

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

THAIS RIBEIRO DE MIRANDA

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE IMUNOLÓGICA DE MORCEGOS FRUGÍVOROS E
INSETÍVOROS SOB EXPOSIÇÃO AGUDA AO INSETICIDA PIRETRÓIDE
DELTAMETRINA**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2026

THAIS RIBEIRO DE MIRANDA

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE IMUNOLÓGICA DE MORCEGOS FRUGÍVOROS E
INSETÍVOROS SOB EXPOSIÇÃO AGUDA AO INSETICIDA PIRETRÓIDE
DELTAMETRINA**

Monografia, apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Ciências Biológicas.

APROVADO: 26/06/2026

Documento assinado digitalmente
 **THAIS RIBEIRO DE MIRANDA**
Data: 01/07/2026 17:44:20-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Thais Ribeiro de Miranda
(Autora)

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO LICURSI DE OLIVEIRA**
Data: 01/07/2026 20:01:04-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Leandro Licursi de Oliveira
(Orientador)

Departamento de Biologia Geral - UFV

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Christiane, Charles e Edilson.

Aos meus filhos, Nina, Juninho e Flora.

À minha psicóloga, Aline.

Aos meus incríveis orientadores, Leandro e Ana Luiza.

Aos meus amigos, Tauanne, Deborah, Lucas, Nalu, Guilherme e Yasmim.

Aos meus amigos que estão longe, Julia, Carol, Ana Luiza, Thais, Helena e Dirceu.

À minha namorada, Patrícia.

Ao Laboratório de Imunoquímica e Glicobiologia.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio.

RESUMO

Os morcegos desempenham importantes funções ecológicas e apresentam características fisiológicas que os tornam relevantes modelos para estudos ecotoxicológicos. A exposição a contaminantes ambientais, como pesticidas, pode afetar diferentes componentes do sistema imunológico desses animais, comprometendo sua capacidade de resposta a desafios infecciosos. A deltametrina é um inseticida amplamente utilizado, cuja presença no ambiente pode representar riscos à fauna silvestre. Neste contexto, o presente estudo avaliou os efeitos da exposição aguda à deltametrina sobre parâmetros imunológicos de morcegos frugívoros e insetívoros da Mata Atlântica, respectivamente as espécies *Artibeus fimbriatus* (n=10) e *Molossus molossus* (n=13), divididos em grupo controle (CTL) e exposto ao pesticida (DTM). Foram avaliados a atividade antimicrobiana do plasma sanguíneo frente a diferentes espécies bacterianas, a produção de óxido nítrico por esplenócitos estimulados com lipopolissacarídeo (LPS), Zymosan (ZMS) e PMA (forbol 12-miristato 13-acetato associado a ionóforo de cálcio), além do perfil proteico plasmático por eletroforese capilar. De modo geral, o plasma dos animais expostos e não expostos apresentou capacidade de inibir o crescimento bacteriano, indicando a manutenção de mecanismos constitutivos da imunidade inata. Entretanto, para *Bacillus cereus*, o grupo exposto à deltametrina apresentou menor capacidade inibitória em comparação ao grupo controle. A produção de óxido nítrico revelou respostas distintas entre guildas alimentares, com maior produção pelos morcegos frugívoros expostos ao pesticida, sugerindo modulação diferencial da resposta imune entre os grupos. A análise por eletroforese capilar indicou alterações no perfil proteico plasmático dos morcegos insetívoros expostos, evidenciando possíveis mudanças em proteínas associadas à resposta inflamatória e imunológica. Em conjunto, os resultados demonstram que a exposição à deltametrina pode promover alterações nos mecanismos imunológicos de morcegos. Esses achados reforçam a importância da integração entre ecotoxicologia, imunologia e conservação da fauna silvestre para compreender os impactos de contaminantes ambientais.

Palavras-chave: Chiroptera, resposta imune, pesticida, ecotoxicologia

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	7
2- OBJETIVOS	12
2.1- Objetivo geral:	12
2.2- Objetivos específicos:	12
3- MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1- Coleta e aclimatação dos morcegos	13
3.2- Pesticida	13
3.3- Manutenção dos animais e exposição experimental	13
3.4- Preparo das amostras	14
3.5- Estimulação de células esplênicas	14
3.6- Determinação do nível de Óxido Nítrico (NO)	15
3.7- Capacidade inibitória do plasma sanguíneo	15
3.8- Eletroforese capilar	15
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1- Atividade imune de esplenócitos expostos à LPS, ZMS e PMA e níveis de Óxido Nítrico produzidos	16
4.2- Capacidade inibitória do plasma sanguíneo frente ao desafio bacteriano in vitro	18
4.3- Perfil proteico do plasma sanguíneo de morcegos insetívoros e frugívoros	22
5- CONCLUSÃO	26
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráficos de estatística por Teste T da produção de Óxido Nítrico (NO) de morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM.....	16
Figura 2 - Gráficos de estatística por Teste T da produção de Óxido Nítrico (NO) de morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM.....	17
Figura 3 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano <i>in vitro</i> das espécies bacterianas <i>Bacillus cereus</i> , <i>Enterobacter sakazakii</i> , <i>Moraxella catarrhalis</i> e <i>Proteus vulgaris</i>	19
Figura 4 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano <i>in vitro</i> das espécies bacterianas <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella enterica</i> e <i>Shigella flexneri</i>	19
Figura 5 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano <i>in vitro</i> e de estatística por Teste T de <i>Bacillus cereus</i>	20
Figura 6 - “Gel virtual” gerado a partir do eletroferograma dos morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM.....	22
Figura 7 - Eletroferograma do perfil proteico dos morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM, obtido por eletroforese capilar.....	23
Figura 8 - “Gel virtual” gerado a partir do eletroferograma dos morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM.....	24
Figura 9 - Eletroferograma do perfil proteico dos morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM, obtido por eletroforese capilar.....	24

1- INTRODUÇÃO

Os morcegos (Chiroptera) apresentam ampla distribuição no Brasil, constituindo a segunda maior ordem de mamíferos e uma das que apresentam maior diversidade de indivíduos, já que são os únicos capazes de voo verdadeiro (Neuweiler, 2000). Essa elevada diversidade se reflete em suas dietas e estratégias alimentares, visto que os morcegos podem ser classificados em diferentes guildas alimentares: frugívoros (consomem frutos), insetívoros (consomem insetos), nectarívoros (alimentam-se de néctar), carnívoros (predam pequenos vertebrados), onívoros (dieta mista), hematófagos (alimentam-se de sangue) e piscívoros (consomem peixes) (Kunz et al., 2011). Cada guilda alimentar desempenha funções ecológicas específicas nos ecossistemas: os frugívoros atuam como importantes dispersores de sementes, contribuindo para a regeneração florestal; os nectarívoros são polinizadores essenciais de diversas plantas tropicais; os insetívoros realizam o controle biológico de populações de insetos; e os hematófagos, embora com papel ecológico distinto, regulam populações de presas (Kunz et al., 2011). Além disso, as diferentes dietas influenciam diretamente a fisiologia dos morcegos, afetando seu metabolismo energético, sistema digestório, composição da microbiota intestinal e, especialmente, a regulação do sistema imunológico (Brook e Dobson, 2015; Schneider et al., 2021).

O gênero *Artibeus* (Phyllostomidae) destaca-se por apresentar forte preferência por frutos de espécies como *Ficus* spp. (Moraceae) e *Cecropia* spp. (Urticaceae), além de *Solanum* spp. e *Piper* spp., que são componentes comuns de áreas em regeneração (Parolin; Bianconi; Mikich, 2016). Espécies frugívoras como *Artibeus fimbriatus* e *Artibeus jamaicensis* atuam como dispersores de sementes viáveis ao defecarem durante o voo (Morrison, 1978; Muscarella e Fleming, 2007; Trevelin et al, 2013). A rápida digestão comum ao gênero (aproximadamente 15 minutos) torna esses morcegos importantes para a restauração florestal, pois dispersam sementes em áreas abertas e distantes das plantas-mãe, favorecendo a conectividade ecológica e a recuperação de fragmentos degradados (Muscarella e Fleming, 2007; Trevelin et al, 2013). Além disso, estudos mostraram que existe uma preferência alimentar por frutos nativos, mesmo em paisagens agrícolas (Mphethe et al, 2023), fator que contribui para que o reflorestamento seja com espécies nativas da região.

Já os insetívoros, como a espécie *Molossus molossus*, têm o forrageamento como importante método de controle de pragas, uma vez que é estimado que morcegos insetívoros consomem, em média, cerca de 25% de sua própria massa corporal em uma única noite (Kunz

et al., 2011). Sua dieta é composta predominantemente por Coleoptera (41,3%) e Hymenoptera (37,7%), além de Lepidoptera, Diptera e Hemiptera (Silva-Duarte et al., 2024). Seu forrageamento é comum em áreas abertas, utilizando voo rápido e contínuo em grandes altitudes, com emergência crepuscular e atividade concentrada no início da noite (Freitas et al., 2020).

Estima-se que os serviços ecossistêmicos relacionados ao consumo de artrópodes em plantações nos Estados Unidos da América sejam em média até US\$ 53 bilhões por ano (Maine e Boyles, 2015). No entanto, esse serviço ecológico tem sido severamente ameaçado pela síndrome do nariz branco (“white-nose syndrome” ou WNS), uma doença fúngica causada por *Pseudogymnoascus destructans*, que dizimou populações de morcegos insetívoros na América do Norte desde sua introdução em 2006 (Blehert et al., 2009). A morte de morcegos devido à WNS pode acarretar prejuízos de até 3,7 bilhões de dólares por ano para a agricultura norte-americana (Boyles et al., 2011), evidenciando o impacto dos morcegos insetívoros na economia do país. Estudos recentes sugerem que a exposição a pesticidas pode comprometer parâmetros imunológicos em morcegos, potencialmente aumentando sua suscetibilidade a doenças infecciosas, incluindo a WNS (Torquetti; Guimarães; Soto-Blanco, 2021). Além disso, estudos experimentais com deltametrina demonstraram alterações fisiológicas e imunológicas que reforçam essa hipótese (Oliveira et al., 2021a). Nesse sentido, a modulação da resposta imune causada por contaminantes ambientais pode aumentar a vulnerabilidade de populações de morcegos frente a doenças infecciosas emergentes.

Na década de 80 houve o aumento da popularidade dos inseticidas piretroides como alternativa ao uso de outros inseticidas considerados mais tóxicos, e por sua eficácia no controle de insetos (Torquetti; Guimarães; Soto-Blanco, 2021). No Brasil, a expansão das atividades agrícolas tem sido acompanhada por um aumento expressivo no uso de pesticidas. Entre 2010 e 2020, a quantidade de ingredientes ativos de agrotóxicos comercializados nacionalmente aumentou 78,3%, enquanto a área cultivada cresceu apenas 27,6%, indicando uma intensificação do uso desses compostos superior à própria expansão da área agrícola (Hess; Nodari, 2022). Esse cenário amplia o potencial de exposição indireta de organismos não alvo aos pesticidas, principalmente pela contaminação do solo, da água e dos recursos alimentares. Em morcegos, essa exposição pode ocorrer pela ingestão de frutos contaminados ou de presas que acumularam resíduos desses compostos, possibilitando a ocorrência de

alterações fisiológicas, reprodutivas, comportamentais e imunológicas (Torquetti; Guimarães; Soto-Blanco, 2021).

Entre os pesticidas mais utilizados na agricultura, destaca-se a deltametrina (DTM), [(S)-alpha-cyano-3-phenoxybenzyl (1R)-cis-3-(2,2-dibromovinyl) 2,2 dimethylcyclopropanecarboxylate]. A deltametrina é um piretróide sintético tipo II de uso agrícola e veterinário. Ela pode ser aplicada de forma pulverizada ou por imersão, em concentrações que variam entre 30 e 500 mL de ingrediente ativo por hectare diluídos em água (Brasil-ANVISA, 2003). Apesar da eficácia contra as pragas agrícolas, estudos mostram os efeitos neurológicos e cardiovasculares, estresse oxidativo e diminuição da acetilcolinesterase provocados pelos pesticidas piretroides nos organismos não alvo (El-Demerdash, 2011b, 2011a; Lu et al., 2019; Pitzer; Williams; Vorhees, 2021; Valentine, 1990). Seus efeitos em mamíferos, como camundongos e ratos, incluem efeitos genotóxicos (Chauhan et al., 2007), indução de estresse oxidativo, nefrotoxicidade, hepatotoxicidade e neurotoxicidade (Lu et al., 2019; Oliveira et al., 2022; Pitzer; Williams; Vorhees, 2021).

Estudos prévios conduzidos com o morcego frugívoro *Artibeus lituratus*, submetido à exposição oral à deltametrina durante sete dias, demonstraram que esse pesticida é capaz de induzir alterações fisiológicas. Entre os efeitos observados destacam-se o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), indução de estresse oxidativo, elevação das atividades plasmáticas das enzimas alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), que são biomarcadores de lesão tecidual (Oliveira et al., 2018). Além disso, também observaram alterações histopatológicas no fígado, rins e intestino (Oliveira et al., 2022), e danos morfológicos aos testículos (Oliveira et al., 2021a). EROs também atuam como moléculas sinalizadoras envolvidas na regulação de vias inflamatórias e na atividade de células imunológicas (Forrester et al., 2018). Dessa forma, alterações na produção e no controle dessas moléculas podem modificar a resposta imune dos organismos em questão.

A deltametrina exerce impacto direto sobre o sistema imunológico de mamíferos, conforme demonstrado por diversos estudos experimentais em modelos murinos. A exposição à DTM induz apoptose de timócitos e esplenócitos por meio da ativação da via mitocondrial dependente de caspase-3, acompanhada por aumento da fragmentação do DNA e redução da viabilidade celular (Kumar; Sasmal; Sharma, 2014; Kumar et al., 2016). Análises de subpopulações linfocitárias revelam diminuição significativa de linfócitos T (CD3⁺) e B

(CD19⁺) no baço e no timo, indicando imunossupressão celular (Kumar; Sharma, 2015). A deltametrina também compromete a resposta humoral, reduzindo o número de células formadoras de placas (PFC) e de anticorpos séricos (Łukowicz-Ratajczak; Krechniak, 1992; Rehman et al., 2017). Esses achados em mamíferos modelo sugerem que a exposição à deltametrina pode comprometer a competência imunológica de organismos não alvo.

O sistema imunológico dos morcegos vem chamando a atenção da ciência nos últimos anos devido às suas peculiaridades, como o fato de serem hospedeiros de múltiplos patógenos virais, bacterianos e fúngicos, frequentemente sem manifestar sinais clínicos das doenças (Banerjee et al., 2020; Irving et al., 2021). Essa capacidade tem sido associada a um conjunto de respostas imunes antivirais, cuja evolução pode ter sido influenciada pela longa coevolução entre morcegos e vírus (Banerjee et al., 2020). Além disso, acredita-se que as elevadas demandas metabólicas impostas pelo voo, incluindo o aumento da temperatura corporal para valores superiores a 40°C e da produção de espécies reativas de oxigênio, tenham favorecido a seleção de mecanismos capazes de equilibrar a contenção de patógenos com a limitação de respostas inflamatórias excessivas (O'Shea et al., 2014; Banerjee et al., 2020).

A exposição aos pesticidas pode induzir quadros de imunossupressão em morcegos, aumentando sua vulnerabilidade a agentes infecciosos (Oliveira et al., 2021b). Compreender os fatores que afetam sua imunidade é relevante também para a Saúde Única, já que diversas espécies de morcegos são reservatórios de vírus, bactérias e outros agentes infecciosos. Entre os vírus, destaca-se o da raiva (RABV), cujo principal reservatório na América Latina é o morcego hematófago *Desmodus rotundus*, embora espécies insetívoras, como *Tadarida brasiliensis*, *Eptesicus fuscus* e espécies do gênero *Myotis*, também possam hospedar variantes do vírus (Calisher et al., 2006). Os morcegos também são reconhecidos como importantes reservatórios de coronavírus. Os parentes genéticos mais próximos do SARS-CoV e do SARS-CoV-2 foram identificados em morcegos do gênero *Rhinolophus* (Rhinolophidae), na Ásia (Letko et al., 2020), enquanto o MERS-CoV tem sido associado a morcegos frugívoros da família Phyllostomidae no Neotrópico e à espécie *Rousettus aegyptiacus* na África (Bonilla-Aldana et al., 2021). Além disso, *Rousettus aegyptiacus* é o principal reservatório conhecido dos filovírus Marburg e Ebola (Letko et al., 2020). Morcegos do gênero *Pteropus* (Pteropodidae), distribuídos no Sudeste Asiático e na Oceania, estão associados aos henipavírus Nipah e Hendra (Calisher et al., 2006; Letko et al., 2020). Recentemente, estudos metagenômicos demonstraram que morcegos neotropicais, como *Artibeus lituratus*, *Artibeus jamaicensis* e *Carollia perspicillata*, abrigam uma diversidade

viral ainda pouco explorada, incluindo adenovírus, herpesvírus e coronavírus (Vicente-Santos et al., 2023).

No âmbito bacteriano, os morcegos também são reconhecidos como reservatórios de diversos gêneros com potencial zoonótico. Revisões sistemáticas indicam que *Bartonella*, *Leptospira* e *Staphylococcus* estão entre os gêneros bacterianos mais frequentemente identificados em morcegos ao redor do mundo, seguidos por *Escherichia*, *Salmonella*, *Pasteurella*, *Brucella* e *Yersinia* (Mühldorfer, 2013; Ferreira et al., 2024). Na América do Sul, estudos detectaram espécies patogênicas de *Leptospira* em morcegos como *Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Desmodus rotundus* e *Artibeus planirostris* (Mateus et al., 2019). Além disso, espécies de *Bartonella* também foram identificadas em morcegos filostomídeos no Brasil, ampliando as evidências da circulação desse gênero bacteriano em populações de quirópteros neotropicais (Ferreira et al., 2024). Esses achados evidenciam a ampla diversidade de microrganismos associados aos morcegos e reforçam a importância de compreender as interações entre hospedeiros, patógenos e ambiente. Alterações ambientais decorrentes da ação humana podem modificar esse equilíbrio, aumentando as oportunidades de contato entre fauna silvestre, animais domésticos e seres humanos. Nesse contexto, compreender esses processos é essencial para a abordagem de Saúde Única e para o desenvolvimento de estratégias voltadas à conservação da biodiversidade e à prevenção de zoonoses.

A avaliação da resposta imune em morcegos tem sido realizada por meio da aplicação de diferentes agentes imunomoduladores que mimetizam infecções por classes distintas de patógenos. O lipopolissacarídeo (LPS), componente da parede celular de bactérias Gram-negativas, é utilizado como desafio imunológico bacteriano. Estudos com morcegos da família Phyllostomidae demonstraram que a administração de LPS induz uma resposta de fase aguda, com alterações em proteínas de fase aguda, redução da massa corporal e modulação do consumo alimentar, variando conforme dose, tempo pós-desafio e disponibilidade energética (Cabrera-Martínez et al., 2018; Melhado et al., 2020; Viola et al., 2022). O Zymosan (ZMS) é uma substância de origem fúngica derivada da parede celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Ele intensifica a resposta inflamatória por meio da ativação de receptores específicos do sistema imunológico presentes em células como macrófagos, células dendríticas e neutrófilos (Fitzpatrick e DiCarlo, 1964; Venkatachalam et al., 2020). O forbol 12-miristato 13-acetato (PMA) é utilizado como controle positivo de ativação celular *in vitro* por ser um potente ativador da proteína quinase C (PKC). Ele atua induzindo a produção de

espécies reativas de oxigênio e a liberação de mediadores inflamatórios por células imunes (Damascena et al., 2022). Dessa forma, a utilização combinada de LPS, ZMS e PMA como desafios imunológicos *in vitro* permite investigar diferentes vias de ativação da resposta imune em morcegos.

Diante da importância ecológica dos morcegos como dispersores de sementes, polinizadores e predadores naturais de populações de insetos, bem como dos benefícios econômicos associados aos serviços ecossistêmicos que desempenham, é fundamental a ampliação de estudos sobre os efeitos de pesticidas no sistema imunológico desses organismos. Este trabalho visa, portanto, avaliar a resposta imune de morcegos das espécies *Artibeus fimbriatus* e *Molossus molossus*, representantes das guildas alimentares frugívora e insetívora, respectivamente. Para isso, foram comparados parâmetros imunológicos de indivíduos expostos e não expostos à deltametrina, a fim de identificar possíveis alterações imunológicas associadas a esse contaminante.

2- OBJETIVOS

2.1- Objetivo geral:

Avaliar a atividade imunológica de morcegos frugívoros e insetívoros expostos ao inseticida piretróide deltametrina.

2.2- Objetivos específicos:

- Avaliar a atividade de esplenócitos de morcegos frugívoros e insetívoros, expostos e não expostos à DTM, frente aos desafios lipopolissacarídeo (LPS), Zymosan (ZMS) e PMA (forbol 12-miristato 13-acetato associado a ionóforo de cálcio);
- Avaliar os níveis de óxido nítrico produzidos pelos esplenócitos de morcegos frugívoros e insetívoros expostos à DTM;
- Comparar a capacidade inibitória do plasma sanguíneo de morcegos frugívoros e insetívoros expostos e não expostos à DTM;
- Avaliar o perfil proteico do plasma de morcegos frugívoros e insetívoros expostos à DTM.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Coleta e aclimação dos morcegos

Foram coletados indivíduos machos adultos das espécies *Artibeus fimbriatus* (n=10) e *Molossus molossus* (n=13) na região de Marliéria - MG e na Mata do Paraíso do Campus da Universidade Federal de Viçosa - MG. A captura foi feita por meio de redes de neblina e busca ativa em abrigos. Após a coleta, os animais foram identificados com a Chave de Identificação de Morcegos Brasileiros (Vizotto; Taddei, 1973), pesados e imediatamente levados ao morcegueiro localizado no Museu de Zoologia João Moojen, em Viçosa - MG. Após um período de aclimação de dois dias, os animais foram distribuídos em baias contendo cinco indivíduos cada, protegidas por árvores, com livre acesso à água e alimentação fornecida diariamente durante cinco dias. Durante todo o procedimento, os morcegos insetívoros receberam larvas de tenébrio e os morcegos frugívoros receberam banana e mamão (devidamente higienizados). A equipe possuía experiência prévia com manipulação de morcegos em cativeiro e ensaios ecotoxicológicos utilizando esses animais. O presente projeto foi aprovado pelo SISBIO - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (Nº 78665-1), autorização de coleta do Instituto Estadual de Floresta (IEF) e da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFV.

3.2- Pesticida

O pesticida piretróide deltametrina foi obtido com o Laboratório de Manejo Integrado de Pragas da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. A dose utilizada foi escolhida com base em concentrações previamente estudadas por nosso grupo de pesquisa (Oliveira et al. 2018, 2021a).

3.3- Manutenção dos animais e exposição experimental

Os animais foram divididos em 2 grupos, sendo controle (CTL) e grupo exposto à deltametrina (DTM). Para os morcegos frugívoros, cada grupo foi composto por n=5 indivíduos (5 CTL e 5 DTM), enquanto para os insetívoros cada grupo foi composto por n=7/6 indivíduos (7 CTL e 6 DTM). O grupo CTL recebeu 0,5 mL de água de injeção via intraperitoneal (i.p.) e alimentação com aproximadamente 200g/indivíduo de banana e mamão papaia (frugívoros) e 100g/indivíduo de larvas de tenébrio (insetívoros). O grupo DTM

recebeu 0,5 mL de deltametrina na dose de 2,0 mg/kg de peso corporal, diluída em água de injeção, e o mesmo tipo de alimentação do grupo CTL. Após 24 horas da exposição, os animais foram anestesiados com xilazina (10 mg/kg) e cetamina (100 mg/kg), sendo realizada a coleta sanguínea por punção cardíaca. Após a coleta, os animais foram eutanasiados por exsanguinação total seguido de deslocamento cervical. O baço foi removido cirurgicamente para a realização dos ensaios imunológicos deste estudo. Os demais órgãos foram coletados e congelados para utilização em pesquisas futuras, visando maximizar o aproveitamento científico das amostras biológicas obtidas.

3.4- Preparo das amostras

O sangue foi coletado em tubos contendo heparina como anticoagulante e, posteriormente, submetido à centrifugação para obtenção do plasma sanguíneo (armazenado em freezer). Após a remoção cirúrgica do baço, os esplenócitos foram obtidos pela lavagem do órgão, em seguida suspensos em 4 mL de meio de cultura RPMI. As células foram incubadas durante 4 minutos em tampão de lise (contendo nove partes de cloreto de amônio a 0,16 M e uma parte de Tris-HCl a 0,17 M) para rompimento das hemácias e viabilidade das células imunes. Os esplenócitos foram lavados novamente e ressuspensos a uma concentração de 1×10^7 células/ml em meio RPMI suplementado com 5% de soro bovino fetal, 20 mM de L-glutamina e 20 µg/mL de sulfato de gentamicina.

3.5- Estimulação de células esplênicas

Os esplenócitos foram distribuídos em placas de cultura de 24 poços na concentração de 5×10^6 células/mL/poço e divididas em 6 grupos para cultivo na presença de diferentes desafios: lipopolissacarídeo (LPS), para simular uma infecção bacteriana, Zymosan (ZMS), simulando uma infecção fúngica e PMA (forbol 12-miristato 13-acetato associado a ionóforo de cálcio) utilizado como controle positivo de ativação celular. Os grupos experimentais foram LPS1 e LPS2 (concentrações 0,1 e 1 µg/mL, respectivamente), ZMS1 e ZMS2 (concentrações 0,1 e 1 µg/mL, respectivamente), PMA (0,1 µg/mL) e o grupo controle (CTL) contendo somente meio de cultura. Todos os grupos experimentais foram plaqueados em triplicatas. Após o período de incubação de 24 horas a 37°C, o meio de cultura foi removido e reservado para análises de óxido nítrico (NO).

3.6- Determinação do nível de Óxido Nítrico (NO)

Um volume de 50 μL do sobrenadante das culturas descritas anteriormente foi adicionado à microplacas com igual volume do Reativo de Griess (1% de sulfanilamida e 0,1% naftil-etileno-diamina em 2,5% de H_3PO_4), seguido de incubação a temperatura ambiente por 15 minutos. A absorbância foi medida a 540 nm em um espectrofotômetro leitor de microplacas. A concentração do NO no sobrenadante das amostras foi medida a partir de uma curva padrão de nitrito de sódio conhecida (Sun et al., 2003) e expressa em nmol/mL.

3.7- Capacidade inibitória do plasma sanguíneo

Foram coletados plasma sanguíneo dos grupos CTL e DTM das espécies frugívoras e insetívoras após eutanásia, seguido de incubação do plasma de cada morcego com diferentes espécies bacterianas (*Bacillus cereus*, *Enterobacter sakazakii*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Moraxella catarrhalis*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella enterica* e *Shigella flexneri*). A cinética de crescimento bacteriano foi monitorada por espectrofotometria com densidade óptica inicial do inóculo de 0,1 ($\text{DOi} = 0,1$) comparando cultivos contendo plasma dos grupos CTL e DTM com um controle sem plasma (apenas meio de cultura).

3.8- Eletroforese capilar

O plasma sanguíneo (40 μL) de morcegos frugívoros e insetívoros dos grupos CTL e DTM também foi analisado por eletroforese capilar utilizando o equipamento MINICAP Flex-Piercing® para determinação do perfil proteico. É gerado um “gel virtual” e um eletroferograma, no qual cada pico representa um conjunto de proteínas. A metodologia da análise foi feita com base nas instruções do fabricante.

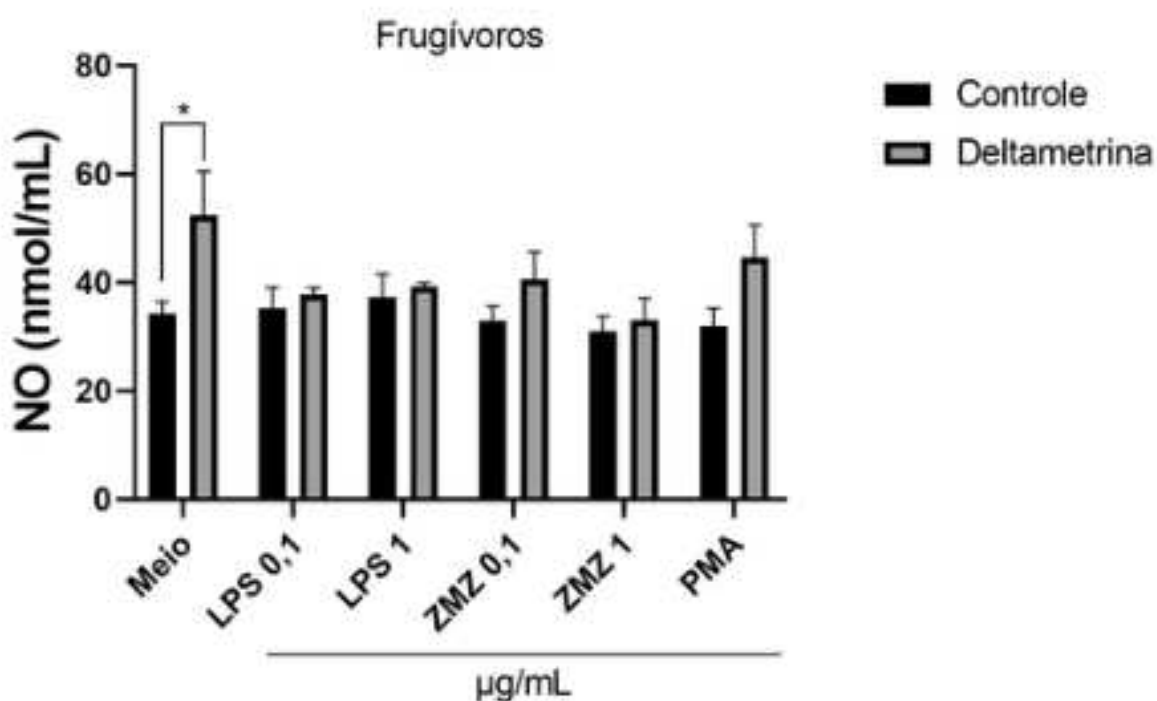
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Atividade imune de esplenócitos expostos à LPS, ZMS e PMA e níveis de Óxido Nítrico produzidos

Células do baço de morcegos dos grupos CTL e DTM foram desafiadas com diferentes concentrações de estímulos inflamatórios (LPS 0,1 $\mu\text{g/mL}$ e 1 $\mu\text{g/mL}$; Zymosan 0,1 $\mu\text{g/mL}$ e 1 $\mu\text{g/mL}$; e PMA 0,1 $\mu\text{g/mL}$), além da avaliação da produção basal (apenas meio de cultura).

Nas células derivadas de morcegos frugívoros (Figura 1), a produção basal de NO (células mantidas apenas em meio) foi significativamente maior no grupo DTM em comparação ao grupo CTL ($p < 0,05$). Este achado indica que a exposição prévia ao pesticida é capaz de induzir, por si só, um estado de ativação celular ou estresse oxidativo basal nesta guilda.

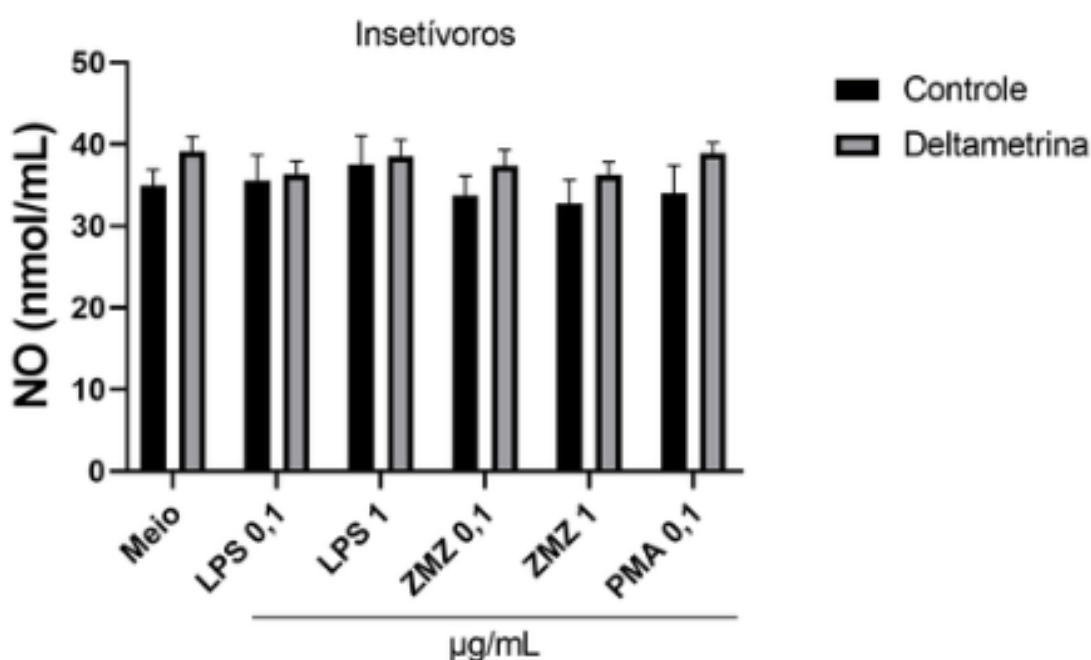
Figura 1 - Gráficos de estatística por Teste T da produção de Óxido Nítrico (NO) de morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM. Os animais foram submetidos à exposição aguda (24 horas). Foi avaliada a produção de NO dos esplenócitos desses animais. Tratamentos no eixo X são, respectivamente, grupo controle (CTL) contendo somente meio de cultura, LPS1 e LPS2 (concentrações 0,1 e 1 $\mu\text{g/mL}$), ZMS1 e ZMS2 (concentrações 0,1 e 1 $\mu\text{g/mL}$), PMA (0,1 $\mu\text{g/mL}$). O asterisco (*) significa diferença estatística por Teste T. O eixo Y representa o valor em nmol/mL da produção de NO.



Quando submetidas aos estímulos inflamatórios, observou-se que a presença da deltametrina manteve a produção de NO em patamares consistentemente mais altos na maioria dos tratamentos (LPS1, LPS2, ZMS1, ZMS2 e PMA). No entanto, o pico máximo de liberação de NO nesta guilda alimentar foi registrado sob o estímulo de LPS a 1 $\mu\text{g/mL}$ (LPS2), onde o grupo controle atingiu valores individuais expressivos (máx. 53,44 μM), demonstrando uma forte capacidade de resposta inata a altas concentrações de lipopolissacarídeos, independentemente da exposição ao agrotóxico. Os estímulos com Zymosan (ZMS1 e ZMS2) e PMA induziram respostas mais homogêneas, com o grupo DTM apresentando menor variação entre as replicatas e médias superiores ao controle.

Já o perfil de resposta nas células de morcegos insetívoros (Figura 2) revelou um impacto menos agressivo da exposição à deltametrina. A produção basal de NO não apresentou mudança significativa em relação ao controle. Frente aos desafios imunológicos, o grupo DTM manteve níveis de NO ligeiramente superiores ao CTL em todos os cenários, porém sem significância estatística.

Figura 2 - Gráficos de estatística por Teste T da produção de Óxido Nítrico (NO) de morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM. Os animais foram submetidos à exposição aguda (24 horas). Foi avaliada a produção de NO dos esplenócitos desses animais. Tratamentos no eixo X são, respectivamente, grupo controle (CTL) contendo somente meio de cultura, LPS1 e LPS2 (concentrações 0,1 e 1 $\mu\text{g/mL}$), ZMS1 e ZMS2 (concentrações 0,1 e 1 $\mu\text{g/mL}$), PMA (0,1 $\mu\text{g/mL}$). O eixo Y representa o valor em nmol/mL da produção de NO.



Embora os morcegos insetívoros sejam considerados mais vulneráveis à exposição ambiental a pesticidas devido à contaminação de potenciais presas e biomagnificação trófica (Torquetti et al., 2021; Stechert et al., 2014), diversos fatores podem explicar a maior responsividade dos esplenócitos dos frugívoros à deltametrina. Diferenças fisiológicas entre as espécies analisadas, incluindo variações na taxa metabólica, podem influenciar a dinâmica de exposição aos contaminantes. Morcegos frugívoros de maior porte, como *Artibeus fimbriatus*, apresentam menor taxa metabólica específica em comparação com morcegos insetívoros de menor porte, como *Molossus molossus*, característica associada à escala alométrica do metabolismo em mamíferos (Speakman; Thomas, 2003). Essas diferenças metabólicas podem contribuir para variações na absorção e eliminação de pesticidas.

O NO produzido em excesso pode exercer funções benéficas na sinalização imune e na defesa contra patógenos, mas também contribuir para danos teciduais (Bogdan, 2001; Pacher et al., 2007). A ativação persistente da resposta imune pode representar um custo energético para o organismo, já que demanda recursos metabólicos que poderiam ser direcionados para processos como crescimento, reprodução e manutenção fisiológica. Esse cenário pode ser particularmente relevante em morcegos expostos à deltametrina, considerando que estudos anteriores com *Artibeus lituratus* demonstraram redução da massa corporal e alterações em reservas energéticas após exposição ao pesticida (Oliveira et al., 2018; Oliveira et al., 2021a). Assim, a resposta diferencial entre espécies reforça a importância de considerar características espécie-específicas na avaliação dos impactos de contaminantes ambientais sobre a fauna silvestre.

4.2- Capacidade inibitória do plasma sanguíneo frente ao desafio bacteriano in vitro

Comparou-se o crescimento bacteriano na presença de plasma sanguíneo dos grupos CTL e DTM com um controle negativo contendo apenas meio de cultura, na ausência de plasma. De modo geral, tanto o plasma do grupo CTL quanto o do grupo DTM foram capazes de inibir o crescimento das espécies bacterianas testadas, quando comparados ao controle.

Para a maioria das bactérias testadas (*Enterobacter sakazakii*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Moraxella catarrhalis*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella enterica* e *Shigella flexneri*) não foram observadas diferenças significativas na capacidade de inibição entre o plasma dos grupos CTL e DTM (Figuras 3 e 4). Entretanto, para a bactéria *Bacillus cereus*, o plasma do grupo DTM apresentou menor eficácia inibitória quando comparado ao

plasma do grupo CTL, resultando em maior crescimento bacteriano (Figura 5). O resultado sugere que o tratamento com deltametrina pode ter afetado seletivamente componentes plasmáticos envolvidos no combate a essa espécie bacteriana específica. Essa alteração pode refletir uma modulação diferencial dos mecanismos efetores humorais, que são mediados por células B e pela produção de anticorpos para combater patógenos (Abbas; Lichtman; Pillai, 2015).

Figura 3 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano *in vitro* das espécies bacterianas *Bacillus cereus*, *Enterobacter sakazakii*, *Moraxella catarrhalis* e *Proteus vulgaris*. O eixo X indica o tempo médio em minutos de duração da incubação das bactérias. O eixo Y indica a cinética de crescimento bacteriano monitorada por espectrofotometria com densidade óptica inicial do inóculo de 0,1 (DOi = 0,1).

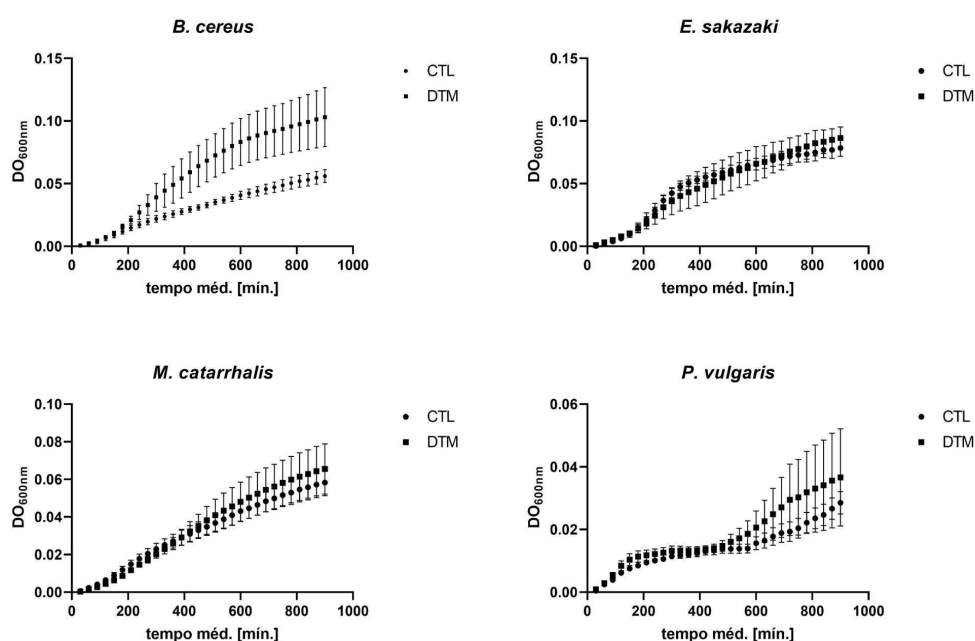


Figura 4 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano *in vitro* das espécies bacterianas *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* e *Shigella flexneri*. O eixo X indica o tempo médio em minutos de duração da incubação das bactérias. O eixo Y indica a cinética de crescimento bacteriano monitorada por espectrofotometria com densidade óptica inicial do inóculo de 0,1 (DOi = 0,1).

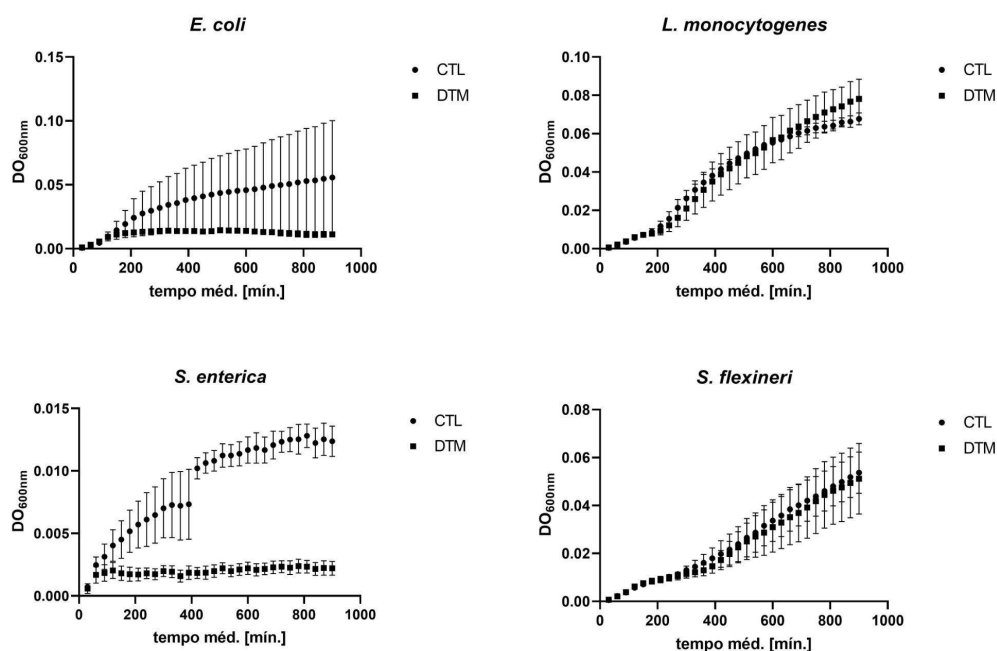
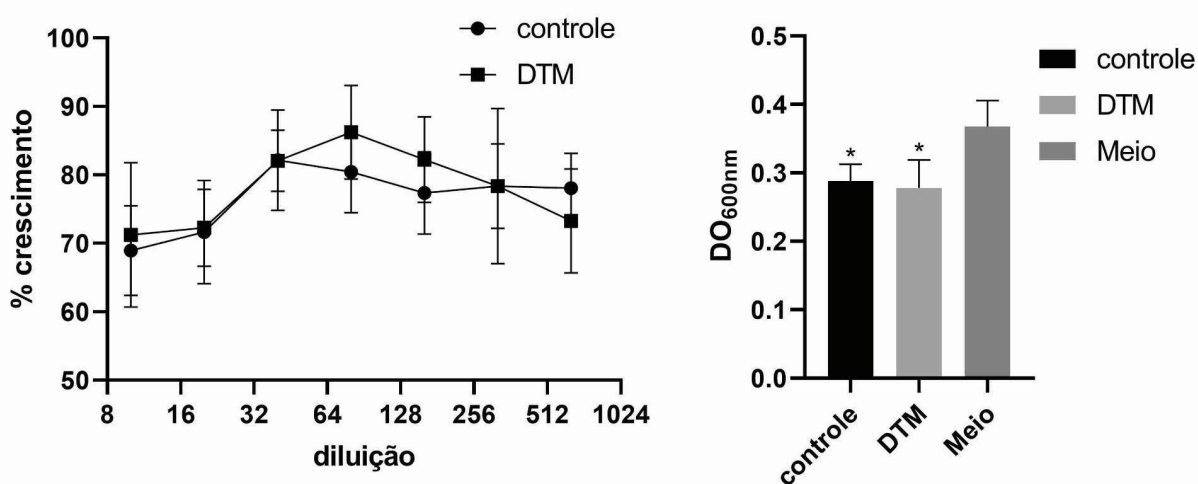


Figura 5 - Gráficos da curva de crescimento bacteriano *in vitro* e de estatística por Teste T de *Bacillus cereus*. No primeiro gráfico, o eixo X representa a diluição do meio de cultura utilizado para incubação da bactéria, enquanto o eixo Y apresenta a porcentagem de crescimento cinético. No segundo gráfico, o eixo X apresenta, respectivamente, o crescimento da bactéria no plasma sanguíneo do grupo CTL, seguido do crescimento em plasma do grupo DTM, por fim o crescimento apenas em meio de cultura. O eixo Y indica a cinética de crescimento bacteriano monitorada por espectrofotometria com densidade óptica inicial do inóculo de 0,1 ($DO_i = 0,1$).



A capacidade do plasma sanguíneo de morcegos em inibir o crescimento bacteriano parece estar relacionada também à atividade do sistema complemento, composto por proteínas que interagem com outras moléculas do sistema imune para gerar produtos que eliminam os microrganismos (Abbas; Lichtman; Pillai, 2015). No presente estudo, observamos que o plasma foi capaz de inibir tanto bactérias Gram-negativas (*Escherichia coli*, *Enterobacter sakazakii*, *Moraxella catarrhalis*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella enterica* e *Shigella flexneri*) quanto Gram-positivas (*Bacillus cereus* e *Listeria monocytogenes*). Isso sugere que os mecanismos efetores presentes no plasma dos morcegos estudados são eficazes contra um espectro diversificado de alvos bacterianos.

A seletividade do efeito da deltametrina sobre a inibição de *B. cereus*, em contraste com as demais bactérias testadas, pode estar relacionada a diferenças nos mecanismos de ação efetora do sistema imune requeridos para o combate a diferentes espécies bacterianas. *B. cereus* é uma bactéria Gram-positiva formadora de esporos e produtora de toxinas (Kotiranta et al., 2000; Stenfors Arnesen et al., 2008). A eliminação dessa espécie bacteriana pode depender de vias efetoras específicas do complemento ou de peptídeos antimicrobianos que são particularmente suscetíveis à modulação pela deltametrina.

Corroborando com essa interpretação, Moore et al. (2011) demonstraram que o plasma sanguíneo de morcegos *Myotis lucifugus* apresenta atividade bactericida mediada por proteínas do complemento contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. A capacidade de lise microbiana foi significativamente maior contra a bactéria Gram-negativa *E. coli* do que contra a Gram-positiva *S. aureus*. Essa diferença na suscetibilidade entre bactérias Gram-negativas e Gram-positivas à atividade do complemento tem sido atribuída, em parte, às diferenças estruturais da parede celular (Janeway et al., 2001).

Essa capacidade de regulação imunológica é consistente com a hipótese de que os morcegos evoluíram mecanismos de tolerância a patógenos e de regulação da resposta inflamatória. Essas adaptações podem estar relacionadas ao voo, que demanda elevadas taxas metabólicas e gera subprodutos que poderiam ativar o sistema imune (Morales et al., 2025; Banerjee et al., 2020). Nesse contexto, a manutenção da atividade antibacteriana do plasma frente à exposição a um contaminante ambiental pode representar uma vantagem adaptativa importante para a sobrevivência desses animais em ambientes antropizados. Porém, mais estudos são necessários para entender como a regulação imunológica desses animais é afetada por estressores ambientais.

Do ponto de vista ecológico e sanitário, a capacidade do plasma de morcegos em inibir bactérias potencialmente patogênicas, como *Salmonella enterica*, *Shigella flexneri* e *Escherichia coli*, evidencia a importância dos mecanismos antimicrobianos presentes nesses animais. Esses microrganismos são agentes causadores de doenças entéricas em humanos e animais domésticos, e sua circulação em populações de morcegos que habitam áreas urbanas pode representar um risco potencial para a saúde pública (Federici et al., 2022). Esses resultados reforçam a importância de compreender os morcegos dentro de uma perspectiva de Saúde Única. Portanto, a associação desses animais com agentes zoonóticos deve ser interpretada considerando as alterações ambientais e os desequilíbrios nas interações entre fauna, seres humanos e ambiente, e não como uma característica intrínseca dos morcegos.

4.3- Perfil proteico do plasma sanguíneo de morcegos insetívoros e frugívoros

A análise de eletroforese capilar resulta em um gráfico chamado de eletroferograma e um “gel virtual” (Figura 6). Na comparação dos eletroferogramas obtidos para os morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM, revelou-se diferenças visuais no perfil proteico entre os grupos experimentais. Observou-se que os animais expostos à DTM apresentaram maior variação nos picos das frações proteicas quando comparados ao grupo CTL (Figura 7), indicando alterações na composição proteica do plasma. Esse resultado sugere que a deltametrina pode promover alterações na composição das proteínas plasmáticas, particularmente em componentes relacionados à resposta imune e inflamatória.

Figura 6 - “Gel virtual” gerado a partir do eletroferograma dos morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM. Observam-se diferenças na intensidade e no padrão de distribuição das bandas entre os grupos.

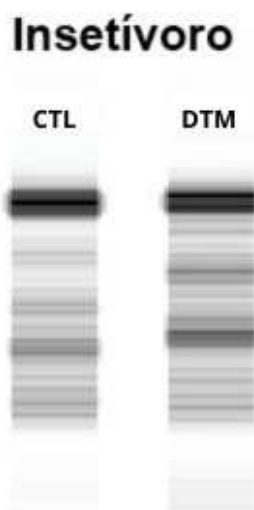
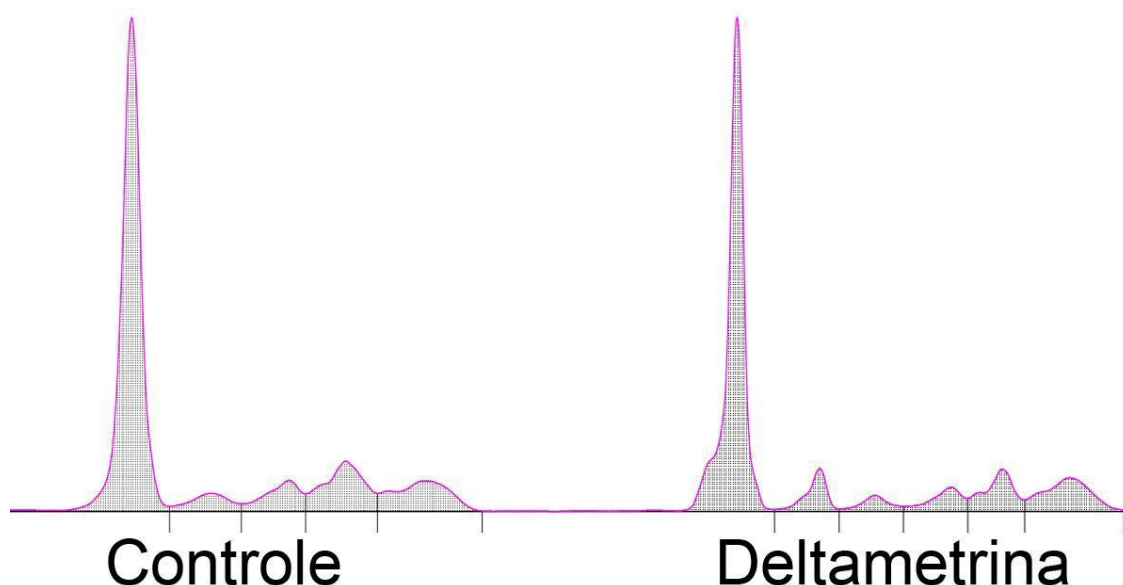


Figura 7 - Eletroferograma do perfil proteico dos morcegos insetívoros dos grupos CTL e DTM, obtido por eletroforese capilar. Da esquerda para a direita, os picos correspondem às frações albumina, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$ e γ .



No eletroferograma, cada pico representa um conjunto de proteínas, sendo elas respectivamente Albumina, Alfa 1, Alfa 2, Beta 1, Beta 2 e Gama, no qual as frações de Alfa a Beta são proteínas de fase aguda. É importante destacar que essa técnica fornece o perfil proteico quantitativo das frações sem identificar proteínas específicas individualmente. Cada pico do eletroferograma representa um conjunto de proteínas com mobilidade eletroforética semelhante (Larsson; Hansson, 2006). Portanto, alterações em picos específicos podem indicar mudanças na concentração de uma ou mais proteínas constituintes, mas a identificação precisa das proteínas envolvidas requer testes complementares.

Para os morcegos frugívoros, não foram observadas diferenças visuais significativas entre o perfil proteico dos grupos CTL e DTM (Figura 9). O mesmo resultado se repete no “gel virtual” (Figura 8), no qual não podem ser observadas diferenças significativas na intensidade e padrão de distribuição das bandas entre os grupos experimentais. Esses achados sugerem que a exposição à deltametrina, nas condições avaliadas, não promoveu alterações detectáveis no perfil proteico plasmático de *Artibeus fimbriatus*.

Figura 8 - “Gel virtual” gerado a partir do eletroferograma dos morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM. Não podem ser observadas diferenças na intensidade e no padrão de distribuição das bandas entre os grupos.

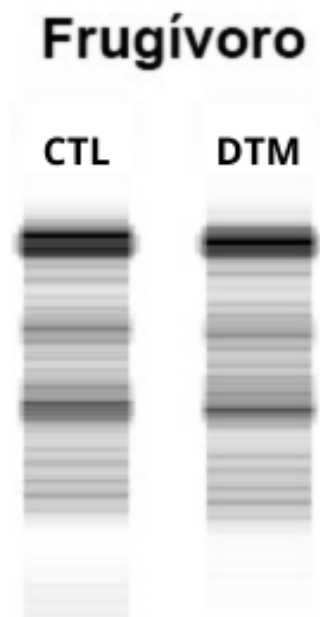
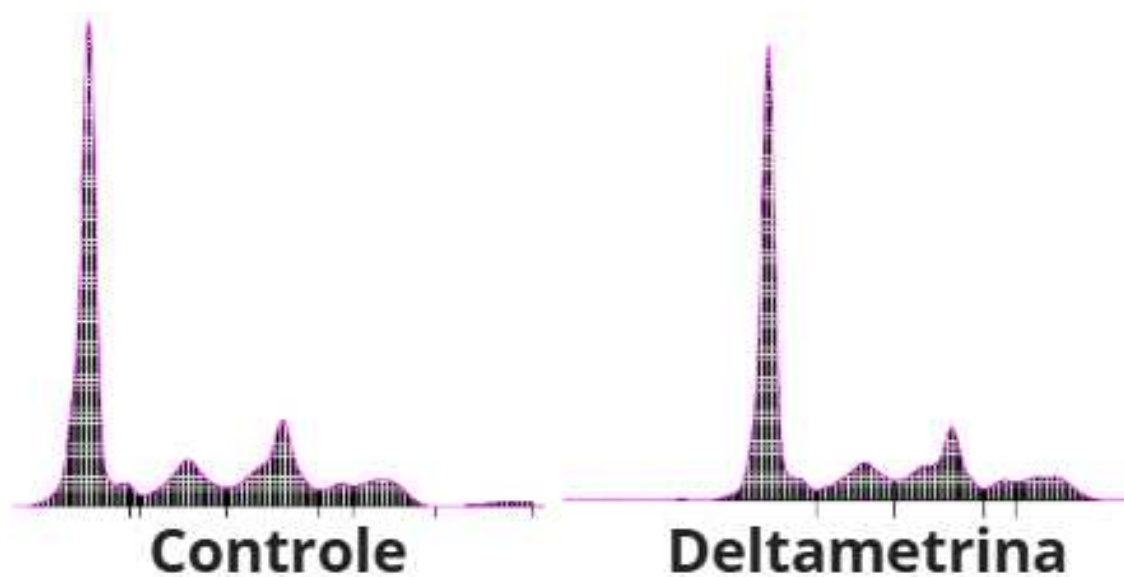


Figura 9 - Eletroferograma do perfil proteico dos morcegos frugívoros dos grupos CTL e DTM, obtido por eletroforese capilar. Da esquerda para a direita, os picos correspondem às frações albumina, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$ e γ .



A eletroforese capilar tem se mostrado uma ferramenta eficiente para a análise do perfil proteico em diferentes contextos experimentais e clínicos, com vantagens metodológicas significativas em relação à eletroforese em gel de agarose (Crivellente et al., 2008). Estudos demonstraram que a exposição à deltametrina induz alterações associadas ao

estresse oxidativo em morcegos frugívoros, caracterizadas pelo aumento da produção de espécies reativas de oxigênio. Além disso, também identificaram alterações histopatológicas em fígado, rim e intestino (Oliveira et al., 2018; Oliveira et al., 2022). Considerando que o desequilíbrio redox pode influenciar vias relacionadas à inflamação, a exposição à deltametrina pode promover alterações sistêmicas capazes de refletir no perfil de proteínas plasmáticas associadas à defesa imunológica.

As proteínas de fase aguda não apenas refletem alterações associadas a processos inflamatórios, mas também desempenham funções efetoras na resposta imune, participando do transporte de moléculas e modulação da resposta inflamatória (Cray et al., 2025). Nesse contexto, a maior variação observada no perfil proteico plasmático dos morcegos insetívoros do grupo DTM sugere uma possível modulação de componentes envolvidos na resposta inflamatória e imunológica.

Embora a eletroforese capilar não permita identificar isoladamente quais proteínas foram alteradas, as diferenças observadas sugerem que a exposição à deltametrina pode estar associada às mudanças no perfil proteico dos animais. Dessa forma, essa abordagem apresenta potencial como indicador complementar para a avaliação dos efeitos fisiológicos decorrentes da exposição a contaminantes ambientais.

5- CONCLUSÃO

Em conjunto, os resultados obtidos sugerem que a exposição aguda à deltametrina, na dose testada, pode influenciar parâmetros imunológicos específicos em morcegos, embora os efeitos observados tenham sido pontuais. A produção de óxido nítrico basal apresentou aumento nos esplenócitos de morcegos frugívoros do grupo DTM. A atividade antimicrobiana do plasma diferiu entre os grupos frente à *Bacillus cereus*, com maior crescimento no grupo DTM. Além disso, a análise do perfil proteico plasmático indicou diferenças visuais entre os morcegos insetívoros CTL e DTM, observadas nos eletroferogramas e nos géis virtuais, mas sem alterações evidentes nos frugívoros.

Do ponto de vista ecológico e sanitário, compreender os efeitos de pesticidas sobre o sistema imunológico de morcegos é fundamental não apenas para a conservação desses mamíferos, mas também para a abordagem de Saúde Única. Como perspectivas futuras, espera-se ampliar a investigação para diferentes guildas alimentares de morcegos, realizar

ensaios imunológicos frente à exposição crônica do pesticida, incluir análises utilizando outros biomarcadores imunológicos, identificar as proteínas alteradas na eletroforese capilar e aumentar o número de indivíduos nas análises. Os achados reforçam a necessidade de integrar abordagens ecofisiológicas, toxicológicas e imunológicas para compreender os efeitos de contaminantes ambientais sobre a fauna silvestre, contribuindo para uma avaliação mais completa dos impactos antrópicos sobre a biodiversidade e para o aprimoramento de estratégias de monitoramento ambiental.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, A. K.; LICHTMAN, A. H.; PILLAI, S. **Imunologia celular e molecular**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

BANERJEE, A. et al. Novel insights into immune systems of bats. **Frontiers in Immunology**, v. 11, p. 26, 2020. DOI: 10.3389/fimmu.2020.00026.

BEYER, W. N.; MEADOR, J. P. (ed.). **Environmental contaminants in biota: interpreting tissue concentrations**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

BLEHERT, D. S. et al. Bat White-Nose Syndrome: An Emerging Fungal Pathogen? **Science**, Washington, DC, v. 323, n. 5911, p. 227, 2009. DOI: 10.1126/science.1163874.

BOGDAN, C. Nitric oxide and the immune response. **Nature Immunology**, v. 2, n. 10, p. 907-916, 2001. DOI: 10.1038/ni1001-907.

BONILLA-ALDANA, D. K. et al. Bats in ecosystems and their wide spectrum of viral infectious potential threats: SARS-CoV-2 and other emerging viruses. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 102, p. 87-96, 2021.

BOYLES, J. G. et al. Economic importance of bats in agriculture. **Science**, v. 332, n. 6025, p. 41-42, 2011. DOI: 10.1126/science.1201366.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Monographic index**. Brasília, DF: ANVISA, 2003.

BROOK, C. E.; DOBSON, A. P. Bats as ‘special’ reservoirs for emerging zoonotic pathogens. **Trends in Microbiology**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 172–180, 2015. DOI: 10.1016/j.tim.2014.12.004.

CABRERA-MARTÍNEZ, L. V.; HERRERA M., L. G.; CRUZ-NETO, A. P. The energetic cost of mounting an immune response for Pallas’s long-tongued bat (*Glossophaga soricina*). **PeerJ**, v. 6, e4627, 2018. DOI: 10.7717/peerj.4627.

CALISHER, C. H. et al. Bats: important reservoir hosts of emerging viruses. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 19, n. 3, p. 531-545, 2006.

CHAUHAN, L. K. S. et al. Cytogenetic effects of commercial formulations of deltamethrin and/or isoproturon on human peripheral lymphocytes and mouse bone marrow cells.

Environmental and Molecular Mutagenesis, v. 48, n. 8, p. 636-643, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/em.20330>. Acesso em: 15 jun. 2026.

CRAY, C. et al. Capillary zone and agarose plasma protein electrophoresis in the sand tiger shark (*Carcharias taurus*). **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, p. 1580744, 2025. DOI: 10.3389/fvets.2025.1580744.

CRIVELLENTI, F.; BONATO, M.; CRISTOFORI, P. Analysis of mouse, rat, dog, marmoset, and human serum proteins by capillary electrophoresis: comparison with agarose gel electrophoresis. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 37, n. 1, p. 73-78, 2008. DOI: 10.1111/j.1939-165X.2008.00008.x.

DAMASCENA, H. L., SILVEIRA, W. A. A., CASTRO, M. S., & FONTES, W. Neutrophil Activated by the Famous and Potent PMA (Phorbol Myristate Acetate). **Cells**, 11(18), 2889. 2022. DOI: 10.3390/cells11182889

DESTRO, A. L. F. et al. Iron and aluminum ore mining pollution induce oxidative and tissue damage on fruit-eating bats from the Atlantic Forest. **Journal of Hazardous Materials**, v. 465, p. 133285, 2024. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.133285.

EL-DEMERDASH, F. M. Lipid peroxidation, oxidative stress and acetylcholinesterase in rat brain exposed to organophosphate and pyrethroid insecticides. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, n. 6, p. 1346-1352, 2011a. DOI: 10.1016/j.fct.2011.03.018.

EL-DEMERDASH, F. M. Oxidative stress and hepatotoxicity induced by synthetic pyrethroids-organophosphate insecticides mixture in rat. **Journal of Environmental Science and Health, Part C**, v. 29, n. 2, p. 145-158, 2011b. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21660820/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

FEDERICI, L. et al. An overview of bats microbiota and its implication in transmissible diseases. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 1012189, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1012189.

FERREIRA, A. C. R. et al. Zoonotic bacterial pathogens in bats samples around the world: a scoping review. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 225, 106135, 2024.

FITZPATRICK, F. W.; DICARLO, F. J. Zymosan. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 118, p. 233-262, 1964.

FORRESTER, S. J. et al. Reactive oxygen species in metabolic and inflammatory signaling. **Circulation Research**, v. 122, n. 6, p. 877-902, 2018. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.117.311401.

FREITAS, G. P. et al. Activity and foraging efficiency of the aerial insectivorous bat *Molossus molossus* (Molossidae) in Brazilian Atlantic Forest. **Barbastella**, v. 13, n. 1, p. 52-59, 2020. DOI: 10.14709/barbj.13.1.2020.10.

HESS, S. C.; NODARI, R. O. Agrotóxicos no Brasil: panorama dos produtos entre 2019 e 2022. **Revista Ambientes em Movimento**, v. 2, n. 2, p. 39-52, dez. 2022. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/am/article/view/5484>. Acesso em: 15 jun. 2026.

IRVING, A. T. et al. Lessons from the host defences of bats, a unique viral reservoir. **Nature**, v. 589, p. 363-370, 2021.

JANEWAY, C. A. et al. Immunobiology: the immune system in health and disease. 5th ed. **New York: Garland Science**, 2001.

KOTIRANTA, A. et al. Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections. **Microbes and Infection**, v. 2, n. 2, p. 189-198, 2000. DOI: 10.1016/S1286-4579(00)00269-7.

KUMAR, A.; SASMAL, D.; SHARMA, N. Deltamethrin induced an apoptogenic signalling pathway in murine thymocytes: exploring the molecular mechanism. **Journal of Applied Toxicology**, v. 34, n. 12, p. 1303-1310, 2014. DOI: 10.1002/jat.2948.

KUMAR, A. et al. Deltamethrin-induced oxidative stress and mitochondrial caspase-dependent signaling pathways in murine splenocytes. **Environmental Toxicology**, v. 31, n. 7, p. 808-819, 2016. DOI: 10.1002/tox.22091.

KUMAR, A.; SHARMA, N. Comparative efficacy of piperine and curcumin in deltamethrin induced splenic apoptosis and altered immune functions. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 119, p. 16-27, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2015.03.003.

KUNZ, T. H. et al. Ecosystem services provided by bats. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1223, n. 1, p. 1-38, 2011. DOI: 10.1111/j.1749- 6632.2011.06004.x.

LARSSON, A.; HANSSON, L. O. Plasma protein fractions in healthy blood donors quantitated by an automated multicapillary electrophoresis system. **Journal of Chromatographic Science**, v. 44, n. 8, p. 479-483, 2006. DOI: 10.1093/chromsci/44.8.479.

- LETKO, M. et al. Bat-borne virus diversity, spillover and emergence. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, p. 461-471, 2020.
- LU, Q. et al. Deltamethrin toxicity: a review of oxidative stress and metabolism. **Environmental Research**, v. 170, p. 260-281, 2019. DOI: 10.1016/j.envres.2018.12.045.
- ŁUKOWICZ-RATAJCZAK, J.; KRECHNIAK, J. Effects of deltamethrin on the immune system in mice. **Environmental Research**, v. 59, n. 2, p. 467-475, 1992. DOI: 10.1016/S0013-9351(05)80049-0.
- MAINE, J. J.; BOYLES, J. G. Bats initiate vital agroecological interactions in corn. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 40, p. 12438-12443, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1505413112.
- MATEUS, J. et al. Bats are a potential reservoir of pathogenic *Leptospira* species in Colombia. **Journal of Infection in Developing Countries**, v. 13, n. 4, p. 278-283, 2019
- MELHADO, G.; HERRERA M., L. G.; CRUZ-NETO, A. P. Immune challenge and prebreeding energy in a free-ranging Neotropical bat. **Journal of Experimental Zoology Part A**, v. 333, n. 8, p. 535-543, 2020. DOI: 10.1002/jez.2399.
- MOORE, M. S. et al. Specific alterations in complement protein activity of little brown myotis (*Myotis lucifugus*) hibernating in white-nose syndrome affected sites. **PLoS ONE**, v. 6, n. 11, e27430, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0027430.
- MORALES, A. E. et al. Bat genomes illuminate adaptations to viral tolerance and disease resistance. **Nature**, v. 638, n. 8050, p. 449-458, 2025. DOI: 10.1038/s41586-024-08471-0.
- MORRISON, D. W. Foraging ecology and energetics of the frugivorous bat *Artibeus jamaicensis*. **Ecology**, v. 59, n. 4, p. 716-723, 1978. DOI: 10.2307/1938775.
- MPHETHE, V. et al. Epauletted fruit bats prefer native plants and contribute to seed dispersal in a South African agricultural landscape. **African Journal of Ecology**, v. 61, p. 399-410, 2023. DOI: 10.1111/aje.13132.
- MUHLDORFER, K. Bats and bacterial pathogens: a review. **Zoonoses and Public Health**, v. 60, n. 1, p. 93-103, 2013.

- MUSCARELLA, R.; FLEMING, T. H. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. **Biological Reviews**, v. 82, n. 4, p. 573-590, 2007. DOI: 10.1111/j.1469-185x.2007.00026.x.
- NEUWEILER, G. The biology of bats. **Oxford: Oxford University Press**, 2000.
- NISHIZUKA, Y. The role of protein kinase C in cell surface signal transduction and tumour promotion. **Nature**, v. 308, n. 5961, p. 693-698, 1984. DOI: 10.1038/308693a0.
- OLIVEIRA, J. M. et al. Exposure to deltamethrin induces oxidative stress and decreases of energy reserve in tissues of the Neotropical fruit-eating bat *Artibeus lituratus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 684-692, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.024.
- OLIVEIRA, J. M. et al. Short-term intake of deltamethrin-contaminated fruit, even at low concentrations, induces testicular damage in fruit-eating bats (*Artibeus lituratus*). **Chemosphere**, v. 278, p. 130423, 2021a. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130423.
- OLIVEIRA, J. M. et al. How do pesticides affect bats? – a brief review of recent publications. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 3, p. 499-506, 2021b. DOI: 10.1590/1519-6984.225330.
- OLIVEIRA, J. M. et al. Morphophysiological alterations in fruit-eating bats after oral exposure to deltamethrin. **International Journal of Experimental Pathology**, v. 103, n. 5, p. 219-230, 2022. DOI: 10.1111/iep.12455.
- O'SHEA, T. J. et al. Bat flight and zoonotic viruses. **Emerging Infectious Diseases**, v. 20, n. 5, p. 741-745, 2014.
- PACHER, P.; BECKMAN, J. S.; LIAUDET, L. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. **Physiological Reviews**, v. 87, n. 1, p. 315-424, 2007. DOI: 10.1152/physrev.00029.2006.
- PAROLIN, L. C.; BIANCONI, G. V.; MIKICH, S. B. Consistency in fruit preferences across the geographical range of the frugivorous bats *Artibeus*, *Carollia* and *Sturnira* (Chiroptera). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 106, e2016010, 2016. DOI: 10.1590/1678-4766e2016010.
- PITZER, E. M.; WILLIAMS, M. T.; VORHEES, C. V. Effects of pyrethroids on brain development and behavior: deltamethrin. **Neurotoxicology and Teratology**, v. 87, p. 106983, 2021. DOI: 10.1016/j.ntt.2021.106983.

REHMAN, H. et al. Additive toxic effect of deltamethrin and cadmium on hepatic, hematological, and immunological parameters in mice. **Toxicology and Industrial Health**, v. 33, n. 6, p. 495-502, 2017. DOI: 10.1177/0748233716684710.

SILVA-DUARTE, L. et al. Reproductive activity and diet of an urban population of Pallas' free-tailed bats **Molossus molossus** (Molossidae). **Acta Chiropterologica**, v. 25, n. 2, 2024. DOI: 10.3161/15081109ACC2023.25.2.004.

SPEAKMAN, J. R.; THOMAS, D. W. Physiological ecology and energetics of bats. In: KUNZ, T. H.; FENTON, M. B. (ed.). **Bat ecology**. Chicago: University of Chicago Press, 2003. p. 430-490.

STECHERT, C. et al. Insecticide residues in bats along a land use-gradient dominated by cotton cultivation in northern Benin, West Africa. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 8812-8821, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-2813-8.

STENFORS ARNESEN, L. P. et al. From soil to gut: *Bacillus cereus* and its food poisoning toxins. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 32, n. 4, p. 579-606, 2008. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2008.00112.x.

SUN, J. et al. Measurement of nitric oxide production in biological systems by using Griess reaction assay. **Sensors**, v. 3, n. 8, p. 276-284, 2003. DOI: 10.3390/s30800276.

TORQUETTI, C. G.; GUIMARÃES, A. T. B.; SOTO-BLANCO, B. Exposure to pesticides in bats. **Science of the Total Environment**, v. 755, p. 142509, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142509.

TREVELIN, L. C. et al. Use of space by frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a restored Atlantic forest fragment in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 136-143, 2013. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.11.013.

VALENTINE, W. M. Pyrethrin and pyrethroid insecticides. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 20, n. 2, p. 375-382, 1990. DOI: 10.1016/S0195-5616(90)50234-0.

VENKATACHALAM, G.; ARUMUGAM, S.; DOBLE, M. Synthesis, characterization, and biological activity of aminated zymosan. **ACS Omega**, v. 5, p. 15973-15982, 2020. DOI: 10.1021/acsomega.0c01235.

VICENTE-SANTOS, A. et al. Neotropical bats as reservoirs of zoonotic viruses. In: Ecology of Wildlife Diseases in the Neotropics. **Springer**, 2023. p. 185-212.

VIOLA, M. F.; HERRERA M., L. G.; CRUZ-NETO, A. P. Immune responsiveness and resting metabolic rate in a free-ranging bat. **Journal of Experimental Biology**, v. 225, n. 24, jeb244583, 2022. DOI: 10.1242/jeb.244583.

VIZOTTO, L. D.; TADDEI, V. A. **Chave para a determinação de quirópteros brasileiros**. São José do Rio Preto: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São José do Rio Preto, 1973. (Boletim de Ciências, v. 1, n. 1, p. 1-72).

WALKER, C. H. et al. **Principles of ecotoxicology**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.