



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**ELVIS FRANKLIN FERNANDES DE CARVALHO**

**RELAÇÕES ENTRE O USO DO SOLO E SUPRACOMUNIDADES  
ENDOPARASITÁRIAS NO NORDESTE BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2024**

ELVIS FRANKLIN FERNANDES DE CARVALHO

RELAÇÕES ENTRE O USO DO SOLO E SUPRACOMUNIDADES  
ENDOPARASITÁRIAS NO NORDESTE BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Robson Waldemar Ávila.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C322r Carvalho, Elvis Franklin Fernandes de.

Relações entre o uso do solo e supracomunidades endoparasitárias no nordeste brasileiro / Elvis Franklin Fernandes de Carvalho. – 2024.

89 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Robson Waldemar Ávila.

1. Lagartos. 2. Helminhos. 3. Agricultura. 4. Unidade de conservação. I. Título.

CDD 577

---

ELVIS FRANKLIN FERNANDES DE CARVALHO

RELAÇÕES ENTRE O USO DO SOLO E SUPRACOMUNIDADES  
ENDOPARASITÁRIAS NO NORDESTE BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovado em 28/06/2024

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Robson Waldemar Ávila (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Déborah Praciano de Castro  
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

---

Profa. Dra. Renata Perez Maciel  
Núcleo Regional de Ofiologia (NUROF-UFC)

---

Dra. Cristiana Ferreira da Silva  
Núcleo Regional de Ofiologia (NUROF-UFC)

---

Prof. Dr. Drausio Honório Morais  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

---

Prof. Dr. Igor Joventino Roberto  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

À minha mãe Maria Eliane e ao meu pai Francisco Franciné, os quais se esforçaram para possibilitar minha educação.

A todos os meus ancestrais e familiares atuais que por motivos injustos e independente de suas vontades, não continuaram seus estudos na educação formal. Em vossa homenagem, trago o primeiro título de doutorado para nossa família, e que este não seja o último.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Agradecimentos ao Professor Robson Ávila, por ter confiado em mim e por tantos momentos maravilhosos de aprendizado e diversão dentro e fora do âmbito acadêmico. Agradeço a ele, cuja minha admiração aumentou ao longo dos anos e o qual carinhosamente chamo de “Papis”. Conte sempre comigo!

À minha comadre Ana Carolina Brasileiro, por ter confiado em mim para trabalharmos juntos com os dados parasitológicos dos lagartos de sua tese. Muitíssimo obrigado pela parceria em campo, na produção científica e na vida, você é incrível. Agradecimentos estendidos a todos os membros das expedições de campo para coleta dos lagartos hospedeiros: Silmara, Silvilene, Ricardo, José, Vionato, Lucas, compadre Frede, Luan, Heitor, Caike e Dionísio, muitíssimo obrigado.

Ao Professor Francisco Thiago e toda a equipe do Laboratório de Biologia Celular e Helminologia “Profa. Dra. Reinalda Marisa” da Universidade Federal do Pará, pelo acolhimento, ensinamentos e ajuda na identificação de helmintos parasitos.

À minha grande parceira, Castiele Bezerra, uma pessoa muito inteligente e cheia de amor. Me ensinou sobre ecologia, estatística e sobre fitoterapia, além compartilhar muitas aventuras de vida. Vivi muitos momentos perfeitos ao seu lado e esse doutorado seria completamente diferente sem ela. Levarei essa amizade acesa para sempre. Ao incrível amigo Rafael Ramos, uma pessoa de coração imenso, tão grande quanto o de uma boa mãezinha. Uma amizade que foi do entorço ao amor com o passar dos anos, uma companhia maravilhosa em coletas de campo, em laboratório e em festinhas. Me ajudou com estatística, com elaboração de ideias e com uma grande parceria fora do âmbito acadêmico. Outra amizade que levarei vívida para sempre.

A todas as pessoas que conviveram comigo no Núcleo Regional de Ofiologia NUROF-UFC durante meu doutoramento, todas tiveram sua parcela de significância no meu processo. Agradecimentos especialmente carinhosos a Matheus Calixto, à Inessa Maia e à Yasmin Benício que me ajudaram no processo de montagem de lâminas para identificação dos parasitos da tese. À Renata Perez pelos importantes ensinamentos e contribuições científicas, aos momentos divertidos de

trocas de informações e almoços deliciosos. Agradecimentos também à Roberta Braga, aquela que sabe muito sobre diversas coisas, sempre contribuindo com seus conhecimentos em medicina veterinária, parasitologia e comidas deliciosíssimas. À Déborah Praciano que esteve avaliando meu desenvolvimento desde a elaboração do projeto até a defesa de tese, suas considerações são brilhantes, assim como você. À Cristiana Ferreira, que na qualificação juntamente às demais membras da banca, Déborah e Renata contribuiu para o melhoramento desta tese.

O início deste doutorado coincidiu com o início e as piores fases da pandemia de Covid-19, neste período, sobrevivemos apoiando uns aos outros mesmo que a distância, somos sobreviventes. Nesse contexto, agradeço à minha turma de pós-graduação, nossas trocas e apoio foram muito importantes nos períodos tenebrosos de pandemia e disciplinas. Agradeço a Iury Viana, hoje um amigo e uma pessoa ótima com qual morei por cinco meses de isolamento social durante o início da pandemia. Compartilhamos muito da vida e seu apoio foi fundamental tanto para seguir no doutorado quanto para a vida em geral.

Agradeço ao meu amor, Gabriel Maciel, quem nos momentos de insegurança esteve sempre ao meu lado me incentivando continuar.

## RESUMO

O parasitismo desempenha um papel fundamental nos ecossistemas, representando um modo de vida essencial para o funcionamento das redes tróficas. Por este motivo, o estudo aprofundado dessa relação ecológica é necessário, dada a complexidade inerente a esse modo de vida e às suas interações com os demais organismos associados. Nesse contexto, as atividades humanas, em particular a agricultura, emergem como potenciais ameaças ao meio ambiente, com possíveis impactos sobre os diversos modos de vida, incluindo o parasitismo. Diante desse entendimento, a presente tese visou investigar de que maneira as práticas agrícolas humanas podem afetar as comunidades de parasitos. Para abordar essa questão, propusemos a utilização de endoparasitos associados a lagartos como modelos de estudo. Os endoparasitos destacam-se como modelos de estudo adequados devido a seu habitat no interior dos corpos das populações hospedeiras, permitindo investigações em diversos níveis de organização, com terminologia especializada que integra aspectos de ecologia e parasitologia. Os lagartos são comumente escolhidos como modelos de estudo para os hospedeiros, dada sua participação multifacetada na teia alimentar, desempenhando papéis tanto como predadores quanto como presas. Além disso, a abundância populacional e os variados hábitos de vida desses animais os tornam opções viáveis para investigações em diferentes ambientes ecossistêmicos. As coletas de dados para esta pesquisa foram conduzidas em três unidades de conservação e suas adjacências, localizadas na região Nordeste do Brasil. Especificamente, a Estação Ecológica de Aiuaba e o Parque Nacional de Ubajara, ambos situados no estado do Ceará, além do Parque Nacional de Sete Cidades, localizado no estado do Piauí. Os resultados apresentados nesta tese destacam os impactos da agricultura sobre as comunidades de parasitos, evidenciando declínios populacionais em casos de ciclos de vida heteroxênicos. Além disso, abrangem a riqueza de espécies parasitas associadas a lagartos nas áreas de coleta, incluindo os predadores parasitológicos. Adicionalmente, são apresentados novos registros de infecções parasitárias em relação às espécies estudadas. A estrutura desta tese divide-se em quatro seções: 1) Introdução geral, que apresenta o referencial teórico e a justificativa do estudo do parasitismo diante de perturbações antrópicas, incluindo definições gerais relacionadas ao parasitismo, com enfoque em répteis, e os motivos para as escolhas de modelos e áreas de estudo; 2) Descrição da riqueza de espécies



parasitas associadas aos hospedeiros nas áreas de estudo, com inclusão de novos registros de infecções e discussão sobre a importância de levantamentos faunísticos para parasitos, especialmente em áreas preservadas; 3) Análise da influência da agricultura em comunidades parasitárias; 4) Síntese e conclusão, propondo uma reflexão sobre os principais resultados obtidos, o desenvolvimento do trabalho e perspectivas para futuras investigações.

**Palavras-chave:** lagartos; helmintos; agricultura; unidade de conservação.

## **ABSTRACT**

Parasitism plays a key role in ecosystems, representing a crucial way of life for trophic networks functioning. In this context, a comprehensive study of this ecological relationship is necessary, given the inherent complexity of this way of life and its interactions with other associated organisms. Hence, human activities, particularly agriculture, emerge as potential threats to the environment, with possible impacts on several ways of life, including parasitism. Given this consideration, this thesis aims to investigate how human agricultural practices may affect parasitism. To address this question, we propose using lizard endoparasites as study models. Endoparasites are intriguing study models due to their location within host populations, allowing investigations at various organization levels, with specialized terminology that integrates aspects of ecology and parasitology. Lizards are considered study models for hosts due to their multifaceted roles in the food web, acting as both predators and prey. Additionally, the population abundance and varied lifestyles of these animals make them viable options for investigations in different ecosystem environments. Data collection for this research was conducted in three conservation units and their surroundings, located in the Northeast region of Brazil. Specifically, the Aiuaba Ecological Station and Ubajara National Park, both located in the state of Ceará, and the Sete Cidades National Park, located in the state of Piauí. The results presented in this thesis highlight the impacts of agriculture on parasite communities, demonstrating population declines in cases of heteroxenous life cycles. Furthermore, encompass the richness of parasitic species associated with lizards in the collection areas, followed by identified parasitological predictors. Additionally, new records of parasitic infections related to the studied species are presented. The structure of this thesis is divided into four sections: 1) General introduction, presenting the theoretical framework and justification for the study of parasitism in the face of anthropogenic disturbances, including general definitions related to parasitism, with a focus on reptiles, and the reasons for the choices of models and study areas; 2) Description of the richness of parasitic species associated with hosts in the study areas, including new records of infections and a discussion of the importance of faunal surveys for parasites, especially in preserved areas; 3) Analysis of the influence of agriculture on parasitic communities; 4) Synthesis and conclusion, proposing a reflection on the main results obtained, the development of the work, and prospects for future research.

**Keywords:** lizards; heminths; agriculture; protected areas.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>11</b>
1.1	Processos gerais em comunidades parasitárias.....	11
1.2	Quem são os lagartos e por que estudar seus parasitos é importante?.....	14
1.3	Como a agricultura pode afetar comunidades de parasitos?.....	16
1.4	Por que este estudo foi feito em unidades de conservação e entorno?.....	17
1.5	Estrutura da tese.....	17
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 1: DIVERSIDADE DE ENDOPARASITOS METAZOÁRIOS ASSOCIADOS A LAGARTOS (SQUAMATA, LACERTILIA) EM TRÊS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ARREDORES NO NORDESTE DO BRASIL.....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 2: COMO O USO DA TERRA PARA AGRICULTURA AFETA A ABUNDÂNCIA E PREVALÊNCIA DE HELMINTOS MONOXÊNICOS E HETEROXÊNICOS NO LAGARTO GENERALISTA <i>Tropidurus hispidus</i>.....</b>	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>82</b>
4.1	Qual foi o problema investigado?.....	82
4.2	Quais foram os principais achados?.....	82
4.3	Quais são as principais implicações teóricas e aplicadas do estudo?.....	83
4.4	Quais foram as principais limitações do estudo?.....	84
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

## 1- INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 Processos gerais em comunidades parasitárias

Durante muito tempo, o estudo do parasitismo foi predominantemente conduzido por especialistas na área, recebendo menos atenção em pesquisas ecossistêmicas (Scholz and Choudhury, 2014). No entanto, essas formas de vida desempenham um papel crucial para o equilíbrio das redes tróficas e requer uma compreensão mais aprofundada (HUDSON, P., 2005). Um exemplo que destaca sua importância envolve a utilização de modelos matemáticos para prever o impacto do parasitismo e da predação nas interações tróficas, onde Packer et al (2003) constataram que os parasitos desempenham uma função fundamental, juntamente com os predadores na regulação da população das presas. Neste estudo, foi verificado que se os predadores forem retirados da cadeia trófica, a população é controlada pelos parasitas. Curiosamente, os predadores também se beneficiam do parasitismo, uma vez que presas infectadas podem se tornar mais suscetíveis à predação (HATCHER; DICK; DUNN, 2006).

Dada a relevância do parasitismo para o ambiente, é pertinente abordar as diversas formas em que esse modo de vida pode ocorrer, pelo menos de maneira geral neste documento. Iniciando-se com a definição de organismo parasito, conforme descrito em um dos principais livros-texto de ecologia. Nele, parasito é caracterizado como "um organismo que obtém seus nutrientes de um ou de muito poucos indivíduos hospedeiros, geralmente causando danos, mas sem provocar a morte imediata" (Begon and Townsend, 2020). Assim, temos uma noção geral de parasito como um ser vivo que depende de outro para sobreviver, normalmente causando malefícios.

No entanto, é importante ressaltar a complexidade da relação parasitária, visto que nem todo indivíduo parasitado necessariamente apresenta doença e ainda há aqueles que causam a morte do hospedeiro como parte dos complexos ciclos de vida (Parker *et al.*, 2003). Destaca-se a importância da observação de sintomas clínicos como indicadores da patogenicidade do parasito (Begon and Townsend, 2020). Além disso, há indícios de que a exposição a parasitos helmintos possa ser benéfica para o organismo infectado. Em seres humanos,

por exemplo, a infecção por helmintos está relacionada a um sistema imune mais eficaz para uma determinada doença (mais detalhes em WEINSTOCK; ELLIOTT, 2009). Portanto, torna-se evidente que a dinâmica do parasitismo não é simples, e seu estudo pode abranger uma ampla gama de interações devido às diversas particularidades e à diversidade dos organismos parasitos.

Dentro da vasta diversidade de organismos parasitos, este estudo concentra-se nos metazoários, ou seja, seres multicelulares, animais. Especificamente, serão abordados os endoparasitos, que, por definição, residem no interior dos corpos dos hospedeiros. Endoparasitos são encontrados em vários grupos de organismos, desde invertebrados, como moluscos que podem ser parasitados por trematódeos cujos alteram seu comportamento para completar o ciclo de vida, até vertebrados, como os répteis, incluindo lagartos (organismos hospedeiros em foco neste estudo, abordados mais detalhadamente posteriormente) (Usmanova *et al.*, 2023). Entre os endoparasitos que frequentemente ocorrem em lagartos, incluem-se aqueles dos filos Nematoda Potts, 1932, Acanthocephala Kohltreuther, 1771 e Platyhelminthes Gegenbaur, 1859 (classes Trematoda Rudolphi, 1808 e Cestoda Rudolphi, 1808) e Arthropoda von Siebold, 1848 (classe Eupentastomida Waloszek, Repetski & Maas, 2006) (Ávila and Silva, 2010; Lacerda *et al.*, 2023; McAllister, 2024). Cada táxon apresenta suas peculiaridades e compartilha uma história evolutiva única com seus respectivos hospedeiros. Por exemplo, pentastomídeos são encontrados parasitando pulmões, assim como espécies de nematoides do gênero *Rhabdias*. Esses organismos embora pertençam a grupos taxonômicos distintos (Nematoda e Pentastomida), possuem adaptações para viver no mesmo tipo de habitat sendo os lagartos seus hospedeiros definitivos (Riley, 1986; Morais *et al.*, 2020). Por outro lado, acantocéfalos são comumente encontrados encapsulados nas cavidades celomáticas de lagartos, indicando que esses animais não são seus hospedeiros definitivos (Nikishin and Skorobrekhova, 2019).

A definição de hospedeiro definitivo, bem como de hospedeiro intermediário ou paratênico, está relacionada aos diferentes tipos de ciclos de vida dos parasitas. Deste modo, é possível classificá-los em duas categorias distintas: os monoxênicos e os heteroxênicos. Os primeiros estabelecem uma

transmissão direta entre hospedeiros, também conhecida como ciclo de vida direto. Nesse caso, o hospedeiro é denominado definitivo, uma vez que o parasito adulto é nele encontrado e lá completa seu ciclo de vida. Em contraste, há parasitos que requerem que uma forma imatura de seu desenvolvimento seja transportada até o hospedeiro definitivo por meio de outro hospedeiro. Esses são chamados de hospedeiros intermediários, nos quais os parasitos não finalizam seu ciclo de vida, mas são essenciais para o sucesso reprodutivo. Esse tipo de ciclo de vida também é denominado indireto. Adicionalmente, existem os hospedeiros paratênicos, ou hospedeiros transportadores ou ainda acidentais. Nesse caso, o parasito pode infectar um organismo, mas o hospedeiro não faz parte de seu ciclo de vida. Nessas situações, o parasito pode encapsular-se e/ou desenvolver-se no hospedeiro, mas não atinge a forma adulta para completar seu ciclo de vida. Todas as definições aqui supracitadas podem ser consultadas com mais detalhes no livro “Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission” (Anderson, 2000).

Ainda considerado o ciclo de vida, há os diferentes modos de infecção, e estes desempenham um papel fundamental nas complexas relações ecológicas do parasitismo. Por exemplo, há espécies de parasitos que apresentam larvas com capacidade de penetração ativa através da pele do hospedeiro (como espécies do gênero *Rhabdias*). Mas também há aquelas que são transmitidas através de ovos infectantes que são ingeridos pelos hospedeiros (como cestódeos, por exemplo) (Anderson, 2000). O êxito ou fracasso da infecção pode exercer impactos significativos nas comunidades de parasitos, influenciando diretamente as dinâmicas ecológicas (Telfer and Bown, 2012). Por exemplo, atividades humanas, tais como agricultura, podem interferir nas populações de hospedeiros intermediários, impulsionando a taxas distintas de comunidades parasitas mono ou heteroxênicas de acordo com o ambiente de vida do hospedeiro (Bordes *et al.*, 2015; Brasileiro and Carvalho, 2023).

Visto que parasitos participam de formas variadas do funcionamento do ecossistema, em estudos com ecologia de comunidades, os endoparasitos representam interessantes modelos de estudos. Isto devido a suas populações estarem no interior do hospedeiro, podendo ser estudadas em alguns níveis de organização e com terminologia própria, unindo ecologia e parasitologia (Aho,

1990; Bush *et al.*, 1997). Estes níveis incluem: indivíduo hospedeiro no qual o conjunto de endoparasitos é denominado infracomunidade; população hospedeira: na qual o conjunto de endoparasitos denomina-se comunidade componente; assembleia (que é um conjunto de espécies filogeneticamente relacionadas na mesma comunidade), na qual o conjunto de espécies de endoparasitos é denominado supracomunidades (Bush *et al.*, 1997; Magurran, 2004; Guégan, Morand and Poulin, 2007). Embora o número de estudos esteja em ascensão, ainda há a busca pelo entendimento de como se estruturam supracomunidades de parasitos em vertebrados terrestres, como em répteis, incluindo lagartos (GOLDBERG *et al.*, 2009; MAIA-CARNEIRO *et al.*, 2018).

## **1.2 Quem são os Lagartos e por que estudar seus parasitos é importante?**

O termo “lagarto” é uma denominação coloquial que inclui os répteis escamados (Squamata) da subordem Lacertilia (Pough *et al.*, 2023). Este grupo apresenta uma grande variedade de morfologias, hábitos e dieta variada. Com esta diversidade de hábitos de vida e dieta, as possibilidades de infecção por parasitos de ambos os ciclos de vida pode ocorrer (Leung and Koprivnikar, 2019). A investigação destas relações complexas pode fornecer informações importantes sobre a dinâmica ecológica e evolutiva das interações (Scott, 2023). Outro aspecto interessante ao utilizar lagartos como modelos de estudo é que esses animais, dependendo da espécie, frequentemente apresentam populações robustas e comunidades complexas (Pianka, 1973). Com isto, os estudos ecológicos que incluem a coleta, quando conduzidos adequadamente, não afetam de maneira significativa as populações naturais desses animais. (Poe and Armijo, 2014).

Os lagartos como componentes importantes da teia alimentar, podem atuar como predadores, mas também como presas. O papel destes organismos como hospedeiros intermediários também pode ser investigado no contexto do ecossistema natural e na interação com seres humanos (Mendoza-Roldan, Modry and Otranto, 2020). Por exemplo, parasitos cestódeos do gênero *Sparganum* spp., podem ser transmitidos para seres humanos através da ingestão de carne de répteis, como lagartos, assim como pentastomídeos, representando zoonoses (Mendoza-Roldan, Modry and Otranto, 2020). As



possibilidades de estudos utilizando parasitos de lagartos são grandes, indo desde composição e taxonomia a modelos de infecção e coevolução, isto devido a riqueza de grupos que utilizam lagartos como hospedeiros (Ávila and Silva, 2010).

Em geral, a estrutura das comunidades (padrões de riqueza, diversidade, prevalência etc.) de parasitos pode estar relacionada a fatores ligados aos hospedeiros, aos próprios parasitos além de ambientais (Anderson and Sukhdeo, 2010). Como exemplo dos aspectos relacionados aos hospedeiros, estão a riqueza de espécies hospedeiras, tamanho do corpo dos hospedeiros, hábito, habitat, composição da dieta, e relações filogenéticas (BRITO *et al.*, 2014b; CAMPIÃO *et al.*, 2016; MARTIN *et al.*, 2005; POULIN & VALTONEN, 2001; RIBAS *et al.*, 1998; SILVA-NETA & ÁVILA, 2018).

Além dos fatores ligados ao hospedeiro, as características dos próprios parasitos são fatores influentes para a composição das comunidades de parasitos, tal como o tipo de ciclo de vida que pode ser monoxênico ou heteroxênico (Aho, 1990; Goater, Goater and Esch, 2014). Parasitos de ciclo de vida monoxênico podem apresentar maiores taxas de prevalência em grupos de lagartos, uma suposição para isso é a ausência de fase larval o que pode facilitar a infecção (Araujo Filho *et al.*, 2020). Já os com ciclo de vida heteroxênico, como os da classe Trematoda, que possuem hospedeiros intermediários ligados a ambientes úmidos, apresentam menores taxas parasitárias em organismos com hábitos mais terrestres ou em ambientes mais secos (Bolek, Detwiler and Stigge, 2019). Desta forma, parasitos com este tipo de ciclo de vida, podem apresentar um aumento de abundância durante a estação chuvosa, na qual há maior disponibilidade de certos grupos de artrópodes utilizados na dieta e que atuam como hospedeiros intermediários (Da Silva *et al.*, 2019).

Quanto aos fatores ambientais que estão associados à composição e estrutura das comunidades de parasitos, estão a sazonalidade, grau de preservação, uso e umidade do ambiente (POULIN, 2020; CARDOSO *et al.*, 2016; FILHO *et al.*, 2017; PORTELA *et al.*, 2020). Estas características do meio ambiente estão relacionadas principalmente com a dispersão dos parasitos. Como já mencionado, determinadas fases do ciclo de vida de parasitos são favorecidas pelas condições do ambiente (Goater, Goater and Esch, 2014).

A partir dos dados obtidos com estes estudos, modelos ecológicos mais apropriados podem ser utilizados visando melhor entendimento das relações de parasitismo. Um exemplo é a utilização de lagartos como modelos de estudo para malária (Schall, 1990). Além disso, os modelos ecológicos podem ajudar tanto a entender as relações ecológicas atuais quanto a prever como podem ser afetadas futuramente. Um exemplo são as mudanças climáticas, cujos efeitos podem afetar a prevalência de determinadas espécies sensíveis à temperatura levando a alterações que podem causar desequilíbrios em todo o ecossistema (Poulin and Mouritsen, 2006).

### **1.3 Como a agricultura pode afetar comunidades de parasitos?**

Dentre as principais ameaças à biodiversidade estão as atividades humanas, principalmente a fragmentação de habitat causada por atividades agrícolas afetando desde microrganismos a vertebrados de grande porte (ELLIS *et al.*, 2010). Para helmintos parasitos, a estrutura e a composição das comunidades em aspectos como abundância, prevalência e intensidade podem sofrer interferência devido a estas perturbações (CARDOSO *et al.*, 2016; CARLSON *et al.*, 2017; PORTELA; DOS SANTOS; DOS ANJOS, 2020). Parasitos com ciclo de vida heteroxênicos, por exemplo, necessitam de um ambiente mais complexo e diverso para que suas formas intermediárias cheguem com sucesso ao hospedeiro final (Anderson, 2000). Desta forma, um ambiente mais rico em parasitos heteroxênicos pode refletir um ambiente mais saudável (Hudson, Dobson and Lafferty, 2006). Contudo, este tipo de parasito pode ser um dos mais sensíveis a perturbações antrópicas, suas populações podem sofrer declínio ou crescimento desproporcional em função das alterações ambientais (Kiene *et al.*, 2021; Brasileiro and Carvalho, 2023).

A agricultura convencional pode afetar o ciclo de vida de parasitos através dos subprodutos, tais como defensivos agrícolas (King *et al.*, 2010). Estes defensivos pulverizados nas áreas cultivadas afetam não só artrópodes, mas também outros organismos de vida livre, podendo permanecer no ambiente contaminando o solo localmente ou serem transportados através da água superficial e subterrânea (Gliessman, 2002; Kumari, Madan and Kathpal, 2008). A presença de compostos químicos como carbamatos, organofosforados e

piretróides nestes defensivos afetam não só os alvos danosos às plantações, mas também diversas espécies benéficas que estariam presentes na cadeia trófica, atuando como presas e hospedeiros intermediários para parasitos heteroxênicos, diminuindo assim sua riqueza e abundância em áreas agrícolas (Isenring, 2010; Brasileiro and Carvalho, 2023). Outro malefício dos compostos químicos é a diminuição da imunidade do hospedeiro, elevando os níveis de infecção como abundância total de parasitos nos indivíduos hospedeiros perturbando o equilíbrio das interações ecológicas (Rohr *et al.*, 2008).

#### **1.4 Por que este estudo foi feito em unidades de conservação e entorno?**

Unidades de conservação são importantes áreas protegidas por lei que desempenham diversos papéis na conservação de ecossistemas (Ramade, 2003). No Brasil, a Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 institui o sistema nacional de unidades de conservação na natureza, essas são áreas protegidas cujo objetivo é a preservação dos recursos naturais brasileiros (BRASIL 2000). As unidades de conservação (UC's) no Brasil podem permitir a utilização de recursos naturais, como as reservas extrativistas ou de proteção integral tais como os parques nacionais e estações ecológicas, abordadas neste trabalho.

As unidades de conservação são cruciais para a preservação da biodiversidade e a manutenção do equilíbrio ecológico (Ramade, 2003). Elas desempenham um papel significativo na manutenção da diversidade de espécies, bem como na preservação de serviços ecossistêmicos como purificação do ar e da água e lazer (Hummel *et al.*, 2019). Podendo, deste modo, serem consideradas refúgios de biodiversidade (Llorente-Culebras *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022). Estas áreas, enquanto refúgios, podem representar a diversidade taxonômica, genética e funcional das localidades estudadas. Deste modo, investigar a biodiversidade associada a unidades conservação pode fornecer informações importantes sobre a biodiversidade, ajudando a compreender as relações ecológicas adjacentes a biodiversidade local.

#### **1.5 Estrutura da tese**

Com base no contexto teórico apresentado, compreendemos que as atividades humanas de uso do solo desencadeiam perturbações nos

ecossistemas e estas podem afetar diversos grupos de organismos. Diante disto, é importante entender de que modo se dão estas perturbações. Nesse contexto este trabalho concentra-se nas comunidades de endoparasitos metazoários associados a lagartos em unidades de conservação de proteção integral e entorno. Serão investigados, no geral, a riqueza de espécies parasitas presentes nas assembleias de lagartos das áreas amostrais, a estrutura das suas supracomunidades e a influência do uso de solo sobre elas. Deste modo a grande pergunta desta tese é “De que forma atividades agrícolas afetam parasitos de lagartos?”.

Endoparasitos são animais muito pequenos, muitas vezes microscópicos e a primeira coisa a ser feita em trabalhos como este é identificação o mais acurada possível para então serem feitas as análises estatísticas e inferências ecológicas. Portanto, a presente tese, que é dividida em dois capítulos, traz no primeiro os resultados de riqueza espécies de parasitos nos locais de estudo. Nesse capítulo uma lista de espécies de parasitos e seus respectivos hospedeiros nos locais amostrados é apresentada incluindo suas taxas de abundância, prevalência, intensidade e amplitude de infecção. Deste modo, não são feitas comparações ou análises estatísticas devido as particularidades inerentes às espécies hospedeiras e locais de amostragem, podendo levar a vieses nas interpretações. Portanto, são discutidos os resultados mais relevantes com enfoque na importância de levantamentos faunísticos apresentados também novos registros de infecção.

No segundo capítulo, investigamos como o uso do solo em atividades agrícolas afeta as comunidades parasitárias. Para isto, foram utilizados dados de uma única espécie hospedeira com o intuito de diminuir as interferências oriundas das particularidades de cada espécie hospedeira. Além disso, a espécie utilizada é abundante nas áreas amostradas possibilitando N amostral para as análises estatísticas. Ela ainda possui hábitos alimentares generalistas, característica importante para a aquisição de determinados tipos de parasitos.

**2- CAPÍTULO 1: DIVERSIDADE DE ENDOPARASITOS METAZOÁRIOS ASSOCIADOS A LAGARTOS (SQUAMATA, LACERTILIA) EM TRÊS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ARREDORES NO NORDESTE DO BRASIL**

Capítulo apresentado na forma de artigo segundo as normas do periódico Neotropical Heminthology ISSN: 1995-1043. Artigo aceito em 21/05/2024.

**DIVERSITY OF METAZOAN ENDOPARASITES ASSOCIATED WITH LIZARDS  
(SQUAMATA, LACERTILIA) IN THREE PROTECTED AREAS AND THEIR  
SURROUNDING ZONES IN NORTHEASTERN BRAZIL**

**DIVERSIDAD DE ENDOPARÁSITOS METAZOARIOS ASOCIADOS A LAGARTIJAS  
(SQUAMATA, LACERTILIA) EN TRES UNIDADES DE CONSERVACIÓN Y ÁREAS  
ALEDAÑAS EN EL NORDESTE DE BRASIL**

Elvis Franklin Fernandes de Carvalho<sup>1\*</sup>; Ana Carolina Brasileiro<sup>1</sup> & Robson Waldemar  
Ávila<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Departamento de  
Biologia, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, CEP 60440-  
900, Brasil.

Running Head: Metazoan Endoparasite Diversity in Lizards in Northeastern Brazil

\* Corresponding author: [elvis\\_ffc@hotmail.com](mailto:elvis_ffc@hotmail.com)

Elvis Franklin Fernandes de Carvalho: orcid: 0000-0002-6604-6154

Ana Carolina Brasileiro: orcid: 0000-0002-5929-941X

Robson Waldemar Ávila: orcid: 0000-0003-3641-8321

## RESUMEN

La región Neotropical alberga una rica biodiversidad de reptiles, especialmente lagartijas. Sin embargo, la investigación sobre la riqueza de parásitos en lagartijas brasileñas todavía tiene muchas lagunas. Los parásitos desempeñan un papel crucial en los ecosistemas, y son necesarios estudios precisos para describir su riqueza y composición de especies. La fragmentación del hábitat causada por actividades humanas amenaza la biodiversidad, incluidos los parásitos. En este contexto, las áreas protegidas desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad. Nuestro objetivo es describir la diversidad de endoparásitos metazoarios (helmintos y pentastomátidos) en lagartijas dentro de tres áreas protegidas en el noreste de Brasil: la Estación Ecológica de Aiuaba (Caatinga), el Parque Nacional de Sete Cidades (Cerrado) y el Parque Nacional de Ubajara (Brejo de altitud y Caatinga), incluidas las áreas circundantes. Recolectamos 690 lagartijas representando 23 especies. Registramos 34 taxones de parásitos, incluyendo nematodos (28), trematodos (2), cestodos (2), acantocéfalos (1) y pentastomátidos (1). Entre ellos, registramos parásitos comúnmente asociados con lagartijas, como *Strongyluris oscaris*, y parásitos raros, como *Brevimulticaecum* sp. y *Typhlonema* sp. También observamos la presencia de trematodos exclusivamente en áreas de brejo de altitud. Este estudio contribuye a comprender el parasitismo en lagartijas en la región Neotropical, presentando 21 nuevos registros de infección. Además, sugiere que los trematodos pueden estar relacionados con la humedad ambiental, enfatizando la importancia de los estudios faunísticos para la diversidad de parásitos.

**Palabras clave:** Helmintos – Pentastomida - levantamiento faunístico

## ABSTRACT

The Neotropical region harbors a rich reptile biodiversity, especially lizards. However, research on parasite richness in Brazilian lizards still has many gaps. Parasites play a

crucial role in ecosystems, and accurate studies are necessary to describe their richness and species composition. Habitat fragmentation caused by human activities threatens biodiversity, including parasites. In this context, protected areas play a fundamental role in biodiversity conservation. We aim to describe the diversity of metazoan endoparasites (helminths and pentastomids) in lizards within three protected areas in Northeast Brazil: Aiuaba Ecological Station (Caatinga), Sete Cidades National Park (Cerrado), and Ubajara National Park (Highland marsh and Caatinga), including surrounding areas. We collected 690 lizards representing 23 species. We recorded 34 parasite taxa, including nematodes (28), trematodes (2), cestodes (2), acanthocephalans (1), and pentastomids (1). Among them, we recorded parasites commonly associated with lizards, such as *Strongyluris oscaris*, and rare parasites, such as *Brevimulticaecum* sp. and *Typhlonema* sp. We also observed the presence of trematodes exclusively in highland marsh areas. This study contributes to understanding lizard parasitism in the Neotropical region, presenting 21 new infection records. Additionally, it suggests that trematodes may be related to environmental humidity, emphasizing the importance of faunal surveys for parasite diversity.

**Keywords:** Helminths – Pentastomida - faunal survey



## Introduction

The Neotropical region is one of the most biodiverse on the planet, with Brazil being a biodiversity hotspot with ecosystems supporting a vast array of plant and animal species, many of which are endemic (Myers *et al.*, 2000; Zachos & Habel, 2011; Antonelli, 2022). It harbors the third-largest richness of reptile species globally, and the Northeast region is the second richest in the country, hosting 413 species and subspecies, including 137 lizard species (Squamata, Lacertilia) (Guedes, Entiuspe-Neto & Costa, 2023). However, only 56 lizard species in the region (approximately 40%) have been investigated in parasitological studies (Lacerda *et al.*, 2023).

Considering that parasites are important components of ecosystems and exhibit great diversity (Poulin & Morand, 2000), taxonomic studies, geographic distribution analyses, and host interaction investigations are crucial (Poulin & Mouillot, 2003; Bozick & Real, 2015). To better explore this diversity, accurate identifications are essential to avoid underestimating parasite richness (Poulin, 2019). Thus, with the application of modern microscopy techniques, faunal surveys contribute to redescrptions and the discovery of new species (Macedo *et al.*, 2023). However, there is an estimated 75,000 to 300,000 species of helminths parasitizing vertebrates, and up to 33% of these may be at risk of extinction (Dobson *et al.*, 2008; Carlson *et al.*, 2017).

Among the primary threats to biodiversity are human activities, with habitat fragmentation caused by agricultural practices affecting organisms from microorganisms to large vertebrates (Ellis *et al.*, 2010; Christian, 2023). This fragmentation can lead to both immediate species loss and subsequent extinctions, impacting species distribution patterns and community composition due to environmental changes (Krauss *et al.*, 2010). For parasitic helminths, these disturbances can influence the structure and composition of communities, with factors such as abundance, prevalence, and intensity susceptible to interference (Cardoso *et al.*, 2016; Carlson *et al.*, 2017; Portela, dos Santos & dos Anjos, 2020).

In this context, protected areas play a crucial role in species preservation, serving as biodiversity refuges (Llorente-Culebras *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022). These areas can act as repositories of taxonomic, genetic, and functional diversity for the surrounding areas. Therefore, investigating the biodiversity associated with conservation areas and their surroundings can provide valuable insights into local biodiversity. In Brazil, fully protected areas are a primary means of biodiversity conservation, including national parks, ecological stations, natural monuments, and wildlife refuges (Brasil, 2000). In the Northeastern region, there are 26 fully protected areas covering different types of native vegetation, such as Caatinga, Cerrado, and Highland marshes.

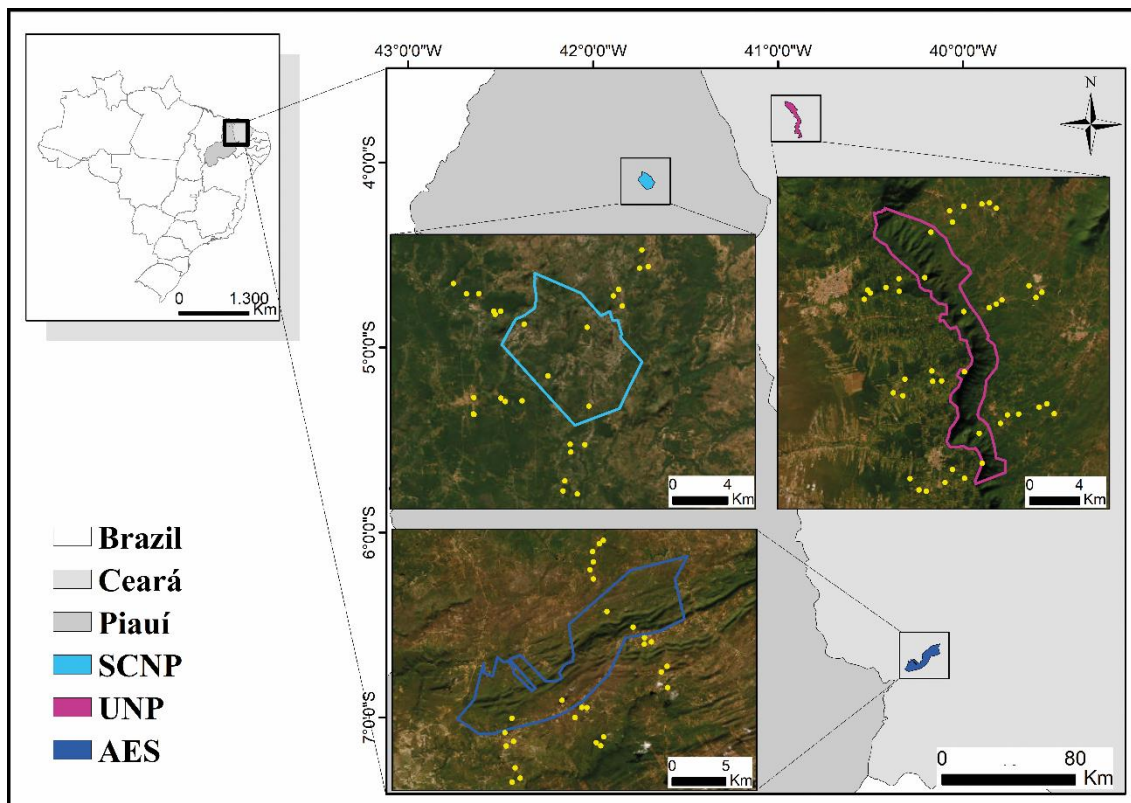
Considering this, studies conducted in protected areas and their surroundings, encompassing faunal surveys, including parasitological assessments, are valuable, as they can unveil rich biodiversity. These studies are also significant for reinforcing the importance of protected areas in safeguarding native species and their ecological relationships. The objective of this study was to describe the richness of metazoan endoparasite species (helminths and Pentastomida) associated with lizards in three protected areas and their surrounding zones in Brazilian northeast.

## **Material and methods**

### *Study areas*

Field sampling comprised three protected areas (PAs) in northeastern Brazil and their surroundings (Fig. 1). The Aiuaba Ecological Station (AES), covering an area of 11,746.60 ha, is situated in the southern part of the state of Ceará in the municipality of Aiuaba (6°36' to 6°44' S - 40°07' to 40°19' W). This area features a hot-semiarid tropical climate, an average annual rainfall of 568.4 mm, and an average temperature ranging from 24 to 26°C. The predominant vegetation in the ecological station is caatinga stricto sensu, with its interior well-preserved, encompassing 81% of its total area covered by conserved vegetation (Araújo *et al.*, 2017).

**Figure 1.** Schematic map illustrating protected areas with highlighted sample points in yellow. Legend: SCNP: Sete Cidades National Park, UNP: Ubajara National Park, and AES: Aiuaba Ecological Station.



The Sete Cidades National Park (SCNP, 4°06'58.8"S 41°43'41.8"W), located in the state of Piauí, between the municipalities of Piracuruca and Brasileira, in a Cerrado stricto sensu area, covers approximately 6,221 ha. It experiences a tropical semi humid dry climate, with an average annual precipitation ranging from 1,300 mm to 1,500 mm and an annual average temperature of 28.8°C, with minimums of 23.2°C and maximums of 36.0°C according National Institute of Meteorology (Castro & Costa, 2007; INMET, 2024).

Ubajara National Park (UNP, 3°50'31.2"S 40°54'00.5"W), also in the state of Ceará, is in an area that encompasses zones of caatinga stricto sensu and relictual moist forest zones, also known as highland marsh. The park covers 6,288 ha and is situated

in the northwest portion of the state of Ceará in the Ibiapaba Plateau, spanning three municipalities: Frecheirinha, Tianguá, and Ubajara. The annual rainfall reaches 1,483.5 mm, with average temperatures ranging between 24 and 26°C (IPECE, 2017).

#### *Sample design and host collection*

Lizard sampling were conducted from 2018 to 2020, covering both dry and rainy seasons, except in 2020 when collections were exclusively performed during the rainy period. During the expeditions, visual encounter surveys were carried out, exploring all possible microhabitats used by lizards (Crump & Scott 1994; Bernarde 2012). Hosts were manually collected during daytime from 8:00 to 17:00. The total sample effort in hours amounted to 1,110 h, calculated by summing the number of hours in the field multiplied by the number of researchers conducting searches on each expedition. The distribution of sampling points followed the methodology of Brasileiro *et al.* (2023). The lizards were euthanized following the ethical procedures of the Federal Council of Veterinary Medicine – CFMV (2013) with lidocaine hydrochloride 60 mg/kg, preserved in 70% ethanol, and subsequently cataloged in the Herpetological Collection of the Federal University of Ceará.

#### *Collection and Processing of Parasites*

After necropsy with a longitudinal anteroposterior ventral incision, the hosts had their coelomic cavity, lungs, stomach, intestines, and accessory organs of the digestive system examined for parasites. When hosts were necropsied fresh and parasites were found, they were fixed in boiling 70% ethanol and preserved in the same solution for subsequent analyses. Due to the number of collected hosts, some could not be necropsied immediately after collection and were fixed as described earlier. In these cases, necropsies were subsequently conducted, and the parasites were stored in 70% ethanol.

The nematodes, acanthocephalans, and Pentastomida collected were clarified using a lactic acid solution (Andrade, 2000). Platyhelminths were colored using the carmine technique (Amato & Amato, 2010), diaphanized with eugenol oil, and mounted on temporary slides for taxonomic identification. Identification was based on the observation, counting, and morphometry of taxonomic characters according to relevant literature (Araújo & Gandra, 1941; Lucker, 1943; Rêgo & Ibáñez, 1965; Rego, 1983; Vicente *et al.*, 1993; Almeida *et al.*, 2008; Anderson *et al.*, 2009; Bursley *et al.*, 2010; Fernandes & Kohn, 2014; Pereira *et al.*, 2017; Vieira *et al.*, 2020; De Sousa *et al.*, 2022). Parasitological descriptors of mean abundance, infection range, and infection intensity followed by standard error, and prevalence in percentage was calculated according to Bush *et al.* (1997). After identification, all parasites were deposited in the Parasitological Collection of the Federal University of Ceará

**Ethics aspects:** All procedures used in this work follow the ethical standards of the relevant national and institutional guides on the care and use of laboratory animals. Collection permit Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (process n° 68 031–1 and n° 72 762) and the Ethics Committee on Animal Use of the Federal University of Ceará (CEUA-UFC) (#CEUA 6314010321).

## Results

A total of 690 hosts were collected, distributed across 23 lizard species, with 237 at Aiuaba Ecological Station (AES, 10 spp.), 239 at Sete Cidades National Park (SCNP, 14 spp.), and 214 at Ubajara National Park (UNP, 18 spp.). Among these, parasitic infections were documented in 20 species, except for *Copeoglossum nigropunctatum* Spix, 1825, *Colobosaura modesta* Reinhardt and Lütken, 1862, and *Vanzosaura multiscutata* Amaral, 1933. Regarding hosts, the largest sample size was for *Ameivula pyrrhogularis* Silva and Avila-Pires, 2013 (AES: 67, SCNP: 60, and UNP: 36), and

*Tropidurus hispidus* Spix, 1825 (AES: 67, SCNP: 49, and UNP: 66), which are also the species with the highest recorded parasitic richness (Table 1).

**Table 1.** Helminths and Pentastomida associated with lizards (Squamata, Lacertilia) in Aiuaba Ecological Station, Sete Cidades National Park, Ubajara National Park and their surroundings, including the number of examined hosts (N) and parasite taxa, along with total abundance (A), mean abundance (MA)  $\pm$  standard error (SE), infection range (IR), prevalence in percentage (P%), mean infection intensity (MII)  $\pm$  standard error (SE), and the life cycle of the parasite, whether monoxenous (M) or heteroxenous (H). New parasitism records are indicated with "\*\*".

Host species	N	Parasite taxon	A	MA $\pm$ SE	AP	P%	MII $\pm$ SE	Life cycle
<b>Aiuaba Ecological Station</b>								
<i>Ameivula pyrrhogularis</i> Silva & Avila-Pires, 2013	67							
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified Cystacanth	2	–	2	1.49	–	M
		<b>Cestoda</b>						
		<i>Oochoristica travassosi</i> Rêgo & Ibáñez, 1965	1	–	1	1.59	–	H
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Pharyngodon cesarpintoi</i> Pereira, 1935	693	10.34 $\pm$ 3.65	1–165	38.80	26.65 $\pm$ 8.55	M

		<i>Strongyluris oscar</i> Travassos, 1923	21	–	1–20	2.99	–	M
<i>Gymnodactylus geckoides</i> Spix, 1825	15							
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Parapharyngodon largitor</i> Alho & Rodrigues, 1963	23	1.53±0.49	1–5	53.33	2.87±0.58	M
<i>Hemidactylus agrius</i> Vanzolini, 1978	1	Not parasitized						
<i>Hemidactylus brasilianus</i> Amaral, 1935	17							
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Parapharyngodon alvarengai</i> Freitas, 1957	1	–	1	0.06	–	M
		<i>Skrjabinellazia galliardi</i> Chabaud, 1973*	1	–	1	0.06	–	H
		<i>Spauligodon oxkutzcabensis</i> Chitwood, 1938	94	–	22–72	11.76	–	M
<i>Lygodactylus klugei</i> Smith, Martin & Swain, 1977	8							
		<b>Nematoda</b>						



		<i>Spauligodon oxkutzcabiensis</i>	1	–	1	16,77	–	M
<i>Phyllopezus pollicaris</i> Spix, 1825	13							
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Pharyngodon cesarpinto</i>	24	–	24	7,69	–	M
		<i>Spauligodon oxkutzcabiensis</i>	259	19.92±7.47	5–96	69.23	28.78±9.44	M
<i>Tropidurus hispidus</i> Spix, 1825	74							
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified cystacanth	3	–	3	1.35	–	H
		<b>Cestoda</b>						
		<i>Oochoristica travassosi</i>	3	0.04±0.02	1	4.05	1±0	H
		<b>Nematoda</b>						
		Ascarididae	1	–	1	1.35	–	M

	Cosmocercidae	1	–	1	1.35	–	M
	<i>Parapharyngodon largitor</i>	97	1.31±0.31	1–15	37.84	3.46±0.62	M
	<i>Pharyngodon cesarpintoi</i>	9	–	1–8	2.70	–	M
	<i>Physaloptera lutzii</i> Cristofaro, Guimarães & Rodrigues, 1976	207	2.78±0.51	1–16	56.76	4.92±0.75	H
	<i>Skrjabinellazia galliardi</i>	3	–	3	1.35	–	H
	<i>Strongyluris oscaris</i>	55	0.74±0.30	1–15	16.21	4.48±1.48	M
<i>Tropidurus jaguaribanus</i> 15 Passos, Lima & Borges- Nojosa, 2011							
	<b>Acanthocephala</b>						
	Unidentified cystacanth	1	–	1	6.67	–	H
	<b>Nematoda</b>						
	<i>Parapharyngodon largitor</i>	38	2.53±1.62	5–23	20	12.67±5.36	M

<i>Physaloptera lutzi</i>	35	2.33±1.91	1–29	33.33	7±5.50	H
<i>Strongyluris oscari</i>	78	5.2±2.30	2–29	40	13±4.10	M

*Vanzosaura multiscutata* 4 Not parasitized  
Amaral, 1933

---

**Sete Cidades National Park**

---

Host species	N	Parasite taxon	A	AM ± EP	AP	P%	IM±EP	Life cycle
--------------	---	----------------	---	---------	----	----	-------	------------

---

*Ameiva ameiva*  
Linnaeus, 1758

5

**Nematoda**

18 – 18 20 – M

*Capillaria freitaslenti* Araujo &  
Gandra, 1941

3 – 3 20 – M

*Spinicauda spinicauda* Olfers,  
1819\*

1 – 1 20 – M

*Parapharyngodon sceleratus*  
Travassos, 1923\*

*Ameivula pyrrhogularis* 60

**Acanthocephala**

Unidentified cystacanth	28	0.46±0.29	1–16	8.20	5.6±2.91	H
<b>Cestoda</b>						
<i>Oochoristica vanzolinni</i> Rêgo & Rodrigues, 1965	7	–	7	1.64	–	H
<b>Nematoda</b>						
<i>Brevimulticaecum</i> sp.*	1	–	1	1.64	–	H
<i>Capillaria freitaslenti</i> *	36	0.59±0.34	1–18	8.19	7.2–3.22	M
<i>Cruzia lauroi</i> Vieira et al. 2020	5	–	5	1.64	–	H
<i>Falcaustra</i> sp.*	5	–	5	1.64	–	H
<i>Pharyngodon travassosi</i> Pereira, 1935*	311	5.09±2.64	1–132	11.47	44.43–17.77	M
<i>Piratuba</i> sp.	4	–	1–3	3.28	–	
<i>Spinicauda spinicauda</i> *	3	–	3	1.64	–	M

<i>Brasilisincus heathi</i> Schmidt & Inger, 1951	7						
		<b>Nematoda</b>					
		<i>Oswaldocruzia</i> sp.	2	–	2	14.28	– M
		<i>Parapharyngodon sceleratus</i> *	1	–	1	14.28	– M
		<i>Strongyloides</i> sp. *	10	–	10	14.28	– M
		<i>Strongyluris oscar</i> *	1	–	1	14.28	– M
<i>Colobosaura modesta</i> Reinhardt & Lütken, 1862	1	Not parasitized					
<i>Hemidactylus agrius</i>	43						
		<b>Acanthocephala</b>					
		Unidentified cystacanth	3	0.07±0.04	1	6.98	1±0 H
		<b>Nematoda</b>					
		<i>Parapharyngodon largitor</i>	16	0.37±0.16	1–5	13.95	2.67±0.56 M

		<i>Physaloptera lutzi</i>	1	–	1	2.33	–	H
		<i>Strongyluris oscaris*</i>	1	–	1	2.33	–	M
		<b>Pentastomida</b>						
		<i>Raillietiela mottae</i> Almeida & Lopes, 2008	1	–	1	2.33	–	H
<i>Hemidactylus mabouia</i>	1							
Moreau de Jonnès, 1818								
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified cystacanth	1	–	1	100	–	
<i>Iguana iguana</i>	1							
Linnaeus, 1758								
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Alaeuris vogelsangi</i> Lent & Freitas, 1948	19	–	19	100	–	M
<i>Micrablepharus maximiliani</i>	14							
Reinhardt & Lütken, 1862								
		<b>Acanthocephala</b>						

		Unidentified cystacanth	2	–	2	7.14	–	H
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Physalopteroides venancioi</i> Lent, Freitas & Proença, 1946 *	2	–	2	7.14	–	H
<i>Phyllopezus pollicaris</i>	7	<i>Skrjabinodon campiaoae</i> De Sousa, Silva De Oliveira, Morais, Da Silva Pinheiro & Ávila*	6	0.07±0.07	2	21.42	2±2	M
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Parapharyngodon largitor</i>	7	1±0.69	1–5	42.86	2.33±0.69	M
		<i>Spauligodon oxkutzcabiensis</i>	44	6.29±5.17	2–37	42.86	14.67±5.17	M
<i>Polychrus acutirostris</i> Spix, 1825	1	Not parasitized						
<i>Tropidurus hispidus</i>	49							
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified cystacanth	2	–	1	4.08	–	H

**Cestoda**

<i>Oochoristica travassosi</i>	2	–	2	2.04	–	H
--------------------------------	---	---	---	------	---	---

**Nematoda**

<i>Falcaustra</i> sp.	7	–	2–5	4.08	–	H
-----------------------	---	---	-----	------	---	---

<i>Parapharyngodon alvarengai</i>	26	–	7–19	4.08	–	M
-----------------------------------	----	---	------	------	---	---

<i>Parapharyngodon largitor</i>	18	0.37±0.12	1–3	18.37	2±0.24	M
---------------------------------	----	-----------	-----	-------	--------	---

<i>Parapharyngodon sceleratus</i>	34	0.70±0.40	3–18	10.20	6.08±2.85	M
-----------------------------------	----	-----------	------	-------	-----------	---

<i>Physaloptera lutzi</i>	90	1.84±1.56	1–56	20.41	9±5.27	H
---------------------------	----	-----------	------	-------	--------	---

<i>Piratuba</i> sp.	5	–	5	2.04	–	H
---------------------	---	---	---	------	---	---

<i>Strongyloides</i> sp.	3	–	1–2	4.08	–	M
--------------------------	---	---	-----	------	---	---

<i>Strongyluris oscari</i>	70	1.42±0.44	1–13	30.61	4.67±1.05	M
----------------------------	----	-----------	------	-------	-----------	---



*Tropidurus  
semitaeniatus* Spix,  
1825

48

**Acanthocephala**

Unidentified cystacanth	5	–	1–4	4.17	–	H
-------------------------	---	---	-----	------	---	---

**Nematoda**

<i>Capillaria freitaslenti</i> *	7	–	3–4	4.17	–	M
----------------------------------	---	---	-----	------	---	---

<i>Parapharyngodon alvarengai</i>	41	0.85±0.46	2–18	10.41	8.2±2.97	M
-----------------------------------	----	-----------	------	-------	----------	---

<i>Parapharyngodon largitor</i>	15	0.31±0.13	2–4	10.42	3±0.32	M
---------------------------------	----	-----------	-----	-------	--------	---

<i>Parapharyngodon sceleratus</i>	2	–	2	2.08	–	M
-----------------------------------	---	---	---	------	---	---

<i>Physaloptera lutzi</i>	2	–	2	2.08	–	H
---------------------------	---	---	---	------	---	---

<i>Physaloptera retusa</i> Rudolphi, 1819	1	–	1	2.08	–	H
--	---	---	---	------	---	---

<i>Rhabdias</i> sp.	6	–	6	2.08	–	H
---------------------	---	---	---	------	---	---

<i>Strongyluris oscar</i>	22	0.46±0.15	1–4	20.83	2.2±0.4	M
---------------------------	----	-----------	-----	-------	---------	---

---

**Ubajara National Park**


---

Host species	N	Parasite taxon	A	AM ± EP	AP	P%	IM±EP	Life cycle
--------------	---	----------------	---	---------	----	----	-------	------------

---

<i>Ameiva ameiva</i>	5							
----------------------	---	--	--	--	--	--	--	--

**Nematoda**

Cosmocercidae	27	–	27	20	–	M
---------------	----	---	----	----	---	---

<i>Pharyngodon cesarpinto</i>	22	–	22	20	–	M
-------------------------------	----	---	----	----	---	---

<i>Pharyngodon travassosi</i>	3	–	3	20	–	M
-------------------------------	---	---	---	----	---	---

<i>Physaloptera lutzi</i>	1	–	1	20	–	H
---------------------------	---	---	---	----	---	---

<i>Physaloptera retusa</i>	5	–	4–5	20	–	H
----------------------------	---	---	-----	----	---	---

<i>Skrjabinellazia galliardi</i>	1	–	1	20	–	H
----------------------------------	---	---	---	----	---	---

<i>Ameivula pyrrhogularis</i>	36					
-------------------------------	----	--	--	--	--	--

		<b>Cestoda</b>						
		<i>Oochoristica travassosi</i>	1	–	1	2.78	–	H
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Pharyngodon cesarpintoi</i>	50	1.38±0.92	9–31	8.33	16.67±7.17	H
		<i>Pharyngodon travassosi*</i>	1	–	1	2.78	–	H
<i>Brasilisincus heathi</i>	17							
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified cystacanth	14	–	3–11	11.76	–	H
		<b>Cestoda</b>						
		<i>Oochoristica vanzolinni</i>	6	–	6	5.88	–	H
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Strongyluris oscari</i>	2	–	2	5.88	–	M
<i>Coleodactylus meridionalis</i> Boulenger, 1888	16							
		<b>Acanthocephala</b>						

		Unidentified cystacanth	2	–	1	12.5	–	H
		<b>Trematoda</b>						
		<i>Mesocoelium monas</i> Rudolphi, 1819	8	0.50±0.38	1–6	18.75	2.67±1.67	H
		<b>Cestoda</b>						
		<i>Oochoristica vanzolinni</i>	3	–	3	6.25	–	H
<i>Copeoglossum arajara</i> Rebouças-Spieker, 1981	4							
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Rhabdias</i> sp.	1	–	1	25	–	H
		<i>Physaloptera Lutzi</i>	1	–	1	25	–	
<i>Copeoglossum nigropunctatum</i> Spix, 1825	1	Not parasitized						
<i>Enyalius bibronii</i> Boulenger, 1885	6							
		<b>Acanthocephala</b>						

	Unidentified cystacanth *	1	–	1	16.64	–	H
	<b>Trematoda</b>						
	<i>Mesocoelium monas</i>	145	–	145	16.64	–	H
	<b>Nematoda</b>						
	<i>Physaloptera</i> sp.*	1	–	1	16.64	–	H
<i>Hemidactylus agrius</i>		18					
	<b>Acanthocephala</b>						
	Unidentified cystacanth	1	–	1	5.56	–	H
	<b>Nematoda</b>						
	<i>Parapharyngodon alvarengai</i>	1	–	1	5.56	–	M
	<i>Parapharyngodon largitor</i>	2	–	2	11.11	–	M
	<i>Skrjabinellazia galliardi</i>	9	–	1–7	16.67		H

<i>Hemidactylus mabouia</i>	8						
		<b>Nematoda</b>					
		<i>Parapharyngodon largitor</i>	3	–	3	25	– M
		<i>Physaloptera</i> sp.	1	–	1	12.50	–
<i>Iguana iguana</i>	2						
		<b>Nematoda</b>					
		<i>Alaeuris vogelsangi</i>	2756	–	2756	50	– M
		<i>Capillaria freitaslenti</i> *	1	–	1	50	– M
		Cosmocercidae	18	–	18	50	– M
		<i>Ozolaimus cirratus</i> Linstow, 1906	1935	–	1935	50	– M
<i>Lygodactylus klugei</i>	1	Not parasitized					--

<i>Micrablepharus maximiliani</i>	4	Not parasitized					
<i>Norops fuscoauratus</i> d'Orbigny, 1837	12						
		<b>Trematoda</b>					
		<i>Mesocoelium monas</i>	13	–	1–12	18.18	– H
		<b>Nematoda</b>					
		Cosmocercidae	2	–	2	9.09	– M
		<i>Rhabdias</i> sp.	1	–	1	9.09	– H
		<i>Typhlonema</i> sp.*	1	–	1	9.09	– M
<i>Phyllopezus pollicaris</i>	1						
		<b>Nematoda</b>					
		<i>Spauligodon oxkutzcabiensis</i>	6	–	6	100	–
<i>Polychrus acutirostris</i>	2						
		<b>Nematoda</b>					

		<i>Gynaecometra bahienses</i> Araujo, 1978	13005	–	13005	50	–	M
<i>Salvator merianae</i> Duméril & Bibron, 1839	2							
		<b>Nematoda</b>						
		<i>Cruzia lauroi</i>	46	–	46	50	–	H
		<i>Diaphanocephalus galeatus</i> Rudolphi, 1819	128	–	17–111	100	–	M
		<i>Physaloptera retusa</i>	4	–	4	50	–	H
<i>Tropidurus hispidus</i>	66							
		<b>Acanthocephala</b>						
		Unidentified cystacanth	14	0.21±0.15	1–10	4.55	4.67±2.73	H
		<b>Trematoda</b>						
		<i>Mesocoelium monas</i>	1	–	1	1.52	–	H
		<i>Paradistomum parvissimum</i> Travassos, 1918	5	–	5	1.51	–	H
		<b>Cestoda</b>						



<i>Oochoristica travassosi</i>	2	–	2	1.52	–	H
<b>Nematoda</b>						
<i>Oswaldocruzia</i> sp.	24	0.36±0.16	1–9	15.15	2.04±0.78	M
<i>Parapharyngodon largitor</i>	138	2.09±0.53	1–27	39.39	5.30±1.10	M
<i>Physaloptera lutzi</i>	175	2.65±0.81	1–40	39.39	6.73±1.79	H
<i>Rhabdias</i> sp.	5	0.07±0.05	1–3	4.54	1.67±0.67	H
<i>Spauligodon oxkutzcabiensis</i>	15	–	15	1.52	–	M
<i>Strongyluris oscar</i>	41	0.62±0.30	1–17	15.15	4.1–1.67	M
<i>Tropidurus semitaeniatus</i>	38					
<b>Acanthocephala</b>						
Unidentified cystacanth	3	0.16±0.10	1	2.63	–	H
<b>Trematoda</b>						

<i>Mesocoelium monas</i>	1	–	1	2.63	–	H
<b>Nematoda</b>						
<i>Parapharyngodon alvarengai</i>	2	–	2	5.26	–	M
<i>Parapharyngodon largitor</i>	6	–	6	2.63	–	M
<i>Physaloptera lutzi</i>	1	–	1	2.63	–	H
<i>Physalopteroides venancioi*</i>	9	–	2–9	5.26		H
<i>Skrjabinellazia galliardi</i>	2	–	2	2.61	–	H
<i>Strongyluris oscar</i>	75	1.97±1.23	1–43	21.05	9.36±4.37	M

---

The total abundance of parasite individuals was 21,289.00. Specific-level identification was not possible in some cases due to the difficulty in visualizing important morphological characters or due to the ontogenetic developmental stage. In these cases, a more conservative approach was adopted, and a higher taxonomic level was recorded. Therefore, the richness of recorded parasite taxa in this study was 34 taxonomic groups (24 at the specific level, seven at the genus level, two at the family level, and one at the phylum level), with 11 for AES, 24 for SCNP, and 25 for UNP (Table 1).

From the records made in this study, 21 are new infection records for the host species. Sete Cidades National Park (SCNP) had the highest number of new records (13), followed by Ubajara National Park (UNP) with seven and Aiuaba Ecological Station (AES) with one (Table 1). For *Ameivula pyrrhogularis*, six new records were documented, five in SCNP (*Brevimulticaecum* sp., *Capillaria freitaslenti* Araujo & Gandra, 1941, *Cruzia lauroi* Vieira *et al.* 2020, *Falcaustra* sp., *Spinicauda spinicauda* Olfers, 1819) and one in UNP (*Pharyngodon travassosi* Pereira, 1935), making it the host species with the highest number of new records. In the UNP, a single individual of *Typhlonema* sp. infecting *Norops fuscoauratus* d'Orbigny, 1837, was recorded. This was also the only area where the trematodes *Mesocoelium monas* Rudolphi, 1819, and *Paradistomum parvissimum* Travassos, 1918, were registered, occurring only at collection points within the protected area and infecting *Coleodactylus meridionalis* Boulenger, 1888, *Norops fuscoauratus*, *Enyalius bibronii*, *Tropidurus hispidus*, and *Tropidurus semitaeniatus* Spix, 1825.

## DISCUSSION

In this study, 34 taxa of parasites were recorded, including Nematoda, Cestoda, Acanthocephala, and Pentastomida, infecting 20 species of lizards (Squamata, Lacertilia) with 21 new infection records. Aiuaba Ecological Station (AES) is one of the three protected areas studied, where most studies on lizard parasites have been conducted, thus, most of the records from this study had already been reported previously (see Brasileiro & Carvalho 2023; Lacerda *et al.* 2023). Among the three

protected areas, Sete Cidades National Park (SCNP) is the least represented in the literature regarding studies on lizard parasites. Similarly, Ubajara National Park (UNP) is also underrepresented, with *Norops fuscoauratus* and *Tropidurus hispidus* being investigated for parasites in previous studies (Santos Mesquita *et al.*, 2020; Brasileiro & Carvalho, 2023). As Protected areas represent the local fauna (Zachos & Habel, 2011), the low number of studies in these areas, coupled with the species of hosts not yet investigated for parasites, contributed to the increasing number of new parasitic records in SCNP and UNP compared to AES. The AES has been the focus of numerous studies on herpetological fauna and their parasites by research groups from nearby universities such as the Regional University of Cariri (URCA) and the Federal University of Cariri (UFCA). In comparison, SCNP and UNP have been relatively less explored by researchers studying parasites of reptiles and amphibians. However, with the rise in research centered on conservation units, the trend is for biodiversity records in these areas to increase as well, underscoring the importance of these regions for biodiversity protection.

With a total of 690 analyzed lizards distributed among 23 host species, the richness of parasites found can be explained by the richness of the hosts, their ecological aspects and also by the sample size, since the sampling effort is related to the richness of the species sampled (Thomas & Renaud, 2007; Poulin, 2019). Hosts with more recorded parasite species, such as *T. hispidus*, exhibit generalist feeding habits and are well-distributed in the sampling locations (Kolodiuk *et al.*, 2009). The combination of these factors contributes to contact with different parasite species (Leung & Koprivnikar, 2019).

For the species *Colobosaura modesta*, *Copeoglossum nigropunctatum*, and *Vanzosaura multiscutata*, we did not record any parasitic infections in this study. Representatives of the family Gymnophthalmidae are characterized by fossorial and semifossorial habits, and for this reason, they are expected to be parasitized by helminths with heteroxenous life cycles, as discussed by Teixeira *et al.* (2018). For the

family Scincidae, whose representatives exhibit intermediate foraging behavior, a rich parasitic fauna is expected, including both monoxenous and heteroxenous species (Cooper, 1995; Rocha *et al.*, 2003). In addition, in previous studies that included *C. nigropunctatum* and *V. multiscutata*, parasites such as *Physaloptera retusa* Rudolphi, 1819, and Cosmocercidae, *Parapharyngodon alvarengai* Freitas, 1957, *Pharyngodon cesarpinto* Pereira, 1939, *Physaloptera lutz* Cristofaro, Guimarães & Rodrigues, 1976, *Spauligodon oxkutzcabiensis* Chitwood, 1938, and *Skrjabinodon campiaoe* De Sousa, Silva De Oliveira, Morais, Da Silva Pinheiro & Ávila, 2022, respectively, were recorded (Araujo Filho *et al.*, 2020; Teixeira *et al.*, 2020; De Sousa *et al.*, 2022). The parasites found in the cited studies are commonly associated with lizards (Ávila & Silva, 2010; Lacerda *et al.*, 2023). For *C. modesta*, no records of parasitism were found up to the writing of this work. Therefore, we assume that low sample size may have contributed to this result.

Sete Cidades National Park (SCNP) had the highest number of new parasitism records. For the state of Piauí, where the park is located, only the species *Iguana iguana* Linnaeus, 1758, *T. hispidus*, *T. semitaeniatus*, and *Phyllopezus pollicaris* Spix, 1825, had been investigated for parasites in previous studies (Ávila *et al.*, 2012; Otávio *et al.*, 2018; Brasileiro & Carvalho, 2023). Most of the species analyzed in SCNP had already been the subject of parasitism studies in other locations in the country; however, the associated species were different (Ávila & Silva, 2010; Lacerda *et al.*, 2023). This park is located in a Cerrado stricto sensu area, and this ecoregion is considered an important biodiversity hotspot in Brazil (Zachos & Habel, 2011). Given this, as a rich biodiversity environment, the Cerrado can also harbor a great diversity of parasite species. Additionally, as understudied species are included in research, new data are obtained, and parasites not yet recorded for host species can be discovered.

The species with the highest number of new records was *A. pyrrhogularis*, the majority of which were parasites with a heteroxenous life cycle. Many parasites with this

type of life cycle use arthropods as intermediate hosts (Anderson, 2000) and lizards of the genus *Ameivula* spp. has a diverse diet, including mainly arthropods and insect larvae, with active foraging habits (Mesquita & Colli, 2003ab). In an environment rich in biodiversity, ecological connections can become more complex, allowing for numerous interactions. This complexity may lead to more parasite species utilizing a variety of species as intermediate hosts, thereby increasing their success in reaching their final hosts (Poulin, 2014). This richness may have contributed to the number of new records in this study area, given that arthropods are part of the diet of several lizard species. Additionally, *A. pyrrhogularis* had been included in previous research, however, the growing number of new infection records highlights significant gaps in our comprehension of lizard parasitism.

It was also recorded for *A. pyrrhogularis*, a specimen of the genus *Brevimulticaecum* Mozgovoï, 1951, constituting the first record for lizards. Nematodes of the genus *Brevimulticaecum* spp. are more commonly associated, in their adult forms, with freshwater fish and crocodylians. However, records of larval forms have been made in amphibians and a species of snake (Moravec *et al.*, 1994; Anderson, 2000). Studies suggest that the larval forms in amphibians may play a role in the life cycle, aiming for final infection in crocodylians (González & Hamann, 2013). The infection in *A. pyrrhogularis* may have occurred through the ingestion of a larval form, as this lizard species has a broad diet, including both adult and larval arthropods, and the diet may be directly related to the parasitic fauna (Da Silva *et al.*, 2019). It has been documented that parasites of this genus can cause intestinal lesions in definitive hosts (Cardoso *et al.*, 2013). With the record of *Brevimulticaecum* sp. in the sampled locality, a more detailed examination of the biodiversity that may be involved in the life cycle of this parasite becomes important.

The records of Trematoda (*Mesocoelium monas* and *Paradistomum parvissimum*) were made only in the Ubajara National Park (UNP). Among the three

protected areas, UNP has the highest average annual precipitation and the lowest average temperature (1,436.32 mm and 22–26 °C). Environmental conditions may be related to the prevalence of certain groups of parasites (Dybing *et al.*, 2013). Given this and knowing that trematodes have a heteroxenous life cycle, the presence of parasites with this life cycle in more humid environments may be related to the higher survival of their infective larval forms or eggs (Stromberg, 1997; Dybing *et al.*, 2013; Bolek *et al.*, 2019). Additionally, their intermediate hosts, commonly arthropods or small mollusks, are also present in more humid environments (Dronen *et al.*, 2012). Supporting this idea, the literature shows that the presence of reptile-parasitic trematodes is associated with more humid environments, such as the coast, wet forests, collection points near water bodies, or aquatic animals (see checklist collection points in Lacerda *et al.*, 2023). The presence of these parasites only in preserved areas (collection sites within protected areas) may be a sign of how human activities affect biodiversity. As observed by Brasileiro & Carvalho (2023), agriculture affects the richness and abundance of parasites with heteroxenous life cycles, including trematodes.

Another parasite found in Ubajara National Park (UNP) was a specimen of the genus *Typhlonema* Kreis, 1938. This is a genus whose males seem to be unknown except for *Typhlonema salomonis* Kreis, 1938 (Lucker, 1943). They are typically parasites of lizards, and identification is performed through females, with one of the main characteristics being the highly muscular vulva in a prebulbar position and the anus at the end of the body, along with eggs having thick shells (Vicente *et al.*, 1993; Anderson, 2000). In previous studies, they have been recorded parasitizing the intestine of lizards in Brazil, but this is the first record for *Norops fuscoauratus* (Ávila & Silva, 2010).

This study contributes to the understanding of parasitism in lizards in the Neotropical region, presenting 21 new infection records and suggesting that the presence of trematodes may be related to environmental humidity. Thus, the importance of faunal surveys for parasite diversity and investigating land use effects on parasite

communities should be emphasized. However, it is important to note the limitations of the study, such as underrepresentation of some species due to the method of collection. For example, Gymnophthalmidae would be better represented if pitfall traps were included in our field collections. Nevertheless, these limitations did not strongly affect our objectives for this work, which are to describe the metazoan endoparasites of lizards in protected areas and their surroundings.

**Acknowledgments** We thank to the Laboratório de biologia celular e helmintologia "Profa. Dra. Reinalda Marisa" at the Institute of Biological Sciences, Federal University of Pará (UFPA) for their support in identifying some species. We also thank the field collection teams from the Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA and the Universidade Estadual do Cariri-URCA, as well as the team involved in slide preparation for parasite identification at the Núcleo Regional de Ofiologia -NUROF/UFC.

**Funding** This study was partially funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES (Finance code 001, process n° 88887.501922/2020-00). The Fundo Brasileiro para Biodiversidade-Funbio, in collaboration with the Instituto Humanize, funded most of the field activities. Additionally, thanks to the project "Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos" (CNPQ/ICMBIO/FAPs n° 18/2017 - processo n° 421350/2017-2) for providing funding for initial fieldwork.

**Data availability** Authors declare the availability of the data upon personal request.

## **Bibliographic References**

Almeida, W., Freire, E. and Lopes, S. (2008) 'A new species of pentastomida infecting *Tropidurus hispidus* (Squamata: Tropiduridae) from Caatinga in Northeastern Brazil', *Brazilian Journal of Biology*, 68(1), pp. 199–203. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000100029>.



Amato, J.F.R. and Amato, S.B. (2010) 'Técnicas gerais para coleta e preparação de helmintos endoparasitos de aves', in S. von Matter et al. (eds) *Ornitologia e conservação: ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento*. 1st edn. Rio de Janeiro: Technical Books, pp. 369–393.

Anderson, R.C. (2000) *Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission*. UK: CABI Publishing. Available at:  
<https://doi.org/10.1079/9780851994215.0000>.

Anderson, R.C., Chabaud, A.G. and Willmott, S. (eds) (2009) *Keys to the nematode parasites of vertebrates: archival volume, Keys to the nematode parasites of vertebrates: archival volume*. UK: CABI. Available at:  
<https://doi.org/10.1079/9781845935726.0000>.

Andrade, C.M. (2000) *Meios e soluções comumente empregados em laboratórios*. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural.

Antonelli, A. (2022) 'The rise and fall of Neotropical biodiversity', *Botanical Journal of the Linnean Society*, 199(1), pp. 8–24. Available at:  
<https://doi.org/10.1093/botlinnean/boab061>.

Araújo, F. *et al.* (2017) 'Efetividade da zona de amortecimento de unidades de conservação federais do estado do Ceará: Parque Nacional de Ubajara e Estação Ecológica de Aiuaba', in M.O.C. Waldir Mantovani, Ricardo Ferreira Monteiro, Luiz dos Anjos (ed.) *Pesquisas em unidades de conservação no domínio da Caatinga: subsídios à gestão*. Fortaleza: Edições UFC, pp. 125–139.

Araujo Filho, J.A. *et al.* (2020) 'Using lizards to evaluate the influence of average abundance on the variance of endoparasites in semiarid areas: Dispersion and assemblage structure', *Journal of Helminthology* [Preprint]. Available at:  
<https://doi.org/10.1017/S0022149X19001147>.

Araújo, T.L. de and Gandra, Y.R. (1941) 'Sobre uma nova espécie do gênero *Capillaria* e observações helmintológicas', *Revista da Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo*, 2(1), p. 29. Available at:

<https://doi.org/10.11606/issn.2318-5066.v2i1p29-32>.

Ávila, R.W. *et al.* (2012) 'Nematodes of lizards (Reptilia: Squamata) from Caatinga biome, northeastern Brazil', *Comparative Parasitology*, 79(1), pp. 56–63. Available at: <https://doi.org/10.1654/4518.1>.

Ávila, R.W. and Silva, R.J. (2010) 'Checklist of helminths from lizards and amphisbaenians (Reptilia, Squamata) of South America The Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases', *The Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 16(4), pp. 543–572. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/jvatitd/v16n4/05.pdf>.

Bernarde, P.S. (2012) *Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira*. 1st edn. Anolis Books.

Bolek, M.G., Detwiler, J.T. and Stigge, H.A. (2019) 'Selected Wildlife Trematodes', in *Advances in Experimental Medicine and Biology*, pp. 321–355. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18616-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18616-6_11).

Bozick, B.A. and Real, L.A. (2015) 'Integrating Parasites and Pathogens into the Study of Geographic Range Limits', *The Quarterly Review of Biology*, 90(4), pp. 361–380. Available at: <https://doi.org/10.1086/683698>.

Brasileiro, A.C. *et al.* (2023) 'Influence of vegetation regeneration and agricultural land use on lizard composition, taxonomic and functional diversity between different vegetation types in Caatinga domain, Brazil', *Austral Ecology*, (November 2021), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.1111/aec.13349>.

Brasileiro, A.C. and Carvalho, E.F.F. De (2023) 'How agricultural land use affects the

abundance and prevalence of monoxenous and heteroxenous helminths in the generalist lizard *Tropidurus hispidus*', *Journal of Helminthology*, 97. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0022149X23000305>.

Burse, C.R. *et al.* (2010) 'New species of *Oochoristica* (Cestoda; Linstowiidae) and other endoparasites of *Trachylepis atlantica* (Sauria: Scincidae) from Fernando de Noronha Island, Brazil', *Zootaxa*, 54, pp. 45–54.

Bush, A.O. *et al.* (1997) 'Parasitology Meets Ecology on Its Own Terms: Margolis *et al.* Revisited', *The Journal of Parasitology*, 83(4), p. 575. Available at: <https://doi.org/10.2307/3284227>.

Cardoso, A.M.C. *et al.* (2013) 'Gastric lesions in free-ranging black caimans (*Melanosuchus niger*) associated with *Brevimulticaecum* species', *Veterinary Pathology*, 50(4), pp. 582–584. Available at: <https://doi.org/10.1177/0300985812459337>.

Cardoso, T.S. *et al.* (2016) 'The influence of habitat fragmentation on helminth communities in rodent populations from a Brazilian Mountain Atlantic Forest', *Journal of Helminthology*, 90(4), pp. 460–468. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0022149X15000589>.

Carlson, C.J. *et al.* (2017) 'Parasite biodiversity faces extinction and redistribution in a changing climate', *Science Advances*, 3(9). Available at: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602422>.

Castro, A.A.J. and Costa, J.M. (2007) 'Flora e Melissofauna associada de um Cerrado rupestre da região setentrional do Piauí.', in *Cerrado Piauiense: Uma Visão Multidisciplinar*. Teresina: Editora da Universidade Federal do Piauí, pp. 271–298.

Christian, H.-M. (2023) 'The Main Drivers of Biodiversity Loss: A Brief Overview', *Journal of Ecology & Natural Resources*, 7(3). Available at:

<https://doi.org/10.23880/jenr-16000346>.

Cooper, W.E. (1995) 'Foraging mode, prey chemical discrimination, and phylogeny in lizards', *Animal Behaviour*, 50(4), pp. 973–985. Available at:

[https://doi.org/10.1016/0003-3472\(95\)80098-0](https://doi.org/10.1016/0003-3472(95)80098-0).

Dobson, A. *et al.* (2008) 'Homage to Linnaeus: How many parasites? How many hosts?', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Supplement 1), pp. 11482–11489. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0803232105>.

Dronen, N.O., Calhoun, D.M. and Simcik, S.R. (2012) 'Mesocoelium Odhner, 1901 (Digenea: Mesocoelidae) revisited; A revision of the family and re-evaluation of species composition in the genus', *Zootaxa*, 1901(3387), pp. 1–96. Available at:

<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3387.1.1>.

Dybing, N.A., Fleming, P.A. and Adams, P.J. (2013) 'Environmental conditions predict helminth prevalence in red foxes in Western Australia', *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 2(1), pp. 165–172. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2013.04.004>.

Ellis, E.C. *et al.* (2010) 'Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000', *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), pp. 589–606. Available at:

<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>.

Fernades, B.M.M. and Kohn, Anna (2014) *South american trematodes parasites of amphibians and reptiles*. Edited by A. Kohn and B.M.M. Fernandes. Rio de Janeiro: Oficina de Livros.

González, C.E. and Hamann, M.I. (2013) 'First record of *Brevimulticaecum* larvae (Nematoda, Heterocheilidae) in amphibians from northern Argentina', *Brazilian Journal of Biology*, 73(2), pp. 451–452. Available at: [https://doi.org/10.1590/S1519-](https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000200031)

[69842013000200031](https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000200031).

Guedes, T.B., Entiuspe-Neto, O.M. and Costa, H.C. (2023) 'Lista de répteis do Brasil: atualização de 2022', *Herpetologia Brasileira*, 12. Available at:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7829013>.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2023. Normais Climatológicas. (Accessed February 3, 2023) at: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>

Kolodiuk, M.F., Ribeiro, L.B. and Freire, E.M.X. (2009) 'The effects of seasonality on the foraging behavior of *tropidurus hispidus* and *tropidurus semitaeniatus* (squamata: Tropiduridae) living in sympatry in the Caatinga of Northeastern Brazil', *Zoologia*, 26(3), pp. 581–585. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1984-46702009000300026>.

Krauss, J. *et al.* (2010) 'Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels', *Ecology Letters*, 13(5), pp. 597–605.

Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01457.x>.

Lacerda, G.M.C. *et al.* (2023) 'Checklist of parasites associated with "reptiles" in Northeast Brazil', *Journal of Helminthology*, p. e3. Available at:

<https://doi.org/10.1017/S0022149X22000785>.

Leung, T.L.F. and Koprivnikar, J. (2019) 'Your infections are what you eat: How host ecology shapes the helminth parasite communities of lizards', *Journal of Animal Ecology*, 88(3), pp. 416–426. Available at: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12934>.

Li, S. *et al.* (2022) 'Identifying priority conservation areas based on comprehensive consideration of biodiversity and ecosystem services in the Three-River Headwaters Region, China', *Journal of Cleaner Production*, 359(April), p. 132082. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132082>.

Llorente-Culebras, S. *et al.* (2021) 'Iberian Protected Areas Capture Regional Functional, Phylogenetic and Taxonomic Diversity of Most Tetrapod Groups', *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9(July), pp. 1–15. Available at:

<https://doi.org/10.3389/fecol.2021.684111>.

<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.634653>.

Lucker, J.T. (1943) 'A redescription of *Typhlonema salomonis* Kreis (Nematoda)', *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 33(1), pp. 28–31. Available at: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/122683>.

Macedo, L.C. *et al.* (2023) "Revisiting the past": a redescription of *Physaloptera retusa* (Nemata, Physalopteridae) from material deposited in museums and new material from Amazon lizards', *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 32(2). Available at: <https://doi.org/10.1590/s1984-29612023016>.

Mesquita, D.O. and Colli, G.R. (2003a) 'Geographical variation in the ecology of populations of some Brazilian species of *Cnemidophorus* (Squamata, Teiidae)', *Copeia*, 2003(2), pp. 285–298. Available at: [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2003\)003\[0285:GVITEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2003)003[0285:GVITEO]2.0.CO;2).

Mesquita, D.O. and Colli, G.R. (2003b) 'The ecology of *Cnemidophorus ocellifer* (Squamata, Teiidae) in a neotropical Savanna', *Journal of Herpetology*, 37(3), pp. 498–509. Available at: <https://doi.org/10.1670/179-02a>.

Moravec, František, Kaiser, H. and Moravec, Frantisek (1994) 'Brevimulticaecum sp. Larvae (Nematoda: Anisakidae) from the Frog *Hyla minuta* Peters in Trinidad', *The Journal of Parasitology*, 80(1), p. 154. Available at: <https://doi.org/10.2307/3283361>.

Myers, N. *et al.* (2000) 'Biodiversity hotspots for conservation priorities', *Nature*, 403(6772), pp. 853–858. Available at: <https://doi.org/10.1038/35002501>.

Otávio, L.P.V. *et al.* (2018) 'Parasitos gastrointestinais de Iguana iguana Linnaeus, 1758 (Squamata: Iguanidae) da zona urbana de Teresina, Piauí, Brasil', *Biota Amazonia Open Journal System*, 8(3), pp. 19–23.

Pereira, F.B., Luque, J.L. and Tavares, L.E.R. (2017) 'Redescription of the nematode parasites of lizards: *Strongyluris oscar*', *Acta Parasitologica*, 62(4), pp. 805–814.

Available at: <https://doi.org/10.1515/ap-2017-0097>.

Portela, A.A.B., dos Santos, T.G. and dos Anjos, L.A. (2020) 'Changes in land use affect anuran helminths in the South Brazilian grasslands', *Journal of Helminthology*, 94, p. e206. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0022149X20000905>.

Poulin, R. (2014) 'Parasite biodiversity revisited: Frontiers and constraints', *International Journal for Parasitology*, 44(9), pp. 581–589. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2014.02.003>.

Poulin, R. (2019) 'Best practice guidelines for studies of parasite community ecology', *Journal of Helminthology*, 93(1), pp. 8–11. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0022149X18000767>.

Poulin, R. and Morand, S. (2000) 'The diversity of parasites', *Quarterly Review of Biology*, 75(3), pp. 277–293. Available at: <https://doi.org/10.1086/393500>.

Poulin, R. and Mouillot, D. (2003) 'Host introductions and the geography of parasite taxonomic diversity', *Journal of Biogeography*, 30(6), pp. 837–845. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00868.x>.

Rego, A.A. (1983) 'Pentastomídeos de Répteis do Brasil', *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 78(4), pp. 399–411. Available at: [http://www.scielo.br/pdf/mioc/v78n4/vol78\(f4\)\\_015-027.pdf](http://www.scielo.br/pdf/mioc/v78n4/vol78(f4)_015-027.pdf).

Rêgo, A.A. and Ibáñez H., N. (1965) 'Duas novas espécies de Oochoristica, parasitas de lagartixas do Peru: (Cestoda, Anoplocephalidae)', *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 63(0), pp. 67–73. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0074-02761965000100007>.

Rocha, C.F. *et al.* (2003) 'Helminths infecting *Mabuya dorsivittata* (Lacertilia, Scincidae) from a high-altitude habitat in Itatiaia National Park, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil.', *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, 63(1),

pp. 129–132. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842003000100017>.

Dos Santos Mesquita, J.M. *et al.* (2020) 'Helminths associated with *Norops fuscoauratus* (Squamata, Dactyloidae) in highland marshes of the Brazilian semi-Arid', *Journal of Helminthology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0022149X20000358>.

Da Silva, L.A.F. *et al.* (2019) 'Spatio-temporal variation in diet and its association with parasitic helminths in *Ameivula pyrrhogularis* (Squamata: Teiidae) from northeast Brazil', *Herpetological Conservation and Biology*, 14(2), pp. 325–336.

De Sousa, C. *et al.* (2022) 'A new species of *Skrjabinodon* (Oxyuroidea: Pharyngodonidae) infecting *Vanzosaura multiscutata* (Squamata: Gymnophthalmidae) from Northeastern Brazil', *Journal of Natural History*, 56(1–4), pp. 35–48. Available at: <https://doi.org/10.1080/00222933.2022.2046886>.

Stromberg, B.E. (1997) 'Environmental factors influencing transmission', *Veterinary Parasitology*, 72(3–4), pp. 247–264. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00100-3).

Teixeira, A.A.M. *et al.* (2018) 'Helminths infecting *Dryadosaura nordestina* (Squamata: Gymnophthalmidae) from Atlantic Forest, northeastern Brazil', *Helminthologia (Poland)*, 55(4), pp. 286–291. Available at: <https://doi.org/10.2478/helm-2018-0026>.

Teixeira, A.A.M. *et al.* (2020) 'Ecological release in lizard endoparasites from the Atlantic Forest, northeast of the Neotropical Region', *Parasitology*, 147(4), pp. 491–500. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0031182020000025>.

Thomas, F. and Renaud, F. (2007) *Parasitism and Ecosystems, Parasitism and Ecosystems*. Available at: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198529873.001.0001>.

Vicente, J.J. *et al.* (1993) 'NEMATOIDES DO BRASIL. PARTE III: NEMATOIDES DE



RÉPTEIS', *Revta bras. Zool.*, 10(1), pp. 19–168. Available at:

<https://doi.org/10.1590/S0101-81751993000100003>.

Vieira, F.M. *et al.* (2020) 'A new species of cruzia (Ascaridida; kathlanidae) parasitizing *salvator merianae* (squamata, teiidae) from the Atlantic forest in Brazil', *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*, 29(1), pp. 1–10. Available at:

<https://doi.org/10.1590/S1984-29612019111>.

Zachos, F.E.. and Habel, J.C. (2011) *Biodiversity Hotspots*, Springer. Edited by F.E.

Zachos and J.C. Habel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Available at:

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5>.

**3- CAPÍTULO 2: COMO O USO DA TERRA PARA AGRICULTURA AFETA A ABUNDÂNCIA E PREVALÊNCIA DE HELMINTOS MONOXÊNICOS E HETEROXÊNICOS NO LAGARTO GENERALISTA *Tropidurus hispidus***

Capítulo apresentado na forma de artigo seguindo as normas do periódico Journal of Helminthology ISSN: 0022-149X (Print), 1475-2697 (Online). Artigo aceito em junho de 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022149X23000305>

**How agricultural land use affects the abundance and prevalence of monoxenous and heteroxenous helminths in the generalist lizard *Tropidurus hispidus***

Ana Carolina Brasileiro<sup>1</sup>, Elvis Franklin Fernandes Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC), Biology department, Post-Graduation Program in Ecology and Natural Resources. Avenida Humberto Monte, s/n, 60455-760, Fortaleza, Ceará, Brazil.

*Word count* - 2351 words

**Abstract**

Among the forms of anthropogenic disturbance, agricultural land use is among the main threats to biodiversity. Understanding how interactions between parasites and hosts are affected by agricultural land use allows us to make predictions of how these anthropogenic impacts affect parasites. Although parasitism patterns are affected by agricultural land use, it is noteworthy, however, that different groups of parasites can respond differently to these environmental alterations. While heteroxenous species need more than one host to complete their life cycle and tend to be more harmed by anthropization, monoxenous species, which need only one host to complete their life cycle, tend to be less harmed. In this work, we evaluate how agricultural land use affects parasitism (abundance and prevalence) for monoxenous and heteroxenous helminths in the generalist lizard *Tropidurus hispidus*, in Caatinga Domain, Brazil. We recorded differences in abundance and prevalence of heteroxenous (higher in conserved areas) and monoxenous helminths (higher in agricultural areas). Heteroxenous helminths that have lizards as definitive hosts are mainly obtained through diet. *Tropidurus hispidus* predominantly consumes insects, so it is possible that the lower abundance and prevalence of heteroxenous parasites in agricultural areas, beyond habitat simplification, is related to the decrease in the insect population. As monoxenous species do not need an intermediate host, it is possible that this aspect has influenced their greater success in anthropogenic

environments than heteroxenous species. This contrasting result reinforces the need for a separate assessment between these groups when evaluating effects of land use.

**Keywords:** Agricultural areas; anthropogenic disturbance; Caatinga; life cycle

## Introduction

Environmental disturbances generate changes in conditions (Vitt, 1998), resources (Spaan *et al.*, 2020) and habitat structure (Almeida-Gomes & Rocha, 2014; Flores *et al.* 2018), which can directly affect the composition and species distribution (e.g. Hewitt *et al.*, 2010; Whitbeck *et al.*, 2016). Among the forms of anthropogenic disturbance, agricultural land use is among the main threats to biodiversity (Ellis *et al.*, 2010). As parasites are closely related to their hosts and can affect their density and ecology, they are necessarily considered to be good environmental bioindicators (Vidal-Martínez *et al.* 2009). Understanding how interactions between parasites and hosts are affected by agricultural land use allows us to make predictions of how these anthropogenic impacts affect parasites (Mckenzie, 2007).

Helminth parasites can infect their hosts through direct contact of the larvae or through intermediate hosts. Infection parameters (e.g. abundance, prevalence) can be affected by aspects such as diet (Silva *et al.* 2019), microhabitat use (Brito *et al.*, 2014), and host density (Kelehear *et al.*, 2012), and these factors can be affected by environmental alterations, such as the agricultural land use (Portela *et al.*, 2020). Among the implications that the agricultural land use can cause in helminths, for example, are the reduction in the immune response or competence of the hosts (Kiesecker, 2002), changes in habitat (Sillero *et al.*, 2020) and changes in resources availability (Becker *et al.*, 2015) that may imply changes in parasitism patterns (Brito *et al.*, 2014; Becker *et al.*, 2015; Kiesecker, 2002).

It is noteworthy that different groups of parasites can respond differently to environmental differences (Lafferty, 1997). In indirect life cycle species (heteroxenous) the need for more than one host to complete their life cycle can cause limitations in surviving in anthropic environments (Werner & Nunn, 2020), since degradation of the natural environment can lead to differences in species density, including of intermediate hosts for some parasites (Mckenzie &

Townsend, 2007). However, the opposite may also be true when there is an increase in intermediate hosts with anthropization. In eutrophic waters, for example, the increase in insects and snails due to differences in environmental conditions facilitates increases in the rate of parasite transmission in anurans that live close to aquatic environments (Mckenzie, 2007). Direct life-cycle species tend to be less harmed from anthropization, since they do not need intermediate hosts to complete their life cycle (King *et al.*, 2010).

In this work, we evaluate how helminth parasitism in the generalist lizard *Tropidurus hispidus* Spix, 1825 is affected by agricultural land use. *Tropidurus hispidus* (Tropiduridae) feeds predominantly on insects (Ribeiro & Freire, 2011) and has sit-and-wait behavior as its main foraging strategy (Kolodiuk *et al.*, 2009). These lizards can be found both in natural environments and in anthropic areas (they even seem to benefit from urbanization, Andrade *et al.*, 2019), being good models to test the effect of agricultural land use on parasite communities. We hypothesize that there is a reduction in abundance and prevalence of heteroxenous helminths with agricultural land use but not of monoxenous species.

## Materials and methods

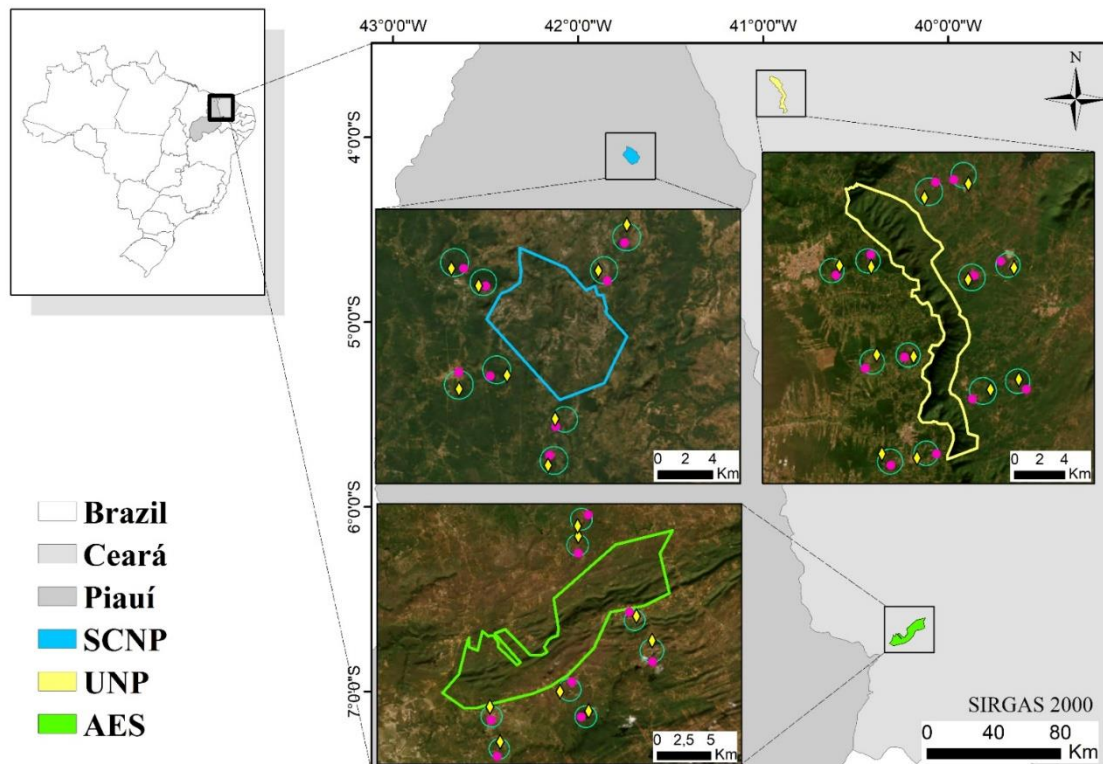
We developed this work around three Protected Areas in Brazil: the Aiuaba Ecological Station (AES, 6° 41'03.4"S 40°12'52.3" W), located in the State of Ceará, in Caatinga *sensu stricto* areas, the Ubajara National Park (UNP, 3°50'31.2"S 40°54'00.5"W), located in the northwest of the State of Ceará, in Caatinga *sensu stricto* and Relictual Humid Forest areas, and Sete Cidades National Park (SCNP, 4° 06'58.8"S 41°43'41.8"W), located in the north of the State of Piauí, in open Cerrado areas (Cerrado *sensu stricto*), a marginal area, close to the Caatinga (Santos, 2018). Some of the differences between the two Caatinga areas are, for example, rainfall, higher in UNP surroundings and aridity, higher in Aiuaba surroundings (Caitano *et al.*, 2011).

Caatinga is a Seasonally Dry Tropical Forest (STDF) distributed throughout the Northeast of Brazil. It has a high annual evapotranspiration, causing a water deficit for most of the year, and thus it has predominantly deciduous vegetation (Prado, 2003). This region harbors exceptional areas, such as the Relictual

Humid Forests (Moro *et al.*, 2015), which are less seasonal than the Caatinga that surrounds it, and have greater rainfall and perennial vegetation (Medeiros & Cestaro, 2016). These forests are believed to have been formed through the expansion and retraction of tropical forests (Amazon and Atlantic Forest) in the past (Santos *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2019). In addition, on the margins of Caatinga it is also possible to find vegetation from other biomes with which they have contact, such as the Cerrado (Veloso *et al.*, 2002). The Cerrado (Tropical Savanna) may have different phyto-physiognomies, but the predominant one is the open Cerrado (Cerrado *stricto sensu*). It contains spaced trees, with adaptations to fire, and a considerable grass cover (Santos *et al.*, 2020). Due to heterogeneity of vegetation types in its coverage area, the Caatinga can be seen, in addition to a specific vegetation type (Caatinga *sensu stricto*), as a domain (Queiroz *et al.*, 2017).

We built maps for each area (Fig. 1). In each area, we delimited four transects (minimum distance of 3 km from each other, Fig. 1), except in UNP, where we delimited three transects in Relictual Humid Forest and three transects in Caatinga (Fig. 1). For each transect, we delimited two circles outside of the protected area, with a radius of 1 km, to select the points within each radius Fig. 1). The circles served to delimit the area in which the points can be demarcated. In each transect, we selected two conserved area points and two agricultural area points, one of each category per circle (Fig. 1). Each point had a minimum distance of 500 m from the other points in the same transect. Within the demarcated sampling radius, we used the statistical method of random stratification to select sampling points representing conserved vegetation and agricultural areas. Areas with conserved vegetation have a high density of plants, and areas with agricultural plantations were classified as agricultural areas.

**Figure 1.** Maps of each study area. The transects, demarcated around the conservation units, are delimited by rectangles, with the points of conserved areas (yellow) and agricultural areas (pink) inside. SCNP – Sete Cidades National Park; UNP – Ubajara National Park; AES – Aiuaba Ecological Station.



The mapping was done through a supervised classification and then refined with the OpenLayers Plugin tool in QGIS, with Google satellite images. Supervised classification uses algorithms to classify the pixels of an image in order to represent the evaluated classes. We used the “random” function in Excel to randomly select the points for each class. We repeated this procedure for all classes and recorded geographic coordinates of the selected points in GPS for field location. We used QGIS v. 2.18.19 (QGIS Development Team, 2019) for map production, classification, and demarcation of points.

The agricultural areas in Caatinga and Cerrado were abandoned in the dry period, but they were irrigated in Relictual Humid Forest. Therefore, we visited abandoned agricultural areas in Caatinga and Cerrado and cultivated areas in Relictual Humid Forest during the dry season. All agricultural areas were cultivated in the rainy season. The crops in Caatinga and Cerrado were mostly maize, maize with beans and maize with cassava. In Relictual Humid Forest were maize with beans in addition to cultivars (avocado, passion fruit, banana, tomato).

We carried out three expeditions (between 2018 and 2020) in each study area: two expeditions during the rainy season and the third one during the dry

season (except in the SCNP surroundings, where we carried out three expeditions during the rainy season and another one during the dry season). We collected data during daytime (between 8 a.m. and 5 p.m.), spending 60 minutes at each point. In one of the expeditions in the rainy season, there were two collectors in one field and four in the others. In SCNP surroundings, there were four expeditions, two of them in the rainy season with two collectors and the others with four. The visual encounter survey (VES) was utilized as a sampling method (Crump & Scott Jr., 1994) to search for specimens of *T. hispidus*. In addition to the areas outside the conservation units, we collected some of the lizards in conserved areas within protected areas (SISBIO licenses No. 68031-1). After collected, the specimens were euthanized with a lethal injection of 2% lidocaine chloridate.

We necropsied the collected animals under a stereo microscope with a longitudinal incision in the anteroposterior axis for the collection of parasites. We examined the organs in the gastrointestinal tract, lungs, and abdominal cavity. All parasites found were collected, including encysted forms of Acanthocephala. We fixed the parasites in 70% ethyl alcohol and necropsied the fixed specimens of *T. hispidus* in 3.7% formaldehyde. Subsequently, we preserved the specimens in 70% ethyl alcohol and then deposited them in the herpetological collection of the Núcleo Regional de Ofiologia (NUROF) of the Federal University of Ceará.

For the identification of parasite species, we clarified nematodes and Acanthocephala with lactic acid, stained the cestodes and trematodes, with hydrochloric carmine and diaphanized with eugenol. We prepared temporary slides with parasite specimens for observation under a microscope. For parasite identification we used the following literature: Rêgo & Ibáñez (1965), Vicente *et al.* (1993), Gibson *et al.* (2002), Anderson *et al.* (2009), Bursey *et al.* (2010) and Fernandes & Kohn (2014). We preserved the parasite specimens in 70% ethyl alcohol and then deposited them in the Parasitological Collection of Federal University of Ceará (CPUFC).

To analyze the abundance of helminth (number of individuals of a particular parasite in/on a single host regardless of whether or not the host is infected, Bush, 1997) between conserved and agricultural areas, we used Negative Binomial Mixed Models (NBMM), using the study site, season (dry or rainy) and age (adult



or juvenile) as a random factor and agricultural areas and conserved areas as fixed effects. We consider as adults specimens with SVL equal or greater than 65 mm for females and equal or greater than 68 mm for males (Ribeiro *et al.*, 2012). Parasitism descriptors followed Bush *et al.* guidelines (1997). To assess the difference in prevalence between conserved and agricultural areas, we used Z-tests. As we expected the prevalence of monoxenous species to be higher in agriculture and of heteroxenous ones to be higher in conserved areas, that is, a directional prediction, we used one-tailed tests.

## Results and discussion

A total of 128 specimens of *T. hispidus* were analyzed, 79 in agricultural areas and 49 in conserved vegetation. We recorded a total of 17 helminth species, 12 species registered in agricultural areas (five monoxenous and seven heteroxenous), of which one is Acanthocephala (cystacanths), three are Cestoda, seven are Nematoda and one is Trematoda, and 11 in conserved areas (three monoxenous and eight heteroxenous), of which three are Cestoda, seven are Nematoda and one is Trematoda (Table 1). The species with the highest mean abundance (MA) and prevalence (PR) in conserved areas was the nematodes *Physaloptera lutzi* Cristofaro, Guimarães & Rodrigues, 1976 (MA - 3.9, PR - 57%), followed by *Strongyluris oscar* Travassos, 1923 (MA - 2.5, PR - 28%), both heteroxenous. In agricultural areas it was the nematodes *Parapharyngodon largitor* Alho & Rodrigues, 1963 (MA - 2.12, PR - 45%), monoxenous, followed by *P. lutzi* (MA - 1.53, PR - 37.5%), heteroxenous (Table 1).

The general abundance of monoxenous species was higher in agricultural areas ( $2.65 \pm 4.5$ ) than in conserved areas ( $1.24 \pm 3.5$ ,  $Est = -0.66$ ,  $Z = -2.06$ ,  $P = 0.03$ ), while the general abundance of heteroxenous ones was greater in conserved areas ( $6.95 \pm 10.7$ ) than in agricultural ones ( $2.34 \pm 4.8$ ,  $Est = 1.09$ ,  $Z = .4.16$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 2). The general prevalence of monoxenous was lower in conserved areas (31%) than in agricultural areas (52%) ( $X^2 = 4.8$ ,  $P = 0.01$ ). The general prevalence of heteroxenous was higher in conserved areas (77%) than in agricultural areas (50%) ( $X^2 = 8.6$ ,  $P = 0.001$ ).

**TABLE 1.** Parasite composition and their respective prevalence (%) registered in *Tropidurus hispidus* by disturbance level.

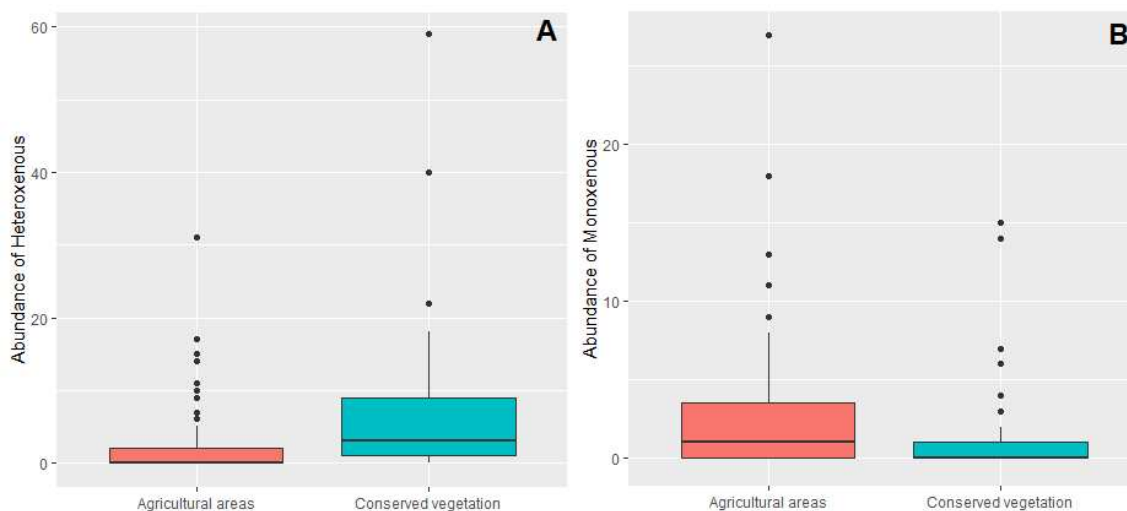
Vegetation type	Caatinga (UNP)		Caatinga (AES)		Cerrado (SCNP)		RHF (UNP)	
Parasite/Life cycle	Ag (n = 16)	Con (n = 14)	Ag (n = 28)	Con (n = 24)	Ag (n = 22)	Con (n = 11)	Ag (n = 13)	Con (n = 13)
<b>ACANTHOCEPHALA</b>								
<b>(cystacanths)</b>								
<i>Centrorhynchus</i> sp. (HETEROXENOUS)	5.8	-	-	-	4.5	-	-	-
<b>CESTODA</b>								
<i>Oochoristica</i> sp1. (HETEROXENOUS)	-	-	-	-	4.5	-	-	-
<i>Oochoristica</i> sp2. (HETEROXENOUS)	-	-	-	4.2	-	-	-	-
<i>Oochoristica</i> cf. <i>travassosi</i> Rêgo & Rodrigues, 1965 (HETEROXENOUS)	5.8	-	3.5	8.3	4.5	9	-	-
<i>Oochoristica</i> cf. <i>vanzolini</i> Rêgo & Ibáñez, 1965 (HETEROXENOUS)	-	-	7.1	12.5	-	-	-	-
<b>NEMATODA</b>								
<i>Falcaustra</i> sp. (HETEROXENOUS)	-	-	-	-	-	9	-	-
<i>Oswaldocruzia</i> sp. (MONOXENOUS)	11.7	21.4	-	-	-	-	-	-
<i>Parapharyngodon largitor</i> Alho & Rodrigues, 1963 (MONOXENOUS)	70.5	35.7	46.4	33.3	22.7	9	46.1	-
<i>Parapharyngodon sceleratus</i> Travassos, 1923	-	-	-	-	18.1	-	-	-

(MONOXENOUS)								
<i>Physaloptera lutzi</i>								
Cristofaro, Guimarães & Rodrigues, 1976	52.9	50	57.1	75	22.7	27.3	-	
(HETEROXENOUS)								
<i>Rhabdias</i> sp.	5.8	-	-	-	-	-	-	
(MONOXENOUS)								
<i>Skrjabinellazia</i> sp.	-	-	-	4.2	-	-	-	
(HETEROXENOUS)								
<i>Spauligodon</i> cf.								
<i>oxkutzcabiensis</i> Chitwood, 1938	-	7.1	-	-	-	-	-	
(MONOXENOUS)								
<i>Strongyloides</i> sp.	-	-	-	-	13.6	-	-	
(MONOXENOUS)								
<i>Strongyluris oscar</i>								
Travassos, 1923	5.8	42.8	21.4	16.6	13.6	36.4	-	
(HETEROXENOUS)								
<b>TREMATODA</b>								
<i>Mesocoelium monas</i>								
Rudolphi, 1819	5.8	-	-	-	-	-	-	
(HETEROXENOUS)								
<i>Paradistomum</i>								
<i>parvissimum</i> Travassos, 1918	-	7.1	-	-	-	-	-	
(HETEROXENOUS)								

---

Ag – Agricultural areas; Con – Conserved vegetation; RHF – Relictual Humid Forest.

**Figure 2.** Differences in abundance of heteroxenous (A) and monoxenous (B) between agricultural areas and conserved vegetation.



The abundance and prevalence of monoxenous parasites were higher in agricultural areas, while that of heteroxenous parasites were higher in conserved areas. Differences in parasitism parameters in anthropized environments may be related to the parasite life cycle, quality of available resources and aggregation, and condition of hosts (revision in Becker *et al.*, 2015). In literature, an increase in rates of parasitism by helminths with an intensification of disturbance is frequently identified (Mckenzie & Townsend, 2007; Portela *et al.*, 2020). However, when it is not considered that different species' life cycle can be affected differently by anthropization, the effect on parasites can be masked.

Heteroxenous parasites that have lizards as definitive hosts are mainly obtained through diet (Anderson, 2000), and the simplification of habitat through the conversion of natural vegetation into agricultural areas is among the factors that comprise the loss of biodiversity (e.g. Flores *et al.*, 2017; Rogan & Lacher Jr., 2018). Associated with this, the use of pesticides is another factor related to the decrease of parasitism in agricultural areas (King *et al.*, 2007). *Tropidurus hispidus* predominantly consumes insects (Ribeiro & Freire, 2011), so it is possible that the lower abundance of heteroxenous parasites in agricultural areas, beyond habitat simplification, is related to the decrease in the insect population. Since the consumption of insects in the diet of lizards can influence their helminth fauna composition (Silva *et al.*, 2019), it is possible that a change in the availability of resources could affect the consumption of intermediate hosts through the loss of species biodiversity (Marcogliese *et al.*, 2009; Becker *et al.*, 2015).

Evaluating how the arthropods that make up the diet are affected by land use intensification can help to better understand how heteroxenous parasites are affected by anthropization. Monoxenous parasites could be less affected by agriculture because they do not need an intermediate host for reproduction (King *et al.*, 2010). Before generalizing patterns for different related taxa, it is also important to consider that responses to parasitism can be species-specific. For example, there was an increase in the parasite infection intensity (number of parasites in individuals having at least one parasite) in urban environments for the lizard *Anolis sagrei* Duméril & Bibron, 1837, but not for its congener, *Anolis cristatellus* Duméril & Bibron, 1837, thus demonstrating that these responses may be species-specific (Thawley *et al.*, 2019). We must consider that, in addition to land use, the characteristics of the environment can also influence the life history of species (Albuquerque *et al.*, 2018). Therefore, analyses for each individual vegetation type of study are required, in order to further understand the patterns.

**Acknowledgments.** We thank Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio for the collect licenses (nº 72762, 29613, and 68031-1), as well as the managers and employees of the Aiuaba Ecological Station, Sete Cidades National Park, and Ubajara National Park Protected Areas for their logistical support. We thank the UVA (CHUVA) and UFC (NUROF) herpetology laboratories members for supporting data collection.

**Conflict of interest.** None.

**Financial support.** This work was supported by the Instituto Humanize (Data Collection and Processing), as well as Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO), and in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 (Scholarship). CAPES, CNPq and Fundação Cearense de Apoio Científico e Tecnológico FUNCAP supported the project “Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos” (CNPQ / ICMBIO / FAPs nº 18/2017 - process nº 421350 / 2017-2), responsible for financing the firsts data collection.

**Author contributions:** ACB and EFC wrote the paper and collected data for the study. All authors read and approved the final manuscript.

**Ethical standards.** The authors declare that all procedures contributing to this work comply with the ethical standards of the relevant national and institutional committees on human experimentation, as well as with the Helsinki Declaration of 1975, as revised in 2008.

## References

- Albuquerque RL, Protázio AS, Cavalcanti LBQ, Lopez LCS & Mesquita DO** (2018) Geographical Ecology of *Tropidurus hispidus* (Squamata: Tropiduridae) and *Cnemidophorus ocellifer* (Squamata: Teiidae) in a Neotropical Region: A Comparison among Atlantic Forest, Caatinga, and Coastal Populations. *Journal of Herpetology* **52**(2), 145–155.
- Almeida-Gomes M & Rocha CFD** (2014) Diversity and distribution of lizards in fragmented Atlantic Forest landscape in Southeastern Brazil. *Journal of Herpetology* **48**, 423–429. <https://doi.org/10.1670/12-187>
- Anderson C** (2000) *Nematode parasites of vertebrates. Their development and transmission*. 672 pp. Cab International, Wallingford.
- Anderson RC, Chabaud AG & Willmon S** (2009) *Keys to the nematode parasites of vertebrates*. 416 pp. Cab international, London.
- Andrade AC** (2019) Metropolitan lizards? Urbanization gradient and the density of lagartixas (*Tropidurus hispidus*) in a tropical city. *Ecology and Evolution* **10**(2), 1–11. <https://doi.org/10.1002/ece3.5518>.
- Becker DJ, Streicker DG & Altizer S** (2015) Linking anthropogenic resources to wildlife-pathogen dynamics: a review and meta-analysis. *Ecology Letters* **18**(5), 483–495.
- Brito SV, Corso G, Almeida AM, Ferreira FS, Almeida WO, Anjos DG et al.** (2014) Phylogeny and micro-habitats utilized by lizards determine the composition of their endoparasites in the semiarid Caatinga of Northeast Brazil. *Parasitology Research* **113**, 3963–3972.
- Burseley CR, Rocha CF, Menezes VA, Ariani CV & Vrcibradic D** (2010) New species of *Oochoristica* (Cestoda; Linstowiidae) and other endoparasites of *Trachylepis atlantica* (Sauria: Scincidae) from Fernando de Noronha Island, Brazil. *Zootaxa* **54**, 45–54.
- Bush AO, Lafferty KD, Lotz JM & Shostak AW** (1997) Parasitology Meets Ecology on Its Own Terms: Margolis *et al.*, Revisited. *The Journal of Parasitology* **83**(4), 575–583.
- Castro DP, Rodrigues JFM, Borges-Leite MJ, Lima DC & Borges-Nojosa DM** (2019) Anuran diversity indicates that Caatinga relictual Neotropical forests are more related to the Atlantic Forest than to the Amazon. *PeerJ* **6**, e6208.
- Crump ML & Scott NJ Jr** (1994) Visual encounter surveys. pp. 84–91. In Heyer

- WR, Donnelly MAR, Mcdiarmid W, Hayek LAC & Foster MS (Eds) *Measuring and monitoring biological diversity—standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- Ellis EC, Klein GK, Siebert S et al.** (2010) Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* **19**, 589–606.
- Fernandes BMM & Kohn A** (2014) *South American trematodes parasites of amphibians and reptiles*. 226 pp. Oficina de Livros, Rio de Janeiro.
- Flores LMA, Zanette LRS & Araujo FS** (2017) Effects of habitat simplification on assemblages of cavity nesting bees e wasps in a semiarid neotropical conservation area. *Biodiversity and Conservation* **27**, 311–328.
- Gibson DI, Jones A & Bray RA** (2002) Keys to the Trematoda, Volume 1. 544 pp. The Natural History Museum, London.
- Hewitt J, Trush S, Lohrer A & Townsend MA** (2010) A latent threat to biodiversity: Consequences of small-scale heterogeneity loss. *Biodiversity and Conservation* **19**, 1315–1323. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9763-7>
- Kelehear C, Brown GP & Shine** (2012) Rapid evolution of parasite life history traits on an expanding range-edge. *Ecology Letters* **15**(4), 329–337.
- Kiesecker JM** (2002) Synergism between trematode infection and pesticide exposure: A link to amphibian limb deformities in nature? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **99**, 9900–9904.
- King KC, McLaughlin JD, Boily M & Marcogliese DJ** (2010) Effects of agricultural landscape and pesticides on parasitism in native bullfrogs. *Biological Conservation* **143**(2), 302–310.
- King KC, McLaughlin JD, Gendron AD, Pauli BD, Giroux I, Rondeau B et al.** (2007) Impacts of agriculture on the parasite communities of northern leopard frogs (*Rana pipiens*) in southern Quebec, Canada. *Parasitology* **134**, 2063–2080.
- Kolodiuk MF, Ribeiro LB & Freire EMX** (2009) The effects of seasonality on the foraging behavior of *Tropidurus hispidus* and *Tropidurus semitaeniatus* (Squamata: Tropiduridae) living in sympatry in the Caatinga of northeastern Brazil. *Zoologia* **26**(3), 581–585.
- Lafferty KD** (1997) Environmental parasitology: What can parasites tell us about human impacts on the environment? *Parasitology Today* **13**(7), 251–255.
- Marcogliese DJ, King KC, Salo HM, Fournier M, Brousseau P, Spear P. et al.**



- (2009) Combined effects of agricultural activity and parasites on biomarkers in the bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Aquatic Toxicology* **9**, 126–134.
- Mckenzie VJ** (2007) Human land use and patterns of parasitism in tropical amphibian hosts. *Biological Conservation* **137**(1), 102–116.
- McKenzie VJ & Townsend AR** (2007) Parasitic and infectious disease responses to changing global nutrient cycles *Ecohealth* **4**, 384–396.
- Medeiros JF & Cestaro LA** (2019) As diferentes abordagens para definir brejos de altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. *Sociedade e Território* **31**(2), 97–119.
- Moro MF, Macedo MB, Moura-Fé MM, Castro ASF & Costa RC** (2015) Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. *Rodriguésia* **66**, 717–743.
- Portela AAB, dos Santos TG & dos Anjos LA** (2020) Changes in land use affect anuran helminth in the South Brazilian grasslands. *Journal of Helminthology* **94**, 1–11.
- Prado D** (2003) As caatingas da América do Sul. pp 3–73 In Leal IR, Tabarelli M & Silva JMC (Eds) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária da UFPE, Recife.
- Queiroz LP, Cardoso D, Fernandes MF & Moro MF** (2017) Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. pp 23–63. In Silva JMC, Leal IR & Tabarelli M (Orgs) *The largest tropical dry forest region in South America*. Springer Publishing Internacional, Cham, Switzerland.
- Rogan JE & Lacher TE** (2018) Impacts of Habitat Loss and Fragmentation on Terrestrial Biodiversity. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier Inc., Amsterdam.
- Santos AMM, Cavalcanti DR, Silva JMC & Tabarelli M** (2007) Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. *Journal of Biogeography* **34**(3), 437–446.
- Santos FA** (2018) Análise Integrada da Paisagem em Trabalho de Campo no Parque Nacional de Sete Cidades (PI). *Geografia* **27**(1), 103–119.
- Santos LAC, Miranda SC & Neto CMS** (2020) Fitofisionomias do Cerrado *stricto sensu*: definições e tendências. *Élisée - Revista de Geografia da UEG* **9**(2), e922022.

- Sillero N, Argaña E, Matos C, Franch M, Kaliontzopoulou K & Carretero MA** (2020) Local Segregation of Realised Niches in Lizards. *International Journal of Geo-Information* **9**, Article 764.
- QGIS Development Team** (2019) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Rêgo AA & Ibáñez HN** (1965) Duas novas espécies de Oochoristica, parasitas de lagartixas do Peru: (Cestoda, Anoplocephalidae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* **63**, 67–73.
- Ribeiro LB & Freire EM** (2011) Trophic ecology and foraging behavior of *Tropidurus hispidus* and *Tropidurus semitaeniatus* (Squamata, Tropiduridae) in a Caatinga area of northeastern Brazil. *Iheringia Série Zoologia* **101**, 225–32.
- Ribeiro LB, Silva NB & Freire EMX** (2012) Reproductive and fat body cycles of *Tropidurus hispidus* and *Tropidurus semitaeniatus* (Squamata: Tropiduridae) in a caatinga area of northeastern Brazil. *Revista Chilena de Historia Natural*. **85**, 307–320.
- Silva LAF, Manoel PS, Uieda VS, Ávila RW & da Silva RJ** (2019) Spatio-temporal variation in diet and its association with parasitic helminth in *Ameivula pyrrhogularis* (Squamata: Teiidae) from northeast Brazil. *Herpetological Conservation and Biology* **14**, 325–336.
- Spaan D, Ramos-Fernández G, Bonilla-Moheno M, Schaffner CM, Morales-Mávil JE, Slater K & Aureli F** (2020) Anthropogenic habitat disturbance and food availability affect the abundance of an endangered primate: a regional approach. *Mammalian Biology* **100**, 325–333. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00025-x>
- Thawley CJ, Moniz HA, Merritt AJ, Battles AC, Michaelides SN & Kolbe JJ** (2019) Urbanization affects body size and parasitism but not thermal preferences in *Anolis* lizards. *Journal of Urban Ecology* **5**, juy031.
- Veloso A, Sampaio EVSB, Giulietti AM, Barbosa MRV, Castro AAJF, Queiroz LP, et al.** (2002) *Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga*. Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil. Associação Plantas do Nordeste, Aldeia.
- Vicente JJ, Rodrigues HO, Gomes DC & Pinto RM** (1993) Nematoides do Brasil. Parte III: Nematoides de Répteis. *Revista Brasileira de Zoologia* **10**(1), 19–168.

- Vidal-Martínez VM, Pech D, Sures B, Purucker STb & Poulin R (2010)** Can parasites really reveal environmental impact? *Trends in Parasitology* **26**, 44–51.
- Vitt LJ, Avila-Pires TC, Caldwell JP & Oliveira VRL (1998)** The impact of individual tree harvesting on thermal environments of lizards in Amazonian rain forest. *Conservation Biology* **12**, 654–664. <https://www.jstor.org/stable/2387247>
- Werner CS & Nunn CL (2020)** Effect of urban habitat use on parasitism in mammals: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **287**, 20200397.
- Whitbeck KL, Oetter DR, Perry DA & Fyles JW (2016)** Interactions between macroclimate, microclimate, and anthropogenic disturbance affect the distribution of aspen near its northern edge in Quebec: Implications for climate change related range expansions. *Forest Ecology and Management* **368**, 194–206.

## **4- CONCLUSÃO**

### **4.1 Qual foi o problema investigado?**

As perturbações ecológicas causadas pelas atividades humanas de uso do solo podem atingir diversos níveis do ecossistema. O principal desencadeador de distúrbios no ambiente é supressão da vegetação nativa o que leva a perda de habitat, espécies, interações ecológicas e serviços ecossistêmicos. Portanto, é importante investigar como o uso do solo pode afetar ecossistemas e para isto, podem-se utilizar diversos modelos de estudo. Neste trabalho, investigamos a riqueza de espécies de endoparasitos associadas a lagartos em ambientes com diferentes níveis de perturbação antrópica. Após descrita a riqueza, investigamos como o uso do solo pode afetar o sistema parasito-hospedeiro tomando como modelo de estudo uma das espécies mais abundantes e mais bem distribuídas nos pontos de coleta e seus respectivos helmintos e pentastomídeos parasitos. Para isto, comparamos a estrutura da comunidade parasitária em áreas de agricultura e áreas conservadas, ou seja, com vegetação menos perturbada.

### **4.2 Quais foram os principais achados?**

Com base em estudos prévios, um número razoável de espécies parasitas associadas a lagartos era esperado, contudo, encontramos uma surpreendente riqueza de novos registros de infecções. Registramos 19 novos hospedeiros para 14 taxa de parasitos (destacados com \* na tabela presente no capítulo um) dentre esses, há registros raros como *Brevimulticaecum* sp. em uma das áreas preservadas, representando o primeiro registro em lagartos. Isto reforça que estudos de levantamento de fauna ainda são importantes para o conhecimento acerca da biodiversidade e que ainda é necessário um maior conhecimento sobre as espécies de parasitos presentes em lagartos no Brasil. Também reforça a importância de estudos focados em unidades de conservação, as quais podem abrigar uma grande riqueza de dados importantes.

Além de conhecer a diversidade de espécies, buscamos também compreender de que forma a estrutura das comunidades parasitárias respondem as mudanças no ambiente. Deste modo, a estrutura de uma comunidade pode ser observada considerando-se entre outros aspectos o número de espécies ali

presentes, a quantidade de indivíduos de cada espécie e características funcionais destes indivíduos, tais como o ciclo de vida dos parasitos. Partindo destas premissas, observamos que em áreas de agricultura há menor abundância de parasitos com ciclo de vida heteroxênico, ou seja, menor quantidade de indivíduos que necessitam de hospedeiros intermediários para completar seu ciclo de vida. Em contrapartida, a abundância de indivíduos com as mesmas características foi maior em áreas de vegetação conservada. Com isto concluímos que o uso do solo afeta as comunidades de endoparasitos de lagartos atingindo a estrutura de suas comunidades. As razões para este resultado podem estar relacionadas a interações ecológicas complexas da cadeia trófica nos ambientes, reforçando que a perda de habitat para a agricultura interfere em diversas escalas no ecossistema.

#### **4.3 Quais são as principais implicações teóricas e aplicadas do estudo?**

Destacamos neste estudo que ainda estamos aquém de conhecer a diversidade de endoparasitos associados a lagartos no Brasil. Baseando-se na riqueza de espécies parasitas e nos novos registros de infecção observamos que a investigação das relações parasitárias com foco no levantamento faunístico ainda é importante para a formação da ciência de base. Além disso, ressaltamos a importância das unidades de conservação visto que estes ambientes têm uma importância ecológica para os locais onde estão inseridas. Estas áreas protegidas podem fornecer informações valiosas sobre as interações ecológicas locais quando abordadas em estudos ecológicos.

Demonstramos também neste estudo que é promissor investigar as relações entre o uso do solo por seres humanos e as comunidades parasitárias. Além de constatar que este padrão pode ser bem avaliado quando tomamos como modelo de estudo os lagartos e seus endoparasitos. A partir dos resultados obtidos pode-se refletir sobre o que especificamente dentro dessas relações contribui para o aumento de parasitos monoxênico em detrimento dos heteroxênicos e conduzir estudos com delineamento amostral focado nas interações.

#### 4.4 Quais foram as principais limitações do estudo?

Este trabalho foi impactado pela pandemia de covid-19, pois logo no início do trabalho, foram decretados os confinamentos e conseqüentemente quase um ano de trabalho em laboratório foi prejudicado. Acredito ser importante esta menção e documentação nesta tese, uma vez que muitas pessoas faleceram em decorrência das complicações da doença. Diante disto, processos de doutoramento eram muito menos importantes do que nos mantermos seguros e o mais saudáveis possível, tanto física quanto mentalmente. Os resultados aqui apresentados são também resistência e perseverança de fazer ciência em meio ao caos, um governo federal lamentável e estrutura física da universidade que poderia ser mais satisfatória. Dito isto, nos três anos que se seguiram, entre disciplinas, campos, identificações de parasitos e análises estatísticas este trabalho foi tomando forma. Além dos trabalhos desta tese, trabalhei em colaboração com pesquisadores e pesquisadoras brilhantes resultando em manuscritos submetidos, em fase final de produção no momento da escrita deste documento além dos trabalhos já publicados e aceito para publicação respectivamente:

- VRCIBRADIC, Davor et al. New records of endoparasites for the Casque-headed Treefrog *Trachycephalus nigromaculatus* (Anura: Hylidae). *Herpetology Notes*, v. 16, p. 271-273, 2023 (disponível em <https://www.biotaxa.org/hn/article/view/79762>)
- BRASILEIRO, A. C.; CARVALHO, E. F. F.; ÁVILA, R. W. Effects of Agricultural Land Use in Abundance and Microhabitat Use of the Generalist Lizard *Tropidurus hispidus*. *Herpetological Conservation and Biology*, v. 18, n. 2, p. 267–274, 2023.
- DE OLIVEIRA, C. R. et al. Effect of altitude and spatial heterogeneity on the host-parasite relationship in anurans from a remnant humid forest in the brazilian semiarid. *Parasitology Research*, v. 122, n. 11, p. 2651–2666, 2023.
- DO CARMO, Willison et al. Helminths of *Leptodactylus mystacinus* (Burmeister, 1861) from a restinga habitat in southeast Brazil. *Herpetology Notes*, v. 17, p. 67-71, 2024.

- QUIRINO, T. F. et al. Autoecology of *Stenolepis ridleyi* (Squamata: Gymnophthalmidae) in northern Atlantic Forest, Brazil. *Herpetological Conservation and Biology*. 2024

Ecologicamente, parasitos compartilham histórias evolutivas únicas com seus hospedeiros e por este motivo, ainda pode ser complexo considerar parasitos de assembleias de hospedeiros juntos em algumas análises estatísticas. Mesmo que estes hospedeiros estejam relacionados filogeneticamente, como lagartos que pertencem a mesma ordem, ainda há muitas particularidades. Por exemplo, na mesma árvore podem habitar uma *Iguana iguana* e um *Norops fuscoauratus*, porém a iguana é herbívora e possui parasitos característicos desta espécie como *Alaeuris vogelsangi*. Deste modo, juntá-los em análises ecológicas pode levar a resultados por vezes enviesados ao não se considerar estas particularidades. Este viés pode aumentar drasticamente ao considerarmos uma assembleia de 23 espécies de hospedeiros como a deste estudo. Portanto, análises ecológicas nestes casos devem ser feitas com cautela.

## REFERÊNCIAS

AHO, John M. Helminth communities of amphibians and reptiles: comparative approaches to understanding patterns and processes. In: **Parasite communities: patterns and processes**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1990. p. 157-195.

ANDERSON, Roy C. **Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission**. Cabi, 2000.

ANDERSON, T. K.; SUKHDEO, M. V. K. Abiotic versus biotic hierarchies in the assembly of parasite populations. **Parasitology**, v. 137, n. 4, p. 743-754, 2010.

ARAUJO FILHO, J. A. et al. Using lizards to evaluate the influence of average abundance on the variance of endoparasites in semiarid areas: dispersion and assemblage structure. **Journal of helminthology**, v. 94, p. e121, 2020.

ÁVILA, R. W.; SILVA, R. J. Checklist of helminths from lizards and amphisbaenians (Reptilia, Squamata) of South America. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, v. 16, p. 543-572, 2010.

BEGON, Michael; TOWNSEND, Colin R. **Ecology: from individuals to ecosystems**. John Wiley & Sons, 2021.

BOLEK, Matthew G.; DETWILER, Jillian T.; STIGGE, Heather A. Selected wildlife trematodes. **Digenetic Trematodes**, p. 321-355, 2019.

BORDES, Frédéric 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, 2015.

BRASILEIRO, Ana Carolina; DE CARVALHO, Elvis Franklin Fernandes. How agricultural land use affects the abundance and prevalence of monoxenous and heteroxenous helminths in the generalist lizard *Tropidurus hispidus*. **Journal of Helminthology**, v. 97, p. e50, 2023.

BRITO, Samuel V. et al. Spatial-temporal variation of parasites in *Cnemidophorus ocellifer* (Teiidae) and *Tropidurus hispidus* and *Tropidurus semitaeniatus* (Tropiduridae) from Caatinga areas in northeastern Brazil. **Parasitology Research**, v. 113, p. 1163-1169, 2014.

BUSH, Albert O. et al. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. **The Journal of parasitology**, p. 575-583, 1997.

CAMPIÃO, K. M. et al. Living apart and having similar trouble: are frog helminth parasites determined by the host or by the habitat?. **Canadian Journal of Zoology**, v. 94, n. 11, p. 761-765, 2016.

ARAUJO FILHO, J. A. et al. Influence of temporal variation and host condition on helminth abundance in the lizard *Tropidurus hispidus* from north-eastern Brazil. **Journal of Helminthology**, v. 91, n. 3, p. 312-319, 2017.

GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible**. Catie, 2002.

GOATER, T.M., GOATER, C.P. and ESCH, G.W. (2014) ‘Summary for



Policymakers', in **Climate Change– The Physical Science Basis**. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. pp. 1–30

GOLDBERG, Stephen R.; BURSEY, Charles R.; KRAUS, Fred. Endoparasites in 12 species of *Sphenomorphus* (Squamata: Scincidae) from Papua New Guinea. **Comparative Parasitology**, v. 76, n. 1, p. 58-83, 2009.

GUÉGAN, J. F.; MORAND, S.; POULIN, R. Are there general laws in parasite community ecology? The emergence of spatial parasitology and epidemiology. **Parasitism and ecosystems**, p. 22-42, 2005.

HUDSON, Peter J.; DOBSON, Andrew P.; LAFFERTY, Kevin D. Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites?. **Trends in ecology & evolution**, v. 21, n. 7, p. 381-385, 2006.

HUMMEL, Christiaan et al. Protected Area management: Fusion and confusion with the ecosystem services approach. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2432-2443, 2019.

ISENRING, Richard. Pesticides and the loss of biodiversity. **Pesticide Action Network Europe, London**, v. 26, 2010.

KIENE, Frederik et al. Habitat fragmentation and vegetation structure impact gastrointestinal parasites of small mammalian hosts in Madagascar. **Ecology and evolution**, v. 11, n. 11, p. 6766-6788, 2021.

KING, Kayla C. et al. Effects of agricultural landscape and pesticides on parasitism in native bullfrogs. **Biological Conservation**, v. 143, n. 2, p. 302-310, 2010.

KUMARI, Beena; MADAN, V. K.; KATHPAL, T. S. Status of insecticide contamination of soil and water in Haryana, India. **Environmental monitoring and assessment**, v. 136, p. 239-244, 2008.

LACERDA, G. M. C. et al. Checklist of parasites associated with 'reptiles' in Northeast Brazil. **Journal of Helminthology**, v. 97, p. e3, 2023.

LEUNG, Tommy LF; KOPRIVNIKAR, Janet. 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, 2019.

LI, Sihan et al. Identifying priority conservation areas based on comprehensive consideration of biodiversity and ecosystem services in the Three-River Headwaters Region, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 359, p. 132082, 2022.

LLORENTE-CULEBRAS, Sonia et al. Iberian protected areas capture regional functional, phylogenetic and taxonomic diversity of most tetrapod groups. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 634653, 2021.

MAGURRAN, Anne E. **Measuring biological diversity**. John Wiley & Sons, 2003.

MAIA-CARNEIRO, Thiago et al. Helminth infections in a pair of sympatric congeneric lizard species. **Parasitology research**, v. 117, p. 89-96, 2018.

MARTIN, J. E. et al. Relationship between diet and helminths in *Gallotia*

- caesaris (Sauria: Lacertidae). **Zoology**, v. 108, n. 2, p. 121-130, 2005.
- MCALLISTER, C.T. 'Pentastomida: Endoparasitic Arthropods', in **Concepts in Animal Parasitology**, pp. 716–731. 2024.
- MENDOZA-ROLDAN, Jairo A.; MODRY, David; OTRANTO, Domenico. Zoonotic parasites of reptiles: a crawling threat. **Trends in parasitology**, v. 36, n. 8, p. 677-687, 2020.
- MORAIS, D. H. et al. A new species of Rhabdias (Nematoda: Rhabdiasidae), a lung parasite of *Pseudopaludicola pocoto* (Anura: Leptodactylidae) from north-eastern Brazil: description and phylogenetic analyses. **Journal of helminthology**, v. 94, p. e209, 2020.
- NIKISHIN, V. P.; SKOROBREKHOVA, E. M. Two strategies of acanthocephalan interrelations with paratenic hosts. **Biology Bulletin**, v. 46, p. 814-822, 2019.
- PACKER, Craig et al. Keeping the herds healthy and alert: implications of predator control for infectious disease. **Ecology Letters**, v. 6, n. 9, p. 797-802, 2003.
- PARKER, Geoff A. et al. Evolution of complex life cycles in helminth parasites. **Nature**, v. 425, n. 6957, p. 480-484, 2003.
- PIANKA, Eric R. The structure of lizard communities. **Annual review of ecology and systematics**, p. 53-74, 1973.
- POE, Steven; ARMIJO, Beeling. Lack of effect of herpetological collecting on the population structure of a community of *Anolis* (Squamata: Dactyloidae) in a disturbed habitat. **Herpetology Notes**, v. 7, p. 153-157, 2014.
- PORTELA, Aline Aparecida Bastos; DOS SANTOS, Tiago Gomes; DOS ANJOS, Luciano Alves. Changes in land use affect anuran helminths in the South Brazilian grasslands. **Journal of Helminthology**, v. 94, p. e206, 2020.
- POUGH, F.H. *et al.* **Vertebrate life**. Eleventh. New York, NY: Oxford University Press. 2023.
- POULIN, R.; MOURITSEN, Kim Nørgaard. Climate change, parasitism and the structure of intertidal ecosystems. **Journal of helminthology**, v. 80, n. 2, p. 183-191, 2006.
- POULIN, Robert; VALTONEN, E. Tellervo. Nested assemblages resulting from host size variation: the case of endoparasite communities in fish hosts. **International Journal for Parasitology**, v. 31, n. 11, p. 1194-1204, 2001.
- RAMADE, François. Introductory conference: on the relevance of protected areas for the research on conservation ecology: from fundamentals to applications. **Comptes Rendus Biologies**, v. 326, p. 3-8, 2003.
- RIBAS, Sueli Carvalho et al. Nematode infection in two sympatric lizards (*Tropidurus torquatus* and *Ameiva ameiva*) with different foraging tactics. **Amphibia-Reptilia**, v. 19, n. 3, p. 323-330, 1998.
- RILEY, John. The biology of pentastomids. **Advances in parasitology**, v. 25,

p. 45-128, 1986.

ROHR, Jason R. et al. Agrochemicals increase trematode infections in a declining amphibian species. **Nature**, v. 455, n. 7217, p. 1235-1239, 2008.

SCHALL, J. J. The ecology of lizard malaria. **Parasitology Today**, v. 6, n. 8, p. 264-269, 1990.

SCHOLZ, Tomáš; CHOUDHURY, Anindo. Parasites of freshwater fishes in North America: why so neglected?. **Journal of Parasitology**, v. 100, n. 1, p. 26-45, 2014.

SCOTT, M. E. Helminth-host-environment interactions: Looking down from the tip of the iceberg. **Journal of Helminthology**, v. 97, p. e59, 2023.

NETA, Aldenir Silva; ÁVILA, Robson. Helminths of the lizard *Colobosauroides cearensis* (Squamata, Gymnophthalmidae) in an area of Caatinga, Northeastern Brazil. **Acta Herpetologica**, v. 13, n. 1, p. 95-100, 2018.

Da SILVA, L.A.F. et al. Spatio-temporal variation in diet and its association with parasitic helminths in *Ameivula pyrrhogularis* (Squamata: Teiidae) from northeast Brazil. **Herpetological Conservation and Biology**, 14(2), pp. 325–336. 2019.

TELFER, Sandra; BOWN, Kevin. The effects of invasion on parasite dynamics and communities. **Functional Ecology**, v. 26, n. 6, p. 1288-1299, 2012.

USMANOVA, Regina R. et al. Genotypic and morphological diversity of trematodes *Leucochloridium paradoxum*. **Parasitology research**, v. 122, n. 4, p. 997-1007, 2023.

WEINSTOCK, Joel V.; ELLIOTT, David E. Helminths and the IBD hygiene hypothesis. **Inflammatory bowel diseases**, v. 15, n. 1, p. 128-133, 2009.