hospedeiros intermediários (*e.g.* cestódeos larvais) ou definitivos (MORAND; KRASNOV; POULIN, 2006).

Pequenos mamíferos e helmintos constituem modelos ideais para examinar a estrutura da metacomunidade, pois muitos hospedeiros são abundantes e abrigam uma elevada diversidade parasitária (DALLAS; PRESLEY, 2014; MORAND; KRASNOV; POULIN, 2006). Por sua vez, helmintos podem ser excelentes modelos para estudos ecológicos da interação parasito-hospedeiro em habitats naturais (SIMÕES et al., 2010) e antropogênicos (DE CASTRO et al., 2017; KERSUL et al., 2020; SIMÕES et al., 2011). Entender como a diversidade de parasitos é moldada ao longo de ambientes é importante para compreensão da dinâmica de transmissão de parasitos e enfermidades, especialmente em respostas a influências antrópicas (PALADSING et al., 2020) e para a compreensão das interações ecológicas parasito-hospedeiro (CARDOSO et al., 2020).

Frente a esse contexto, nosso objetivo foi analisar a diversidade da metacomunidade de helmintos de pequenos mamíferos entre ambientes naturais e de uso antrópico, no Município do Serro, Minas Gerais, Brasil. O Serro apresenta uma paisagem bastante fragmentada, caracterizada por um mosaico de trechos antropizados para criação de gado e de manchas de vegetação em vários estágios sucessionais, por isso pode ser um bom local de estudo para entender como a metacomunidade de helmintos é estruturada entre os ambientes de interface de áreas antropizadas e silvestre. Mais especificamente, nossos objetivos foram avaliar se o tipo de ambiente e os atributos dos hospedeiros (*i.e.* peso, abundância e sexo) atuam como preditores na probabilidade de ocupação das espécies de helmintos. Ao avaliarmos essas questões,

esperamos que (1) o tipo de ambiente onde o hospedeiro ocorre influencie a probabilidade de ocorrência das espécies de helmintos, pois o ambiente é um determinante na ocorrência das espécies de parasitos, especialmente para os estágios de vida livre (DALLAS; PRESLEY, 2014); (2) espécies hospedeiras com maior peso corporal, apresentem uma maior riqueza de espécies de helmintos, visto que possuem mais área e maior diversidade de habitats disponíveis para colonização (LEUNG; KOPRIVNIKAR, 2019); (3) hospedeiros com populações mais abundantes e o sexo, estejam positivamente relacionados a diversidade de helmintos, visto que hospedeiros com maior abundância apresentam mais chances de terem contato com as espécies de parasitos do que os menos abundantes, assim como o sexo pode influenciar na forma com que os indivíduos exploram o ambiente, atuando diretamente a exposição as espécies de helmintos.

Ao avaliarmos a estrutura da metacomunidade de helmintos através da diversidade beta entre os três ambientes, esperamos que (4) a metacomunidade seja estruturada por uma perda de espécies (*nestedness*) entre os ambientes, devido a variação na oferta de recursos entre os três ambientes (*i.e.* fragmento de mata, pasto e peridomicílio). Assim, esperamos que haja maior diversidade nos ambientes com maior oferta de recursos (*i.e.* fragmento de mata). Ao passo que, nos ambientes menos heterogêneos (*i.e.* pasto e peridomicílio) aconteceria uma queda na riqueza de espécies de helmintos.

Por fim, ao avaliarmos a interação entre as espécies hospedeiras e as espécies de helmintos da metacomunidade através de uma rede bipartida, esperamos que (5) hospedeiros com maior similaridade ecológica e biológica compartilhem espécies de helmintos entre si, devido aos processos de coevolução que envolvem esses organismos (POULIN; RANDHAWA, 2015).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Realizamos o presente estudo no município de Serro (18°36'18"S, 43°22'44"W), situado na microrregião de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil. A região está inserida no domínio geomorfológico da Serra do Espinhaço, com altitude variando de 853 m a 2.002 m e destaca-se como uma área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2019; PIFANO et al., 2010). O clima da região é subtropical de altitude com inverno seco e verão mais fresco. Na área do estudo em questão, a cobertura vegetal é característica do domínio Atlântico, com gradientes vegetacionais de Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Vegetação Arbustivo-Lenhosa sobre Canga, Campo Rupestre e Brejos (PIFANO et al., 2010).

A cobertura florestal primitiva dessa região de Minas Gerais foi drasticamente reduzida a remanescentes esparsos, devido ao histórico de atividade minerária, bem como a modificação do solo para atividades destinadas a pecuária bovina (PIFANO et al., 2010). De modo geral, o município se caracteriza por um mosaico de trechos antropizados para criação de gado e de manchas de vegetação em vários estágios sucessionais (PIFANO et al., 2010). Atualmente, o município do Serro possui como fonte de economia principal, a produção de queijo Minas Artesanal, que contribui com 60% da renda municipal (PREFEITURA DE SERRO, 2022).

2.2 Captura de pequenos mamíferos

Realizamos as capturas dos pequenos mamíferos em três fazendas produtoras de queijo (Fazenda Alíro, Fazenda Chokito e Fazenda Maravilha) e em cada fazenda, selecionamos três diferentes tipos de ambientes para amostragem: (1) Fragmento contínuo de Mata Atlântica próximo a (2) área de pastagem utilizada para criação de gado leiteiro e (3) área peridomiciliar, utilizada pelos fazendeiros para diversas atividades como cultivos, paióis, estábulos, queijaria e residência (Figura 1).

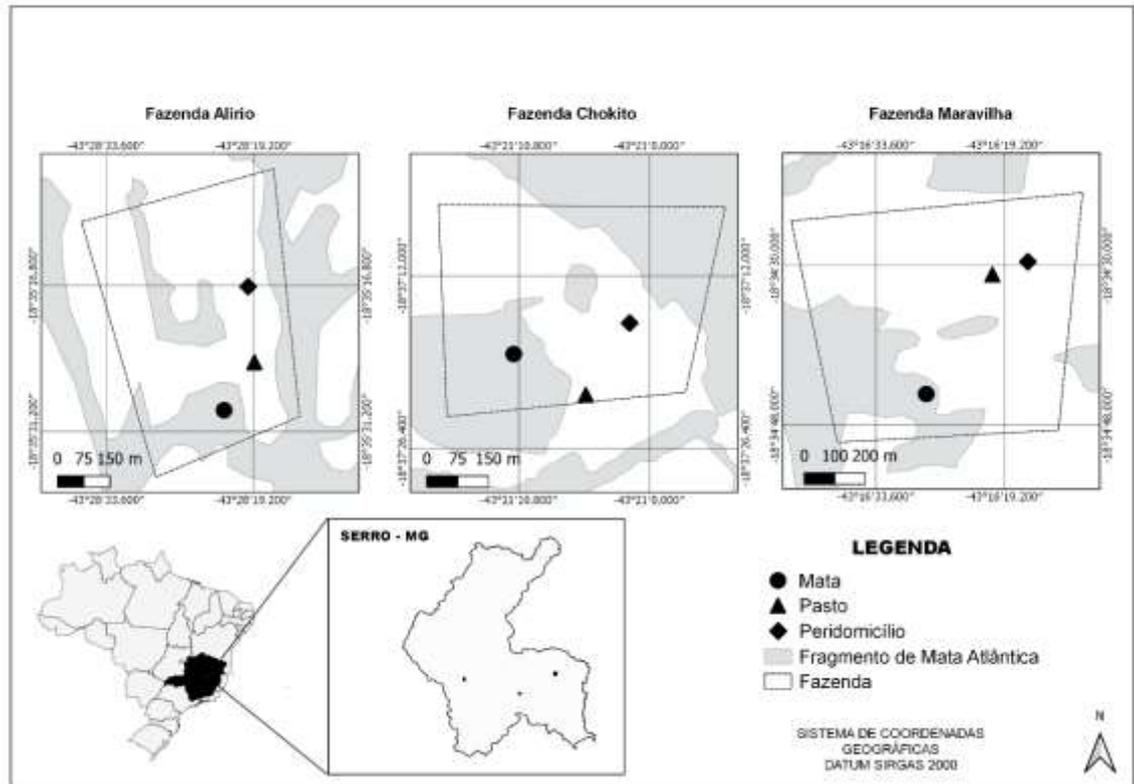


Figura 1: Mapa ilustrando as delimitações das três fazendas em que realizamos o presente estudo, com destaque para os transectos instalados nos três tipos de ambiente de cada fazenda para a captura dos pequenos mamíferos no município do Serro, Minas Gerais, Brasil.

Realizamos quatro campanhas de amostragem entre fevereiro a agosto de 2021. Para captura dos pequenos mamíferos, estabelecemos um transecto em cada ambiente (peridomicílio, pasto e mata) das fazendas selecionadas (Figura 1). Em cada transecto havia 15 estações de coleta com 20 metros de distância entre si. Em cada estação, colocamos duas armadilhas de captura viva, uma Sherman (8 x 8 x 26cm) e uma Tomahawk (50 x 21,5 x 20cm) (Figura 3). Tanto no peridomicílio quanto no pasto, posicionamos as armadilhas apenas no solo, devido à ausência de sub-bosque. Já nos fragmentos de mata nativa, posicionamos as armadilhas entre solo e sub-bosque. Iscamos as armadilhas com algodão embebido em óleo de fígado de bacalhau (emulsão Scott) e banana com fubá. Em cada expedição, as armadilhas permaneceram montadas por 12 noites, sendo vistoriadas toda manhã e tiveram as iscas repostas em dias alternados.



Figura 2. Os três diferentes tipos de ambientes amostrados em cada fazenda, onde realizamos as capturas dos pequenos mamíferos para avaliar a diversidade de helmintos, no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. A: Fragmento de mata nativa; B: Área de pastagem; C: Área de peridomicílio.



Figura 3. Exemplos dos dois tipos de Armadilhas utilizadas para captura dos pequenos mamíferos (Sherman e Tomahawk) instaladas em cada ambiente das fazendas selecionadas, no município do Serro, Minas Gerais, Brasil.

Os animais coletados foram acondicionados em sacos de algodão e transportados para um laboratório montado na sede do município, onde realizamos a identificação a nível de espécie, quando possível. Em uma ficha de registro anotamos os dados do local de captura e dados morfométricos (massa corporal, medidas do corpo e cauda), sexo, atividade reprodutiva, presença de cicatrizes ou alterações morfológicas. Logo após a biometria, sedávamos os animais via intraperitoneal, com uma combinação de 10mg/Kg de cloridrato de xilazina 2% e 100 mg/Kg de cloridrato de cetamina para roedores e 0.35mg/Kg de Midazolam associado a 25mg/Kg de cloridrato de cetamina para marsupiais. Uma vez sedados, realizávamos a coleta sanguínea via punção intracardíaca. Para os animais que não realizamos eutanásia, realizávamos a coleta de sangue a partir das veias da cauda ou da veia femoral.

Logo após a coleta sanguínea, realizávamos a eutanásia com uma superdose de anestésico geral (Propofol 10mg/Kg) via intracardíaca, para a posterior coleta dos helmintos. Não realizamos eutanásia de fêmeas prenhas e gambás com mais de 200g, que eram marcados com brinco contendo numeração para identificação e soltos no mesmo local de captura. Os gambás coletados, que apresentam mais de 200 gramas, foram de casos específicos em que o indivíduo capturado estava debilitado e foi a óbito durante transporte ou procedimento de coleta de amostras; quando o indivíduo estava muito debilitado e não sobreviveria ou no caso do animal ter sido encontrado morto na armadilha.

Nosso estudo aconteceu em colaboração com o “*Centers for Disease Control and Prevention*” (CDC) para a investigação do vírus da vaccínia em pequenos mamíferos silvestres e animais domésticos, com autorização do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade e Conservação (licença ICMBio 73288). Todos os procedimentos de campo e laboratoriais seguiram as normas éticas e de segurança do CDC e Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA, da UFMG (CEUA: 217/2020). Realizamos taxidermia dos hospedeiros coletados e depositamos algumas carcaças em álcool 70%, para posterior depósito no Centro de Coleções Taxonômicas da UFMG.

2.3 Coleta e identificação helmintos

Logo após a eutanásia, realizávamos a necrópsia começando com uma abertura da cavidade abdominal e realizando uma inspeção visual, à procura de helmintos ou qualquer anormalidade sugestiva de parasitismo na superfície dos órgãos e nas cavidades abdominal e torácica. Após inspeção, retirávamos as vísceras e depois transferíamos para uma placa de Petri com solução salina 0,85%, para serem individualmente avaliadas para a presença de helmintos (SILVA, 1995).

Com o auxílio de uma tesoura realizávamos abertura da traqueia, vasos pulmonares, brônquios, fígado, coração e órgãos do sistema digestivo (estômago, intestinos delgado e grosso) e visualizávamos em uma lupa para a detecção dos endoparasitos. O fígado era seccionado com uma pinça dente de rato em uma placa de Petri com solução salina 0,85% para facilitar a remoção de helmintos e evitar o rompimento dos mesmos. Os órgãos do sistema digestivo (intestino delgado, intestino grosso e estômago) foram separados, evitando a mistura

de conteúdo das diferentes partes, e em seguida, realizou-se a abertura com tesoura para análise do conteúdo. Após a abertura dos órgãos do sistema digestivo, realizávamos uma raspagem na mucosa com auxílio de tesoura para remoção de parasitos que estivessem encistados ou aderidos. Os parasitos encontrados eram coletados e fixados em formol 10%, para posterior identificação. É importante reforçar que, fragmentos de órgãos dos hospedeiros foram retirados para o estudo de virologia, anteriormente citado, por isso, nós registramos apenas a presença dos helmintos e não contabilizamos o número de indivíduos, pois alguns representantes podem ter sido perdidos nesses fragmentos de órgãos.

Utilizamos lactofenol de Amann para diafanizar os nematódeos e depois posicionamos os indivíduos entre lâmina e lamínula provisórias para visualização no microscópio óptico. Trematódeos, cestódeos e acantocéfalos eram corados com aceto-carmim, desidratados em uma série alcóolica com tempos variados, diafanizados em creosoto e montados em lâminas permanentes com bálsamo do Canadá (AMATO et al., 1991). Os espécimes montados em lâminas eram visualizados no microscópio óptico Zeiss Observer Z1 acoplado de uma câmera digital (Axio Cam ERc 5s, Carl Zeiss), fotografados para suas medidas morfométricas serem realizadas no programa Axio Vision Rel. 4.8. Identificamos as espécies de helmintos a partir das chaves de identificação de YAMAGUTI (1959), YAMAGUTI (1961), TRAVASSOS et al. (1969), VICENTE et al. (1997) e ANDERSON et al. (2009), além de artigos com descrições específicas para cada família, gênero ou espécie em questão.

2.4 Análise de dados

Agrupamos as três fazendas utilizadas para coleta por ambiente amostrado: mata, pasto e peridomicílio. Calculamos a abundância relativa dos hospedeiros capturados por ambiente, desse modo, consideramos a relação do número de indivíduos por espécie pelo número total de indivíduos em cada ambiente (SLADE; BLAIR, 2000). Calculamos os parâmetros parasitológicos para cada espécie de helminto de acordo com BUSH et al. (1997) para a comunidade componente. Consideramos a riqueza total de helmintos como o número de espécies encontradas. E calculamos a prevalência, expressa em porcentagem, através da razão entre o número de hospedeiros infectados por uma determinada espécie de helminto e o número total de animais analisados. Não utilizamos o parâmetro de abundância dos helmintos, pois,

como explicado anteriormente, durante a coleta não contabilizamos os indivíduos e muitos podem ter sido perdidos durante a extração de fragmentos de órgãos para os estudos de virologia.

2.5 Modelagem de ocupação e detecção

Os modelos de ocupação são tradicionalmente utilizados para avaliar os fatores que podem influenciar a ocorrência (ou a probabilidade de ocupação) de uma espécie de interesse em diferentes sítios (ou ambientes), levando em consideração que a detecção é imperfeita (< 100%), ou seja, incorporando as potenciais falsas ausências da espécie ao longo dos sítios amostrados (MACKENZIE et al., 2002). Especificamente, o modelo de ocupação possui dois parâmetros. O parâmetro Ψ , que é definido como a probabilidade de um sítio i ser ocupado pela espécie, enquanto p é definido como a probabilidade de detectar a espécie no sítio i e na ocasião de amostragem j (MACKENZIE et al., 2002), dado que a espécie ocupa o sítio. Para o nosso objetivo em específico, interpretamos Ψ como a probabilidade de uma espécie de helminto ocorrer no hospedeiro no ambiente i (*i.e.*, mata, pasto e peridomicílio). Já p foi interpretado como a probabilidade de detectar uma espécie de helminto no ambiente i e no hospedeiro j , dado que o helminto ocupa o ambiente. Ambos os parâmetros podem ser modelados em função de variáveis preditoras de interesse. Neste contexto, construímos históricos de detecção para as espécies de helmintos que infectaram os hospedeiros em cada ambiente de coleta. Especificamente, registramos quando uma espécie de helminto foi detectada (1) ou não (0) em cada população hospedeira (*i.e.* todos os indivíduos de cada espécie de hospedeiro) e em cada ambiente.

Para avaliarmos se a probabilidade de ocorrência de parasitos na comunidade componente de hospedeiros (*i.e.* todos os indivíduos de cada espécie de hospedeiro) é diferente entre os ambientes, usamos como variável preditora para modelar Ψ o tipo de ambiente e as diferentes espécies de helmintos. Também usamos essas mesmas variáveis para avaliar se a probabilidade de detecção dos helmintos poderia variar de acordo com o tipo de ambiente e entre as espécies de helmintos. Por outro lado, para avaliar se características específicas das espécies hospedeiras influenciariam a probabilidade de detecção dos helmintos, consideramos as seguintes variáveis preditoras: o sexo, a massa corporal e a abundância das espécies

hospedeiras. O sexo foi tratado como a proporção de machos dentro de cada espécie hospedeira coletada. A massa corporal foi obtida através de uma média para cada espécie em cada ambiente, e a abundância como o número de indivíduos de cada espécie em cada ambiente analisado.

Para avaliar se as variáveis preditoras influenciariam os parâmetros de interesse, utilizamos o modelo de ocupação *single-season* (MACKENZIE et al., 2002) disponível no Programa Mark (WHITE; BURNHAM, 1999). Utilizamos o Critério de Informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AICc) para selecionar os modelos mais parcimoniosos (*i.e.*, $\Delta AICc \leq 2$), ou seja, as variáveis mais determinantes por influenciar as probabilidades de ocupação (*i.e.*, prevalência) e detecção das espécies de helmintos em pequenos mamíferos. Para verificar por sobredispersão dos dados (*i.e.*, falta de independência das observações nos históricos de detecção), utilizamos o modelo mais parametrizado para rodar o teste “*Goodness of Fit*” (GOF) no Programa Presence (HINES 2006; MACKENZIE; BAILEY, 2004).

Adotamos a estratégia de modelos conhecida como passo-a-passo ou “stepdown”(LEBRETON; BURNHAM; CLOBERT; et al., 1992). Especificamente, deixamos uma estrutura de modelo mais parametrizada para o parâmetro Ψ , e construímos modelos univariados com o parâmetro p . A partir do modelo mais parcimonioso do parâmetro p (*i.e.* $\Delta AICc \leq 2$), adotamos a mesma estratégia para o parâmetro Ψ , mas fixando a estrutura de modelo mais parcimoniosa encontrado em p . Também construímos para os dois passos, estruturas de modelo que continham somente o intercepto (\cdot), ou seja, o modelo nulo para cada parâmetro. Por fim, usamos os estimadores de máxima verossimilhança disponível no programa MARK para estimar os parâmetros de interesse (MACKENZIE et al., 2002).

2.6 Beta diversidade

Calculamos a diversidade beta de múltiplos locais para a metacomunidade de helmintos, através do teste de dissimilaridade de Sorensen, que produz três itens: o de Simpson (β_{sim}) que representa o componente de substituição de espécies (*turnover*), o de Sorensen (β_{sor}) que representa o total da beta diversidade, e o de fração aninhada resultante (β_{sne}) que representa o aninhamento (*nestedness*) (BASELGA, 2010, 2012; BASELGA; ORME, 2012). A análise de beta diversidade investiga se a diversidade é impulsionada pela substituição (*turnover*) ou pela

perda (*nestedness*) de espécies entre diferentes ambientes e diferenciar esses dois componentes é essencial para entender como a metacomunidade de helmintos é estruturada. Realizamos essa análise com base em uma matriz de presença/ausência das espécies de helmintos nos três ambientes de estudo. Utilizamos o pacote “betapart” (BASELGA; ORME, 2012) no programa RStudio versão 4.1.3.

2.7 Análise de rede

Construímos uma rede bipartida entre os pequenos mamíferos e as espécies de helmintos com o intuito de avaliar a interação entre os hospedeiros e seus parasitos. Realizamos essa análise construindo uma matriz de presença/ausência de cada espécie de helminto em cada espécie de hospedeiro, utilizando o pacote "bipartiteD3" no programa RStudio versão 4.1.3.

3 RESULTADOS

3.1 Espécies de pequenos mamíferos e helmintos

Com um esforço amostral de 4320 armadilhas/noite por fazenda, registramos 16 espécies de pequenos mamíferos, sendo 9 da ordem Rodentia dentre eles, duas espécies de roedores exóticos (*Mus musculus* e *Rattus rattus*) e 7 da ordem Didelphimorphia (Tabela 1). Ao todo foram coletados 115 espécimes de pequenos mamíferos, dos quais, 40 estavam infectados por alguma espécie de helminto. Identificamos 15 helmintos a nível de espécie ou gênero. O filo Nematoda foi representado por 13 espécies, seguido por Cestoda e Trematoda com uma espécie cada. Alguns espécimes coletados estavam sem características morfológicas que possibilitassem identificação, por isso foram descartados.



Figura 4. Exemplos de espécies de roedores que foram capturados durante o nosso estudo no município de Serro, Minas Gerais, Brasil. A: *Calomys* sp; B: *Necromys lasiurus*; C: *Rhipidomys* sp.



Figura 5. Exemplos de espécies de marsupiais que foram capturados durante o nosso estudo no município de Serro, Minas Gerais, Brasil. A: *Didelphis albiventris*; B: *Marmosops incanus*; C: *Didelphis aurita*.

A composição da comunidade de pequenos mamíferos variou entre os ambientes. Registramos 12 espécies na mata, 5 no pasto e 10 no peridomicílio. Apenas duas espécies, *Oligoryzomys* cf. *nigripes* e *Didelphis aurita* ocorreram nos três ambientes. A espécie mais frequente no ambiente de mata foi *Marmosops incanus*, que apresentou uma abundância relativa de 48,71%, enquanto *Calomys* sp (40%) e *Necromys lasiurus* (27,27%) foram as mais frequentes no pasto e peridomicílio, respectivamente (Figura 6).

O ambiente com maior riqueza de helmintos foi o peridomicílio (12 espécies), seguido pelo fragmento de mata (10 espécies) e o pasto que apresentou apenas uma espécie. O hospedeiro com maior riqueza de helmintos (cinco espécies) foi um indivíduo de *D. aurita* registrado no peridomicílio. As cinco espécies identificadas parasitando *D. aurita*, pertencem a

dois filos de helmintos (Nematoda e Trematoda) e os valores de prevalência foram os mesmos para as cinco espécies. Em relação aos roedores, *Oligoryzomys cf. nigripes*, também registrado no peridomicílio, apresentou a maior riqueza, sendo infectado por quatro espécies de helmintos pertencentes ao filo Nematoda. *Stilestrongylus sp* apresentou o maior valor de prevalência em relação a *Stilestrongylus lanfrediae*, *Syphacia (Syphacia) alata* e *Syphacia sp*.

Identificamos uma espécie de helminto com potencial zoonótico, *Hymenolepis nana* do filo Cestoda, registrada no roedor *Calomys sp* no ambiente de peridomicílio. A prevalência da espécie foi de 33,33% (Tabela 1).

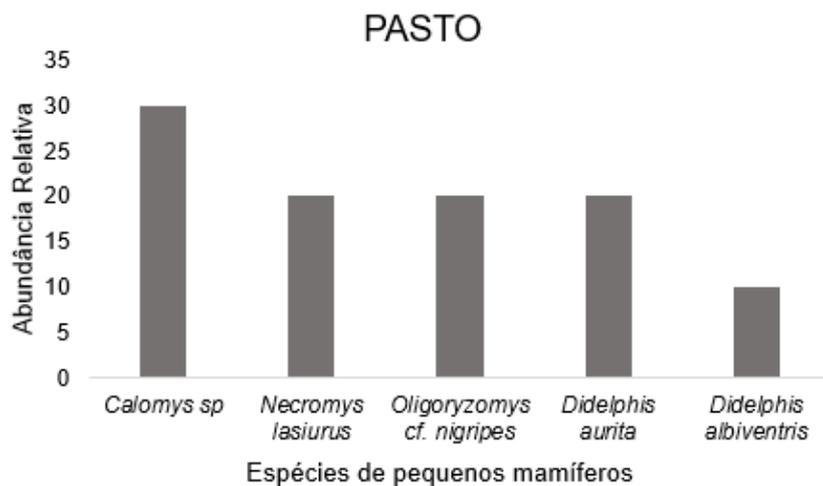
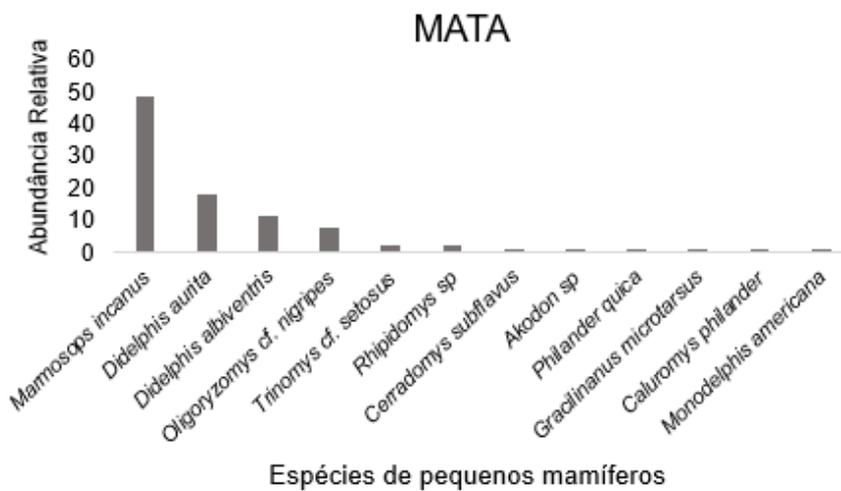




Figura 6. Distribuição de abundância relativa das espécies de pequenos mamíferos capturados em cada ambiente estudado, no município Serro, Minas Gerais, Brasil.

Tabela 1: Espécies de pequenos mamíferos e helmintos registradas em cada ambiente de coleta, número de hospedeiros infectados e analisados e a prevalência para cada espécie de helminto.

Ambiente	Hospedeiros e helmintos	Hospedeiros infectados pelo helminto (hospedeiros analisados)	Prevalência (%)
Mata	<i>Trinomys cf. setosus</i>		
	<i>Syphacia (Syphacia) alata</i>	1(2)	50
	<i>Oligoryzomys cf. nigripes</i>		
	<i>Stilestrongylus sp</i>	1(6)	16,6
	<i>Caluromys philander</i>		
	<i>Litomosoides sp</i>	1(1)	100
	<i>Didelphis albiventris</i>		
	<i>Rhopalias horridus</i>	1(2)	50
	<i>Aspidodera raillieti</i>	1(2)	50
	<i>Cruzia tentaculata</i>	1(2)	50
	<i>Physaloptera mirandai</i>	1(2)	50
	<i>Didelphis aurita</i>		
	<i>Rhopalias horridus</i>	1(2)	50
	<i>Heterostrongylus heterostrongylus</i>	1(2)	50

	<i>Turgida turgida</i>	1(2)	50
	<i>Aspidodera raillieti</i>	1(2)	50
	<i>Cruzia tentaculata</i>	1(2)	50
	<i>Gracilinanus microtarsus</i>		
	<i>Heterostrongylus heterostrongylus</i>	1(1)	100
	<i>Marmosops incanus</i>		
	<i>Aspidodera raillieti</i>	1(35)	2,85
	<i>Rhopalias horridus</i>	2(35)	5,17
	<i>Subulura interrogans</i>	3(35)	8,57
	<i>Philander quica</i>		
	<i>Aspidodera raillieti</i>	1(1)	100
	<i>Cruzia tentaculata</i>	1(1)	100
Pasto	<i>Oligoryzomys cf. nigripes</i>		
	<i>Stilestrongylus sp</i>	1(4)	25
Peridomicílio	<i>Calomys sp</i>		
	<i>Hymenolepis nana</i>	2(6)	33,33
	<i>Cerradomys subflavus</i>		
	<i>Guerrerostrongylus gomesae</i>	1(1)	100
	<i>Necromys lasiurus</i>		
	<i>Pterygodermatites (Paucipectines) sp</i>	1(14)	7,14
	<i>Syphacia (Syphacia) alata</i>	1(14)	7,14
	<i>Syphacia sp</i>	1(14)	7,14
	<i>Nectomys squamips</i>		
	<i>Guerrerostrongylus gomesae</i>	1(1)	100
	<i>Oligoryzomys cf. nigripes</i>		
	<i>Stilestrongylus lanfrediae</i>	1(9)	11,11
	<i>Syphacia (Syphacia) alata</i>	1(9)	11,11
	<i>Stilestrongylus sp</i>	2(9)	22,22
	<i>Syphacia sp</i>	1(9)	11,11
	<i>Didelphis aurita</i>		
	<i>Rhopalias horridus</i>	1(2)	50

<i>Heterostrongylus heterostrongylus</i>	1(2)	50
<i>Aspidodera raillieti</i>	1(2)	50
<i>Cruzia tentaculata</i>	1(2)	50
<i>Turgida turgida</i>	1(2)	50
<i>Philander quica</i>		
<i>Rhopalias horridus</i>	1(2)	50

3.2 Modelagem de ocupação e detecção

O teste GOF não revelou evidência de sobredispersão significativa ($\chi^2 = 986,47$; $c\text{-hat} = 0,5$; $p = 0,78$), indicando que as observações das espécies de helmintos nos hospedeiros foram independentes. Dentre as variáveis avaliadas para a probabilidade de detecção, apenas o peso apresentou relação positiva ($\Delta\text{AICc} < 2$) (Tabela 2), indicando que, uma maior probabilidade de detecção de helmintos, tanto em marsupiais quanto em roedores, está positivamente associada ao peso corporal desses mamíferos. Vale frisar, entretanto, que o efeito do peso na detecção é o mesmo independente da espécie de hospedeiro avaliada, sendo o tamanho do efeito maior (ou menor) a depender da variação de peso existente em cada espécie, como podemos ver nas comparações entre duas espécies de marsupiais (Figura 7) e duas de roedores (Figura 8).

Uma vez que o peso foi a variável que mais influenciou a detecção de helmintos, fixamos essa variável na estrutura de modelo em p para avaliar quais variáveis poderiam influenciar Ψ . O modelo mais parcimonioso final, foi o que relacionou o peso com o ambiente em que o hospedeiro foi coletado ($\Delta\text{AICc} < 2$) (Tabela 2), indicando que este último atua como um forte preditor da probabilidade de ocorrência de helmintos. A probabilidade de ocorrência de helmintos foi maior na mata, seguido do peridomicílio e o pasto (Figura 9).

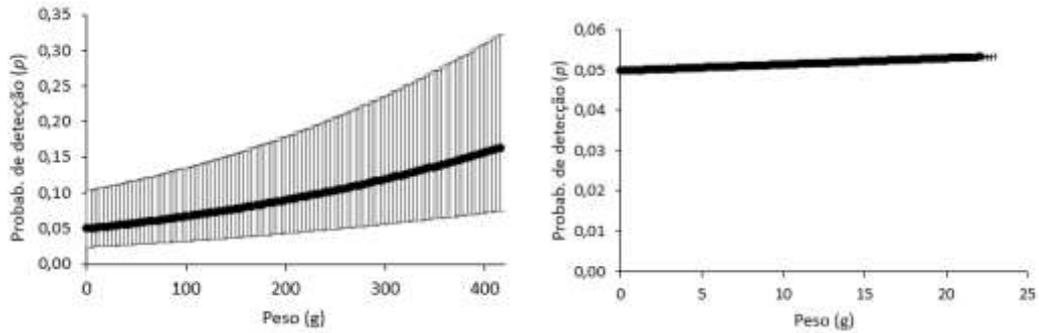


Figura 7. Probabilidade de detecção de helmintos em função do peso corporal de duas espécies de marsupiais. As estimativas são derivadas do modelo mais parcimonioso que incluiu essa variável preditora e o efeito do peso na detecção é o mesmo independente da espécie de hospedeiro avaliada, sendo o tamanho do efeito maior (ou menor) a depender da variação de peso existente em cada espécie. Aqui, exemplificamos o efeito do peso dos hospedeiros na probabilidade de detecção de helmintos utilizando como exemplo duas espécies de marsupiais, sendo uma espécie mais pesada (*P. quica*) e outra mais leve (*G. microtarsus*).

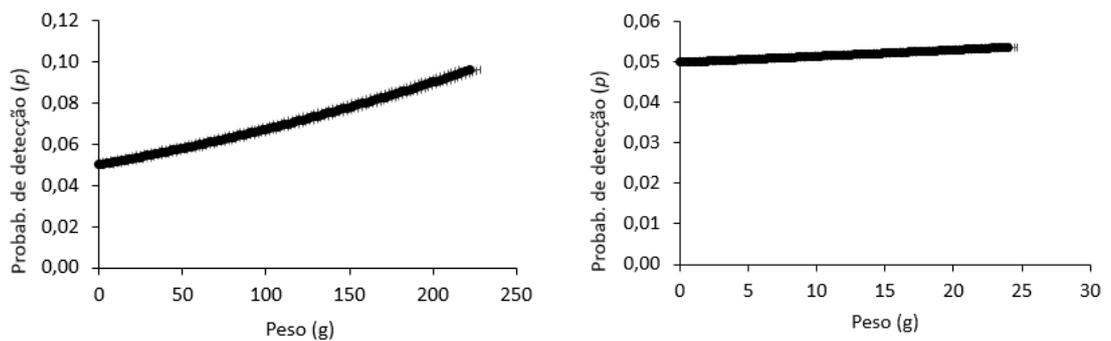


Figura 8. Probabilidade de detecção de helmintos em função do peso corporal de duas espécies de roedores. As estimativas são derivadas do modelo mais parcimonioso que incluiu essa variável preditora e o efeito do peso na detecção é o mesmo independente da espécie de hospedeiro avaliada, sendo o tamanho do efeito maior (ou menor) a depender da variação de peso existente em cada espécie. Aqui, exemplificamos o efeito do peso dos hospedeiros na probabilidade de detecção de helmintos utilizando como exemplo duas espécies de roedores, sendo uma espécie mais pesada (*T. setosus*) e outra mais leve (*O. nigripes*).

Tabela 2. Resultados dos modelos desenvolvidos para avaliar as variáveis que poderiam influenciar as probabilidades de ocorrência (Ψ) e detecção (p) de helmintos em pequenos mamíferos no município do Serro, Minas Gerais, Brasil. O parâmetro p foi modelado considerando as espécies de helmintos coletadas em cada ambiente em função de variáveis dos hospedeiros (*i.e.* peso, sexo, abundância). O parâmetro Ψ foi modelado em função do peso e do ambiente que o hospedeiro foi coletado.

Modelos	Δ AICc	Peso de AICc	Número de Parâmetros	Desvio
Modelando p				
{p(peso)psi(helminto+ambiente)}	0,00	1,00	19	234,60
{p(ambiente)psi(helminto+ambiente)}	12,74	0,00	20	244,58
{p(proporção de machos)psi(helminto+ambiente)}	18,72	0,00	19	253,32
{p(.)psi(helminto+ambiente)}	21,37	0,00	18	258,68
{p(NInd)psi(helminto+ambiente)}	21,40	0,00	19	256,00
{p(helminto)psi(helminto+ambiente)}	45,78	0,00	32	240,28
Modelando psi				
{p(peso)psi(ambiente)}	0,00	0,93	5	255,20
{p(peso)psi(.)}	5,18	0,07	3	264,67
{p(peso)psi(helminto+ambiente)}	13,55	0,00	19	234,60
{p(peso)psi((helminto))}	26,86	0,00	17	253,30

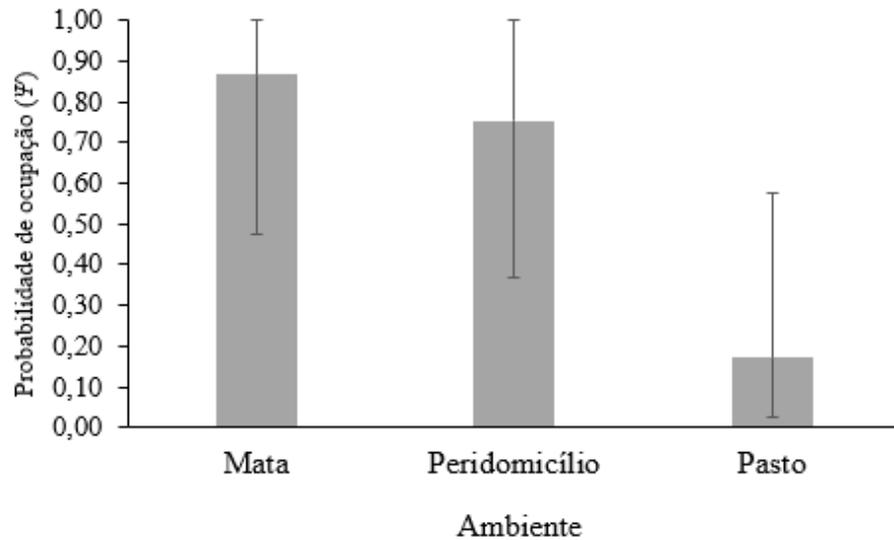


Figura 9. Probabilidade de ocorrência de helmintos na metacomunidade de pequenos mamíferos em função do ambiente em que os hospedeiros foram coletados (mata, pasto e peridomicílio) no município do Serro, Minas Gerais, sudeste do Brasil.

3.3 Beta diversidade

A diversidade beta geral (β_{sor}) foi de 0,7. Considerando cada componente da diversidade beta, foram obtidos os valores: turnover (β_{sim}) = 0,4 e aninhamento (β_{sne}) = 0,3. Desse modo, tanto *turnover* quanto *nestedness* contribuem para a diversidade beta entre os três ambientes (Figura 10). Em outras palavras, os padrões de diversidade beta resultam na substituição de espécies de helmintos entre os ambientes e também pela perda de algumas espécies. Ao compararmos a diversidade beta entre os três ambientes, é possível notar que, entre os ambientes de mata e peridomicílio (*i.e.* os ambientes com maior riqueza de helmintos), ocorreu turnover. Entre mata e pasto, e entre pasto e peridomicílio, ocorreu aninhamento (Figura 10).

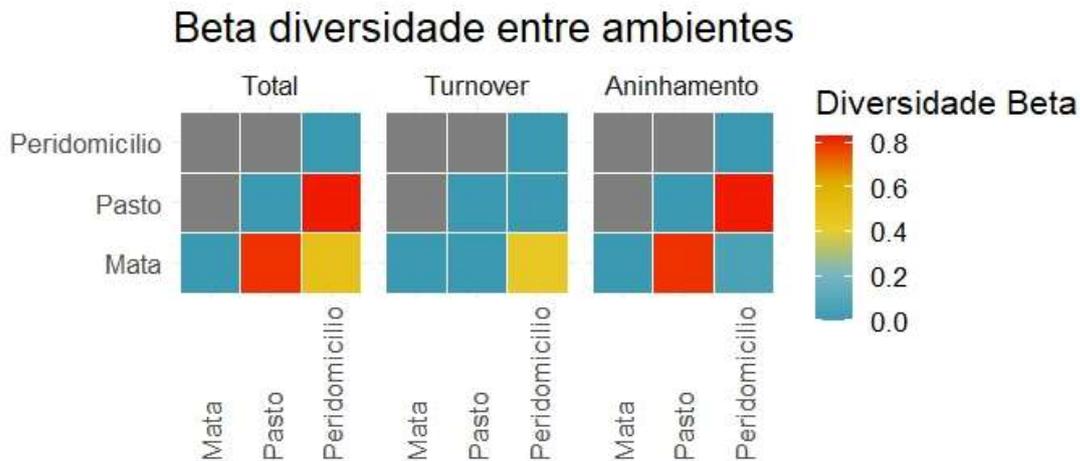


Figura 10. Diversidade beta de múltiplos locais para as espécies de helmintos, com destaque para os índices de “turnover” e “nestedness” em cada ambiente de coleta, no Município do Serro, Minas Gerais, Brasil.

3.4 Análise de rede

A análise de rede demonstrou haver um compartilhamento de espécies de helmintos apenas entre os hospedeiros da mesma ordem (Figura 11). Quatro espécies de helmintos - *Aspidodera raillieti*, *Cruzia tentaculata*, *Heterostrongylus heterostrongylus* e *Rhopalias horridus* - foram compartilhadas por mais de um hospedeiro entre os marsupiais. Para os roedores, *Guerrerostrongylus gomesae*, *Syphacia (Syphacia) alata* e *Syphacia* sp foram as espécies compartilhadas por mais de um hospedeiro. *Didelphis aurita* foi o hospedeiro que apresentou o maior número de interações na rede, seguido pelo roedor *Necromys lasiurus* (Figura 11).

Pequenos Mamíferos e Helmintos

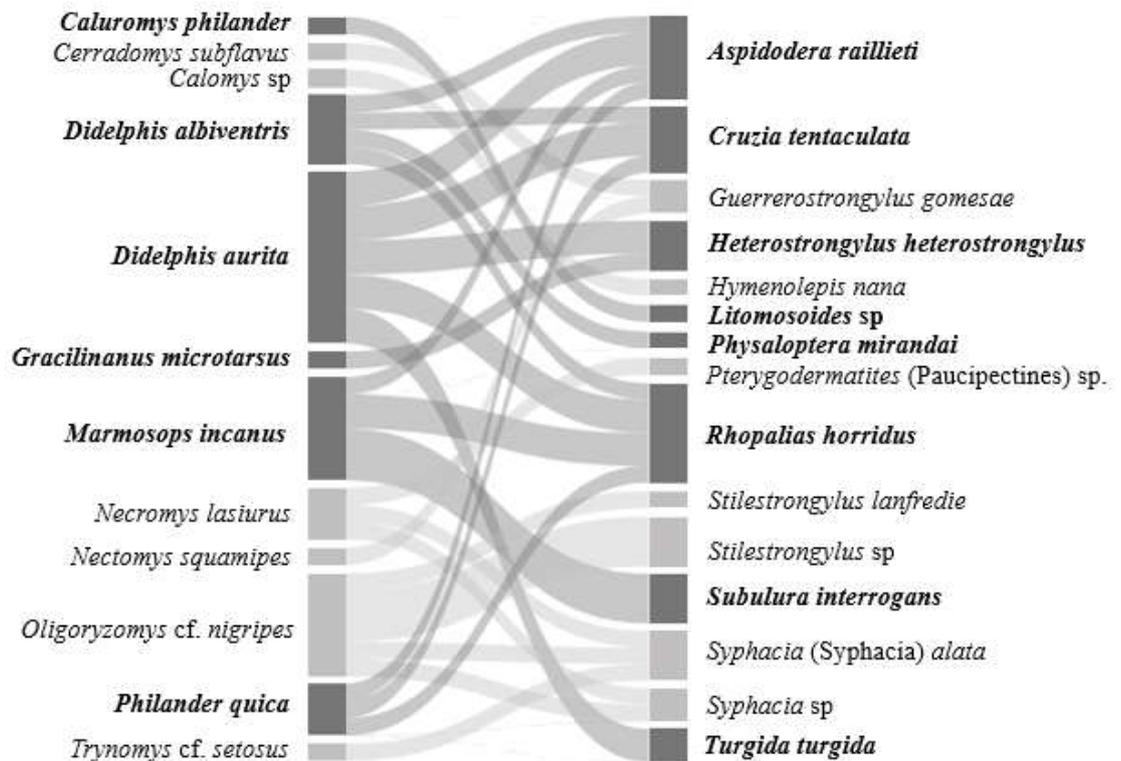


Figura 11. Análise de rede bipartida mostrando a interação entre helmintos e as espécies de hospedeiros de marsupiais (cor cinza escuro) e roedores (cinza claro). Os vértices (barras) indicam a riqueza de espécies, enquanto os links apontam a frequência de ligações entre as espécies de helmintos e seus hospedeiros, o link é ponderado de acordo com a frequência de interação.

4 DISCUSSÃO

Nosso estudo registrou uma riqueza de 15 espécies de helmintos parasitando pequenos mamíferos entre os três ambientes. A probabilidade de ocorrência das espécies de helmintos foi positivamente relacionada ao peso e ao ambiente em que os hospedeiros foram coletados, sendo maior no ambiente de mata. Para a detecção, apenas o peso mostrou ser um preditor na detecção, indicando que, quanto maior for o hospedeiro, maior a probabilidade de encontrarmos as espécies de helmintos que estão presentes no hospedeiro. Observamos que a diversidade beta da metacomunidade de helmintos é moldada tanto pela troca quanto pela perda de espécies

entre os ambientes estudados. A análise de rede demonstrou haver um compartilhamento de espécies de helmintos apenas entre os hospedeiros da mesma ordem.

Os modelos de ocupação demonstraram que a probabilidade de detectar uma espécie de helminto está positivamente relacionada ao peso do hospedeiro. De fato, o peso tem sido apontado como uma das variáveis determinantes na riqueza de parasitos (CARDOSO et al., 2020; DALLAS; PRESLEY, 2014; KAMIYA et al., 2014), pois hospedeiros com maior peso corporal podem abrigar uma maior diversidade de parasitos do que hospedeiros de menor peso. Além disso, o peso pode ser associado a uma relação de área, de modo que hospedeiros de maior peso tendem a ter um tamanho maior que espécies de menor peso. Com isso podemos fazer uma analogia a biogeografia de ilhas (MACARTHUR; MACARTHUR, 1961), onde o peso pode ser interpretado sob a perspectiva da relação espécie-área, em que hospedeiros com tamanho corporal maior podem fornecer mais recursos (nichos) para a colonização de parasitos do que hospedeiros menores (KAMIYA et al., 2014), assim como acontece em uma ilha, em que o tamanho da ilha e a distância das populações modulam a biodiversidade local (MACARTHUR; MACARTHUR, 1961). Hospedeiros que apresentam maior peso, conseqüentemente apresentam um maior tamanho corporal. Dessa forma, hospedeiros maiores podem apresentar uma maior taxa de exposição a parasitos no ambiente, devido ao maior consumo de alimentos em relação a hospedeiros com tamanho corporal menor (COSTA et al., 2022). Além disso, hospedeiros com corpo maior, provavelmente terão maior ingestão de alimentos do que os menores, o que aumenta a chance de adquirir parasitos através da alimentação, tornando o filtro de encontro com parasitos mais amplo (CARDOSO et al. 2020).

A probabilidade de ocorrência dos helmintos foi relacionada ao peso e o tipo de ambiente que o hospedeiro foi coletado. Uma maior ocorrência de helmintos foi registrada no ambiente de mata, mas também houve uma probabilidade de ocorrência alta no peridomicílio. A mata é um ambiente com maior heterogeneidade ambiental em relação aos outros ambientes, e as espécies de helmintos tem sido associadas a áreas mais heterogêneas (KERSUL et. al. 2020; CARDOSO et al. 2016). Apesar disso, a ocorrência e distribuição das espécies de helmintos estão diretamente ligadas a ocorrência de seus respectivos hospedeiros (POULIN 2007), e tanto a mata quanto o peridomicílio apresentaram a maior abundância de hospedeiros, enquanto no pasto, que apresentou a menor abundância de hospedeiros, registramos apenas um gênero de helminto. Aliado a este fato, a ocorrência das espécies de helmintos também está relacionada a suas estratégias reprodutivas, visto que as espécies só irão infectar hospedeiros que apresentam um comportamento que possibilite o desenvolvimento completo do seu ciclo

de vida (CARDOSO et al., 2016). Em consoante a isso, é esperado que helmintos com diferentes estratégias de vida variem seu comportamento em relação as mudanças ambientais, em que seus parâmetros populacionais (*i.e.* riqueza e abundância) parecem ser afetados negativamente por alterações ambientais. Por exemplo, a prevalência de helmintos pode ser menor em hospedeiros coletados em áreas impactadas por atividades antrópicas (CAMPIÃO et al., 2016). Em nosso estudo, a prevalência das espécies de helmintos foi relativamente semelhante nos ambientes de maior riqueza, por exemplo, o gênero *Stilestrongylus* que ocorreu nos três ambientes e apresentou pouca diferença nos valores de prevalência entre os três ambientes (16,6% na mata, 25% no pasto e 22,22% no peridomicílio), indicando que a fragmentação dos habitats na nossa metacomunidade de helmintos não apresentou efeito correlacionado aos parâmetros populacionais dos helmintos mais comuns.

De modo geral, a metacomunidade de helmintos em nosso estudo foi representada por uma maior abundância do filo Nematoda que está proporcionalmente relacionado a maior abundância de hospedeiros da Ordem Rodentia. Geralmente as espécies de roedores apresentam uma maior diversidade de helmintos do filo Nematoda em relação aos outros filios de helmintos (MORAND; KRASNOV; POULIN, 2006). fato, apenas uma espécie de roedor (*Calomys* sp) foi parasitado por um Cestoda (*H. nana*) em nosso estudo. O filo Nematoda é sempre predominante, especialmente, em áreas do bioma Mata Atlântica, sugerindo ser o principal filo no parasitismo de pequenos mamíferos (KERSUL et al., 2020; PANISSE et al., 2017; SIMÕES et al., 2011).

As espécies de nematódeos mais registradas em nosso estudo são componentes comuns em comunidades de roedores e (CARDOSO et al., 2018, 2020; CIRINO et al., 2020; COSTA et al., 2019; DE CASTRO et al., 2017; KERSUL et al., 2020). Os gêneros *Syphacia* spp. e *Stilestrongylus* spp. ocorrem em comunidades de roedores no mundo todo (BEHNKE et al., 2022; PEREZ-PONCE DE LEON; GARDNER; FALCÓN-ORDÁZ, 2000). *Turgida turgida*, *A. raillieti* são helmintos amplamente distribuídos no Brasil, ocorrendo em todos os biomas independentemente do tipo de habitat e são espécies parasitas de marsupiais, ocorrendo principalmente no gênero *Didelphis* spp. (COSTA-NETO et al., 2019). Esses helmintos mais prevalentes, apresentam ciclos de vida heteroxenos, utilizando moluscos e outros invertebrados como hospedeiros intermediários (ANDERSON 2000). Espécies de pequenos mamíferos que apresentam habito generalista e se alimentam de uma ampla gama de itens, incluindo invertebrados, podem adquirir o ciclo infectante desses helmintos (CARDOSO et al., 2020). Em consoante, os hospedeiros com maior riqueza de helmintos em nosso estudo, tanto *O. cf.*

nigripes quanto *D. aurita* são duas espécies de comportamento generalista e que podem ocorrer tanto em habitats perturbados como em regiões com menor influência antrópica (PARDINI et al., 2005; UMETSU; PARDINI, 2007).

Em nosso estudo, registramos uma espécie de helminto com potencial zoonótico, a *Hymenolepis nana*, o cestódeo mais comum em seres humanos, causador da himenolepiase que é uma doença zoonótica negligenciada, principalmente por ser endêmica em países em desenvolvimento, afetando principalmente crianças que vivem em condições precárias de higiene (THOMPSON, 2015). O ciclo de vida da *H. nana* envolve seres humanos que podem ser hospedeiros definitivos ou intermediários, roedores como hospedeiros definitivos e artrópodes como hospedeiros intermediários. A contaminação nos seres humanos envolve a ingestão acidental de hospedeiros intermediários que estejam parasitados (THOMPSON, 2015). Registramos esse helminto parasitando um roedor na área de peridomicílio, o que acende o alerta de risco de contaminação dos seres humanos que vivem nessa localidade.

A análise de diversidade beta, indicou que a estrutura da metacomunidade de helmintos é moldada tanto por *turnover* quanto por *nestedness* entre os três ambientes, esses componentes da diversidade beta apresentam padrões espaciais contrastantes e separa-los é essencial para entendermos os determinantes históricos e atuais da diversidade beta (BASELGA, 2012). Apesar dos dois componentes contribuírem para a diversidade beta em nosso estudo, houve maior contribuição do componente *turnover* na metacomunidade de helmintos, o que reflete os processos de coevolução entre os parasitos e seus hospedeiros, demonstrando haver uma alta especificidade entre as espécies de helmintos e pequenos mamíferos e um baixo compartilhamento de helmintos entre as espécies hospedeiras ao longo dos três ambientes (CARDOSO et al., 2020; DALLAS; PRESLEY, 2014). De fato, as espécies de helmintos apresentam tolerâncias ambientais que restringem sua distribuição espacial e muitas vezes se especializam em um subconjunto de espécies hospedeiras disponíveis (COOPER et al., 2012; D'BASTIANI et al. 2020). Em consoante ao turnover, a contribuição do aninhamento indica que as espécies de helmintos não ocorrem de forma aleatória nos hospedeiros e que as comunidades com menor riqueza representam subconjuntos de comunidades com maior riqueza entre os ambientes (BASELGA, 2012). O padrão aninhado é comumente observado em metacomunidades parasitárias e indica que os hospedeiros acumulam espécies de forma gradual e previsível (COSTA-NETO et al., 2019; POULIN; DICK, 2007).

A nossa análise de rede compactua com os resultados encontrados na diversidade beta, em que houve baixo compartilhamento de helmintos entre os hospedeiros e compartilhamento

de espécies de helmintos apenas entre os hospedeiros da mesma ordem. *Didelphis aurita* foi a espécie chave na comunidade de marsupiais, compartilhando algumas espécies de helmintos com outras espécies do grupo, enquanto *O. nigripes* foi a espécie-chave entre os roedores, compartilhando alguns helmintos com outros roedores. A especificidade do hospedeiro é uma das propriedades fundamentais do parasitismo e reflete dois pontos importantes: as relações histórico-evolutivas de como os parasitos se adaptaram a seus hospedeiros e vice versa e do ponto de vista ecológico, que reflete a diversidade de recursos utilizados por um parasito ou a própria amplitude de seu nicho (POULIN; DICK, 2007). Por isso, é mais provável que ocorra o compartilhamento de parasitos entre espécies de hospedeiros que são biologicamente, ecologicamente e/ou filogeneticamente relacionados (DALLAS; PRESLEY, 2014), devido as intimas relações de coevolução que esses organismos desenvolveram ao longo do tempo (POULIN; KRASNOV; MOUILLOT, 2011).

O compartilhamento de helmintos também é fortemente relacionado a distância filogenética ou taxonômica do hospedeiro, visto que, hospedeiros mais próximos tendem a ter características semelhantes, o que afetaria o encontro e aquisição de parasitos (DALLAS; HOLIAN; FOSTER, 2020). Por exemplo, dentre roedores, o compartilhamento de espécies de helmintos ocorreu entre espécies de hospedeiros da mesma tribo (CARDOSO et al., 2018; COSTA et al., 2022). O mesmo já foi observado para metacomunidade de ectoparasitos, em que a maioria das espécies era compartilhada entre hospedeiros da mesma família (DALLAS; PRESLEY, 2014). Isso indica que as restrições evolutivas podem determinar qual família um parasito vai infectar com sucesso, mas que um único conjunto de características do hospedeiro não determina a distribuição e preponderância desses parasitos. Ou seja, a ocorrência de parasitos entre os hospedeiros acontece ao longo de vários gradientes independentes, que podem estar associados a diferentes aspectos de filogenia, ecologia ou morfologia do hospedeiro (DALLAS; PRESLEY, 2014). As redes ecológicas funcionam como uma ferramenta útil para aprofundar nossa compreensão das relações parasito-hospedeiro, podem ser utilizadas para identificar rotas potenciais de transmissão de parasitos patogênicos, identificar espécies chave em uma comunidade e também investigar a especificidade entre parasitos-hospedeiros (DALLAS et al., 2019).

Concluindo, trouxemos questões importantes sobre as variáveis que atuam na probabilidade de ocorrência das espécies de helmintos e sobre a relação parasitos-hospedeiros em ambientes de interface entre vida silvestre e antropizados. Nossos dados fornecem suporte de que o peso é um determinante na detecção de helmintos tanto em roedores quanto em

marsupiais e que a probabilidade de ocorrência da metacomunidade de helmintos é influenciada pelo tipo de habitat em que o hospedeiro ocorre, demonstrando que os parasitos apresentam uma forte relação de ocorrência com seus hospedeiros, visto que a probabilidade de ocorrência foi maior no ambiente com maior abundância de hospedeiros. A metacomunidade de helmintos entre os três ambientes é moldada por troca e perda de espécies do ambiente mais rico para o mais pobre na riqueza de espécies, indicando que as espécies de helmintos apresentam tolerâncias ambientais que restringem sua distribuição espacial e muitas vezes se especializam em um subconjunto de espécies hospedeiras disponíveis, além de que o ambiente de menor riqueza forma um subconjunto de maior riqueza da metacomunidade. Por fim, nossa análise de rede reforça a ideia de especificidade das espécies de helmintos com seus hospedeiros, visto que ocorreu compartilhamento de helmintos apenas entre hospedeiros da mesma ordem taxonômica. Além disso, gostaríamos de reforçar a importância do uso de modelos de ocupação na ecologia de parasitos, esses modelos são cada vez mais utilizados porque reconhecem que a detecção é imperfeita e levam em consideração a incerteza nas estimativas de parâmetros de ocorrência e prevalência de parasitos, especialmente os patogênicos que representam risco a saúde humana e animal (INFANTE et al., 2022). De forma complementar, a utilização de análise de redes ecológicas ajuda a entender e avaliar os padrões de distribuição, abundância e interação entre os hospedeiros e seus parasitos (CARDOSO et al., 2018).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO, J. F. R., BOEGER, W. A., AMATO, S. B. Protocolos para laboratório – coleta e processamento de parasitos de pescado. Rio de Janeiro: **Imprensa Universitária** – UFRRJ. 1991.

ANDERSON, R. C., CHABAUD, A. G., WILLMOTT, S. Keys to the nematode parasites of vertebrates. Archival Volume. **Wallingford: CAB International**; 463 pp. 2009.

BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134–143, jan. 2010.

BASELGA, A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 12, p. 1223–1232, dez. 2012.

BASELGA, A.; ORME, C. D. L. Betapart: An R package for the study of beta diversity. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 5, p. 808–812, out. 2012.

BEHNKE, J. M. et al. Parasitic nematodes of the genus *Syphacia* Seurat, 1916 infecting Cricetidae in the British Isles: The enigmatic status of *Syphacia nigeriana*. **Parasitology**, v. 149, n. 1, p. 76–94, 5 jan. 2022.

BORDES, F. et al. Habitat fragmentation alters the properties of a host-parasite network: Rodents and their helminths in South-East Asia. **Journal of Animal Ecology**, v. 84, n. 5, p. 1253–1263, 1 set. 2015.

BOVENDORP, R. S. et al. Defaunation and fragmentation erode small mammal diversity dimensions in tropical forests. **Ecography**, v. 42, n. 1, p. 23–35, 1 jan. 2019.

BUSH, A. O.; LAFFERTY, K. D.; LOTZ, J. M.; SHOSTAK, A. W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. **The Journal of parasitology**, v. 83, n. 4, p. 575–583, ago. 1997.

CAMPIÃO, K. M. et al. Anuran helminth communities from contrasting nature reserve and pasture sites in the Pantanal wetland, Brazil. **Journal of Helminthology**, v. 91, n. 1, p. 91–96, 1 jan. 2017.

CARDOSO, T. D. S. et al. Helminth metacommunity structure of wild rodents in a preserved area of the atlantic forest, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria**, v. 27, n. 4, p. 495–504, 1 out. 2018.

CARDOSO, T. D. S. et al. Functional traits shape small mammal-helminth network: Patterns and processes in species interactions. **Parasitology**, 2021.

CARDOSO, T. S. et al. The influence of habitat fragmentation on helminth communities in rodent populations from a Brazilian Mountain Atlantic Forest. **Journal of Helminthology**, v. 90, n. 4, p. 460–468, 1 jul. 2016.

CARDOSO, T. S. et al. Helminth metacommunity of small mammals in a Brazilian reserve: the contribution of environmental variables, host attributes and spatial variables in parasite species abundance. **Community Ecology**, v. 21, n. 2, p. 159–170, 1 jul. 2020.

CIRINO, B. S. et al. First study on the helminth community structure of the neotropical marsupial metachirus myosuros (Didelphimorphia, didelphidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria**, v. 29, n. 3, p. 1–13, 2020.

COSTA, N. A. et al. Metacommunity Structure of Helminths of *Necromys lasiurus* (Rodentia: Sigmodontinae) in Different Land Use Areas in the Brazilian Cerrado. **The Journal of parasitology**, v. 105, n. 2, p. 271–282, 1 abr. 2019.

COSTA, N. A. et al. Helminths of sigmodontine rodents in an agroforestry mosaic in the Brazilian Atlantic Forest: Patterns and processes of the metacommunity structure. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, v. 18, p. 82–91, 1 ago. 2022.

COSTA-NETO, S. F. et al. 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**, v. 93, n. 6, p. 720–731, 1 nov. 2019.

DALLAS, T. A. et al. Host traits associated with species roles in parasite sharing networks. **Oikos**, v. 128, n. 1, p. 23–32, 1 jan. 2019.

DALLAS, T.; HOLIAN, L. A.; FOSTER, G. What determines parasite species richness across host species? **Journal of Animal Ecology**, v. 89, n. 8, p. 1750–1753, 1 ago. 2020.

DALLAS, T.; PRESLEY, S. J. Relative importance of host environment, transmission potential and host phylogeny to the structure of parasite metacommunities. **Oikos**, v. 123, n. 7, p. 866–874, 2014.

DE CASTRO, R. G. B. M. et al. Ecological aspects of nematode parasites of *Didelphis aurita* (Didelphimorphia, didelphidae) in urban-sylvatic habitats in Rio de Janeiro, Brazil. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 1 Special Issue, p. 54–61, 2017.

FERREIRA, E. DE C. et al. Mixed infection of *Leishmania infantum* and *Leishmania braziliensis* in rodents from endemic urban area of the New World. **BMC Veterinary Research**, v. 11, n. 1, 20 mar. 2015.

GARDNER, S. L.; CAMPBELL, M. L. Parasites as Probes for Biodiversity Source. **The Journal of Parasitology**, v.78, n. 4, p. 596–600, ago 1992.

GAY, N. et al. Parasite and viral species richness of Southeast Asian bats: Fragmentation of area distribution matters. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, v. 3, n. 2, p. 161–170, 2014.

GIBB, R. et al. Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. **Nature**, v. 584, n. 7821, p. 398–402, 20 ago. 2020.

GONÇALVES-OLIVEIRA, J. 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**, v. 13, p. 80–89, 1 dez. 2020.

GONZÁLEZ, M. T.; BARRIENTOS, C.; MORENO, C. A. Biogeographical patterns in endoparasite communities of a marine fish (*Sebastes capensis* Gmelin) with extended range in the Southern Hemisphere. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 6, p. 1086–1095, jun. 2006.

HEINO, J. et al. Metacommunity ecology meets biogeography: effects of geographical region, spatial dynamics and environmental filtering on community structure in aquatic organisms. **Oecologia**, v. 183, n. 1, p. 121–137, 1 jan. 2017.

INFANTE, J. et al. Cryptosporidium spp. and Giardia spp. in wild rodents: using occupancy models to estimate drivers of occurrence and prevalence in native forest and exotic Pinus radiata plantations from Central Chile. **Acta Tropica**, v. 235, p. 106635, nov. 2022.

HERNÁNDEZ, M. W. C. Determinación de la presencia de *Hymenolepis nana* e *Hymenolepis diminuta* en roedores sinantrópicos, en la comunidad Los Lirios, Masagua, Escuintla, Guatemala. **PhD thesis, Universidad de San Carlos**, Guatemala. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Serro, Minas Gerais, Brasil, território e ambiente. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/serro/panorama>>. Acesso em: 10, 07, 2022.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v.204, n.3, p459–473, 1 nov. 2014.

JONES, K. E. et al. Global trends in emerging infectious diseases. **Nature**, v. 451, n. 7181, p. 990–993, 21 fev. 2008.

KAMIYA, T. et al. What determines species richness of parasitic organisms? A meta-analysis across animal, plant and fungal hosts. **Biological Reviews**, v. 89, n. 1, p. 123–134, fev. 2014.

KARESH, W. B. et al. Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories. **The Lancet**, v. 380, n. 9857, p. 1936–1945, dez. 2012.

KERSUL, M. G. et al. Helminth communities of sigmonontine rodents in cocoa agroforestry systems in Brazil. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, v. 11, p. 62–71, 1 abr. 2020.

LEBRETON, J.-D. et al. Modeling Survival and Testing Biological Hypotheses Using Marked Animals: A Unified Approach with Case Studies. **Ecological Monographs**, v. 62, n. 1, p. 67–118, mar. 1992.

LEIBOLD, M. A. et al. The metacommunity concept: A framework for multi-scale community ecology. **Ecology Letters**, jul. 2004.

LEUNG, T. L. F.; KOPRIVNIKAR, J. Your infections are what you eat: How host ecology shapes the helminth parasite communities of lizards. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 3, p. 416–426, 1 mar. 2019.

MACARTHUR, R. H.; MACARTHUR, J. W. On Bird Species Diversity. **Ecology**, v. 42, n. 3, p. 594–598, jul. 1961.

MACKENSTEDT, U.; JENKINS, D.; ROMIG, T. The role of wildlife in the transmission of parasitic zoonoses in peri-urban and urban areas. *International Journal for Parasitology*. **Parasites and Wildlife**, v.4, n. 1, p-71–79, 1 abr. 2015.

MACKENZIE, D. I. et al. ESTIMATING SITE OCCUPANCY RATES WHEN DETECTION PROBABILITIES ARE LESS THAN ONE. **Ecology**. v. 83, n. 8, ago 2002.

MACKENZIE, D. I.; BAILEY, L. L. Assessing the fit of site-occupancy models. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 9, n. 3, p. 300–318, 1 set. 2004.

MORAND, S. (macro-) Evolutionary ecology of parasite diversity: From determinants of parasite species richness to host diversification. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, v. 4, n. 1, p. 80–87, 1 abr. 2015.

MORAND, S.; KRASNOV, B.; POULIN, R. *Micromammals and Macroparasites from Evolutionary Ecology to Management*. Springer Science & Business Media, 2006. 647p.

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

PALADSING, Y. et al. Helminth fauna of small mammals from public parks and urban areas in Bangkok Metropolitan with emphasis on community ecology of infection in synanthropic rodents. **Parasitology Research**, v. 119, n. 11, p. 3675–3690, 1 nov. 2020.

PANISSE, G. et al. Description of the helminth communities of sympatric rodents (Muroidea: Cricetidae) from the Atlantic Forest in northeastern Argentina. **Zootaxa**, v. 4337, n. 2, p. 243–262, 18 out. 2017.

PARDINI, R. et al. The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in an Atlantic forest landscape. **Biological Conservation**, v. 124, n. 2, p. 253–266, 2005.

PEREZ-PONCE DE LEON, G.; GARDNER, S. L.; FALCÓN-ORDÁZ, J. Phylogenetic relationships among species of *Stilestrongylus freitas*, *lent* and *almeida*, 1937 (Trichostrongyloidea: Heligmonellidae: Nippostrongylineae), parasites of myomorph rodents (Rodentia: Muridae) in the Neotropics. **Journal of Parasitology**, v. 86, n. 6, p. 1326–1335, 2000.

PIFANO, D. S. et al. Caracterização florística e fitofisionômica da Serra do Condado, Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 1, p. 55–71, mar. 2010.

POULIN, R. **Are there general laws in parasite ecology?** **Parasitology**, jun. 2007.

POULIN, R. Parasite biodiversity revisited: Frontiers and constraints. *International Journal for Parasitology*. **Elsevier**, v. 44, n. 9, p. 581–589, ago. 2014.

POULIN, R.; DICK, T. A. Spatial variation in population density across the geographical range in helminth parasites of yellow perch *Perca flavescens*. **Ecography**, v. 30, n. 5, p. 629–636, dez. 2007.

POULIN, R.; KRASNOV, B. R.; MOUILLOT, D. Host specificity in phylogenetic and geographic space. **Trends in Parasitology**, v. 27, n. 8, p. 355–361, ago. 2011.

POULIN, R.; RANDHAWA, H. S. Evolution of parasitism along convergent lines: From ecology to genomics. **Parasitology**, v. 142, p. 6–15, 10 fev. 2015.

PRESLEY, S. J.; HIGGINS, C. L.; WILLIG, M. R. A comprehensive framework for the evaluation of metacommunity structure. **Oikos**, v. 119, n. 6, p. 908–917, jun. 2010.

PREFEITURA DE SERRO. Aspectos gerais. 2022. Disponível em: <<https://www.serro.mg.gov.br/portal/servicos/1001/aspectos-gerais/>>. Acesso em: 10, julho, 2022.

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 1 out. 2018.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. Em: **Biodiversity Hotspots**. [s.l.] **Springer Berlin Heidelberg**, 2011. p. 405–434.

RICHGELS, K. L. D.; HOVERMAN, J. T.; JOHNSON, P. T. J. Evaluating the role of regional and local processes in structuring a larval trematode metacommunity of *Helisoma trivolvis*. **Ecography**, v. 36, n. 7, p. 854–863, jul. 2013.

SILVA, G. M. Helmintos de *Didelphis albiventris* Lund, 1841, capturados em Belo Horizonte, Minas Gerais: frequências, intensidades médias, associações parasitárias e aspectos morfológicos com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura. Belo Horizonte. Brasil. Instituto de Ciências Biológicas UFMG. 1995.

SIMÕES, R. 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 Helminthology**, v. 84, n. 3, p. 266–275, set. 2010.

SIMÕES, R. O. et al. Variation in the helminth community structure of three sympatric sigmodontine rodents from the coastal Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Helminthology**, v. 85, n. 2, p. 171–178, jun. 2011a.

SLADE, N. A.; BLAIR, S. M. AN EMPIRICAL TEST OF USING COUNTS OF INDIVIDUALS CAPTURED AS INDICES OF POPULATION SIZE. **Journal of Mammalogy**, v. 81, n. 4, p. 1035–1045, nov. 2000.

THOMPSON, R. C. A. Neglected zoonotic helminths: *Hymenolepis nana*, *Echinococcus canadensis* and *Ancylostoma ceylanicum*. **Clinical Microbiology and Infection**, v.21, n.5, p. 426–432, 1 maio 2015.

TRAVASSOS, L., FREITAS, J. F. T., KOHN, A. Trematódeos do Brasil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**. 67: 1-886, 1969.

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**, v. 22, n. 4, p. 517–530, abr. 2007.

VICENTE, J. J., RODRIGUES, H. O., GOMES, D. C., PINTO, R. M. Nematóides do Brasil. Parte V: Nematóides de mamíferos. **Revista Brasileira de Biologia**. Supl.1, v. 14, p. 1-452. 1997.

WHITE, G. C.; BURNHAM, K. P. Program mark: Survival estimation from populations of marked animals. **Bird Study**, v. 46, p. S120–S139, 1 jan. 1999.

YAMAGUTI, S. *Systema Helminthum* vol. 2: the Cestodes of Vertebrates. – N. Y.; L., 1959.

YAMAGUTI, S. *Systema Helminthum*. The Nematodes of Vertebrates. New York: Interscience Pub. Inc.; 1961. 679 pp.