

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Instituto de Biologia
Curso de Pós-graduação em Entomologia



Dissertação

Efeitos da densidade e instares larvais na interação entre *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) e *Musca domestica* Linneaus (Muscidae: Muscinae)

William De Togni

Pelotas, 2022

William De Togni

Efeitos da densidade e instares larvais na interação *entre Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) e *Musca domestica* Linneaus (Muscidae: Muscinae)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Entomologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Orientador: Dr. Rodrigo Ferreira Krüger

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de
Bibliotecas Catalogação na Publicação

T645e Togni, William De

Efeitos da densidade e instares larvais na interação entre *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) e *Musca domestica* Linneaus (Muscidae: Muscinae) / William De Togni ; Rodrigo Ferreira Krüger, orientador. – Pelotas, 2022.

82 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Predação intraguilda. 2. Competição interespecífica. 3. Controle biológico. 4. Entomologia forense. 5. Resposta funcional. I. Krüger, Rodrigo Ferreira, orient. II. Título.

CDD : 595.771

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB:
10/901
William De Togni

Efeitos da densidade e instares larvais na interação *entre Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) e *Musca domestica* Linneaus (Muscidae: Muscinae)

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências (Entomologia), Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 18 de abril de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Krüger (orientador)

Doutor em Ciências Biológicas (Entomologia) pela Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dr. Claudio José Von Zuben

Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Prof. Dr. Lucas Del Bianco Faria

Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Prof. Dr. Marcial Corrêa Cárcamo (Suplente)

Doutor em Parasitologia pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Marco Antonio Tonus Marinho (Suplente)

Doutor em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Estadual de Campinas.

Dedico à Olenice e José:
camponeses,
operários,
brasileiros e
donos de uma força descomunal.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família biológica: à minha mãe Olenice e ao meu pai José, pelo amor e pela dedicação em me proporcionar as condições necessárias para que eu tivesse o privilégio de estudar; e à minha madrinha Hosana pelo apoio e carinho.

À família que construí ao longo da minha existência: à Raphella Lobo, pelo amor e companheirismo, à Natalia Schneider, Maiara Boettge, Andrea Juba, Daniela Neris, Carmem Dorneles, Lázaro Gallarraga, Ricardo Robaldo, Vinícius Acosta, Breno Mellado, Nicolas Beust, Fabrício Sanchez, Rafael Balboni, Yuri Serafin, Douglas Veiga, Mou Machado, Juliano Pacheco, Cosme Barbosa de Jesus, Denize Lobo, Alcinea Lobo, Evelyn Oliveira e Tiago Nunes pelo apoio, pelo afeto, pelo amparo e pela amizade mantida ao longo de tantos anos regadas com amor e zelo.

Ao meu orientador, Professor e amigo Rodrigo Krüger, pela confiança, reconhecimento, incentivo e disposição em auxiliar na minha carreira acadêmica.

Às minhas colegas de trabalho Grati Rodrigues e Amanda Munari pelos ensinamentos, paciência e sugestões proporcionadas ao longo deste estudo.

Aos demais colegas do LEPAV pela troca, ainda que virtual, ao longo do momento de pandemia.

À coordenação e aos Professores do curso de Entomologia, em especial ao Professor Marco Marinho e Sebastian Sendoya, pelo exemplo de profissionalismo na condução de suas atribuições.

Ao meu colega Márcio pelo apoio na estadia em sua casa, crucial para a conclusão deste trabalho.

Aos caminhoneiros que me auxiliaram com caronas para poder visitar minha família, em especial ao Valdemar Lorencet.

À Universidade Federal de Pelotas, Instituição pública mantida pelo trabalho de milhões de Brasileiros, pela oportunidade de realizar o curso de Entomologia.

*A grande diferença que existe
do pensamento dos índios
e do pensamento dos brancos,
é que os brancos acham que o ambiente é "recurso natural",
como se fosse um almoxarifado onde você vai e tira as coisas,
tira as coisas,
tira as coisas.*

*Pro pensamento do índio,
se é que existe algum lugar onde você pode transitar por ele,
é um lugar que você tem que pisar nele suavemente,
andar com cuidado nele,
porque ele está cheio de outras presenças.*

Ailton Krenak

Resumo

De Togni, William. **Efeitos da densidade e ínstaes larvais na interação entre *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) e *Musca domestica* Linneaus (Muscidae: Muscinae)**. Orientador: Rodrigo Ferreira Krüger. 2022. 70 f. Dissertação (Mestre em Entomologia) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

A predação intraguilda é uma interação ecológica onde a espécie predadora pode optar por se alimentar da presa ou competir com ela por recursos compartilhados. Esta interação é relatada para imaturos de várias famílias de moscas sarcosaprófagas, ocorrendo entre espécies de muscídeos do gênero *Hydrotaea* sobre outras, inclusas as de *Musca*. Estas moscas possuem ampla variação de hábitos alimentares, sendo os principais macro-organismos colonizadores de cadáveres encontrados no interior de edifícios e também em esterco animal, juntamente com califorídeos e sarcófagídeos. A predação intraguilda é considerada um comportamento facultativo dentre estas espécies, cuja intensidade pode ser dependente da idade (ínstar larval), densidade populacional e disponibilidade de alimento. As investigações envolvendo a predação de espécies de *Hydrotaea* sobre *Musca* e concentram na aplicação do controle biológico na criação animal, considerando basicamente a mortalidade das presas. Neste estudo confrontamos larvas de diferentes ínstaes e densidades de *Hydrotaea albuquerquei* e *Musca domestica* e estimamos através de modelos estatísticos os efeitos sobre a sobrevivência, resposta funcional e taxa de desenvolvimento de ambas as espécies em condições de laboratório. Os resultados demonstraram que a sobrevivência e o desenvolvimento pupal de ambas as espécies são sensíveis às variáveis testadas, mesmo com relativa abundância de alimento. Os resultados são discutidos à luz da teoria ecológica sobre predação intraguilda, apontando como as trocas de energia, preferência de presas e mecanismos de fuga podem governar a predação e a competição e indicando as implicações e direções para os estudos em entomologia forense e controle biológico.

Palavras-chave: predação intraguilda, competição interespecífica, controle biológico, entomologia forense, resposta funcional.

Abstract

De Togni, William. **Effects of larval density and instars on the interaction between *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) and *Musca domestica* Linnaeus (Muscidae: Muscinae)**. Advisor: Rodrigo Ferreira Krüger. 2022. 70 f. Dissertation (Masters in Biology) – Institute of Biology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Intraguild predation is an ecological interaction where the predator species can choose to feed on prey or compete with it for shared resources. This interaction is reported for immatures of several families of sarcosaprophagous flies, occurring between species of muscidae of the genus *Hydrotaea* over others, including those of *Musca*. These flies have a wide range of feeding habits, being the main macro-organisms colonizing corpses found inside buildings and in animal manure, along with calliphorids and sarcophagids. Intraguild predation is considered a facultative behavior among these species, whose intensity may be dependent on age (larval instar), population density and food availability. Investigations involving the predation of *Hydrotaea* species on *Musca* and focus on the application of biological control in animal husbandry, basically considering the mortality of prey. In this study we compared larvae of different instars and densities of *Hydrotaea albuquerquei* and *Musca domestica* and estimated through statistical models the effects on survival, functional response and development rate of both species under laboratory conditions. The results showed that survival and pupal development of both species are sensitive to the variables tested, even with relative abundance of food. The results are discussed in light of the ecological theory of intraguild predation, pointing out how energy exchanges, prey preference and escape mechanisms can govern predation and competition and indicating the implications and directions for studies in forensic entomology and biological control.

Keywords: intraguild predation, interspecific competition, biological control, forensic entomology, functional response.

Lista de Figuras

Figure 1. / (A) Larval survival rate of *Musca domestica* (prey) and (B)
Figura 1. *Hydrotaea albuquerquei* (predator) plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval. / (A) Taxa de sobrevivência larval de *Musca domestica* (presa) e (B) *Hydrotaea albuquerquei* (predador) plotadas contra proporções larvais em escala logarítmica nos diferentes encontros de instar larval. H1M1 = primeiro encontro instar; H2M1 = segundo instar do predador com o primeiro da presa; H3M1 = terceiro instar do predador com o primeiro da presa; H3M2 = terceiro instar do predador com o segundo da presa. As áreas sombreadas indicam o intervalo de confiança.....

52

Figure 2. / Pupal survival rate of *Musca domestica* (prey) and *Hydrotaea*
Figura 2. *albuquerquei* (predator) plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval. / Taxa de sobrevivência pupal de *Musca domestica* (presa) e *Hydrotaea albuquerquei* (predador) plotada contra proporções larvais em escala logarítmica nos diferentes encontros de instar larval. H1M1 = primeiro encontro instar; H2M1 = segundo instar do predador com o primeiro da presa; H3M1 = terceiro instar do predador com o primeiro da presa; H3M2 = terceiro instar do predador com o segundo da presa. As áreas sombreadas indicam o intervalo de confiança.....

53

Figure 3. / *Figura 3.* Functional response - considered as the number of preys consumed by each predator larvae - of *Hydrotaea albuquerquei* (predator) over *Musca domestica* (prey), plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval. / *Resposta funcional - considerada como o número de presas consumidas por cada larva de predador - de Hydrotaea albuquerquei (predador) sobre Musca domestica (presa), plotada contra proporções larvais em escala logarítmica nos diferentes encontros de ínstar larval. H1M1 = primeiro encontro instar; H2M1 = segundo ínstar do predador com o primeiro da presa; H3M1 = terceiro ínstar do predador com o primeiro da presa; H3M2 = terceiro ínstar do predador com o segundo da presa. As áreas sombreadas indicam o intervalo de confiança.....*

55

Figure 4. / *Figura 4.* (A) Larval and (B) pupal development rate of *Musca domestica* (prey) and *Hydrotaea albuquerquei* (predator) plotted with density proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval. / *(A) Taxa de desenvolvimento larval e (B) pupal de Musca domestica (presa) e Hydrotaea albuquerquei (predador) plotadas com proporções de densidade em escala logarítmica nos diferentes encontros de ínstar larval. H1M1 = primeiro encontro instar; H2M1 = segundo ínstar do predador com o primeiro da presa; H3M1 = terceiro ínstar do predador com o primeiro da presa; H3M2 = terceiro ínstar do predador com o segundo da presa. As áreas sombreadas indicam o intervalo de confiança....*

56

Supple-
mentary
Figure 1. /
*Figura su-
plementar*
1.

AUC graph indicating the accuracy of the statistical model on the survival of *Musca domestica* in larval encounters with *Hydrotaea albuquerquei* / *Gráfico AUC indicando a precisão do modelo estatístico sobre a sobrevivência de Musca domestica em encontros larvais com Hydrotaea albuquerquei*.....

Lista de Tabelas

Table 1. / <i>Tabela 1.</i>	Statistic values of larval and pupal survival of <i>Musca domestica</i> and <i>Hydrotaea albuquerquei</i> and functional response in function of larval instars and proportions. / <i>Valores estatísticos de sobrevivência larval e pupal de Musca domestica e Hydrotaea albuquerquei e resposta funcional em função dos instares e proporções larvais.....</i>	54
Table 2. / <i>Tabela 2.</i>	Statistic values to larval and pupal development rate in function of larval instars and proportions. / <i>Valores estatísticos para taxa de desenvolvimento larval e pupal em função dos instares e proporções larvais.....</i>	57
Supple- mentary table 1. / <i>Tabela su- plementar 1.</i>	Statistical values of H1M1 encounter with control group. / <i>Valores estatísticos do encontro H1M1 com grupo controle.....</i>	68
Supple- mentary table 2. / <i>Tabela su- plementar 2.</i>	Statistical values of H3M2 encounter with control group. / <i>Valores estatísticos do encontro H3M2 com grupo controle.....</i>	69
Supple- mentary table 3. / <i>Tabela su- plementar 3.</i>	Statistical values of H3M1 encounter with control group. / <i>Valores estatísticos do encontro H3M1 com grupo controle.....</i>	69
Supple- mentary table 4. / <i>Tabela su- plementar 4.</i>	Statistical values of H2M1 encounter with control group. / <i>Valores estatísticos do encontro H2M1 com grupo controle.....</i>	70

Sumário

1	Introdução	14
2	Revisão de literatura	18
2.1	Aspectos ecofisiológicos da predação intraguilda	18
2.2	<i>Musca domestica</i> : questão sanitária e métodos de controle	23
2.3	O gênero <i>Hydrotaea</i>	24
2.3.1	Considerações sobre posição taxonômica e morfologia	24
2.3.2	Distribuição geográfica	25
2.3.3	Aspectos ecológicos e forenses	25
2.3.4	Uso de espécies do gênero <i>Hydrotaea</i> para controle biológico	26
3.	Projeto de Pesquisa	32
3.1.	Caracterização do Problema	33
3.2.	Metodologia	36
3.3.	Resultados e Impactos esperados	37
3.4.	Cronograma do Projeto	39
3.5.	Referências Bibliográficas	40
4.	Artigo	47
1	Introduction	48
2	Material and Methods	50
2.1	Insects rearing	50
2.2	Data analysis	50
3	Results	51
3.1	H1M1	51
3.2	H2M1	51
3.3	H3M1	53
3.4	H3M2	53
3.5	Functional response	55
3.6	Development rate	55
4	Discussion	57
4.1	Survival	58
4.2	Functional response	59
4.3	Development rate	60
5	Conclusions	61
6	References	62

7. Supplementary material.....	67
Considerações finais	72
Referências bibliográficas	

1 Introdução

Diptera é uma Ordem de insetos que agrupa as moscas (Subordem Brachycera) e mosquitos (Subordem Nematocera). Os dípteros muscóides (aqueles que se assemelham às moscas comuns) são organismos pioneiros na colonização de matéria orgânica de origem vegetal e animal em decomposição (D'ALMEIDA; ALMEIDA, 1998; VASCONCELOS *et al*, 2013). Em grande maioria, estas moscas são pertencentes ao subgrupo Calyptratae. Na Região Neotropical, de 118 famílias e 31 mil espécies de dípteros descritas (DE SOUZA AMORIM, 2010), há registro de 8 famílias e 233 espécies associadas a cadáveres e carcaças (ALVES; DOS SANTOS; CREÃO-DUARTE, 2014). Além destas, muitas espécies sinantrópicas utilizam fezes ou resíduos urbanos como substrato para desenvolvimento de seus estágios imaturos (DE CARVALHO *et al*, 2005), muitas vezes havendo sobreposição entre ocupação de substrato de oviposição ou alimentação (SARWAR, 2020).

Algumas famílias de muscóides caliptrados (e.g. Calliphoridae, Muscidae e Sarcophagidae) compartilham nichos similares em suas fases larvais, geralmente dominando o recurso em abundância e diversidade, pelo menos no início do processo de decomposição (SILVA, 2014). Assim, a decomposição da matéria orgânica é o principal serviço ecossistêmico desempenhado pelos estágios imaturos destes insetos (BARBOSA *et al*, 2009; MOON, 2019). Os indivíduos adultos são vetores potenciais na transmissão mecânica de diversos patógenos, cujo mecanismo se dá através da oviposição em alimentos (RIBEIRO *et al*, 2011). Além disto, são também responsáveis pela indução de miíases obrigatórias e/ou facultativas em humanos e animais através da oviposição em ferimentos expostos (CHIRICO *et al*, 1997). Desta forma são também, direta ou indiretamente, responsáveis pelo controle populacional

de diversos grupos de animais (SCHOLL; COLWELL; CEPEDA-PALACIOS, 2019). Além disso, o conhecimento sobre a biologia dos imaturos, principalmente sobre o tempo desenvolvimento pode ser utilizado em investigações médico-legais para auxiliar na estimativa do tempo decorrido entre momento da morte e a localização de cadáveres, chamado de intervalo pós-morte (WANG *et al*, 2018; AUBERNON; HEDOUIN; CHARABIDZE, 2019). Compõem então, um conjunto significativo de espécies com relevância ecológica, forense e sanitária (RIBEIRO *et al*, 2011; DOGRA; MAHAJAN, 2010; MOON, 2019).

A capacidade de agirem como vetores e/ou agentes etiológicos de doenças de importância humana e veterinária, juntamente com adaptações biológicas inerentes ao nicho que ocupam, torna estes organismos a causa de prejuízos econômicos em virtude da necessidade de medidas de prevenção e tratamento (BATISTA-DA-SILVA; MOYA-BORJA; DE CARVALHO QUEIROZ, 2010, BARBOSA *et al*, 2009; VASCONCELOS, 2015). Os estágios larvais de muscídeos geralmente se desenvolvem em matéria fecal ou vegetal úmida (SCHOLL; COLWELL; CEPEDA-PALACIOS, 2019). Devido a curta duração do substrato no ambiente, estes insetos são rápidos em localizá-lo e depositam uma grande quantidade de ovos ou larvas, formando agregados larvais de elevada abundância e diversidade (FOUCHE; HEDOUIN; CHARABIDZE, 2018). A alta densidade de indivíduos, com frequência gera um ambiente onde são comuns interações ecológicas como competição, predação, canibalismo e adaptações a estresses físicos e químicos, as quais irão determinar a exclusão ou a coexistência entre as espécies dependendo dos níveis de agregação intra e interespecífica (WILLIAMS; RICHARDSON, 1984).

Para as espécies que se desenvolvem compartilhando este nicho, a Predação Intraguilda (IGP) é uma adaptação à curta duração do substrato no ambiente e ocorre quando presa e predador agem como competidores, disputando o mesmo recurso alimentar (POLIS; MYERS; HOLT, 1989). Representantes de diferentes famílias de moscas sarcosaprófagas apresentam tal comportamento, o qual, neste caso, é estruturado pela idade, dependendo do desenvolvimento dos ganchos orais presentes na porção anterior das larvas, os quais são utilizados para realizar a predação, geralmente em instares finais (POLIS; MYERS; HOLT, 1989; ROTHERAY; WILKINSON, 2015).

Em comunidades larvais de moscas sarcosaprófagas, a IGP é facultativa, sendo estimulada também em função da disponibilidade de alimento e densidades populacionais, podendo ter efeitos para além da morte da presa, como a redução de nicho, prolongamento da fase larval ou pupal e redução do tamanho corporal (POLIS; MYERS; HOLT, 1989). Estes fatores e efeitos também determinam a capacidade predatória, pois causam a eliminação de indivíduos e podem retardar ou acelerar o desenvolvimento tanto do predador quanto da presa, as quais, neste último caso, podem alcançar um tamanho que impossibilita a predação pela espécie predadora facultativa (HOLT; POLIS, 1997). Além disto, a IGP pode ser considerada como uma interação de omnívoros, caracterizada pelo consumo em mais de um nível da cadeia trófica, cujos efeitos podem variar desde a coexistência entre a espécie predadora e a presa, até a exclusão da presa através da predação, bem como do predador quando a capacidade de forrageio da presa é maior ou quando a produtividade ambiental é baixa (POLIS; MYERS; HOLT, 1989; HOLT; POLIS, 1997; MORIN, 1999).

Musca Linnaeus, 1758 e *Hydrotaea* Robineau-Desvoidy, 1830 são dois gêneros de muscídeos com espécies com considerado grau de sinantropia (COSTA *et al*, 2000; CARVALHO; MOURA; RIBEIRO, 2002; FIGUEROA-ROA; LINHARES, 2004). *Musca domestica* (Linnaeus, 1758) é um dos principais insetos vetores de patógenos para humanos e animais em áreas urbanas e rurais. Esta espécie compartilha o nicho com várias espécies do gênero *Hydrotaea*, que geralmente desenvolvem o comportamento predatório facultativo em seus instares finais (MULLER, 1982), onde algumas espécies demonstraram sucesso em investigações a campo com potencial uso no controle biológico aumentativo de *M. domestica* (OLCKERS *et al*, 1984; SCHULTKA; BETKE; SCHUMANN, 1986; TSANKOVA; LUVCHIEV, 1993; PALIY *et al*, 2018) e de outros dípteros (VIBE-PETERSEN, 1998), na avicultura e suinocultura. Estudos realizados no Sul do Brasil indicam que *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes, 1985) (Diptera: Muscidae), assim como outras do gênero *Hydrotaea*, tem hábito restrito a ambientes de criação animal, onde utiliza esterco para oviposição e alimentação de imaturos e adultos, (SCHULTKA; SCHUMANN, 1986) e a áreas silvestres, utilizando cadáveres de animais para estes mesmos fins (D'ALMEIDA; ALMEIDA, 1998).

As características supracitadas, juntamente com evidências de que a espécie tolera baixas temperaturas, possivelmente suportando os invernos rigorosos em

estágio pupal (KRÜGER; WENDT; RIBEIRO, 2011), indicam que *H. albuquerquei* pode ter sucesso como agente de controle biológico aumentativo, especialmente em Regiões temperadas (SIMON; KRÜGER; RIBEIRO, 2011). Além disso, a competição e a IGP têm efeitos determinantes sobre as dinâmicas de colonização, sucessão larval e decomposição da matéria orgânica. Logo, nas áreas onde se observa a presença de *Hydrotaea* sp. e *M. domestica* em carne em decomposição, a compreensão destas interações nestes organismos pode ter aplicação em análises forenses e ecológicas sobre as dinâmicas populacionais (BARBOSA *et al*, 2009; CASTRO; CENTENO; GONZÁLEZ-VAINER, 2019).

Para *H. albuquerquei*, uma série de estudos em laboratório e a campo já foram realizados sobre o desenvolvimento, reprodução, longevidade, oviposição, dieta, efeitos ambientais e desenvolvimento em função da temperatura para determinar o intervalo pós-morte (KRÜGER; RIBEIRO; CARVALHO, 2003; KRÜGER *et al.* 2004; SIMON; KRÜGER; RIBEIRO, 2011; DUARTE *et al*, 2015; KRÜGER; WENDT; RIBEIRO, 2011). Porém, seu papel na predação de outras moscas não foi estudado. Este estudo tem por objetivo investigar os efeitos da densidade populacional e de diferentes instares no comportamento de competição e predação desta espécie sobre *M. domestica* em condições de laboratório.

2 Revisão de literatura

2.1 Aspectos ecofisiológicos da predação intraguilda

A ordem Diptera (moscas e mosquitos) é reconhecida dentre os insetos pelo sucesso na ocupação de uma ampla e diversa quantidade de nichos (CONSTANTINO, 2012). Além da grande importância ecológica ao desempenhar serviços ecossistêmicos como polinização, controle biológico natural e provisão de alimentos, a ordem Diptera aloca muitas espécies agentes na decomposição de matéria orgânica vegetal e animal, sendo responsáveis por processos de formação dos solos e ciclagem de nutrientes (ALVES; DOS SANTOS; CREÃO-DUARTE, 2014).

As espécies de hábito sarcosaprófago podem utilizar tanto material vegetal ou animal em decomposição como recurso alimentar e substrato de oviposição (HOGSETTE; JACOBS, 1999). A taxa de decomposição da matéria orgânica é influenciada por fatores ambientais e ecológicos, as transformações nas características físico-químicas podem diminuir ou se intensificar no decorrer do processo de degradação com fatores como temperatura, umidade, luminosidade, radiação solar e características edáficas (CARVALHO et al, 2017; BATTAN-HORENSTEIN; GLEISER, 2018; AUBERNON; HEDOUIN; CHARABIDZE, 2019; LYABZINA et al, 2019). Tais condições determinam a disponibilidade de recursos para as espécies adaptadas para cada estágio de degradação e conseqüentemente, como a riqueza de espécies se apresenta de acordo com estes (CARVALHO et al, 2017). Assim, a ocorrência de sobreposição de espécies neste nicho resulta em diferentes interações, como competição, predação e mutualismo (BARBOSA et al, 2021). A predação intra-guilda (IGP) é uma interação que resulta em um contexto de

coevolução destas espécies envolvendo seus hábitos alimentares nestes recursos que possuem uma duração efêmera no ambiente (DENNO; COTHRAN, 1975).

A predação intra-guilda (IGP) em dípteros sarcosaprófagos é um comportamento desenvolvido no estágio larval, geralmente de instares tardios, principalmente de várias espécies de caliptrados (Calyptratae) necrófagos, caracterizando uma estratégia alimentar que resulta em um rápido desenvolvimento dentro dos agregados larvais, aumentando a assimilação proteica e antecipando a metamorfose sem que ocorra efeitos deletérios na adaptabilidade da espécie (FARIA; GODOY; REIS, 2004; GALINDO et al, 2016).

Estudo realizado por Ivorra, Martínez-Sánchez e Rojo (2019), avaliou os efeitos da competição e da predação intra-guilda de *Synthesiomyia nudiseta* (Van der Wulp, 1883) com algumas espécies de califórídeos em função da densidade. Os resultados mostraram que a mortalidade é consideravelmente maior em interações interespecíficas do que nas intraespecíficas e aumentam em função do aumento da densidade, assim como o peso diminui para ambos os modos de interações. Além disso, a competição interespecífica resultou em períodos larvais menores com o aumento da densidade, e indivíduos adultos maiores. Este efeito foi atribuído ao comportamento predatório. Já a intraespecífica apresentou períodos pupais menores, bem como o tamanho menor dos adultos.

Estes resultados corroboram algumas hipóteses levantadas por Rosa *et al* (2006), que conduziram experimentos avaliando a sobrevivência em relação a diferentes proporções de larvas e a disponibilidade de alimento, na interação de predação de *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) sobre *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) e *Cochliomyia macellaria* (Fabricius, 1775). Foi observado que ambos os fatores influenciam a sobrevivência em tratamentos com apenas uma ou mais espécies. A abundância de alimentos pode favorecer a coexistência entre predadores intraguilda e suas presas quando os primeiros detêm uma maior capacidade de forrageio devido à uma preferência pela comida compartilhada do que pela predação. Assim, dependendo da eficiência de ambos na exploração do recurso e dos gastos energéticos envolvendo a predação (o que muda em função do tamanho dos indivíduos), a presa pode ou não ser eliminada.

Entretanto, Duarte *et al* (2013) observaram um padrão diferente analisando a interação entre o predador *Muscina stabulans* (Fallén, 1817) e *M. domestica*,

mostrando que algumas espécies predadoras facultativas podem não se desenvolver bem em condições de alta disponibilidade de alimento (substrato), tendo uma menor sobrevivência em encontros com uma maior proporção numérica de presas. Estes são indícios de preferência pela obtenção de nutrientes a partir da atividade predatória do que da saprofagia, onde neste caso específico, uma maior capacidade de forrageio de recurso pela presa proporcione seu rápido desenvolvimento e impossibilitando sua predação.

Por outro lado, dentro dos agregados larvais, aquelas espécies que são presas e possuem larvas mais eficientes em obter o alimento em um recurso de caráter efêmero, podem não ser beneficiadas (pela diminuição da competição e maior reserva/assimilação de nutrientes) na presença de determinados predadores, sendo as primeiras a serem predadas, justamente por oferecerem maior nutrição para a espécie predadora. De outra forma, em caso de abundância de presas e substrato, predadores como *M. stabulans* que preferem alimentar-se de presas, podem apresentar menor sobrevivência e períodos de desenvolvimento mais longos devido ao gasto energético em função da atividade predatória, não adquirindo peso necessário para alcançar o estágio de pupa quando finda o recurso (DUARTE *et al*, 2013). O efeito supracitado poderia não afetar significativamente a população, pois aqueles indivíduos que conseguem empupar através da predação, apresentam pupas mais pesadas, o que influencia a fecundidade dos adultos da respectiva prole, compensando a perda por restrição alimentar (competição) (PIRES *et al*, 2009). Assim, quando a espécie predadora se encontra em menor número, a obrigatoriedade para a predação, imposta pela competição interespecífica com a presa, poderá resultar em um efeito benéfico para a geração seguinte, já que a assimilação de nutrientes a partir da predação permitirá indivíduos maiores ou em maior número. Então, investigar os efeitos de diferentes proporções larvais entre predadores e presas pode indicar, em termos de aplicação para controle biológico, informações relevantes, tratando-se da economia das produções massais e da permanência dos agentes nas liberações inundativas em campo.

Para moscas sarcosaprófagas, a predação intra-guilda pode ter efeitos para além da mortalidade. Galindo *et al* (2016) observaram que algumas espécies de califorídeos evitam a oviposição em substratos com larvas de *Ch. albiceps*, ou tendem a se desenvolver e/ou deixar o substrato mais rapidamente para empupar, acarretando menor assimilação de nutrientes e conseqüente menor tamanho,

sobrevivência e fertilidade dos adultos. Estes resultados indicam que as relações de tamanho, forrageio, competição e predação serão determinantes também na dinâmica comportamental das larvas dentro do micro-habitat (POLIS; MAYERS; HOLT, 1989; PIRES et al, 2009).

Estudos realizados analisando a competição intra-específica de *Ch. megacephala*, com proporção de competidores por quantidade de alimento igual, mas com densidades de competidores e quantidades de alimento proporcionalmente diferentes, revelaram que em duas ou mais situações com o mesmo nível de agregação larval (proporção de larvas por grama de alimento), não implicam necessariamente no mesmo resultado para o peso, fecundidade e investimento reprodutivo (VON ZUBEN; STANGENHAUS; GODOY 2000). Apesar de se tratar de competição entre indivíduos da mesma espécie, tais resultados indicam que pode haver uma proporção de predador-presa ou de densidade de alimento/predador-presa específica, não tão evidente para o pleno desenvolvimento do predador, de modo que altas densidades populacionais, tanto intra quanto interespecíficas, podem ter resultados deletérios para o desenvolvimento das larvas.

A composição ou tipo de substrato também pode ter influência distinta sobre os parâmetros bionômicos de larvas sarcosaprófagas. Se uma maior proporção proteica no substrato favorecer o desenvolvimento do predador, o que é sugestivo para espécies do gênero *Hydrotaea* devido a estas utilizarem também cadáveres em estágios avançados de decomposição (Skidmore, 1985), pode haver um aumento da sobrevivência das larvas predadoras proporcional ao aumento da densidade populacional da presa, devido ao maior aporte proteico presente nos tecidos da presa do que no substrato. Por outro lado, pode haver um limite de densidade da presa e, como consequência, de tempo para que estas sejam predadas, de modo que, se este for ultrapassado, um grande número de larvas-presa adquira um tamanho muito grande para serem predadas, diminuindo a capacidade predatória do predador, bem como parâmetros bionômicos e demográficos (REIS; VON ZUBEN; GODOY, 1999; SHIAO; YEH, 2008).

Como, em condições de alta disponibilidade de alimento, a adaptabilidade, ou *fitness*, dos organismos aumenta linearmente de acordo com a ingestão de alimento, ou seja, quanto mais nutrida a larva, maior será a sua capacidade de sobreviver a condições adversas, caso haja um forrageio mais eficaz da presa em condições de densidade populacional mais elevada, os efeitos de uma baixa população do predador

poderão ser observados no aumento do período de desenvolvimento ou mortalidade, dependendo ou não das relações proporcionais de tamanhos (instares) larvais de ambas as espécies (PIKE, 1984). Neste caso, os custos energéticos gastos para a busca do alimento e, também para escapar do predador, à nível populacional, podem ser diminuídos ou anulados devido as baixas densidades deste.

Em estudos analisando a IGP entre moscas varejeiras, com e sem a possibilidade de escolha de presa, verifica-se que a escassez de alimento demonstra ser um dos principais fatores envolvidos no estímulo para incorporação de novos componentes na dieta (FARIA; GODOY, 2001). Em nichos efêmeros com características desiguais quanto a composição nutricional, como carcaças e fezes, a presença da presa nas mesmas porções do micro-habitat, pode oferecer ao predador um item com maior ganho energético (ROSA *et al*, 2006). Em casos de abundância de alimento, pode haver a coexistência predador e presa, principalmente quando ambas as espécies são iguais em tamanho (REIS; VON ZUBEN; GODOY, 1999).

Temperatura, umidade relativa e fotoperíodo são alguns dos principais fatores que podem agir diretamente sobre aspectos como padrões de colonização do substrato, taxa de desenvolvimento, disponibilidade de alimento, fecundidade e sobrevivência, influenciando as interações intra e interespecíficas como competição, predação, canibalismo e parasitismo (GALINDO *et al*, 2016; FOUCHÉ; HEDOUIN; CHARABIDZE, 2018). A depender destes fatores, são constantes as mudanças na dinâmica de sucessão de espécies que colonizam matéria orgânica em decomposição (BRAACK *et al*, 1987).

Tais considerações são essenciais nos estudos sobre as interações ecológicas entre estes insetos, a fim de se compreender seu papel e impacto no ambiente, seu potencial como bioindicadores de parâmetros ambientais e desenvolver métodos para o controle biológico daqueles que são agentes de doenças (CAREY, 1988; CEDEN; STINNER; AXTELL, 2001; CENTENO; GONZÁLEZ-VAINER, 2019). Assim, experimentos em laboratório com condições controladas permitem avaliar com maior precisão os efeitos de fatores específicos como densidade populacional, disponibilidade de alimento e tamanho dos indivíduos (TSANKOVA; LUVCHIEV, 1993).

2.2 *Musca domestica*: questão sanitária e métodos de controle

Devido a sua ampla distribuição e alta capacidade de dispersão em meios urbanos e rurais, *M. domestica* têm causado grandes prejuízos econômicos em virtude da sua capacidade de disseminação de patógenos, para as medidas de tratamento ou também para o desenvolvimento de tecnologias para o controle populacional, uma vez que a espécie se torna muito prolífica em boas condições, podendo haver elevado crescimento populacional em épocas favoráveis (BICHO *et al*, 2004; TEIXEIRA *et al*, 2008). Em áreas urbanas, os locais em que a população humana é mais diretamente afetada são aqueles com nível econômico baixo, geralmente associados às más condições sanitárias, onde os indivíduos adultos destas moscas agem como vetores de microrganismos patogênicos pelo contato com o alimento (RIBEIRO *et al*, 2011). Em áreas rurais os danos se estendem ao incômodo, transmissão de patógenos e redução da produção animal e a contaminação de produtos agrícolas (MOON, 2019).

De fato, grande parte dos trabalhos de controle a campo são realizados em áreas rurais (RUTZ; AXTELL, 1979; CEDEN; STINNER; AXTELL, 1988; TURNER; CARTER, 1990; FARKAS; PAP, 1996; CRESPO *et al*, 1998; GEDEN, 2012; PALIY *et al*, 2018). Em revisão realizada por Malik; Singh; Satya, (2007), constatou-se que dentre os métodos de controle da mosca doméstica, a implementação do Manejo Integrado de Pragas, utilizando controle químico e biológico, demonstra ser a técnica mais eficaz. Desde então, muitos estudos têm investigado o uso de extratos de plantas (AGNOLIN *et al*, 2010; KUMAR; MISHRA; SATYA, 2013; LACHANCE; GRANGE, 2018) e agentes biológicos de controle, como microrganismos entomopatogênicos (MERDAN, 2012; LÓPEZ-SÁNCHEZ *et al*, 2012) parasitóides (BIRKEMOE; SOLENG; AAK, 2009; BROSKI; KING, 2017) e predadores (SANTORO *et al*, 2010; DE CASTRO *et al*, 2013).

Apesar de serem amplamente utilizados, os inseticidas químicos apresentam algumas desvantagens, como a perda de eficiência quando a mosca desenvolve resistência (GEORGHIOU, 1967; ACEVEDO; ZAPATER; TOLOZA, 2009; BELL; ROBINSON; WEAVER, 2010; MARKUSSEN; KRISTENSEN, 2012); a inibição ou diminuição imediata, da ação de predadores naturais na aplicação, ou devido aos efeitos residuais no ambiente (WILLS; MULLENS; DAVID MANDEVILLE, 1990;

BURGESS *et al*, 2019); bem como a crescente demanda de organizações da sociedade civil para a redução do uso de pesticidas (LENTEREN *et al*, 2016).

Além dos baixos, quando não nulos, custos ambientais e econômicos do controle biológico pré e pós aplicação, existem algumas vantagens especificamente em relação a utilização da soltura sazonal ou inundativa de predadores intraguilda e parasitóides. Dependendo da estabilidade de condições para sobrevivência do predador, há a garantia ou possibilidade de uma ação prolongada da população liberada no ambiente, não inibindo a ação ou uso, simultâneo ou posterior, de outros agentes de controle e, quando associado a manejos culturais, pode ter sua eficiência aumentada (HOGSETTE; JACOBS, 2003; MALIK; SINGH; SATYA, 2007; MACKEY *et al*, 2007). Além disso, há circunstâncias em que pode ser aplicada também simultaneamente ao controle químico (TURNER; CARTER, 1990).

2.3 O gênero *Hydrotaea*

2.3.1 Considerações sobre posição taxonômica e morfologia

O gênero *Hydrotaea*, atualmente composto por 155 espécies, durante cerca de um século não incluía espécies que eram alocadas no gênero *Ophyra*. De 1986 até a revisão de estudos moleculares publicado por Grzywacz, Wallman e Piwczyński (2017), *Ophyra* foi tratada como júnior sinônimo de *Hydrotaea*, que compreendia 16 espécies válidas. O que separava estes dois grupos eram caracteres morfológicos relativos aos imagos, como a presença de ornamentações na perna anterior dos machos. A coloração dos indivíduos adultos varia de azul escuro (parte das espécies que apresentam esse padrão eram inclusas no antigo gênero *Ophyra* (*H. leucostoma*, *H. capensis*, *H. aenescens*, *H. irritans*) a negro amarronzado, via-de-regra com tons metálicos (Skidmore, 1986). Tais características podem tornar relativamente simples a distinção dos adultos entre outras famílias e outras espécies de muscídeos necrófagas.

A morfologia das larvas é descrita para oito espécies do antigo gênero, principalmente relacionada a pupa e ao terceiro instar. A estrutura do cefalofaríngeo, a posição e tamanho das fendas espiraculares posteriores e a presença de estruturas similares a espinhos na região anal mais a presença e conformação de um colar

espinhoso no primeiro segmento torácico são algumas características importantes para a distinção das espécies de *Hydrotaea* (Grzywacz, 2013; Grzywacz et al, 2017).

2.3.2 Distribuição geográfica

Hydrotaea é reconhecido por conter espécies adaptadas a climas quentes. Para a Região Neotropical são registradas oito espécies. Destas, seis espécies têm registro de ocorrência para o Brasil: *H. albuquerquei*, *Hydrotaea chalcogaster* (Wiedemann, 1824), *Hydrotaea solitaria* Albuquerque 1958, *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann, 1830), *Hydrotaea capensis* (Wiedemann, 1818) e *Hydrotaea nicholsoni* Curran, 1939 (CARVALHO; MOURA; RIBEIRO, 2002). Contudo, diversas espécies são descritas para a região Holoártica, com várias restritas a região Paleártica (Grzywacs, 2013; Grywacs; Linsdtröm; Hall, 20014). Levantamentos realizados na costa sudeste dos EUA com carcaças de diferentes vertebrados indicam que, deste grupo, *Hydrotaea leucostoma* (Wiedemann, 1817) é a espécie que domina em grande parte dos ambientes (Richards et al, 2015; Watson; Carlton, 2003). *H. albuquerquei* era reconhecida como uma das espécies com ocorrência restrita ao Novo Mundo. Porém, Al-Ashbal Al-Essa e Al-Saffar, (2020) publicaram um estudo afirmando a presença desta espécie no Oriente Médio (Iraque).

2.3.3 Aspectos ecológicos e forenses

Provavelmente a primeira descrição de predação de espécies de *Hydrotaea* em *M. domestica* tenha sido a publicada por Portchinsky et al (1913), onde os autores trazem detalhes sobre a biologia de *H. dentipes* e relatam casos de sucesso de controle de *M. domestica* na Rússia em 1911. Graham-Smith (1916) já indicava a possível utilização de espécies de *Hydrotaea* (*H. leucostoma* e *H. dentipes*) para análises forenses, bem como sua capacidade na predação em *M. domestica* quando reportou a presença da espécie em amostragens realizadas em Cambridge, Reino Unido. Seus achados também já indicavam a sinantropia das espécies de *Hydrotaea*. Além das duas acima, *H. irritans* também foi encontrada dentro de casas, quando atraídas por matéria orgânica animal em avançados estágios de decomposição (Grywacs; Linsdtröm; Hall, 2014). Neste estudo também é relatada a presença de *H.*

leucostoma em profundidades consideráveis, indicando que as larvas das espécies deste grupo têm capacidade de detectar e “escavar” na busca de corpos enterrados.

Além deste, estudos arqueológicos têm encontrado espécies de *Hydrotaea*, principalmente *H. capensis* em múmias dentro de construções e/ou cadáveres enterrados até 90cm de profundidade em países da Europa e América do Sul (Turchetto; Vanin,2003; Giordani, et al, 2018; Pradelli et al, 2019). Couri et al. (2008) também já reportaram que *H. capensis* foi encontrada no esôfago de um cadáver humano mumificado. Em seu conhecido compêndio ‘A Manual of Forensic Entomology’ (1986), Skidmore afirma que espécies de *Hydrotaea* colonizam os cadáveres na fase de fermentação amoniacal, bem como relata a presença em corpos encontrados de oito meses ou até um ano depois da morte.

Trabalhos recentes realizados em Córdoba, Argentina (Battan-Horenstein; Gleiser, 2018) e na Rússia (Lyabzina et al, 2018) sugerem que algumas espécies de *Hydrotaea* (*H. aenescens* e *Hydrotaea dentipes* (Fabricius, 1805), respectivamente) sejam mais tolerantes as estações frias em clima temperado do que outros grupos de dipteros caliptrados, onde dominaram as amostragens em número de indivíduos e foram mais abundantes durante o inverno. É sabido que flutuações na temperatura pode atrasar ou adiantar o desenvolvimento de diversas espécies de moscas necrófagas. Dadour, Cook e Wirth testaram estes efeitos em *Hydrotaea rostrata* (Robineau-Desvoidy 1830), onde a flutuação de temperaturas altas aceleraram o desenvolvimento e temperaturas quentes constantes diminuíram. Assim, considerar aspectos relativos ao desenvolvimento sob temperaturas controladas é importante do ponto de vista forense, visto que os dados utilizados para auxiliar a estimativa do intervalo pós-morte com insetos necrófagos envolvem o cálculo de graus-dia (Auberton; Hedouin; Charabidze (2019).

2.3.4 Uso de espécies do gênero *Hydrotaea* para controle biológico

Os ambientes antropizados oferecem condições ótimas e muitos grupos de insetos coevoluíram associados as ocupações humanas, tornando-se pragas potenciais (FIGUEROA-ROA; LINHARES, 2004; COSTA et al, 2000). Uma das

medidas utilizadas em manejo integrado de pragas (MIP) é o controle biológico aumentativo ou inundativo, onde se tenta obter uma redução ou manutenção da população da espécie-praga pela ação de inimigos naturais através de liberações massais de indivíduos criados em laboratório que atuam geralmente como predadores ou parasitóides (VAN LENTEREN *et al*, 2018).

Obviamente, a disseminação de patógenos é uma preocupação notável quando o nicho compartilhado entre predadores intra-guilda e suas presas é a matéria orgânica em decomposição. Sabe-se que a utilização de espécies de *Hydrotaea*, como *H. aenescens* (NOLAN, KISSAM, 1987) e *H. leucostoma* (LEGNER; DIETRICK, 1974) iniciou-se devido a evidências de que estas possuem uma especificidade quanto ao habitat, tendo preferência por ambientes sombreados, limitando-se então aos espaços de criação animal e as áreas de mata. Assim como *H. aenescens*, as coletas de *H. albuquerquei* realizadas em estudos anteriores na Região de Pelotas, indicam que a espécie se restringe aos galpões de criação animal, raramente sendo vistas próximas a habitações humanas (KRÜGER *et al*, 2004).

Espécies de *Hydrotaea* também são comumente estudadas em trabalhos que envolvem a sucessão durante a colonização de cadáveres em decomposição (BARBOSA *et al*, 2009; VASCONCELLOS *et al*, 2013). Por serem predadores facultativos, podem influenciar a composição da assembleia de artrópodes que utilizam os cadáveres como recurso para alimentação ou reprodução, sendo utilizadas para o cálculo de intervalo pós-morte (IPM) na entomologia forense (DUARTE, 2018). Conseqüentemente, tem importante papel na análise do IPM (GIORDANI; GRZYWACZ; VANIN, 2019).

Em alguns estudos realizados no Brasil, *Hydrotaea* tem apresentado elevada abundância, principalmente em ambientes antropizados (BRAACK *et al*, 1987; FIGUEROA-ROA; LINHARES, 2004; LEFEVBRE; GAUDRY, 2009; VASCONCELOS *et al*, 2013). Em levantamento realizado na cidade de Pelotas por Ribeiro *et al* (2000), *H. albuquerquei* foi a espécie mais representativa. Indícios de que a pupa de *H. albuquerquei* tem capacidade de tolerar baixas temperaturas e sobreviver as condições de inverno podem implicar também em uma vantagem como agente de controle biológico inundativo ou sazonal em Regiões Subtropicais, de modo que os indivíduos podem ser liberados a campo antecipadamente ao aparecimento de condições favoráveis a alta proliferação de *M. domestica*. A capacidade de

desenvolvimento em condições laboratoriais já foi confirmada em estudos anteriores (KRÜGER; WENDT; RIBEIRO, 2011).

Os estudos com a criação e biologia de espécies de *Hydrotaea* foram iniciados por Johnson e Venard (1957), que consistia em estabelecer colônias com indivíduos adultos coletados a campo em gaiolas e oferecer substrato para oviposição. Os ovos de *H. aenescens* foram colocados, em número de 300 a 400, em um meio de 320 gramas preparado com farinha de peixe, ágar, levedura de cerveja, levedura de pão e água para desenvolvimento das larvas, resultando em uma média de 74 larvas por massas larvais.

Anderson e Poorbaugh (1964) publicaram um artigo relatando que o conhecimento do comportamento predatório das larvas de espécies do gênero *Hydrotaea* existe desde 1923. Neste mesmo artigo, os autores relataram um experimento de interação larval com *H. leucostoma*, *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761), *M. domestica* e *M. stabulans*, descrevendo o comportamento predatório voraz de *H. leucostoma* sobre as demais. Foi observado que as larvas predadoras tendem a se alimentar mais das larvas, principalmente de *M. domestica*, do que do meio nutritivo, podendo se alimentar somente das presas.

O estudo laboratorial de interação larval realizado por Muller (1982), demonstrou que a IGP de *H. aenescens* ocorre, principalmente, em larvas de terceiro instar sobre larvas de diferentes instares de *M. domestica*, sendo também dependente da densidade populacional e proporção das larvas predador/presa. A agregação larval proporcionada pelo aumento da densidade populacional em larvas de dípteros sarcosaprófagos, gerada por aumento da densidade interespecífica, pode ser benéfica tanto pelo compartilhamento de enzimas expelidas e bactérias envolvidas no processo de degradação da matéria orgânica, como pela subjugação da presa na predação conjunta quando as larvas desempenham IGP (RIVERS; THOMPSON; BROGAN, 2011; THOMPSON et al., 2013).

Olckers e Hulley (1984) avaliaram a capacidade predatória de *H. capensis* e mostraram que larvas de segundo instar são menos vorazes que as de terceiro, bem como a espécie é menos voraz que *H. leucostoma*, não predando larvas maiores que ela mesma. Verificaram também que ocorre predação na presença de fontes

alternativas de alimento e que *H. capensis* recorre ao canibalismo apenas em altos níveis de escassez de alimento.

Schultka e Schumann (1986) publicaram um estudo de avaliação do comportamento e biologia de *H. aenescens*, assegurando a possibilidade de utilização para controle biológico, pois não encontraram evidências da espécie nas proximidades de habitações humanas ou de perturbação aos animais. Como espécies do gênero *Hydrotea* também são vetores de patógenos, tais características são importantes de serem observadas em relação à escolha do predador intra-guilda que será o agente do controle biológico (CHIRICO *et al*, 1997).

Farkas e Jantnyik (1990) publicaram os resultados de experimentos laboratoriais de interação larval de *H. aenescens* e *M. domestica*. As larvas foram confrontadas em potes pequenos com 100g de esterco suíno, em diferentes proporções (20:20, 30:90, 30:120, 30:150) e em diferentes estágios de cada espécie. A mortalidade de *M. domestica* foi de 15 a 100% variando com a idade e tamanho do predador ou presa. No mesmo ano, Farkas e Papp 1990 realizaram testes com *H. aenescens* e *H. ignava* em criações de suínos sob confinamento, onde ambas espécies demonstraram ser eficientes no controle biológico de *M. domestica*.

Turner e Carter (1990) testaram a capacidade de controle de *H. aenescens* sobre a população de *M. domestica* em aviários. Através de soltura inundativa, eles verificaram um controle eficiente com redução de 45.3% na população de *M. domestica*. A predação de *H. capensis* sobre *M. domestica* foi analisada por Tsankova e Luvchiev (1993) em função dos instares larvais, da proporção de larvas predador-presa e da densidade de substrato, onde foi observado mais de 70% de redução da população da presa e o equivalente a 17 presas por larvas do predador, dando uma perspectiva favorável de *H. capensis* como agente de controle biológico.

Embora estes estudos tenham obtido bons resultados com uma dieta a base de açúcar e leite em pó, Hogsette e Washington (1995) realizaram experimentos verificando o efeito de dietas Gainesville (composta de farinha de alfafa, de trigo e de milho) com diferentes proporções de farinha de carne e osso, as quais possuem maior valor proteico. Os resultados mostraram que uma proporção 5:1 e 6:1 destes dois componentes na dieta são mais eficientes para produção massal de *H. aenescens*, com menor tempo de desenvolvimento e maiores percentagens de eclosão para os

ovos. Neste mesmo sentido, Simon, Krüger e Ribeiro (2011) demonstraram que uma dieta com maior proporção de aporte proteico tem efeitos significativos sobre o desenvolvimento e mortalidade de *H. aenescens* e *H. albuquerquei*, onde também foi avaliado um efeito positivo sobre as dimensões das espécies, com a última apresentando o terceiro instar maior do que a primeira.

Vibe-Petersen (1998) analisou a mortalidade e sobrevivência de larvas de primeiro instar de *Scatella fusca* Maquart (Diptera: Ephydriidae) e de terceiro instar de *H. aenescens*, quando colocadas em proporção de 1:1, com 15 indivíduos cada espécie, em potes de 280 ml. Esta densidade resultou em uma taxa mortalidade de *S. fusca* de 83%, significativamente maior do que quando criada sozinha.

Hogsette e Jacobs (1999) realizaram um experimento com soltura inundativa de *H. aenescens* para controle população de mosca doméstica em aviários, na Florida, USA. Os pesquisadores não conseguiram estabelecer uma população estável e efetiva como agente de controle biológico, isto é, apesar de observarem uma capacidade de dispersão para locais há cerca de 300 metros distante do local de soltura, a população não foi capaz de controlar a de *M. domestica*. Ainda assim, a população de *H. aenescens* acabou por dominar a de moscas domésticas 9 meses após o início do experimento, predominando por mais de 15 meses, ainda que em quantidades não suficiente para efetivo controle. Foi observado que larvas de *H. aenescens* eram observadas em áreas onde o esterco era mais seco. A hipótese de que espécies do gênero *Hydrotaea*, como *H. aenescens* e *H. leucostoma* não desenvolvem plenamente em substrato com umidade muito elevada (>80%) já foi sugerida por outros autores através de observações a campo (ANDERSON; POORBAUGH, 1964; VIBE-PETERSEN, 1998). Portanto, considerar fatores abióticos também em experimentos laboratoriais é fundamental para obter sucesso de acordo com as exigências ambientais da espécie que se pretende criar com agente de controle.

Paliy *et al* (2018) mensuraram a capacidade predatória de *H. aenescens* sobre *M. domestica* com em diferentes proporções de densidades presa- predador, seguido da avaliação da temperatura ótima e a densidade populacional favorável para o desenvolvimento de *H. aenescens*. Maior viabilidade da espécie se deu com 0.5-1.0 larvae/cm³ de substrato, com temperatura ótima de 27C^o. Resultados semelhantes

foram obtidos por Ribeiro *et al* (2000), com umidade relativa (UR) de 80%. A capacidade predatória aumentou significativamente com maior proporção presa-predador, onde foram consumidas de 1,5 a 11 presas, com proporções de 2,5:1 e 30:1, respectivamente.

Faixas de umidade do substrato entre 60% e 70% parecem ser ideais para o pleno desenvolvimento e viabilidade de prole de *H. aenescens* em esterco suíno de aves e bezerros (HOGSETTE; FARKAS; COLER, 2002; FARKAS; HOGSETTE; BÖRZSÖNYI, 1998). *M. domestica*, por sua vez, possui uma plasticidade maior quanto a este fator, apresentando maiores pesos pupais conforme aumenta a umidade até 80% e suportando níveis menores, com até 40% (FARKAS; HOGSETTE; BÖRZSÖNYI, 1998). As taxas de oviposição em função da umidade já foram analisadas para ambas as espécies, onde ambas depositaram mais de 50% de seus ovos em substratos de esterco com 70% umidade (FATCHUROCHIM; GEDEN; AXTELL, 1989). Dessa forma, manejos adicionais também podem ser necessários pra aumentar a eficiência do predador.

3. Projeto de Pesquisa

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PREDATÓRIA DE *HYDROTAEA ALBUQUERQUEI* (LOPES) (MUSCIDAE: AZELIINAE) SOBRE *MUSCA DOMESTICA* LINNEAUS (MUSCIDAE: MUSCINAE) SOB DIFERENTES DENSIDADES E INSTARES>

Equipe: RODRIGO FERREIRA KRUGER; WILLIAM DE TOGNI;

<William De Togni>

<Pelotas, 28/03/2022>

3.1. Caracterização do Problema

Devido a sua ampla distribuição e alta capacidade de dispersão em meios urbanos e rurais, *M. domestica* têm causado grandes prejuízos econômicos para as medidas de tratamento ou controle populacional, uma vez que a espécie se torna muito prolífica em boas condições, podendo haver elevado crescimento populacional em épocas favoráveis (BICHO et al, 2004; TEIXEIRA et al, 2008). Em áreas urbanas, os locais em que a população humana é mais diretamente afetada são aqueles com nível econômico baixo, geralmente associados às más condições sanitárias, onde agem como vetores de microrganismos patogênicos pelo contato com o alimento (MARQUEZ et al, 2007) Em áreas rurais os danos se estendem ao incômodo, transmissão de patógenos e redução da produção animal e a contaminação de produtos agrícolas (MOON, 2019).

De fato, grande parte dos trabalhos de controle a campo são realizados em áreas rurais (RUTZ; AXTELL, 1979; CEDEN; STINNER; AXTELL, 1988; TURNER; CARTER, 1990; FARKAS; PAP, 1996; CRESPO et al, 1998; GEDEN, 2012; PALIY et al, 2018). Em revisão realizada por Malik; Singh; Satya, (2007), constatou-se que dentre os métodos de controle da mosca doméstica, a implementação do Manejo Integrado de Pragas, utilizando controle químico e biológico, demonstra ser a técnica mais eficaz. Desde então, muitos estudos tem investigado o uso extratos de plantas (AGNOLIN et al, 2010; KUMAR; MISHRA; SATYA, 2013) e agentes biológicos de controle, como microrganismos entomopatogênicos (MERDAN, 2012; LÓPEZ-SÁNCHEZ et al, 2012) parasitóides (BIRKEMOE; SOLENG; AAK, 2009; BROSKI; KING, 2017) e predadores (SANTORO et al, 2010; DE CASTRO et al, 2013). Apesar de serem amplamente utilizados, os inseticidas químicos apresentam algumas desvantagens, como a perda de eficiência quando a mosca desenvolve resistência (GEORGHIOU, 1967; ACEVEDO; ZAPATER; TOLOZA, 2009; BELL; ROBINSON; WEAVER, 2010; MARKUSSEN; KRISTENSEN, 2012); a inibição ou diminuição imediata, da ação de predadores naturais na aplicação, ou devido aos efeitos residuais no ambiente (WILLS; MULLEN; DAVID MANDEVILLE, 1990; BURGESS et al, 2019); bem como a crescente demanda de organizações da sociedade civil para a redução do uso de pesticidas (VAN LENTEREN et al, 2018).

Além dos baixos, quando não nulos, custos ambientais e econômicos do controle biológico pré e pós aplicação, existem algumas vantagens especificamente em relação a utilização da soltura sazonal ou inundativa de predadores intraguilda e parasitóides. Dependendo da estabilidade de condições para sobrevivência do predador, há a garantia ou possibilidade de uma ação prolongada da população liberada no ambiente, não inibindo a ação ou uso, simultâneo ou posterior, de outros agentes de controle e, quando associado a manejos culturais, pode ter sua eficiência aumentada (HOGSETTE; JACOBS, 2003; MALIK; SINGH; SATYA, 2007; MACKEY et al, 2007). Além disso, há circunstâncias em que pode ser aplicada também simultaneamente ao controle químico (TURNER; CARTER, 1990).

Obviamente, a disseminação de patógenos é uma preocupação notável quando o nicho compartilhado entre predadores intra-guilda e suas presas, é a matéria orgânica em decomposição. Sabe-se que a utilização de espécies de *Hydrotaea*, como *H. aenescens* (NOLAN. KISSAM, 1987) e *H. leucostoma* (LEGNER; DIETRICK, 1974) iniciou-se devido a evidências de que estas possuem uma especificidade quanto ao habitat, tendo preferência por ambientes sombreados, limitando-se então aos espaços de criação animal e as áreas de mata. Assim como *H. aenescens*, as coletas de *H. albuquerquei* realizadas em estudos anteriores na Região de Pelotas, indicam que a espécie se restringe aos galpões de criação animal, raramente sendo vistas próximas a habitações humanas (KRÜGER et al, 2004). Espécies de *Hydrotaea* também são comumente estudadas em trabalhos que envolvem a sucessão durante a colonização de cadáveres em decomposição (BARBOSA et al, 2009; VASCONCELLOS et al, 2013). Por serem predadores facultativas, podem influenciar a composição da assembleia de artrópodes que utilizam os cadáveres como recurso para alimentação ou reprodução, sendo utilizadas para o cálculo de intervalo pós-morte (IPM) na entomologia forense (DUARTE, 2018). Consequentemente, tem importante papel na análise do IPM (GIORDANI; GRZYWACZ; VANIN, 2019).

Em alguns estudos realizados no Brasil, *Hydrotaea* tem apresentado elevada abundância, principalmente em ambientes antropizados (BRAACK et al, 1987; FIGUEROA-ROA; LINHARES, 2004; LEFEVBRE; GAUDRY, 2009; VASCONCELOS et al, 2013). Em levantamento realizado na cidade de Pelotas por Ribeiro et al (2000), *H. albuquerquei* foi a espécie mais representativa. A capacidade da pupa de *H. albuquerquei* tolerar baixas temperaturas e sobreviver as condições de inverno, implica também em uma vantagem como agente de controle biológico inundativo ou

sazonal em Regiões Subtropicais, de modo que os indivíduos podem ser liberados a campo antecipadamente ao aparecimento de condições favoráveis a alta proliferação de *M. domestica*. Ademais, a capacidade de desenvolvimento em condições laboratoriais já foi confirmada em estudos anteriores (KRÜGER; WENDT; RIBEIRO, 2011). Convém então, uma avaliação da interação entre estas espécies, sob diferentes estágios e densidades populacionais, a fim de investigar seus efeitos sobre a capacidade predatória.

Objetivos e Metas

- (i) Avaliar a capacidade predatória de *Hydrotaea albuquerquei* Lopes sobre *Musca domestica* L. (Diptera; Muscidae).
- (ii) Avaliar o efeito da interação de diferentes densidades larvais de *H. albuquerquei* e *M. domestica*, na mortalidade e peso médio de ambas as espécies;
- (iii) Avaliar o efeito da interação de diferentes densidades larvais e diferentes tamanhos de *H. albuquerquei* e *M. domestica*, na mortalidade e no peso médio de ambas as espécies para;
- (iv) Determinar a influência da densidade populacional na capacidade predatória de *H. albuquerquei* em *M. domestica* e;
- (v) Determinar a influência de diferentes tamanhos na capacidade predatória de *H. albuquerquei* em *M. domestica*.

3.2. Metodologia

(i) Área de estudo e estabelecimento das colônias

Pelotas é o maior município do extremo Sul do Brasil, localizado na costa da Lagoa dos Patos, a nível do mar. De clima subtropical úmido (VENZKE, 2012), a cidade apresenta ambientes alagadiços em seu entorno, com diferentes tipos de ocupação humana, entremeando bairros e terrenos amplos com pequenas criações pecuárias.

Em fevereiro de 2001, as colônias de *H. albuquerquei* e *M. domestica* foram estabelecidas em câmara climatizada em laboratório, a partir de adultos capturados em granja avícola do Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), Rio Grande do Sul (31°45'48"S, 52°29'02"W), para obtenção de ovos, larvas e pupários a. Os adultos foram criados em gaiolas de plástico (40x20x30), em ambiente controlado a 27 °C e U.R. superior a 80%; e alimentados com uma ração composta por uma parte de farinha de peixe, duas partes de leite em pó e duas partes de açúcar e água, fornecida em um frasco, ambos disponíveis ad libitum. Potes de 100g com fígado de frango foram utilizados como substrato para a oviposição. As larvas foram alimentadas com meio de cultura para larvas segundo RIBEIRO et al. (2000) para *H. aenescens*, a qual é composta de 50% de farinha de peixe, 30% de serradura, 20% de farinha de trigo e água até o meio tornar-se pastoso.

(i) Análise dos dados

A capacidade predatória da *H. albuquerquei* será avaliada através de dados morfométricos, de sobrevivência e mortalidade, obtidos a partir do confronto de larvas de 1° (L1), 2° (L3) e 3° (L3) estágios de *H. albuquerquei* com larvas de 1° e 2° estágios de *M. domestica*, realizados nas proporções de 1:1, 1:4, 1:9, 1:19 e 1:39, totalizando duzentas larvas em 400 g de dieta de RIBEIRO et al (2000). Estes experimentos foram realizados com três repetições para cada proporção e cada encontro, mantidas à 27°C e U.R. superior a 80%. A montagem do experimento de laboratório foi realizada no Laboratório de Biologia de Insetos do Instituto de Biologia da UFPEL, no ano de 2004.

Os dados de sobrevivência e tempo de desenvolvimentos foram registrados para ambas as espécies.

A base de dados, registrada no software Microsoft Excel®, será utilizada para os cálculos das taxas de mortalidade, sobrevivência, desenvolvimento e predação. A taxa de mortalidade de *M. domestica* será calculada por $d \cdot 100/mi$ onde d é a mortalidade e mi é o número inicial de larvas. A taxa de predação de *H. albuquerquei* será calculada por $(a - b)/a$, onde a é o número de espécimes de *Musca* introduzidos no meio e b é o número de espécimes que emergiram das pupas (GEDEN et al, 1988). Será realizada uma Análise de Variância e um Teste de Fisher. A depender dos resultados, possivelmente será utilizado o Modelo Linear Generalizado em distribuição gama para análise dos dados. Gráficos serão plotados a partir da correlação entre os valores encontrados para os parâmetros acima descritos, para verificar o comportamento dos mesmos entre as variáveis de densidade e estágios de desenvolvimento. escrever a metodologia empregada para a execução do projeto e como os objetivos serão alcançados.

3.3. Resultados e Impactos esperados

É possível que seja observada maior mortalidade em larvas de *M. domestica* quanto maior for a proporção predador-presa e quanto mais avançado for o instar larval do predador, bem como redução ou aumento do tamanho, peso ou tempo de desenvolvimento das larvas e/ou pupas de ambos (IVORRA et al, 2019); ou apenas do predador, corroborando a hipótese de que, se a presa tem maior eficiência enquanto há alimento disponível, o rápido consumo pela presa indisponibiliza o alimento, podendo atrasar o desenvolvimento do predador facultativo, aumentando o tempo de desenvolvimento do mesmo para alcançar o instar com capacidade de predação e comprometendo o empupamento ou diminuindo o peso da pupa (SHIO; YEH, 2008). Outra hipótese é a de que, mesmo as larvas da presa sendo mais eficientes, o predador ainda pode realizar a predação em instares iniciais ou conseguir alimentar-se apenas da presa (ANDERSON; POORBAUGH, 1964), obtendo assim maior conversão alimentar e, conseqüentemente, um potencial de desenvolvimento, reprodução e sobrevivência maior na geração seguinte.

Estudos realizados analisando a competição intra-específica de *Ch. megacephala*, com proporção de competidores por quantidade de alimento igual, mas com densidades de competidores e quantidades de alimento proporcionalmente diferentes, revelaram que em duas ou mais situações com o mesmo nível de agregação larval (proporção de larvas por grama de alimento), não implicam necessariamente no mesmo resultado para o peso, fecundidade e investimento reprodutivo (VON ZUBEN; STANGENHAUS; GODOY 2000). Apesar de se tratar de competição entre indivíduos da mesma espécie, tais resultados indicam pode haver uma proporção de predador-presa ou de densidade de alimento/predador-presa específica, não tão evidente para o pleno desenvolvimento do predador, de modo que altas densidades populacionais, tanto intra quanto interespecíficas, podem ter resultados deletérios para o desenvolvimento das larvas.

A composição ou tipo de substrato também pode ter influência distinta sobre os parâmetros bionômicos de *H. albuquerquei* e *M. domestica*. Se uma maior proporção proteica no substrato favorecer o desenvolvimento do predador, o que é sugerido pelo fato de *H. albuquerquei* também utilizar, facultativamente, cadáveres em estágios avançados de decomposição (SIMON; KRÜGER; RIBEIRO, 2011), então sua performance como agente de controle biológico pode ser diferente dos resultados encontrados para o presente estudo, quando da utilização em criação de animais, onde o substrato é esterco, o qual possui menor aporte proteico.

Neste mesmo contexto, pode haver um aumento do peso médio das larvas predadoras, proporcional ao aumento da densidade populacional da presa, devido ao maior aporte proteico presente nos tecidos do que no substrato. Por outro lado, pode haver um limite de densidade da presa, de modo que, se este for ultrapassado, um grande número de larvas-presa adquira um tamanho muito grande para serem predadas, diminuindo o peso médio do predador (REIS; VON ZUBEN; GODOY, 1999).

Como, em condições de alta disponibilidade de alimento, a adaptabilidade dos organismos aumenta linearmente de acordo com a ingestão de alimento e, neste caso, os custos energéticos gastos para a busca do alimento e, também para fugir do predador, são diminuídos ou anulados devido as baixas densidades do mesmo, caso haja um forrageamento mais eficaz de *M. domestica* em densidades mais elevadas, os efeitos de uma baixa população do predador poderá ser observada na diminuição de seu peso médio ou mortalidade, dependendo ou não da idade da larva (PIKE, 1984).

Em estudos analisando a IGP entre moscas varejeiras, com e sem a possibilidade de escolha de presa, verifica-se que a escassez de alimento demonstra ser um dos principais fatores envolvidos no estímulo para incorporação de novos componentes na dieta (FARIA; GODOY, 2001). Em nichos efêmeros com características desiguais quanto a composição nutricional, como carcaças e fezes, a presença da presa nas mesmas porções do microhabitat, pode oferecer ao predador um item com maior ganho energético (ROSA et al, 2006). Assim, considerando o comportamento de outras espécies de *Hydrotaea*, que compartilham uma história de vida semelhante à de *H. albuquerquei*, altas taxas de predação poderão ser encontradas para esta espécie.

Em casos de abundância de alimento, pode haver a coexistência predador e presa, principalmente quando ambas as espécies são iguais em tamanho (REIS; VON ZUBEN; GODOY, 1999). *M. domestica* demonstra ter ótimo desenvolvimento em esterco suíno, fato correlacionado a alta umidade no meio. *H. aenescens* desenvolve pupas mais pesadas quando se desenvolvem neste mesmo substrato (HOGSETTE; BÖRZSÖNYI, 1998). Como as larvas de *H. albuquerquei* são menores que as de *H. aenescens* (SIMON; KRÜGER; RIBEIRO, 2011), e o

tamanho dos imagos em que a predação é expressada, é determinante para a capacidade predatória, as taxas de IGP entre a primeira e *M. domestica* poderão não ser significativas, ou mesmo inexistentes, em determinados substratos.

Sob a perspectiva do uso de *H. albuquerquei* como agente de controle biológico, os resultados e considerações no parágrafo anterior nos induzem a hipotetizar que estes seriam bastante prováveis quando em condições naturais, principalmente quando a população do predador estiver baixa, e também pelo fato de o substrato de desenvolvimento (esterco) ter menor valor proteico do que aquele adequado para o ótimo desenvolvimento de *H. albuquerquei*. Por esses motivos, a manutenção de colônias do predador, alimentadas com dietas proteicas e a aplicação de solturas inundativas sazonais podem ser inevitáveis para a utilização desta espécie para controle biológico.

Além disso, a compreensão das dinâmicas comportamentais da espécie sobre condições de microhabitat, como o particionamento de substrato e recurso alimentar, e capacidade de forrageamento em função de fatores como umidade e tipo de substrato, ainda é necessária com testes a campo.

Faixas de umidade do substrato entre 60% e 70% parecem ser ideais para o pleno desenvolvimento e viabilidade de prole de *H. aenescens* em esterco suíno, de aves e bezerros (HOGSETTE; FARKAS; COLER, 2002; FARKAS; HOGSETTE; BÖRZSÖNYI, 1998). *M. domestica*, por sua vez, possui uma plasticidade maior quanto a este fator, apresentando maiores pesos pupais conforme aumenta a umidade até 80% e suportando níveis menores, com até 40% (FARKAS; HOGSETTE; BÖRZSÖNYI, 1998). As taxas de oviposição em função da umidade já foram analisadas para ambas as espécies, onde ambas depositaram mais de 50% de seus ovos em substratos de esterco com 70% umidade (FATCHUROCHIM; GEDEN; AXTELL, 1989). Dessa forma, manejos adicionais também podem ser necessários pra aumentar a eficiência do predador.

Os impactos deste projeto incidem (i) sobre a qualidade sanitária dos ambientes rurais a partir da produção de dados importantes sobre o potencial de uma espécie como agente de controle biológico e, conseqüentemente, para a elaboração de programa de Manejo Integrado de Pragas, podendo resultar na diminuição de prejuízos econômicos envolvendo a saúde humana e animal. (ii) sobre a qualidade das avaliações e investigações médico-legais e sanitárias que utilizam dados de período de desenvolvimento de insetos para incremento de análises sobre intervalo pós-morte e controle de pragas em produtos armazenados.

3.4. Cronograma do Projeto

Tabela 1 – Cronograma definido para as atividades de pesquisa.

2019	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Revisão bibliográfica			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboração do Projeto												X
2020	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Elaboração do Projeto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Análise dos dados												X
2021	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Análise dos dados	X	X										
Defesa			X									

3.5. Referências Bibliográficas

4. ACEVEDO, Gonzalo Roca; ZAPATER, Miguel; TOLOZA, Ariel Ceferino. Insecticide resistance of house fly, *Musca domestica* (L.) from Argentina. **Parasitology research**, v. 105, n. 2, p. 489-493, 2009.
5. AGNOLIN, C. A. et al. Efficacy of citronella [*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle] oil in the control of bovine ectoparasites. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 482-487, 2010.
6. ALVES, Ana Claudia Firmino; DOS SANTOS, Wellington Emanuel; CREÃO-DUARTE, Antonio José. Diptera (Insecta) de importância forense da região Neotropical. **Entomotropica**, v. 29, n. 2, p. 77-94, 2014.
7. ANDERSON, J.; J. POORBAUGH. Biological control possibility for house flies. **California Agriculture**, v. 18, n. 9, p. 2-4, 1964.
8. BARBOSA, R. R., MELLO-PATIU, C. A. D., MELLO, R. P. D., & QUEIROZ, M. M. D. C. New records of calyptrate dipterans (Fanniidae, Muscidae and Sarcophagidae) associated with the decomposition of domestic pigs in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 104, n. 6, p. 923-926, 2009.
9. BARBOSA, T. M.; VASCONCELOS, S. D. An updated checklist of myiasis-inducing Diptera species in livestock in Northeastern Brazil. **Archivos de zootecnia**, v. 64, n. 246, p. 187-190, 2015.
10. BATISTA-DA-SILVA, José Antonio; MOYA-BORJA, Gonzalo Efrain; DE CARVALHO QUEIROZ, Margareth Maria. Ocorrência e sazonalidade de muscóides (Diptera, Calliphoridae) de importância sanitária no Município de Itaboraí, RJ, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 3, n. 1, p. 16-21, 2010.
11. BELL, Howard A.; ROBINSON, Katherine A.; WEAVER, Robert J. First report of cyromazine resistance in a population of UK house fly (*Musca domestica*) associated with intensive livestock production. **Pest management science**, v. 66, n. 7, p. 693-695, 2010.
12. BIRKEMOE, Tone; SOLENG, Arnulf; AAK, Anders. Biological control of *Musca domestica* and *Stomoxys calcitrans* by mass releases of the parasitoid *Spalangia cameroni* on two Norwegian pig farms. **BioControl**, v. 54, n. 3, p. 425-436, 2009.
13. BROSKI, Scott A.; KING, B. H. Effects of size and age of the host *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) on production of the parasitoid wasp *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 1, p. 282-287, 2017.
14. BURGESS IV, E. R., WATKINS, S. M., KING, B. H., CHANTOS-DAVIDSON, K., KREMER, A. N., TOURNEAR, J. C., ... & GAILLARD, E. R. Dissemination of imidacloprid through dairy cattle manure and its effect on the biological control agent, *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae), and a filth fly host, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Journal of economic entomology**, v. 112, n. 2, p. 974-980, 2019.

15. CAREY, James R. Insect biodemography. **Annual review of entomology**, v. 46, n. 1, p. 79-110, 2001.
16. CARMO, R. F. R.; VASCONCELOS, S. D. Assemblage of necrophagous Diptera in Atlantic insular environments and response to different levels of human presence. **Neotropical entomology**, v. 45, n. 5, p. 471-481, 2016.
17. CARVALHO, Claudio José Barros de; MOURA, Maurício Osvaldo; RIBEIRO, Paulo Bretanha. Chave para adultos de dípteros (Muscidae, Fanniidae, Anthomyiidae) associados ao ambiente humano no Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 46, n. 2, p. 107-144, 2002.
18. CASTRO, Manuel; CENTENO, Néstor; GONZÁLEZ-VAINER, Patricia. An initial study of insect succession on pig carcasses in open pastures in the northwest of Uruguay. **Forensic science international**, v. 302, p. 109837, 2019.
19. CEDEN, C. J.; STINNER, R. E.; AXTELL, R. C. Predation by predators of the house fly in poultry manure: effects of predator density, feeding history, interspecific interference, and field conditions. **Environmental Entomology**, v. 17, n. 2, p. 320-329, 1988.
20. CHIRICO, J., JONSSON, P., KJELLBERG, S., & THOMAS, G. Summer mastitis experimentally induced by *Hydrotaea irritans* exposed to bacteria. **Medical and veterinary entomology**, v. 11, n. 2, p. 187-192, 1997.
21. CONSTANTINO, R. Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. **Ribeirão Preto: Holos**, 2012.
22. COSTA, P. R. P., FRANZ, R. L., VIANNA, E. E. S.; RIBEIRO, P. B. Synanthropy of *Ophyra* spp (Diptera, Muscidae) in Pelotas, RS, Brazil. **Rev. Bras. Parasitol. Vet.**, v. 9, n. 2, p. 165-168, 2000.
23. CRESPO, Diana C.; LECUONA, Roberto E.; HOGSETTE, Jerome A. Biological Control: An Important Component in Integrated Management of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in Caged-Layer Poultry Houses in Buenos Aires, Argentina. **Biological Control**, v. 13, n. 1, p. 16-24, 1998.
24. D'ALMEIDA, Jose M.; ALMEIDA, JR de. Nichos tróficos em dípteros caliptrados, no Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, n. 4, p. 563-570, 1998.
25. DE CARVALHO, C. J. B., COURI, M. S., PONT, A. C., PAMPLONA, D., & LOPES, S. M. A catalogue of the Muscidae (Diptera) of the Neotropical Region. **Zootaxa**, v. 860, n. 1, p. 1-282, 2005.
26. DE CASTRO, J. L., DA FONSECA, A. H., & BORJA, G. E. M. The Guinea Fowl (*Numida meleagris*) as predator of larvae and pupae of the house fly (*Musca domestica*). **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 35, n. 2, p. 140-146, 2013.
27. DE SOUZA AMORIM, Dalton. Chapter Three. Neotropical Diptera Diversity: Richness, Patterns, and Perspectives. In: *Diptera diversity: status, challenges and tools*. **Brill**,. p. 71-97, 2010.

28. DENNO, Robert F.; COTHRAN, Warren R. Niche relationships of a guild of necrophagous flies. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 68, n. 4, p. 741-754, 1975.
29. DOGRA, Sunder Singh; MAHAJAN, Vikram K. Oral myiasis caused by *Musca domestica* larvae in a child. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology Extra**, v. 5, n. 3, p. 105-107, 2010
30. DUARTE, Juliano Lessa Pinto; KRÜGER, Rodrigo Ferreira; RIBEIRO, Paulo Bretanha. Interaction between *Musca domestica* L. and its predator *Muscina stabulans* (Fallén)(Diptera, Muscidae): Effects of prey density and food source abundance. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 1, p. 55-58, 2013.
31. DUARTE, Marina Lopes et al. Desenvolvimento Intrapuparial de *Ophyra aenescens* (Wiedemann, 1830)(Diptera, Muscidae), sob condições de laboratório. 2018.
32. FARIA, Lucas Del Bianco; GODOY, Wesley Augusto Conde. Prey choice by facultative predator larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 96, n. 6, p. 875-878, 2001.
33. FARIA, Lucas Del Bianco; GODOY, Wesley Augusto Conde; REIS, Sérgio Furtado dos. Larval predation on different instars in blowfly populations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 6, p. 887-894, 2004.
34. FARKAS, Róbert; JANTNYIK, Tibor. Laboratory studies on *Hydrotaea aenescens* as predator of house fly larvae (Diptera: Muscidae). **Parasitol Hung**, v. 23, p. 103-108, 1990.
35. FARKAS, Róbert; PAPP, László. Susceptibility of *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae) to selected insecticides and its importance in integrated fly management. **Parasitology research**, v. 82, n. 2, p. 170-173, 1996.
36. FARKAS, Róbert; PAPP, László. *Hydrotaea* (*Ophyra*) species as potential biocontrol agents against *Musca domestica* (Diptera) in Hungary. **Biocontrol of arthropods affecting livestock and poultry.**, p. 169-176, 1990.
37. FIGUEROA-ROA, Luis; LINHARES, Arício X. Synanthropy of Muscidae (Diptera) in the city of Valdivia, Chile. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 647-651, 2004.
38. FOUCHE, Quentin; HEDOUIN, Valery; CHARABIDZE, Damien. Communication in necrophagous Diptera larvae: interspecific effect of cues left behind by maggots and implications in their aggregation. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 2844, 2018.
39. GALINDO, Luciane A. et al. Intraguild predation influences oviposition behavior of blow flies (Diptera: Calliphoridae). **Parasitology research**, v. 115, n. 5, p. 2097-2102, 2016.
40. GEDEN, C.J. Status of biopesticides for control of house flies. **Journal of Biopesticides (Supplementary)**, 5, 1–11, 2012

41. GEORGHIOU, G. P. Differential susceptibility and resistance to insecticides of coexisting populations of *Musca domestica*, *Fannia canicularis*, *F. femoralis*, and *Ophyra leucostoma*. **Journal of economic entomology**, v. 60, n. 5, p. 1338-1344, 1967.
42. GIORDANI, Giorgia; GRZYWACZ, Andrzej; VANIN, Stefano. Characterization and identification of puparia of *Hydrotaea Robineau-Desvoidy*, 1830 (Diptera: Muscidae) from forensic and archaeological contexts. **Journal of medical entomology**, v. 56, n. 1, p. 45-54, 2019.
43. HOGSETTE, Jerome A.; FARKAS, Róbert; COLER, Reginald R. Development of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae) in manure of unweaned dairy calves and lactating cows. **Journal of economic entomology**, v. 95, n. 2, p. 527-530, 2002.
44. HOGSETTE, J. A.; JACOBS, R. D. Failure of *Hydrotaea aenescens*, a larval predator of the housefly, *Musca domestica*, to establish in wet poultry manure on a commercial farm in Florida, USA. **Medical and veterinary entomology**, v. 13, n. 4, p. 349-354, 1999.
45. HOGSETTE, Jerome Adkins; JACOBS, R. D. The black dump fly: a larval predator of house flies. **USDA-ARS / UNL Faculty**. v. 994, 2003.
46. HOGSETTE, Jerome A.; WASHINGTON, Frank. Quantitative mass production of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 88, n. 5, p. 1238-1242, 1995.
47. HOLT, Robert D.; POLIS, Gary A. A theoretical framework for intraguild predation. **The American Naturalist**, v. 149, n. 4, p. 745-764, 1997
48. IVORRA, Tania; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, Anabel; ROJO, Santos. Predatory behavior of *Synthesiomyia nudiseta* larvae (Diptera: Muscidae) on several necrophagous blowfly species (Diptera: Calliphoridae). **International journal of legal medicine**, v. 133, n. 2, p. 651-660, 2019.
49. KRÜGER, Rodrigo Ferreira; RIBEIRO, Paulo Bretanha; CARVALHO, CJB de. Desenvolvimento de *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae) em condições de laboratório. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 4, p. 643-648, 2003.
50. KRÜGER, Rodrigo F. et al. Longevity and oviposition of *Ophyra albuquerquei* (Diptera, Muscidae) under laboratory conditions. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 2, p. 211-216, 2004.
51. KRÜGER, Rodrigo Ferreira; WENDT, Lisiane Dilli; RIBEIRO, Paulo Bretanha. The effect of environment on development and survival of pupae of the necrophagous fly *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 3, p. 401-405, 2011.
52. LACHANCE, S.; GRANGE, G. Repellent effectiveness of seven plant essential oils, sunflower oil and natural insecticides against horn flies on pastured dairy cows and heifers. **Medical and veterinary entomology**, v. 28, n. 2, p. 193-200, 2014.
53. LEFEBVRE, Fabrice; GAUDRY, Emmanuel. Forensic entomology: a new hypothesis for the chronological succession pattern of necrophagous insect on

- human corpses. In: **Annales de la Société entomologique de France**. Taylor & Francis Group, 2009. p. 377-392.
54. LÓPEZ-SÁNCHEZ, J., CRUZ-VÁZQUEZ, C., LEZAMA-GUTIÉRREZ, R., & RAMOS-PARRA, M. Effect of entomopathogenic fungi upon adults of *Stomoxys calcitrans* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 22, n. 8, p. 969-973, 2012.
55. MCKAY, Tanja., STEELMAN, C. Dayton., BRAZIL, Sherry. M., & SZALANSKI, Allen. L. Sustained mass release of pupal parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) for control of *Hydrotaea aenescens* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in broiler-breeder poultry houses in Arkansas. **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 24, n. 2, p. 67-85, 2007.
56. MALIK, Anushree; SINGH, Neena; SATYA, Santosh. House fly (*Musca domestica*): a review of control strategies for a challenging pest. **Journal of environmental science and health part B**, v. 42, n. 4, p. 453-469, 2007.
57. MARKUSSEN, Mette DK; KRISTENSEN, Michael. Spinosad resistance in female *Musca domestica* L. from a field-derived population. **Pest Management Science**, v. 68, n. 1, p. 75-82, 2012.
58. MERDAN, Bouthaina A. *Bacillus thuringiensis* as a feed additive to control *Musca domestica* associated with poultry houses. **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 65, n. 1, p. 83-87, 2012.
59. MOON, Roger D. Muscid flies (Muscidae). In: **Medical and veterinary entomology**. Academic Press, 2019. p. 345-368.
60. MÜLLER, P. Significance of the *Musca domestica* antagonist *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae). III. Laboratory studies of the interaction between the larvae of *M. domestica* and *O. aenescens*. **Angewandte Parasitologie**, v. 23, n. 3, p. 143-154, 1982.
61. NOLAN III, M. P.; KISSAM, J. B. Nuisance potential of a dump fly, *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae), breeding at poultry farms. **Environmental entomology**, v. 16, n. 3, p. 828-831, 1987.
62. OLCKERS, P. E. et al. Facultative predation of house fly larvae by larvae of *Ophyra capensis* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae). **Journal of the Entomological Society of Southern Africa**, v. 47, n. 2, p. 231-237, 1984.
63. PYKE, Graham H. Optimal foraging theory: a critical review. **Annual review of ecology and systematics**, v. 15, n. 1, p. 523-575, 1984.
64. PIRES, S. M.; CÁRCAMO, M. C.; ZIMMER, C. R.; RIBEIRO. Influência da dieta no desenvolvimento e investimento reprodutivo de *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794)(Diptera: Calliphoridae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 1, p. 41-47, 2009.
65. POLIS, Gary A.; MYERS, Christopher A.; HOLT, Robert D. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. **Annual review of ecology and systematics**, v. 20, n. 1, p. 297-330, 1989.

66. REIS, SF dos; VON ZUBEN, C. J.; GODOY, W. A. C. Larval aggregation and competition for food in experimental populations of *Chrysomya putoria* (Wied.) and *Cochliomyia macellaria* (F.)(Dipt., Calliphoridae). **Journal of applied entomology**, v. 123, n. 8, p. 485-489, 1999.
67. RIBEIRO, PAULO B.; CARVALHO, C.; COSTA, P.; JUNIOR, P. S. Desenvolvimento de *Ophyra aenescens* Wiedemann, 1830 (Diptera, Muscidae, Azeliinae), em diferentes temperaturas, em condições de laboratório. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2000.
68. RIVERS, D. B.; THOMPSON, C.; BROGAN, R. Physiological trade-offs of forming maggot masses by necrophagous flies on vertebrate carrion. **Bulletin of entomological research**, v. 101, n. 5, p. 599, 2011.
69. ROSA, Gisele S. et al. The dynamics of intraguild predation in *Chrysomya albiceps* Wied.(Diptera: Calliphoridae): interactions between instars and species under different abundances of food. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 775-780, 2006.
70. ROTHERAY, Graham E.; WILKINSON, Geoffrey. Trophic structure and function in the larva of predatory muscid flies (Diptera, Muscidae). **Zoomorphology**, v. 134, n. 4, p. 553-563, 2015.
71. SCHULTKA, H.; BETKE, P.; SCHUMANN, H. The importance of the *Musca domestica* predator *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae). IV. Biology and behavior of *O. aenescens* in facilities for animal production. **Angewandte Parasitologie**, v. 27, n. 2, p. 87-89, 1986.
72. SILVA, Ândrio Z., HOFFMEISTER, C. H., ANJOS, V. A. D., RIBEIRO, P. B., KRÜGER, R. F.. Necrophagous Diptera associated with wild animal carcasses in southern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 58, n. 4, p. 337-342, 2014.
73. SIMON, P. P.; KRÜGER, R. F.; RIBEIRO, P. B. Influence of diets on the rearing of predatory flies of housefly larvae. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 6, p. 1414-1420, 2011.
74. TEIXEIRA, Adair Ferreira Motta, AMARO FILHO, A. A., QUINTAES, B. R., SANTOS, E. C. L. D., & SURLIUGA, G. C. Controle de mosca doméstica em área de disposição de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 365-370, 2008.
75. THYSSEN, Patricia Jacqueline et al. O papel de insetos (Blattodea, Diptera e Hymenoptera) como possíveis vetores mecânicos de helmintos em ambiente domiciliar e peridomiciliar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, p. 1096-1102, 2004.
76. TURNER, E. C.; CARTER, Lorraine. Mass rearing and introduction of *Ophyra aenescens* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae) in high-rise caged layer houses to reduce house fly populations. **J. Agric. Entomol**, v. 7, n. 3, p. 247-257, 1990.
77. TSANKOVA, R. N.; LUVCHIEV, V. I. Laboratory investigations on the larval zoophagy of *Ophyra capensis*--an antagonist of *Musca domestica*. **Applied parasitology**, v. 34, n. 3, p. 221-228, 1993.

78. VAN LENTEREN, Joop C. et al. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018.
79. VASCONCELOS, S. D., CRUZ, T. M., SALGADO, R. L., & THYSSEN, P. J. Dipterans associated with a decomposing animal carcass in a rainforest fragment in Brazil: notes on the early arrival and colonization by necrophagous species. **Journal of Insect Science**, v. 13, n. 1, p. 145, 2013.
80. VIBE-PETERSEN, Solveig. Development, survival and fecundity of the urine fly, *Scatella (Teichomyza) fusca* and predation by the black dumpfly, *Hydrotaea aenescens*. **Entomologia experimentalis et applicata**, v. 87, n. 2, p. 157-169, 1998.
81. VON ZUBEN, Claudio José; STANGENHAUS, Gabriela; GODOY, Wesley Augusto Conde. Competição larval em *Chrysomya megacephala* (F.)(Diptera: Calliphoridae): efeitos de diferentes níveis de agregação larval sobre estimativas de peso, fecundidade e investimento reprodutivo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 2, p. 195-203, 2000.
82. WILLIAMS, H.; RICHARDSON, A. M. M. Growth energetics in relation to temperature for larvae of four species of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae). **Australian Journal of Ecology**, v. 9, n. 2, p. 141-152, 1984.
83. WILLS, Laura E.; MULLENS, Bradley A.; DAVID MANDEVILLE, J. Effects of pesticides on filth fly predators (Coleoptera: Histeridae, Staphylinidae; Acarina: Macrochelidae, Uropodidae) in caged layer poultry manure. **Journal of economic entomology**, v. 83, n. 2, p. 451-457, 1990.

4. Artigo

Effects of larval populational density and instars on the interaction between *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes) (Muscidae: Azeliinae) and *Musca domestica* Linnaeus (Muscidae: Muscinae)

William De Togni^{1*}, Lisiane D. Wendt², Grati Rodrigues¹, Amanda Munari¹, Rodrigo F. Krüger¹

¹Laboratory of Parasites and Vectors Ecology, Institute of Biology, Department of Microbiology and Parasitology, Federal University of Pelotas, Pelotas, Brazil

²Department of Zoology, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil

* Correspondence:

William De Togni
willdtogni@gmail.com

Keywords: intraguild predation, interspecific competition, biological control, forensic entomology, development rate, predation capacity, functional response.

Abstract

Predation and competition are determinant ecological factors to survivorship and development of larvae of fly species inside larval masses on decaying organic matter. Interspecific pressure can be caused and enhanced by crowded environment, which results in ecophysiological trade-offs induced by complex behavioral mechanisms. Some calyprate species can have better foraging capacity, reducing the food availability to others or changing the environment through metabolic activity. Others can perform intraguild predation - predators competing with their prey for a shared resource -, which can determine the coexistence and insect succession on the decaying matter. This study tested the effects of different density levels and larval sizes (instars) in survivorship, development rates and predation capacity on the interspecific interaction between the prey larvae of the house fly *Musca domestica* L. and the intraguild predator black dump fly species *Hydrotaea* (= *Ophyra*) *albuquerquei*. Adults were collected in fields and the specimens were reared in the laboratory. 200 larvae of *H. albuquerquei* and *M. domestica* were separated into five larval proportions (1:1, 1:4, 1:9, 1:19, 1:39, respectively). House fly population was suppressed when reared with second and third larval instars and higher densities of *H. albuquerquei*, that in turn, have a higher mortality at first instar encounter with highest density proportion (1:1). Larval and pupal development rate of both species did not change with any variable but was longer than in other studies with single rearing.

1 Introduction

Ecological interactions are factors that determine the coexistence among flies larvae inside vegetal and animal decaying matter, or necrobiome, which is the cadaver and the associated community that, directly or indirectly, consume the resources derived from it (Shiao and Yeh, 2008; Aubernon et al., 2019; Ivorra et al., 2019). The transformations on the decaying matter and the dynamic replacement of organisms in this environment over a few days are intense due to ephemerality of these resources (VanLaerhoven et al., 2015; Barbosa et al., 2021). Therefore, there is a pattern that we can find on insects colonizing these microhabitats according to region conditions, that allows us to divide the decomposition steps according to these sarcosaprophagous organisms (Patitucci et al., 2015; Battan-Horenstein and Gleiser, 2018; Castro et al., 2019). That

community plays ecosystem services on nutrient cycling, where a lot of species are disease vectors, being important to understand their ecological interactions. Furthermore, other species can be used to biological control and as forensic indicators at the moment of cadaver discovery to infer important information about the corpse and improve the estimation of time spent since the death instant (Farkas and Jantnyik, 1990; Farkas et al., 1998; Pechal et al., 2014).

The evolution of gregarious behavior of sarcosaprophagous dipteran larvae generates complex adaptations and interactions involving food mediated traits (Rivers et al., 2011; Thompson et al., 2013; Aubernon et al., 2019; Komo et al., 2021). Interspecific competition can lead populations to harsh oscillations on individual numbers leading to local extinctions inside sarcosaprophagous assemblages and, as in other muscoid families, some scavenger larvae of fly species can also have the capacity to prey on other larvae species (or even on their conspecific ones) (Omar, 1995; Tsankova and Luvchiev, 1993; VanLaerhoven et al., 2015). This behavior is also ruled by trade-offs between the food availability and the size or development instar of prey and predator, as usually the predation capacity depends on the rise of the oral hooklike mandibles, which is used to rip the prey skin in latter larval instars (Skidmore, 1985). Then, while interspecific competition limits food availability and may delay prey development, it also enhances the chances of predation occurring (Werner and Anholttt, 1993).

The predator-prey dynamics drive to changes in phenotypic and behavioral traits in both populations in an IGP relation (Ingram et al., 2012; Schmitz, 2017). Body size, growth rate and pupation are some of the traits that show great plasticity to holometabolous insects, which can vary with perturbations on the assimilated nutrient at the available time to develop (Polis et al., 1989). These changes tend to be more frequent as the relation between prey and predator is spatially closer and can be induced by the prey capacity to detect the presence of the predator in the environment (Peacor et al., 2020). The development of predatory behavior of necrophagous dipterans received considerable attention in recent years and it has been considered as an important regulation mechanism on succession patterns of necrobiome communities (Rosa et al., 2006; Faria et al., 2007; Duarte et al., 2013; Charabidze et al., 2016; Barbosa et al., 2021; Ivorra et al., 2021). Ecological theory of predation postulates that as bigger is the predator size in relation to prey, greater the chance of predation occurs and higher will be the mortality of prey population (Arim and Marquet, 2004; Holt and Huxel, 2007). On the other hand, it was already observed that prey species can speed up their development to avoid predation.

Muscoid species that perform IGP generally develop that capacity at second and/or third larval instars (Faria et al., 2007). To these species, the functional response, which is the predation or consume rate of food or prey availability (Holling, 1959), can behave differently depending of the population density of prey or predator, temperature, food availability and foraging capacity can regulate the levels of predation inside the microbiome of carrion or feces (Williams and Richardson, 1984; Faria et al., 2004; Rivers et al., 2011). *Hydrotaea* Robineau-Desvoidy, 1830 and *Musca* Linnaeus, 1758 are two muscid genus easily founded on animal and vegetal decaying matter: (i) the first allocates several species that are commonly present when the corpses are found at latter decomposition stages (Skidmore, 1985; Carvalho et al., 2017), on buried (*Hydrotaea* (Iancu et al., 2018) and indoor corpses (Castro et al., 2019), being important on forensic analysis to increment the estimation of post-mortem interval (Giordani et al., 2019).

The larval instar of these flies regularly has the capacity to develop feeding on dung, commonly those with high composition of nitrogen, on carrion, and preying on other species larvae (Farkas and Jantnyik, 1990; Hogsette and Washington, 1995; Hogsette et al., 2002). Some studies have demonstrated that predation capacity of species of *Hydrotaea* may be used in biological control of *Musca domestica* Linnaeus, 1758. *Hydrotaea albuquerquei* (Lopes, 1985) is

a Neotropical species howed that it might be used at those contexts in Southern Cone, being frequent on rural areas or carrion surveys (Costa et al., 2000; Patitucci et al., 2010); (ii) *M. domestica* is a cosmopolitan fly, abundant in anthropic environments with some records of use in forensic studies and the adults are important disease and zoonosis vectors (Malik et al., 2007; Barbosa and Vasconcelos, 2015; Wang et al., 2018).

We investigated the effects of confrontation of these species among different instars and larval densities on larval and pupal survival, development rate of two above species and the functional response at laboratory conditions. We test the following hypothesis: (i) larval and pupal survival of *M. domestica* (prey) is proportionally and negatively influenced by increasing density and larval instar of predator (*H. albuquerquei*); (ii) as well, larval and pupal development rate of prey accelerates; (iii) the predation capacity increase with the increase of prey density and their larval instar is smaller and; (iv) the predator development time will prolong as conspecific larval density increases in relation to prey. This delay should be caused primarily by energy costs related to predation activity (Polis, 1988).

2 Material and Methods

2.1 Insects rearing

The colonies of *Hydrotaea albuquerquei* and *Musca domestica* were established from adults collected on a poultry farm belonging to Capão do Leão Campus of Federal University of Pelotas, situated on southern Brazil, at Rio Grande do Sul State (31°45'48"S, 52°29'02"W). The rearing was managed at laboratory conditions in plastic cages (30x30x30cm) under a controlled environment at 27°C, a higher than 80% R.H. and photoperiod of 12:12 hours. Adults were feded *ad libitum* with a mixture ration composed of one part of fish meal, two of powdered milk and two parts of refined sugar. The water was offered in 50 mL bottles. As an oviposition substrate and rearing media larvae, was used a 400g of diet composed of 50% of fishmeal, 30% of sawdust and 20% of wheat meal until the medium becomes pasty, according to Krüger et al. (2003).

The predation and competitive capacity of *Hydrotaea albuquerquei* larvae over *Musca domestica* and the influence of density and instar over larval and pupal development rate were evaluated through record of survival and development time data of both species. To obtain these data, larvae populations were confronted with different proportion densities of *H. albuquerquei* (H) and *M. domestica* (M), respectively (1:1 (100:100), 1:4 (160:40), 1:9 (180:20), 1:19 (190:10) and 1:39 (195:5)) and different development instars, totalling 200 larvae. The samples were performed with larvae of first instar of both species (H1M1); second instar of predator *H. albuquerquei* with first of prey (H2M1) and; third instar of predator against first (H3M1) and second (H3M2) instars of *M. domestica*. Experiments were run in triplicates at the beginning of each until the emergence of imagos and control groups with same number of replicates of each instar of each species was maintained to pairwise comparison. Three replicates were made to each proportion at 27°C e R.H. of 80%.

2.2 Data analysis

The survival was calculated through $a - b/a$, where **a** is the individual number of *M. domestica* introduced on medium and **b** is the specimen number that did not emerge. The predation capacity of *H. albuquerquei* were obtained by s/c , where **s** is the surviving individuals of *M. domestica* and **c** of *H. albuquerquei* at each density. Development periods were recorded to each instar and the rate was calculated by $1/t$, where **t** is the development period (days) (Geden et al., 1988).

All statistical analysis was performed on software R (Version 1.4.1106). Exploratory analysis was made through plotting data, fitting distribution, normality (to development rate variable), and mean comparison of dependent variables (survival, development rate and predation capacity) in function of explanatory variables (density and larval instar) among the encounter treatments. Logistic regressions with generalized linear models (GLMs) and Chi-square (X^2) tests were run to measure the differences in the effect of density to each encounter with respective larval instar to verify survival and predation capacity and linear models with Fisher tests to verify development rate.

Models were run with explanatory variables been analysed alone and combined to each tested distribution. Comparison techniques among residual deviance and AIC (except for quasipoisson variable) were used to evaluate the likely models and respective distributions (all were tested with their respective overdispersions) to survival, predation capacity, and larval and pupal development rate. Odds ratio were generated to analysis improvement. Ggplot2 (Wickham, 2016) and MASS (Venables and Ripley, 2002) packages were used to make data visualization and statistical analysis, respectively. Pairwise analysis was made to compare differences with control groups (Supplementary material). As we have few replications, we use logarithmic scale to models construction and provide better data interpretation. Tables of the models significance values were constructed and adapted with Stargazer package (Hlavac, 2022), while covariation analysis values are present in the body text.

We measure the reliability of prediction values to larval and pupal survival models through evaluation of ROC curve, AUC statistics (supplemented material 5) with Proc package (Robin et al., 2011) (all analyses [here](#)). As our variable is a proportion, the AUC categorizes between 0 and 1 each predicted value and each value of the analysed variable from an arbitrary intermediate value (0.5), within the set of predicted values. Then, an error matrix is generated with the number of values equal and different from 1 or 0 between the original and predicted values (model successes and errors). From this matrix, the percentage of successes and errors of the model, the accuracy, the confidence interval and the P values are estimated. The AUC graph illustrates a square representing the totality of the data (successes and errors) and a straight diagonally representing 50% for correct answers and for errors. When the dark area exceeds this line, it means that the model is getting more right than wrong.

3 Results

3.1 H1M1

The larval survival of preys at encounter with the first instar of predators (H1M1) shows a tendency to decrease as population density of *H. albuquerquei* increases ($X^2=84.5$, $DF= 13$, $p= 0.047$) (Figure 1). Compared to the control group, the survival decrease was higher ($X^2= 126.1$ $DF= 16$, $p= 0.015$) (Supplementary Table 1). Larval survival of predators showed an opposite pattern, with higher values as larval proportion of prey rises ($X^2= 247.29$, $DF= 10$, $p<0.001$); comparison with the control group also shows differences ($X^2= 1016.1$, $DF= 12$, $p<0.001$). Pupal survival of both species did not differ in any analysis (Figure 2).

3.2 H2M1

Larval survival of prey was negatively affected by instar ($X^2 = 206.7$, $df = 3$, $p = 0.0077$) and density ($X^2 = 903.8$, $df = 1$, $p= 5.506e-13$) at the treatments with the first larval instar against the second of predators (H2M1) (Figure 1). The replicates with equal density proportions with predators (1:1) showed low survival mean values (10%). The pupal survival of preys followed a

similar pattern with the larval analysis at instar ($X^2=9.9$, $df=15$, $p=0.002$) and density ($X^2=82.5$, $df=55$, $p=0.0041$) variables. The comparison with the control group also showed differences in density ($X^2=46.7$, $df=1$, $p=0.011$), but not in instar variable. Larval survival of predators differs among densities ($X^2=48.0$, $DF=13$, $p<0.001$); pupal survival of predators did not show differences.

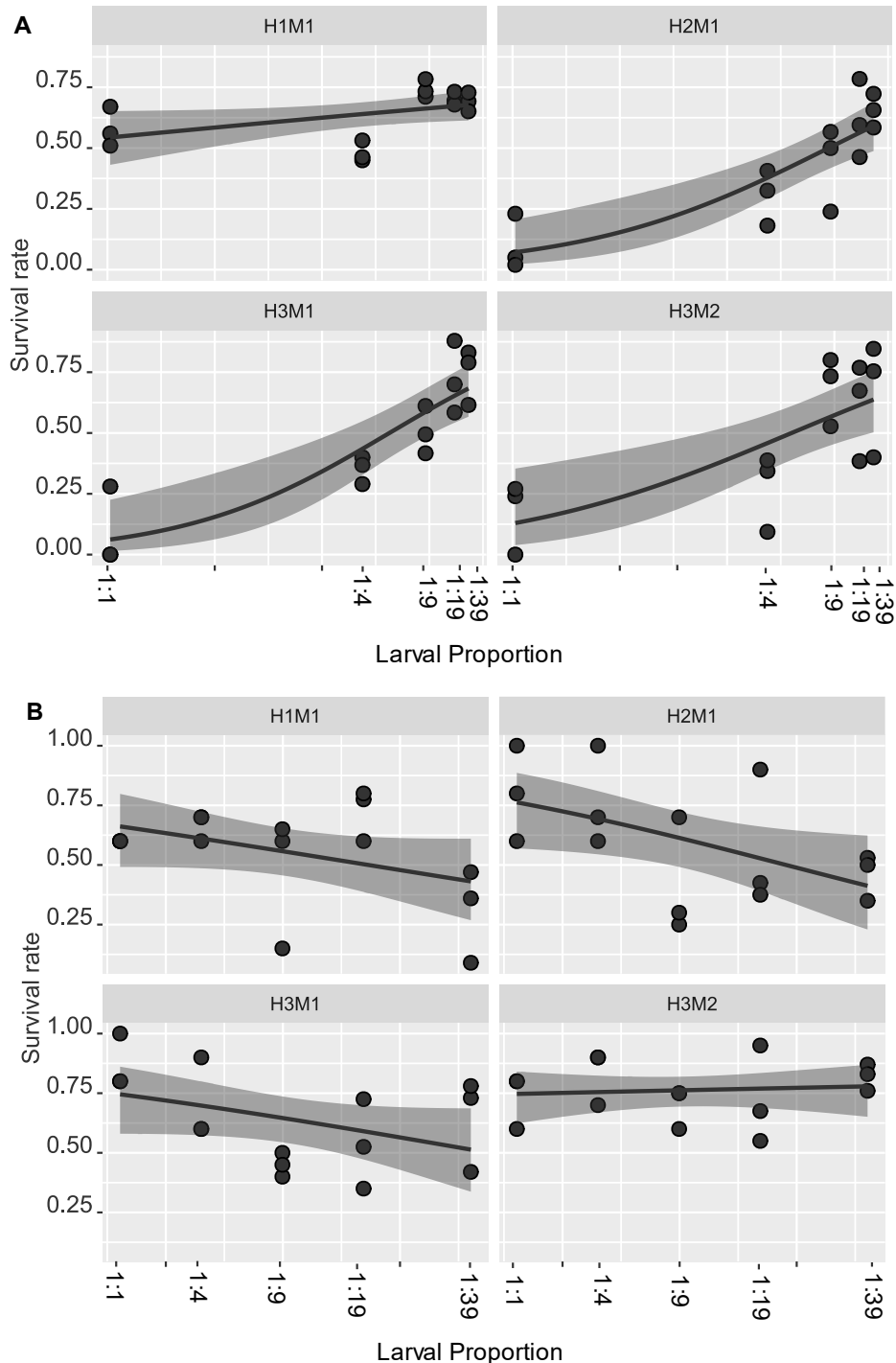


Figure 1. (A) Larval survival rate of *Musca domestica* (prey) and (B) *Hydrotaea albuquerquei* (predator) plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval.

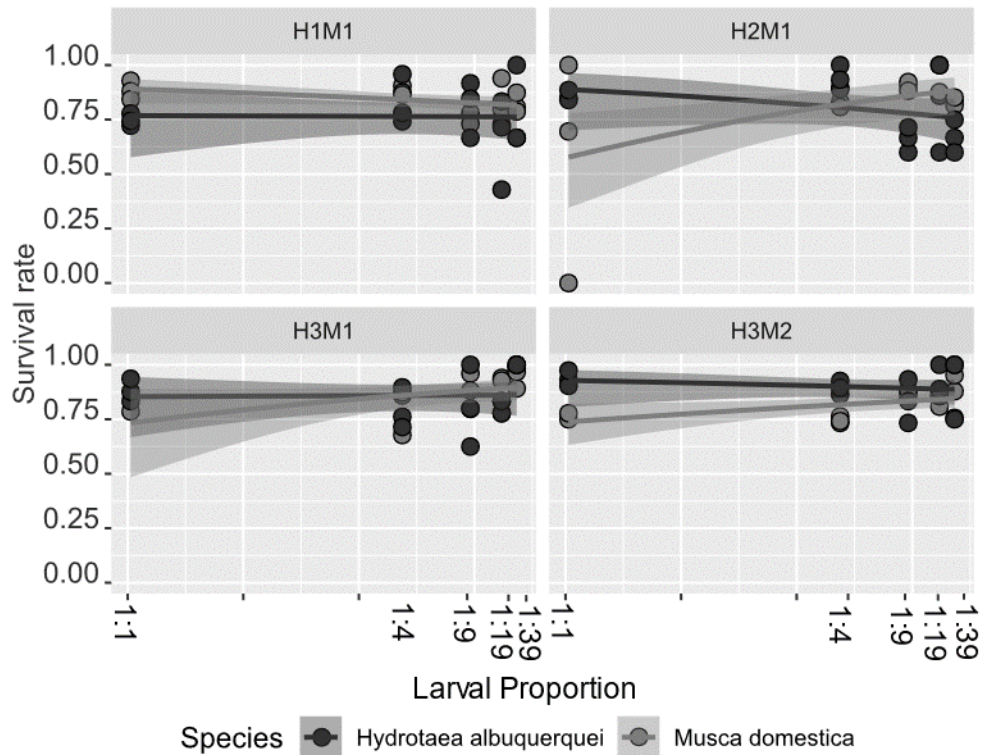


Figure 2. Pupal survival rate of *Musca domestica* (prey) and *Hydrotaea albuquerquei* (predator) plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval.

3.3 H3M1

At the confront with third instar of *H. albuquerquei* against first of *M. domestica* (H3M1), we found the highest influence of the larval instar/size on the survival of the preys, which decreases, more than in another instar encounters, as increases the population density of predators ($X^2 = 206.7$, $df = 55$, $P = 0.0077$), which can also be verified by percentage values of survival (supplementary figure 1). Density also has influenced survival ($X^2 = 903.8$, $df = 58$, $P = 0.0077$), where two replicates of the equal larval proportion (1:1) had a 100% of larval mortality in (Figure 1). The pupal survival values of prey also showed a decrease ($X^2 = 590.2$, $df = 49$, $P = 0.029$). Larval survival of predators also differed compared to other encounters ($X^2 = 232.9$, $df = 52$, $P = 0.003$) and density ($p = 0.004$), being lower at the replicates with smaller relation predator-prey (1:1) than with higher (1:4, 1:9, 1:19, 1:39) ($X^2 = 43.06$, $df = 12$, $p < 0.001$); pupal survival did not differ.

3.4 H3M2

One of the replicates with equivalent density relation (1:1) instars also results in 100% mortality of the prey larvae. Other two replicates of the same density proportion had a survival $< 27\%$. The replicates with 1:4 proportion had a survival mean of 27%. On the remnant density proportions (1:9, 1:19 and 1:39) survival had an abrupt increase up to 60%, following their own population increase, which is more visible on percentage graph. Instar ($P = 0.033$) and density ($P =$

0.039) showed that has influenced that pattern; pupal survival was also influenced by density ($X^2=78.836$, $df=15$, $p=0.008$) (Figure 2), but not significantly by instar ($p=0.063$), following the observed pattern at encounters that had different larval sizes between both species. Larval and pupal survival of *H. albuquerquei* did not differ among density ($X^2=0.823$, $df=16$, $p=0.796$), encounter ($X^2=7.841$, $df=15$, $p=0.424$).

Table 1. Statistic values of larval and pupal survival of *Musca domestica* and *Hydrotaea albuquerquei* and functional response in function of larval instars and proportions.

	<i>Musca domestica</i>		<i>Hydrotaea albuquerquei</i>		
	Larval survival <i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	Pupal survival <i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	Pupal survival <i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	Larval survival <i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	Functional response <i>glm:</i> <i>quasipoisson</i> <i>link = log</i>
log(Density)	1.014 (0.823)	-0.975 (0.954)	0.486 (0.609)	-3.581*** (0.546)	4.210*** (1.417)
EncounterH2M1	-20.312** (8.550)	-17.612*** (6.036)	5.761 (4.329)	5.704 (3.831)	4.327 (9.278)
EncounterH3M1	-24.810*** (8.993)	-14.977* (7.605)	6.805 (4.252)	12.331*** (3.920)	6.016 (9.656)
EncounterH3M2	-16.072** (7.364)	-10.874 (6.560)	9.015** (4.428)	18.915*** (4.253)	-4.932 (11.915)
log(Density): EncounterH2M1	3.783** (1.653)	3.437*** (1.177)	-1.081 (0.881)	-1.118 (0.770)	-0.789 (1.783)
log(Density): EncounterH3M1	4.714*** (1.739)	2.975** (1.476)	-1.265 (0.869)	-2.399*** (0.788)	-1.186 (1.857)
log(Density): EncounterH3M2	3.016** (1.428)	2.107 (1.274)	-1.616* (0.902)	-3.615*** (0.847)	0.921 (2.286)
Intercept	-4.577 (4.217)	6.624 (4.923)	-1.153 (2.996)	15.859*** (2.720)	-19.606** (7.381)
Observations	60	60	60	60	60

Note 1: values inside parentheses are the standard error; values out are coefficient estimate

Note 2: * $p<0.1$; ** $p<0.05$; *** $p<0.01$

3.5 Functional response

Differences in larval density ($X^2= 175.1$, $df= 58$, $p < 0.001$) and instar ($X^2= 2087.9$, $df= 55$, $p= 0.263$) influenced the predation capacity at all encounter treatments. At 1:1 and 1:4 larval proportions, the number of prey mortality for each predator was 2 and 5, respectively. However, the three higher larval proportions of *M. domestica* (1:9, 1:19 and 1:39: $p= 0.041$, $p= 0.034$ and $p < 0.001$, respectively) resulted in higher predation capacity (9, 9 and 16, respectively) at all larval instars. Survival of the *H. albuquerquei* population tended to increase with the increase of prey populational density, including encounters with first larval instars (H1M1) (Figure 3).

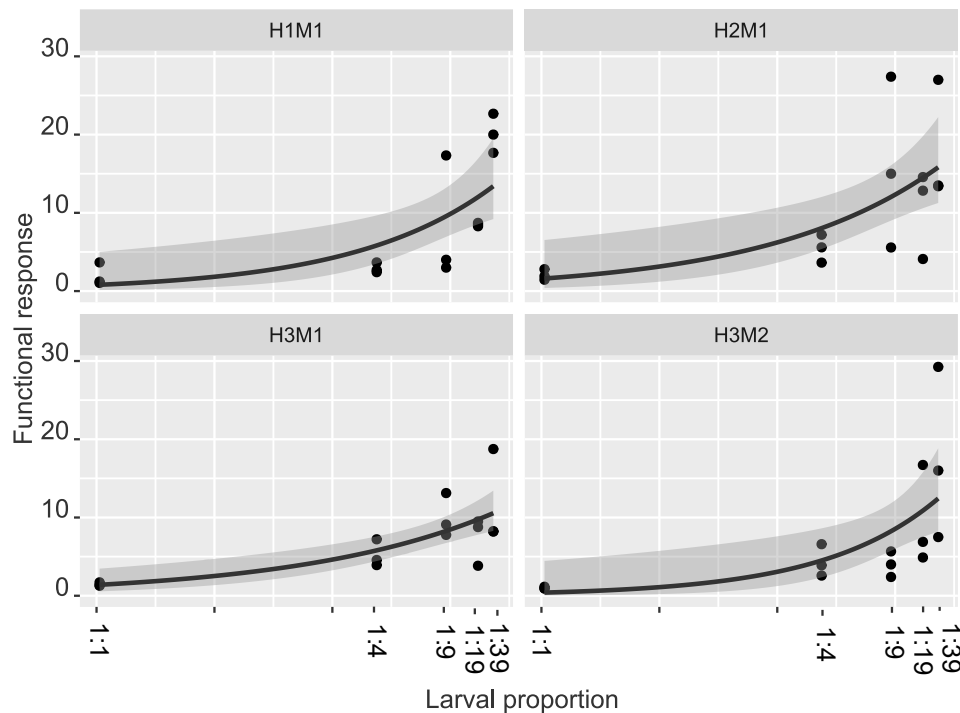


Figure 3. Functional response - considered as the number of preys consumed by each predator larvae - of *Hydrotaea albuquerquei* (predator) over *Musca domestica* (prey), plotted against larval proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval.

3.6 Development rate

Larval development rate of *M. domestica* did not show differences at encounters ($F = 1.2533$, $df= 52$, $p= 0.301$) or density ($F = 0.2770$, $df= 55$, $p= 0.601$) variables (Figure 4); pupal development rate differ among encounters ($F= 4.417$, $df= 51$, $p= 0.00802$), been slower at those with third instar of predator (been affected by the mortality); and density ($F = 15.32$, $df = 55$, $p = 0.00028$), been possible to note a slight acceleration as the predator density increase (Figure 4). Development rate of *H. albuquerquei* did not show differences about encounters to larvae ($F = 1.025$, $df= 55$, $p= 0.3888$) but yes to pupae: ($F= 5.1152$, $df= 55$, $p= 0.003549$); density did not modify larval ($F= 0.0004$, $df= 58$, $p= 0.984$) neither pupal development ($F = 0.186$, $df= 58$, $p = 0.667$).

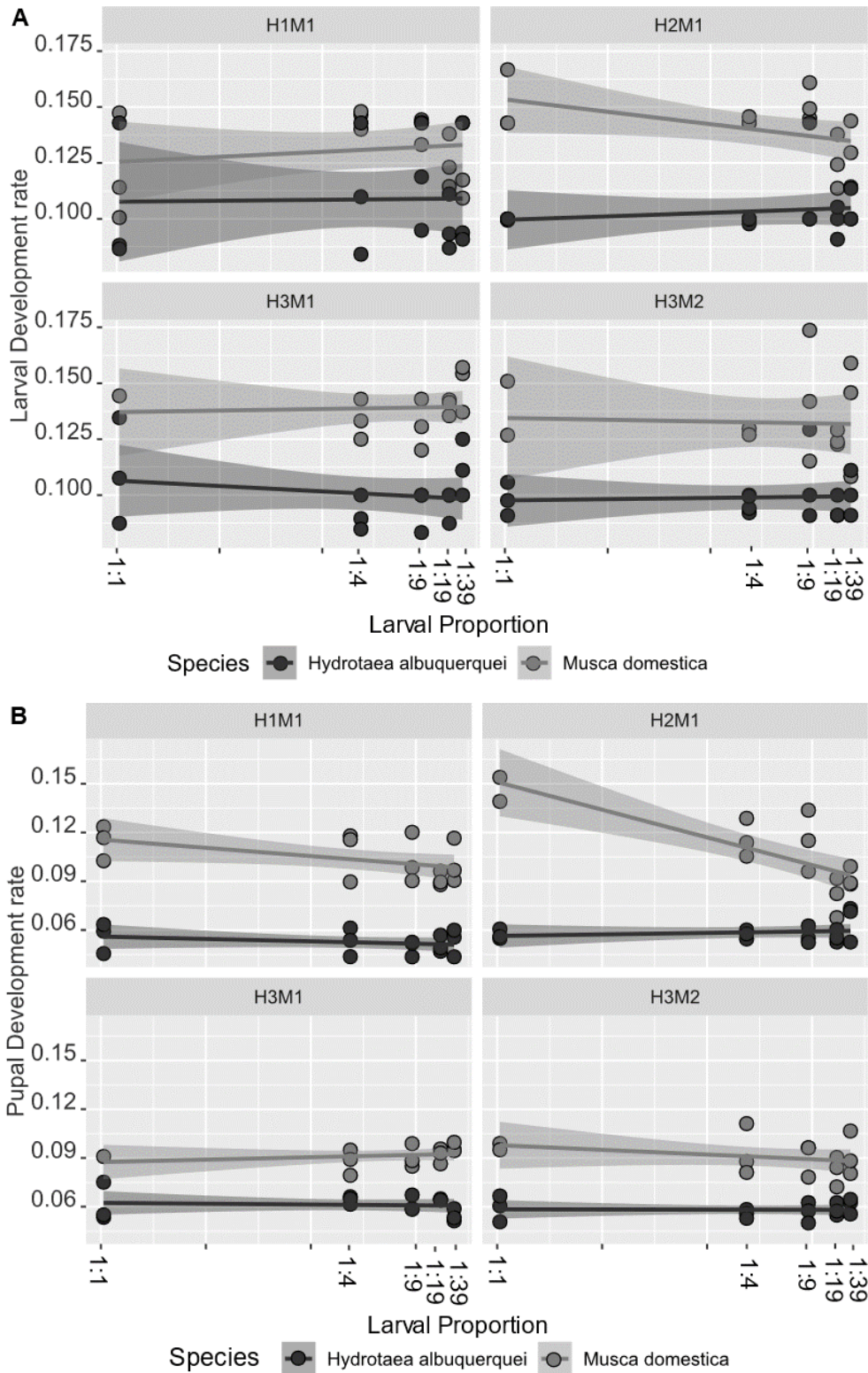


Figure 4. (A) Larval and (B) pupal development rate of *Musca domestica* (prey) and *Hydrotaea albuquerquei* (predator) plotted with density proportions in logarithmic scale in the different encounters of larval instar. H1M1 = first instar encounter; H2M1 = second instar of predator with first of prey; H3M1 = third instar of predator with first of prey; H3M2 = third instar of predator with second of prey. Shaded areas indicate the confidence interval.

Table 2. Statistic values to larval and pupal development rate in function of larval instars and proportions.

	<i>Musca domestica</i>		<i>Hydrotaea albuquerquei</i>	
	Larval	Pupal	Larval	Pupal
log(Density)	0.005 (0.020)	-0.027* (0.015)	- 0.0004 (0.020)	-0.007 (0.008)
Encounter H2M1	0.193 (0.145)	0.329*** (0.120)	-0.047 (0.147)	-0.059 (0.056)
Encounter H3M1	-0.023 (0.188)	-0.203 (0.142)	0.028 (0.147)	-0.006 (0.056)
Encounter H3M2	0.025 (0.158)	-0.071 (0.120)	-0.027 (0.147)	-0.033 (0.056)
log(Density): Encounter H2M1	-0.036 (0.028)	-0.063*** (0.023)	0.008 (0.029)	0.013 (0.011)
log(Density): Encounter H3M1	0.006 (0.036)	0.037 (0.027)	-0.007 (0.029)	0.003 (0.011)
log(Density): Encounter H3M2	-0.005 (0.031)	0.012 (0.023)	0.003 (0.029)	0.008 (0.011)
Intercept	0.105 (0.103)	0.239*** (0.077)	0.111 (0.104)	0.088** (0.040)
Observations	57	56	60	60
Log Likelihood	157.978	171.329	164.710	222.026
Akaike Inf. Crit.	-299.955	-326.657	-313.421	-428.051

Note:

* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

4 Discussion

The object of our study can be characterized as a biological age structured system where the intraguild predation is facultative. In our case, it means that the larval instar and the determines the predation levels. In addition, the decaying matter can be considered as a nutrient island, where overcrowding conditions tend to intensify competition and predation in this microhabitat (Polis, 1988). Commonly, the studies that tested the effects of instars and populational density on competition and intraguild predation among sarcosaprophagous calyprates are made with relatively low food availability (Farkas and Jantnyk, 1990; Reis et al., 1999; Von Zuben et al., 2000; Rosa et al, 2006; Ireland and Turner, 2006). Some of those are cannibal in conditions of food scarcity (Faria et al., 2004b). Olckers and Hulley (1984) already described this same behavior in *Hydrotaea capensis* (Wiedemann, 1818). So, to avoid possible competition and

cannibalistic effects, a greater proportion of grams of rearing media per larvae (2:1) was used in our study.

4.1 Survival

The third and second instars of *Hydrotaea albuquerquei* suppressed the second and first instars of *Musca domestica* population, that is when there is size difference between them. On the other hand, predators also had higher mortality at encounters between their first instar (H1M1), when do not exist the great size and/or phenotypic advantage of the predators over the preys. Then, our first hypothesis could be confirmed through the statistical models for larval and pupal survival, showing that the changes in these two variables can be, at a greater or lesser degree, explained by the variables of different larval instars (size) and population density of prey and predator. Studies with other species of *Hydrotaea* (e.g., *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann, 1830), *Hydrotaea leucostoma* (Wiedemann, 1817), *Hydrotaea ignava* (Harris, 1780) and *H. capensis* over *M. domestica* had showed similar results, where the effects on mortality of prey population were greater at laboratory and field experiments when there is larval size difference and greater predator density (Anderson and Poorbaugh, 1964; Muller, 1982; Olckers and Hulley; 1984; Turner and Carter; 1990; Tsankova and Luvchiev; 1993; Paliy et al., 2018). The mean larval survival of the present study on the replicates with 1:4 density is similar with the experiments realized by Farkas and Jantnik (1990) with 100 g of pig manure and an approximate larval number of proportions, which showed that *H. aenescens* can reduce 86 to 100% of *M. domestica* population, indicating high levels of predation. Vibe-Petersen (1998) also showed that *H. aenescens* can suppress the first instar larvae of *Scatella fusca* Maquart (Diptera: Ephydriidae) at third instar with a 1:1 proportion.

At the same time, the mortality of *H. albuquerquei* population at all encounters, which was lower on those with first instar (H1M1) at highest prey density (1:1), also indicates an interspecific impact on predator survival. One possible explanation to that may be related to a break of food quality due to prey activity. Furthermore, studies of predator foraging behaviour have already reported that they are attracted by rearing media used by the prey through chemical cues (Fouche et al., 2018). So, if there exists an energetic loss in hunting activity of a prey too large to be consumed, as the predators delay their development, food quality diminishes. From this overview, we can suggest the presence of energy trade-offs among foraging capacity of prey, their availability to predator and predation activity (Polis, 1988; Werner and Anholt, 1993). It means that when the preys are in equal number and size with predators (at natural conditions, that would be when they first arrive on the shared food), foraging capacity gives them advantage. Farkas (1990) also reported that if eggs or first instar larvae of *H. aenesces* and *M. domestica* are seeded at the same time on pig manure, predators would not be able to predate, despite the long-time of joint development, which would difficult an augmentative biological control strategy. That also corroborates with experiments that investigates the effects of intra and interspecific interaction on other gregarious larvae (Reis et al., 1999; Ivorra et al., 2019).

At the encounter of H1M1, *H. albuquerquei* presumably did not develop the oral hooks and, consequently, the capacity to prey on *M. domestica*, their survival was notably affected at equivalent density proportions. This scenario was described for some calyptrate species with similar biology (Shiao and Yeh, 2008). On the other hand, the predation capacity seems to facilitate the secondarily resource colonization to some intraguild predator blowflies due to benefits involving feeding efficiency through cooperative extracorporeal digestion at interspecific larval masses (Rivers et al., 2011). This would be common to *Hydrotaea* species, which typically

are the last colonizing dipteran on the resource, suggesting that they may also take advantage from that to food assimilation (Skidmore, 1896, Duarte et al, 2013).

Due to abundance of food, the lower survival of *H. albuquerquei* larvae at H1M1 with density of 1:1 initially should not be explained by exclusion by interspecific competition (Von Zuben et al., 2000; Ivorra et al., 2019). Even though, at the other density treatments (1:4, 1:9, 1:19, 1:39), if we consider that *H. albuquerquei* have larger bodies and requires more food and time to fully develop (Krüger et al, 2003), we could suggest that the proportional increase of their survival would be possible due to a positive switch between the intra and interspecific competition occurring on 1:1 and the extracorporeal digestion benefits under other densities (Reis et al., 1999; Rivers et al., 2011). Lower intraspecific competition pressure due to lower density may have allowed higher predator survival, even with the numeric disadvantage.

In other encounters configuration (H2M1, H3M1, H3M2), the predator density decreases as that of prey increases. In these encounters we can suggest that an increase in prey number provides better nutritional intake available from the preys, allowing the survivorship of a higher number (proportionally) of predator larvae. The same energy trade-off can be applied to greater survival results of the third instar of predator larvae at encounter at the second of prey (H3M2) with 1:1 density proportion (Figure 10), where a bigger size of prey would signify more food (Faria et al., 2007). While that, the preys had a relatively higher survival at bigger density proportions (1:9; 1:19; 1:39).

About this last framework, it has been reported that the gregarious behavior of prey larvae at maggot masses can avoid predator larvae and difficult the access to shared food (Rivers et al., 2011; Shiao and Yeh, 2008). This avoiding strategy might be more effective as the prey size is, enabling survival of more larvae (Barbosa et al., 2021). That consideration may explain the higher predator mortality when prey density is higher. The possible mechanism behind that pattern is that the summation of nutritional intake available through shared food and the energy spent in interspecific predation (cephaloskeleton and body movements) would be enough to sustain the population of predators only at the level that competition can overlap predation (Polys, 1988; Rotheray and Wilkinson, 2015).

Ecological theory of predation postulates that predators will prefer prey that are smaller than them (Faria et al. 2004a), even when they hunt collectively (Polis et al., 1989), which is confirmed by experimental work for sarcosaprophagous fly larvae (Farkas and Papp, 1990). The predator-prey interaction on maggot masses is very close and the survivorship in crowded environment with ephemeral resources can depend on spatial, physiological, and ethologic factors (Sih, 1984; Janssen et al, 2007; Aubernon et al., 2019). In our case, the intraguild facultative predator has the option to choose the food that is shared with prey, which can generate a competitive interaction (Reis et al., 1999). The observed pattern in different larval proportions and instars approach allows us to infer that in natural conditions, even within a patch resource with food abundance, competition and predation may temporally overlap between each other according to the increase of predator size. Similar results were found in the work of Rosa et al. (2006) with blowflies.

4.2 Functional response

The results of present study are approximated to those reported by Farkas and Jantnik (1990) to predation capacity of *H. aenescens*, where one predator could consume five preys in a 1:5 density proportion (180 larvae). According to Olckers and Hulley (1984) and Tsankova and

Luvchiev (1993), one *H. capensis* can kill 4 and 17 preys, respectively, without food choice. *H. leucostoma* can eat up to 20 (Anderson and Poorbaugh, 1964). Like those species, it seems that when there are more larvae available to prey on, *H. albuquerquei* will choose to obtain energy through predation activity than the shared food, which is presumably a more energetically costly choice. On the other hand, animal tissues can have a high nitrogen content, being energetically worthwhile and providing more nutrient conversion (Ireland and Turner, 2006; Simon et al., 2011). These considerations also suggest that, although the shared food is inanimate (more easily to take in) and might have similar nutrient apport of the prey, pre-adaptation to predation may have influenced the predator feeding, as already reported by Olckers and Hulley (1984) to *H. capensis*, to *Chrysomya rufifacies* (Shiao and Yeh, 2008) and other blowflies (Rosa et al., 2006), where the predator population were not affected by the high number of competitors, even with few individuals.

The survival pattern of predators at all treatments with lower density (1:9, 1:19 and 1:39) may be a clue that even when they are not capable of preying on HIM1, their allows us to suggest a competition tolerance, as the increasing larval densities of competitors may be disruptive or deleterious to feeding and growth of predator larvae feeding on same resources (Shiao and Yeh, 2008). This would corroborate with one of the patterns of intraguild predation systems raised by Polis et al. (1989), where the condition that allows the coexistence of species in an IGP is the prey to have a superior foraging capacity than the predator. The similarity of predation capacity with other *Hydrotaea* species suggest that the use of *H. albuquerquei* a biological control agent must be considered (Tsankova and Luvchiev, 1993; Hogsette and Washington, 1995; Vibe-Petersen, 1998; Paliy et al., 2018). So, the information of which instar and density is more appropriate to release the biologic agents on the environment is crucial to effectiveness of augmentative control methods using arthropods. In this sense, field experiments would be necessary to conclude the effectiveness of this species as biolarvicide.

4.3 Development rate

M. domestica larvae developed in a mean of 7 days and pupae in 10. Larraín and Salas (2008) reported 6 days to larvae when larvae were reared in pig manure. Wang et al. (2018) reared larvae in 5 days and pupae in 6 with a mixture of meat and wheat. These studies were made with similar temperatures. Particularly to holometabolous insects, which have their history life linked to heterogeneous habitats before and after pupation, the period to complete the larval instar can fluctuate depending on energetic income and losses that immature faces during their growth (Rosa et al., 2006; Simon et al., 2011). In the microhabitat of decaying matter, the amount and quality of food varies dramatically in space and time. Although we had adequate food quantity to supply fully development, the presence of predators may have modified prey behaviour, simulating a decrease of environmental carrying capacity and leading to a contest type of response about competition, when the partition of food is equally distributed among individuals and causing an overall delay on larval period (Reigada and Godoy, 2006). These insects can adjust their development time or body size, prolongating or anticipating diapause mechanisms or escaping of the shared habitat under adverse conditions (Faria et al., 2007; Komo et al., 2021) There were no chances for the prey to leave the arena in our experiments, so the pattern shown by pupal development rate lead us to suggest that the energy spent avoiding predation may be the cause of delay of development rate at encounters with highest sizes and densities of predator .

Krüger et al. (2003) reported the estimation of 12 days to larval development time of *H. albuquerquei* and 11 to pupal. Duarte et al. (2015) reported 13 days for larvae and 10 to pupal development, both also at 27°C with the same diet. These studies were performed with food *at*

libitun and without a potential competitor/prey. Here, it was obtained a mean 9 days to *H. albuquerquei* larval development and 17 days to pupal. This comparison indicates that the present study shows an acceleration on larval development and an extension of pupal. However, instar variable did not influence larval but yes pupal development. In fact, control groups presented a mean of two days shorter (15), indicating that the interaction with prey influenced the pupal development. The factors that may have modified the development of *Hydrotaea* species are related protein content and moisture levels (Farkas et al., 1998; Simon et al., 2011). So, the possible explanation to those differences may be related to a reduction of quality and consequently decrease of food assimilation in the course of time.

5 Conclusions

- This study brings new information about the effects of different larval sizes and densities on the interaction between *Hydrotaea albuquerquei* and *Musca domestica* over the demographic parameters of both species. Under laboratory experiments, larval and pupal survival of prey allows us to conclude that intra-guild predator can, totally or partially, suppress the prey population varying with larval proportional populational density and larval instar.
- With sufficient food supply, predator survival indicates that the interaction causes deleterious effects to their population according to prey populational density.
- The functional response of *H. albuquerquei* is similar to congenus species indicating possible use of *H. albuquerquei* as biological control agent.
- Results of larval and pupal development give a hint about the variation that the interaction of these species may induce on the post-mortem intervals and the importance of considering this interaction in forensic analysis.

6 References

- Anderson, J., & Poorbaugh, J. (1964). Biological control possibility for house flies. *California Agriculture*, 18(9), 2-4.
- Arim, M., and Marquet, P. A. (2004). Intraguild predation: A widespread interaction related to species biology. *Ecology Letters* 7, 557–564. doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00613.x.
- Aubernon, C., Hedouin, V., and Charabidze, D. (2019). The maggot, the ethologist and the forensic entomologist: Sociality and thermoregulation in necrophagous larvae. *Journal of Advanced Research* 16, 67–73. doi:10.1016/j.jare.2018.12.001.
- Battan-Horenstein, M., and Gleiser, R. M. (2018). Necrophagous flies assemblages: Spatio-temporal patterns in a neotropical urban environment. *Caldasia* 40, 296–309. doi:10.15446/caldasia.v40n2.67103.
- Barbosa, T. M., Jales, J. T., Medeiros, J. R., Vasconcelos, S. D., and Gama, R. A. (2021). Behavioural Aspects of the Prey-Predator Interaction Among Necrophagous Diptera: Implications for Cadaveric Colonization. *Neotropical Entomology* 50, 303–311. doi:10.1007/s13744-020-00837-z.
- Carvalho, R. P., Azevedo, W. T. A., Figueiredo, A. L., Lessa, C. S. S., & Aguiar, V. M. (2017). Dipterofauna associated with rat carcasses in the Atlantic Forest, Southeastern Brazil. *Journal of Medical Entomology*, 54(6), 1498-1509. doi: 10.1093/jme/tjx118.
- Castro, M., Centeno, N., and González-Vainer, P. (2019). An initial study of insect succession on pig carcasses in open pastures in the northwest of Uruguay. *Forensic Science International* 302. doi:10.1016/j.forsciint.2019.05.053.
- Charabidze, D., Vincent, B., Pasquerault, T., and Hedouin, V. (2016). The biology and ecology of *Necrodes littoralis*, a species of forensic interest in Europe. *International Journal of Legal Medicine* 130, 273–280. doi:10.1007/s00414-015-1253-8.
- Costa, P. R. P., Franz, R. L., Vianna, E. E. S., & Ribeiro, P. B. (2000). Synanthropy of *Ophyra* spp (Diptera, Muscidae) in Pelotas, RS, Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, 9(2), 165-168.
- Dadour, I. R., Cook, D. F., & Wirth, N. (2001). Rates of development of *Hydrotaea rostrata* under summer and winter (cyclic and constant) temperature regimes. *Medical and veterinary entomology*, 15(2), 177-182. doi: 10.1046/j.1365-2915.2001.00291.x.
- Denno, R. F., & Cothran, W. R. (1976). Competitive interactions and ecological strategies of sarcophagid and calliphorid flies inhabiting rabbit carrion. *Annals of the entomological Society of America*, 69(1), 109-113. doi: 10.1093/aesa/69.1.109.
- Duarte, J. L. P., Krüger, R. F., and Ribeiro, P. B. (2013). Interaction between *Musca domestica* L. and its predator *Muscina stabulans* (Fallén) (Diptera, Muscidae): Effects of prey density and food source abundance. *Revista Brasileira de Entomologia* 57, 55–58. doi:10.1590/S0085-56262013000100009.

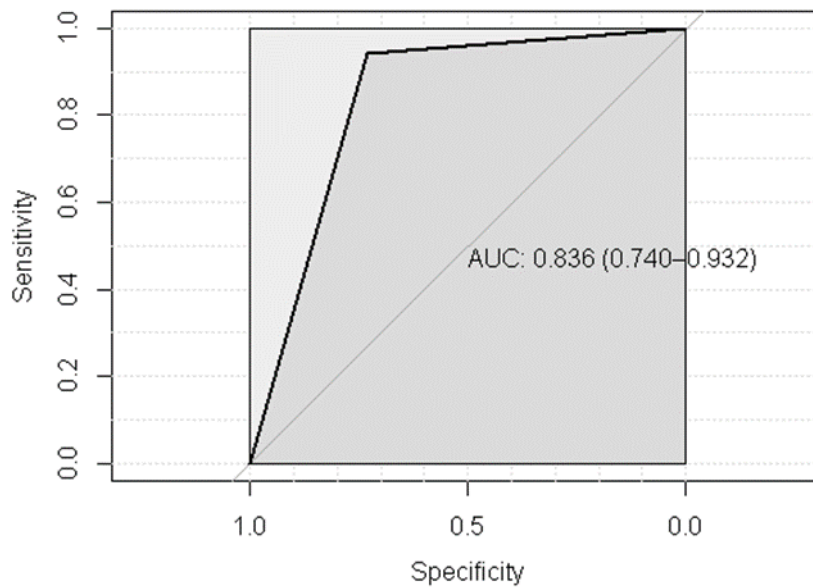
- Faria, L. D. B., Godoy, W. A. C., & Reis, S. F. D. (2004). Larval predation on different instars in blowfly populations. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(6), 887-894.
- Faria, L. D. B., Reigada, C., Trinca, L. A., and Godoy, W. A. C. (2007). Foraging behaviour by an intraguild predator blowfly, *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Ethology* 25, 287–294. doi:10.1007/s10164-006-0025-9.
- Farkas, R., Hogsette, J. A., & Börzsönyi, L. (1998). Development of *Hydrotaea aenescens* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in poultry and pig manures of different moisture content. *Environmental Entomology*, 27(3), 695-699. doi:10.1093/ee/27.3.695
- Farkas, R., & Jantnyik, T. (1990). Laboratory studies on *Hydrotaea aenescens* as predator of house fly larvae (Diptera: Muscidae). *Parasitol Hung*, 23, 103-108.
- Giordani, G., Grzywacz, A., and Vanin, S. (2019). Characterization and Identification of Puparia of *Hydrotaea Robineau-Desvoidy*, 1830 (Diptera: Muscidae) from Forensic and Archaeological Contexts. *Journal of Medical Entomology* 56, 45–54. doi:10.1093/jme/tjy142.
- Guariento, R. D., Carneiro, L. S., Steves, F. A., Orge, J. S., and Caliman, A. (2015). Conspecific density affects predator-induced prey phenotypic plasticity. *Ecosphere* 6. doi:10.1890/ES15-00142.1.
- Gagnon, A. È., Heimpel, G. E., and Brodeur, J. (2011). The ubiquity of intraguild predation among predatory arthropods. *PLoS ONE* 6. doi:10.1371/journal.pone.0028061.
- Hogsette, J. A., & Washington, F. (1995). Quantitative mass production of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology*, 88(5), 1238-1242. doi:10.1093/jee/88.5.1238.
- Hogsette, J. A., Farkas, R., & Coler, R. R. (2002). Development of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae) in manure of unweaned dairy calves and lactating cows. *Journal of Economic Entomology*, 95(2), 527-530. doi:10.1603/0022-0493-95.2.527.
- Holt, R. D., & Huxel, G. R. (2007). Alternative prey and the dynamics of intraguild predation: theoretical perspectives. *Ecology*, 88(11), 2706-2712. doi: 10.1890/06-1525.1.
- Holling, C. S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7), 385-398.
- Iancu, L., Junkins, E. N., Necula-Petrareanu, G., & Purcarea, C. (2018). Characterizing forensically important insect and microbial community colonization patterns in buried remains. *Scientific reports*, 8(1), 1-16.
- Ingram, T., Svanbäck, R., Kraft, N. J. B., Kratina, P., Southcott, L., and Schluter, D. (2012). Intraguild predation drives evolutionary niche shift in threespine stickleback. *Evolution* 66, 1819–1832. doi:10.1111/j.1558-5646.2011.01545.x.

- Ireland, S., & Turner, B. (2006). The effects of larval crowding and food type on the size and development of the blowfly, *Calliphora vomitoria*. *Forensic Science International*, 159(2-3), 175-181. doi:10.1016/j.forsciint.2005.07.018.
- Ivorra, T., Martínez-Sánchez, A., and Rojo, S. (2019). Predatory behavior of *Synthesiomyia nudisetata* larvae (Diptera: Muscidae) on several necrophagous blowfly species (Diptera: Calliphoridae). *International Journal of Legal Medicine* 133, 651–660. doi:10.1007/s00414-018-1922-5.
- Janssen, A., Sabelis, M. W., Magalhães, S., Montserrat, M., & Van der Hammen, T. (2007). Habitat structure affects intraguild predation. *Ecology*, 88(11), 2713-2719. doi: 10.1890/06-1408.1.
- Komo, L., Hedouin, V., and Charabidze, D. (2021). Benefits of heterospecific aggregation on necromass: influence of temperature, group density, and composition on fitness-related traits. *Insect Science* 28, 144–152. doi:10.1111/1744-7917.12766.
- Krüger, R. F., Ribeiro, P. B., & Carvalho, C. J. B. D. (2003). Desenvolvimento de *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae) em condições de laboratório. *Revista Brasileira de Entomologia*, 47(4), 643-648.
- Larraín, P., & Salas, C. (2008). House fly (*Musca domestica* L.)(Diptera: Muscidae) development in different types of manure. *Chil. J. Agric. Res*, 68, 192-197.
- Malik, A., Singh, N., & Satya, S. (2007). House fly (*Musca domestica*): a review of control strategies for a challenging pest. *Journal of environmental science and health part B*, 42(4), 453-469. doi:10.1080/03601230701316481.
- Müller, P. (1982). Significance of the *Musca domestica* antagonist *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae). III. Laboratory studies of the interaction between the larvae of *M. domestica* and *O. aenescens*. *Angewandte Parasitologie*, 23(3), 143-154.
- Olckers, T. & Hulley, P. E. (1984). Facultative predation of house fly larvae by larvae of *Ophyra capensis* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 47(2), 231-237.
- Omar, A. H. (1995). Cannibalism and predation behaviour of the blowfly, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) larvae (Diptera: Calliphoridae). *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*, 25(3), 729-743.
- Peacor, S. D., Barton, B. T., Kimbro, D. L., Sih, A., and Sheriff, M. J. (2020). A framework and standardized terminology to facilitate the study of predation-risk effects. *Ecology* 101. doi:10.1002/ecy.3152.
- Pechal, J. L., Benbow, M. E., Crippen, T. L., Tarone, A. M., and Tomberlin, J. K. (2014). Delayed insect access alters carrion decomposition and necrophagous insect community assembly. *Ecosphere* 5. doi:10.1890/ES14-00022.1.
- Polis, G. A., Myers, C. A., & Holt, R. D. (1989). The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annual review of ecology and systematics*, 20(1), 297-330.

- Reis, S. D., Von Zuben, C. J., & Godoy, W. A. C. (1999). Larval aggregation and competition for food in experimental populations of *Chrysomya putoria* (Wied.) and *Cochliomyia macellaria* (F.) (Dipt., Calliphoridae). *Journal of applied entomology*, 123(8), 485-489. doi: 10.1046/j.1439-0418.1999.00397.x.
- Ribeiro, P. B., Carvalho, C., Costa, P., & Junior, P. S. (2000). Desenvolvimento de *Ophyra aenescens* Wiedemann, 1830 (Diptera, Muscidae, Azeliinae), em diferentes temperaturas, em condições de laboratório. *Current Agricultural Science and Technology*, 6(1). doi: 10.18539/CAST.V6I1.311.
- Rivers, D. B., Thompson, C., & Brogan, R. (2011). Physiological trade-offs of forming maggot masses by necrophagous flies on vertebrate carrion. *Bulletin of entomological research*, 101(5), 599-611. doi: 10.1017/S0007485311000241.
- Rosa, G. S., Carvalho, L. R. D., Reis, S. F. D., & Godoy, W. A. (2006). The dynamics of intraguild predation in *Chrysomya albiceps* Wied. (Diptera: Calliphoridae): interactions between instars and species under different abundances of food. *Neotropical Entomology*, 35, 775-780. doi:10.1590/S1519-566X2006000600009.
- Rotheray, G. E., & Wilkinson, G. (2015). Trophic structure and function in the larva of predatory muscid flies (Diptera, Muscidae). *Zoomorphology*, 134(4), 553-563.
- Sih, A. (1984). The behavioral response race between predator and prey. *The American Naturalist*, 123(1), 143-150.
- Shiao, S. F., and Yeh, T. C. (2008). Larval competition of *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya rufifacies* (Diptera: Calliphoridae): Behavior and ecological studies of two blow fly species of forensic significance. *Journal of Medical Entomology* 45, 785-799. doi:10.1603/0022-2585(2008)45[785:LCOCMA]2.0.CO;2.
- Schmitz, O. (2017). Predator and prey functional traits: Understanding the adaptive machinery driving predator-prey interactions. *F1000Research* 6. doi:10.12688/f1000research.11813.1.
- Krüger, R. F., Wendt, L. D., & Ribeiro, P. B. (2011). The effect of environment on development and survival of pupae of the necrophagous fly *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3), 401-405.
- Paliy, A. P., Sumakova, N. V., & Ishchenko, K. V. (2018). Biological control of house fly. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), 230-234.
- Robin X, Turck N, Hainard A, Tiberti N, Lisacek F, Sanchez J, Müller M (2011). "pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves." *BMC Bioinformatics*, 12, 77.
- Skidmore, P. (1985). *The biology of the Muscidae of the world* (Vol. 29). Springer Science & Business Media.
- Thompson, C. R., Brogan, R. S., Scheifele, L. Z., and Rivers, D. B. (2013). Bacterial interactions with necrophagous flies. *Annals of the Entomological Society of America* 106, 799-809. doi:10.1603/AN12057.

- Turner Jr, E. C., & Carter, L. (1990). Mass rearing and introduction of *Ophyra aenescens* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae) in high-rise caged layer houses to reduce house fly populations. *Journal of agricultural entomology (USA)*.
- Watson, E. J., and Carlton, C. E. (2003). Spring Succession of Necrophilous Insects on Wildlife Carcasses in Louisiana. *Journal of Medical Entomology* 40, 338–347. doi:10.1603/0022-2585-40.3.338.
- Van de Wolfshaar, K. E., De Roos, A. M., & Persson, L. (2006). Size-dependent interactions inhibit coexistence in intraguild predation systems with life-history omnivory. *The American Naturalist*, 168(1), 62-75.
- VanLaerhoven, S. L., Benbow, M. E., Tomberlin, J. K., & Tarone, A. M. (2015). Modeling species interactions within carrion food webs. *Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications; Benbow, ME, Tomberlin, JK, Tarone, AM, Eds*, 231-245.
- Venables WN, Ripley BD (2002). *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0, <https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.
- Vibe-Petersen, S. (1998). Development, survival and fecundity of the urine fly, *Scatella* (*Teichomyza*) *fusca* and predation by the black dumpfly, *Hydrotaea aenescens*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 87(2), 157-169. doi:10.1046/j.1570-7458.1998.00317.x.
- Wang, Y., Yang, L., Zhang, Y., Tao, L., and Wang, J. (2018). Development of *Musca domestica* at constant temperatures and the first case report of its application for estimating the minimum postmortem interval. *Forensic Science International* 285, 172–180. doi:10.1016/j.forsciint.2018.02.004.
- Werner, E. E., & Anholt, B. R. (1993). Ecological consequences of the trade-off between growth and mortality rates mediated by foraging activity. *The American Naturalist*, 142(2), 242-272.
- Wickham H (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Williams, H., & Richardson, A. M. M. (1984). Growth energetics in relation to temperature for larvae of four species of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae). *Australian Journal of Ecology*, 9(2), 141-152. doi: 10.1111/j.1442-9993.1984.tb01352.x.

7. Supplementary material



Supplementary Figure 1. AUC graph indicating the accuracy of the statistical model on the survival of *Musca domestica* in larval encounters with *Hydrotaea albuquerquei*.

Supplementary table 1. Statistical values of H1M1 encounter with control group.

	<i>Dependent variable:</i>				
	<i>Musca domestica</i>		<i>Hydrotaea albuquerquei</i>		Predation capacity
	Larvae	Pupae	Larvae	Pupae	
	<i>glm:</i> <i>quasibinomia</i> <i>l</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomia</i> <i>l</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomia</i> <i>l</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomia</i> <i>l</i>	<i>glm:</i> <i>quasipoisso</i> <i>n</i>
	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = log</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
log(Density)	1.014 [*] (0.536)	-0.975 (0.669)	-3.581 ^{***} (0.698)	-0.186 (1.014)	5.258 ^{**} (2.024)
Encounter H1M1	-0.459 (0.306)	-0.651 [*] (0.330)	-3.727 ^{***} (0.380)	-1.468 [*] (0.751)	3.866 ^{**} (1.635)
Intercept	-4.118 (2.853)	7.275 [*] (3.555)	19.585 ^{***} (3.704)	3.593 (5.418)	-28.935 ^{**} (10.848)

Supplementary table 1. Continuation...

Observations	18	18	18	18	18
--------------	----	----	----	----	----

Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Supplementary table 2. Statistical values of H3M2 encounter with control group.

	<i>Dependent variable:</i>				
	<i>Musca domestica</i>		<i>Hydrotaea albuquerquei</i>		Predation capacity
	Larvae	Pupae	Larvae	Pupae	
	<i>glm: quasibinomial</i>	<i>glm: quasibinomial</i>	<i>glm: quasibinomial</i>	<i>glm: quasibinomial</i>	<i>glm: quasipoisson</i>
	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = logit</i>	<i>link = log</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
log(Density)	4.031** (1.399)	1.132* (0.557)	-2.743 (2.064)	-0.602 (1.230)	6.069** (2.450)
Encounter H3M2	-1.028 (0.636)	-0.595* (0.336)	-4.802*** (0.324)	-0.481 (0.624)	4.394* (2.244)
Intercept	-19.621** (7.435)	-3.656 (2.965)	13.234 (10.627)	5.731 (6.542)	-33.828** (13.172)
Observations	18	17	18	18	18

Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Supplementary table 3. Statistical values of H3M1 encounter with control group.

	<i>Dependent variable:</i>				
	<i>Musca domestica</i>		<i>Hydrotaea albuquerquei</i>		Predation capacity
	Larvae	Pupae	Larvae	Pupae	

Supplementary table 3. Continuation...

	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i> (1)	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i> (2)	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i> (3)	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i> (4)	<i>glm:</i> <i>quasipoisson</i> <i>link = log</i> (5)
log(Density)	5.729*** (1.577)	2.000 (1.170)	-5.981*** (0.498)	0.395 (1.158)	3.042*** (0.907)
Encounter H3M1	-0.291 (0.497)	0.136 (0.515)	-4.109*** (0.272)	-0.718 (0.775)	3.512*** (0.982)
Intercept	-29.096*** (8.365)	-8.489 (6.215)	32.298*** (2.644)	0.514 (6.177)	-17.193*** (4.901)
Observations	18	16	18	18	18

Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Supplementary table 4. Statistical values of H2M1 encounter with control group.

	<i>Dependent variable:</i>				
	<i>Musca domestica</i>	<i>Hydrotaea albuquerquei</i>			
	Larvae	Pupae	Larvae	Pupae	Predation capacity
	<i>logistic</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	<i>glm:</i> <i>quasibinomial</i> <i>link = logit</i>	<i>glm:</i> <i>quasipoisson</i> <i>link = log</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
log(Density)	4.798*** (0.344)	2.462** (0.906)	-4.699*** (0.496)	-1.679 (1.362)	3.577** (1.384)
Encounter H2M1	-0.726*** (0.114)	-0.050 (0.631)	-3.944*** (0.279)	-1.538* (0.778)	3.940** (1.631)
Intercept	- 24.163*** (1.825)	-10.937** (4.834)	25.507*** (2.633)	11.502 (7.253)	-20.028** (7.510)

Supplementary table 4. Continuation...

Observations	18	18	18	18	18
Log Likelihood	-150.969				
Akaike Inf. Crit.	307.939				

Note:

* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

4 Considerações finais

Este estudo traz novas informações sobre os efeitos de diferentes instares e proporções de densidades larvais na interação entre *Hydrotaea albuquerquei* e *Musca domestica* sobre parâmetros demográficos de ambas as espécies em condições favoráveis de alimentação. Em experimentos de laboratório, a sobrevivência de larvas e pupas de presas permite concluir que o predador intra-guilda pode, total ou parcialmente, suprimir a população de presas variando com o número e tamanho proporcional das larvas. No entanto, com oferta de alimento suficiente, a sobrevivência do predador também indica que a interação causa efeitos deletérios à sua população de acordo com a densidade de presas. Mesmo assim, a capacidade de predação é semelhante às espécies congêneres. Estudos futuros investigando a capacidade predatória nas gerações subsequentes serão importantes para avaliar os efeitos destes fatores a longo prazo e, conseqüentemente, a eficácia de *H. albuquerquei* como agente de controle biológico.

Espécies de *Hydrotaea* têm sido utilizadas como agentes de controle biológico para lidar com outras pragas de moscas na pecuária. Assim, este estudo traz resultados importantes sobre quais instares e densidades larvais são mais adequadas a serem liberadas no ambiente para obter eficácia dos predadores utilizando métodos de controle biológico aumentativo. Sob a perspectiva do uso de *H. albuquerquei* como agente de controle biológico, os resultados permitem inferir que estes seriam bastante prováveis em condições naturais, principalmente a níveis populacionais equivalentes. Nesse sentido, experimentos de campo serão necessários para concluir a eficácia desta espécie como biolarvicida.

Por fim, do ponto de vista dos serviços ecossistêmicos desempenhados por estas espécies e da sua utilização em análises forenses, os resultados da sobrevivência e desenvolvimento larval e pupal permitem inferir sobre como a competição e a predação modificam a dinâmica das populações e as condições de coexistência no substrato explorado. Assim, a partir da identificação destas espécies compartilhando o cadáver, considerar estas interações nas estimativas de intervalo pós-morte pode ser determinante para sua. Ademais, experimentos com dietas mais restritivas ao desenvolvimento das espécies e à base de carne poderão incrementar ou trazer novas perspectivas aos resultados apresentados neste trabalho.

Referências bibliográficas

- ACEVEDO, Gonzalo Roca; ZAPATER, Miguel; TOLOZA, Ariel Ceferino. Insecticide resistance of house fly, *Musca domestica* (L.) from Argentina. **Parasitology research**, v. 105, n. 2, p. 489-493, 2009.
- AGNOLIN, C. A. et al. Efficacy of citronella [*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle] oil in the control of bovine ectoparasites. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 482-487, 2010.
- ALVES, Ana Claudia Firmino; DOS SANTOS, Wellington Emanuel; CREÃO-DUARTE, Antonio José. Diptera (Insecta) de importância forense da região Neotropical. **Entomotropica**, v. 29, n. 2, p. 77-94, 2014.
- AL-ASHBAL, Haider Naeem; AL-ESSA, Rafid Abbas; AL-SAFFAR, Hanaa H. New Record of the Genus *Hydrotaea* Robineau-Desvoidy, 1830 (Diptera, Muscidae) from Kerbala City, Iraq. **Medico Legal Update**, v. 20, n. 3, p. 667-672, 2020.
- ANDERSON, J.; J. POORBAUGH. Biological control possibility for house flies. **California Agriculture**, v. 18, n. 9, p. 2-4, 1964.
- ARIM, Matías; MARQUET, Pablo A. Intraguild predation: a widespread interaction related to species biology. **Ecology Letters**, v. 7, n. 7, p. 557-564, 2004.
- AUBERNON, Cindy; HEDOUIN, Valery; CHARABIDZE, Damien. The maggot, the ethologist and the forensic entomologist: Sociality and thermoregulation in necrophagous larvae. **Journal of advanced research**, v. 16, p. 67-73, 2019.
- BARBOSA, R. R., MELLO-PATIU, C. A. D., MELLO, R. P. D., & QUEIROZ, M. M. D. C. New records of calyptrate dipterans (Fanniidae, Muscidae and Sarcophagidae) associated with the decomposition of domestic pigs in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 104, n. 6, p. 923-926, 2009.
- BARBOSA, a, T. M., JALES, J. T., MEDEIROS, J. R., VASCONCELOS, S. D., & GAMA, R. A. Behavioural Aspects of the Prey-Predator Interaction Among Necrophagous Diptera: Implications for Cadaveric Colonization. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 2, p. 303-311, 2021.
- BARBOSA, T. M.; VASCONCELOS, S. D. An updated checklist of myiasis-inducing Diptera species in livestock in Northeastern Brazil. **Archivos de zootecnia**, v. 64, n. 246, p. 187-190, 2015.
- BATISTA-DA-SILVA, José Antonio; MOYA-BORJA, Gonzalo Efrain; DE CARVALHO QUEIROZ, Margareth Maria. Ocorrência e sazonalidade de muscóides (Diptera, Calliphoridae) de importância sanitária no Município de Itaboraí, RJ, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 3, n. 1, p. 16-21, 2010.

- BATTAN-HORENSTEIN, Moira; GLEISER, Raquel M. Necrophagous flies assemblages: Spatio-temporal patterns in a Neotropical urban environment. **Caldasia**, v. 40, n. 2, p. 296-309, 2018.
- BELL, Howard A.; ROBINSON, Katherine A.; WEAVER, Robert J. First report of cyromazine resistance in a population of UK house fly (*Musca domestica*) associated with intensive livestock production. **Pest management science**, v. 66, n. 7, p. 693-695, 2010.
- BIRKEMOE, Tone; SOLENG, Arnulf; AAK, Anders. Biological control of *Musca domestica* and *Stomoxys calcitrans* by mass releases of the parasitoid *Spalangia cameroni* on two Norwegian pig farms. **BioControl**, v. 54, n. 3, p. 425-436, 2009.
- BROSKI, Scott A.; KING, B. H. Effects of size and age of the host *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) on production of the parasitoid wasp *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 1, p. 282-287, 2017.
- BURGESS IV, E. R., WATKINS, S. M., KING, B. H., CHANTOS-DAVIDSON, K., KREMER, A. N., TOURNEAR, J. C., ... & GAILLARD, E. R. Dissemination of imidacloprid through dairy cattle manure and its effect on the biological control agent, *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae), and a filth fly host, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Journal of economic entomology**, v. 112, n. 2, p. 974-980, 2019.
- CAREY, James R. Insect biodemography. **Annual review of entomology**, v. 46, n. 1, p. 79-110, 2001.
- CARVALHO R. P., AZEVEDO, W. T. A., FIGUEIREDO, A. L., LESSA, C. S. S., & AGUIAR, V. M. Dipterofauna associated with rat carcasses in the Atlantic Forest, Southeastern Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, n. 6, p. 1498-1509, 2017.
- CARVALHO, Claudio José Barros de; MELLO-PATIU, Cátia Antunes de. Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, n. 3, p. 390-406, 2008.
- CARVALHO, Claudio José Barros de; MOURA, Maurício Osvaldo; RIBEIRO, Paulo Bretanha. Chave para adultos de dípteros (Muscidae, Fanniidae, Anthomyiidae) associados ao ambiente humano no Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 46, n. 2, p. 107-144, 2002.
- CASTRO, Manuel; CENTENO, Néstor; GONZÁLEZ-VAINER, Patricia. An initial study of insect succession on pig carcasses in open pastures in the northwest of Uruguay. **Forensic science international**, v. 302, p. 109837, 2019.
- CEDEN, C. J.; STINNER, R. E.; AXTELL, R. C. Predation by predators of the house fly in poultry manure: effects of predator density, feeding history, interspecific interference, and field conditions. **Environmental Entomology**, v. 17, n. 2, p. 320-329, 1988.

- CHARABIDZE, D., VINCENT, B., PASQUERAULT, T., & HEDOUIN, V. The biology and ecology of *Necrodes littoralis*, a species of forensic interest in Europe. **International Journal of Legal Medicine**, v. 130, n. 1, p. 273-280, 2016.
- CHIRICO, J., JONSSON, P., KJELLBERG, S., & THOMAS, G. Summer mastitis experimentally induced by *Hydrotaea irritans* exposed to bacteria. **Medical and veterinary entomology**, v. 11, n. 2, p. 187-192, 1997.
- CONSTANTINO, R. Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. **Ribeirão Preto: Holos**, 2012.
- COSTA, P. R. P., FRANZ, R. L., VIANNA, E. E. S.; RIBEIRO, P. B. Synanthropy of *Ophyra* spp (Diptera, Muscidae) in Pelotas, RS, Brazil. **Rev. Bras. Parasitol. Vet.**, v. 9, n. 2, p. 165-168, 2000.
- COURI, Márcia Souto et al. *Ophyra capensis* (Wiedemann)(Diptera, Muscidae) found inside the esophagus of a mummy in Lisbon (Portugal). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 49, p. 87-91, 2009.
- CRESPO, Diana C.; LECUONA, Roberto E.; HOGSETTE, Jerome A. Biological Control: An Important Component in Integrated Management of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in Caged-Layer Poultry Houses in Buenos Aires, Argentina. **Biological Control**, v. 13, n. 1, p. 16-24, 1998.
- D'ALMEIDA, Jose M.; ALMEIDA, JR de. Nichos tróficos em dípteros caliptrados, no Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, n. 4, p. 563-570, 1998.
- DE CARVALHO, C. J. B., COURI, M. S., PONT, A. C., PAMPLONA, D., & LOPES, S. M. A catalogue of the Muscidae (Diptera) of the Neotropical Region. **Zootaxa**, v. 860, n. 1, p. 1-282, 2005.
- DADOUR, I. R.; COOK, D. F.; WIRTH, N. Rates of development of *Hydrotaea rostrata* under summer and winter (cyclic and constant) temperature regimes. **Medical and veterinary entomology**, v. 15, n. 2, p. 177-182, 2001.
- DE CASTRO, J. L., DA FONSECA, A. H., & BORJA, G. E. M. The Guinea Fowl (*Numida meleagris*) as predator of larvae and pupae of the house fly (*Musca domestica*). **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 35, n. 2, p. 140-146, 2013.
- DE SOUZA AMORIM, Dalton. Chapter Three. Neotropical Diptera Diversity: Richness, Patterns, and Perspectives. In: *Diptera diversity: status, challenges and tools*. **Brill**, p. 71-97, 2010.
- DENNO, Robert F.; COTHRAN, Warren R. Niche relationships of a guild of necrophagous flies. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 68, n. 4, p. 741-754, 1975.
- DOGRA, Sunder Singh; MAHAJAN, Vikram K. Oral myiasis caused by *Musca domestica* larvae in a child. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology Extra**, v. 5, n. 3, p. 105-107, 2010

DUARTE, J. L., EMMERICH, R. F., CORRÊA, A. P. R., & KRÜGER, R. F.. Thermal requirements of *Ophyra albuquerquei* Lopes, 1985 (Diptera, Muscidae). **Forensic science international**, v. 254, p. 227-230, 2015.

DUARTE, J. L., KRÜGER, R. F.; RIBEIRO, P. B.. Interaction between *Musca domestica* L. and its predator *Muscina stabulans* (Fallén)(Diptera, Muscidae): Effects of prey density and food source abundance. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 1, p. 55-58, 2013.

DUARTE, Marina Lopes et al. Desenvolvimento Intrapuparial de *Ophyra aenescens* (Wiedemann, 1830)(Diptera, Muscidae), sob condições de laboratório. 2018.

FARIA, Lucas Del Bianco; GODOY, Wesley Augusto Conde. Prey choice by facultative predator larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 96, n. 6, p. 875-878, 2001.

FARIA, Lucas Del Bianco; GODOY, Wesley Augusto Conde; REIS, Sérgio Furtado dos. Larval predation on different instars in blowfly populations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 6, p. 887-894, 2004.

FARKAS, Róbert; JANTNYIK, Tibor. Laboratory studies on *Hydrotaea aenescens* as predator of house fly larvae (Diptera: Muscidae). **Parasitol Hung**, v. 23, p. 103-108, 1990.

FARKAS, Róbert; PAPP, László. Susceptibility of *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae) to selected insecticides and its importance in integrated fly management. **Parasitology research**, v. 82, n. 2, p. 170-173, 1996.

FARKAS, Róbert; PAPP, László. *Hydrotaea* (*Ophyra*) species as potential biocontrol agents against *Musca domestica* (Diptera) in Hungary. **Biocontrol of arthropods affecting livestock and poultry.**, p. 169-176, 1990.

FIGUEROA-ROA, Luis; LINHARES, Arício X. Synanthropy of Muscidae (Diptera) in the city of Valdivia, Chile. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 647-651, 2004.

FOUCHE, Quentin; HEDOUIN, Valery; CHARABIDZE, Damien. Communication in necrophagous Diptera larvae: interspecific effect of cues left behind by maggots and implications in their aggregation. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 2844, 2018.

GALINDO, Luciane A. et al. Intraguild predation influences oviposition behavior of blow flies (Diptera: Calliphoridae). **Parasitology research**, v. 115, n. 5, p. 2097-2102, 2016.

GEDEN, C.J. Status of biopesticides for control of house flies. **Journal of Biopesticides (Supplementary)**, 5, 1–11, 2012

GEORGHIOU, G. P. Differential susceptibility and resistance to insecticides of coexisting populations of *Musca domestica*, *Fannia canicularis*, *F. femoralis*, and *Ophyra leucostoma*. **Journal of economic entomology**, v. 60, n. 5, p. 1338-1344, 1967.

GIORDANI, Giorgia; GRZYWACZ, Andrzej; VANIN, Stefano. Characterization and identification of puparia of *Hydrotaea Robineau-Desvoidy*, 1830 (Diptera: Muscidae) from forensic and archaeological contexts. **Journal of medical entomology**, v. 56, n. 1, p. 45-54, 2019.

GIORDANI, Giorgia et al. First record of *Phormia regina* (Meigen, 1826)(Diptera: Calliphoridae) from mummies at the Sant'Antonio Abate Cathedral of Castelsardo, Sardinia, Italy. **PeerJ**, v. 6, p. e4176, 2018.

GIORDANI, Giorgia; GRZYWACZ, Andrzej; VANIN, Stefano. Characterization and identification of puparia of *Hydrotaea Robineau-Desvoidy*, 1830 (Diptera: Muscidae) from forensic and archaeological contexts. **Journal of medical entomology**, v. 56, n. 1, p. 45-54, 2019.

GRZYWACZ, Andrzej. Third instar larva morphology of *Hydrotaea cyrtoneurina* (ZETTERSTEDT, 1845)(Diptera: Muscidae)-a species of forensic interest. **Polish Journal of Entomology**, v. 82, n. 4, p. 303, 2013.

GRZYWACZ, Andrzej; LINDSTRÖM, Anders; HALL, Martin JR. *Hydrotaea similis* Meade (Diptera: Muscidae) newly reported from a human cadaver: a case report and larval morphology. **Forensic science international**, v. 242, p. e34-e43, 2014.

GRZYWACZ, Andrzej; WALLMAN, James F.; PIWCZYŃSKI, Marcin. To be or not to be a valid genus: the systematic position of *Ophyra* R.-D. revised (Diptera: Muscidae). **Systematic Entomology**, v. 42, n. 4, p. 714-723, 2017.

GUARIENTO, R. D., CARNEIRO, L. S., ESTEVES, F. A., JORGE, J. S., & CALIMAN, A. Conspecific density affects predator-induced prey phenotypic plasticity. **Ecosphere**, v. 6, n. 6, p. 1-12, 2015.

Hlavac, Marek. stargazer: Well-Formatted Regression and Summary Statistics Tables. R package version 5.2.3. <https://CRAN.R-project.org/package=stargazer>, 2022.

HOGSETTE, Jerome A.; FARKAS, Róbert; COLER, Reginald R. Development of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae) in manure of unweaned dairy calves and lactating cows. **Journal of economic entomology**, v. 95, n. 2, p. 527-530, 2002.

HOGSETTE, J. A.; JACOBS, R. D. Failure of *Hydrotaea aenescens*, a larval predator of the housefly, *Musca domestica*, to establish in wet poultry manure on a commercial farm in Florida, USA. **Medical and veterinary entomology**, v. 13, n. 4, p. 349-354, 1999.

HOGSETTE, Jerome Adkins; JACOBS, R. D. The black dump fly: a larval predator of house flies. **USDA-ARS / UNL Faculty**. v. 994, 2003.

HOGSETTE, Jerome A.; WASHINGTON, Frank. Quantitative mass production of *Hydrotaea aenescens* (Diptera: Muscidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 88, n. 5, p. 1238-1242, 1995.

HOLLING, Crawford S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism¹. **The canadian entomologist**, v. 91, n. 7, p. 385-398, 1959.

HOLT, Robert D.; POLIS, Gary A. A theoretical framework for intraguild predation. **The American Naturalist**, v. 149, n. 4, p. 745-764, 1997.

IANCU, L., JUNKINS, E. N., NECULA-Petrareanu, G., & Purcarea, C.. Characterizing forensically important insect and microbial community COLONIZATION patterns in buried remains. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2018.

INGRAM, T., SVANBÄCK, R., KRAFT, N. J., KRATINA, P., SOUTHCOTT, L., & SCHLUTER, D. Intraguild predation drives evolutionary niche shift in threespine stickleback. **Evolution: International Journal of Organic Evolution**, v. 66, n. 6, p. 1819-1832, 2012.

IRELAND, Sarah; TURNER, Bryan. The effects of larval crowding and food type on the size and development of the blowfly, *Calliphora vomitoria*. **Forensic Science International**, v. 159, n. 2-3, p. 175-181, 2006.

IVORRA, Tania; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, Anabel; ROJO, Santos. Predatory behavior of *Synthesiomyia nudiseta* larvae (Diptera: Muscidae) on several necrophagous blowfly species (Diptera: Calliphoridae). **International journal of legal medicine**, v. 133, n. 2, p. 651-660, 2019.

JANSSEN, A., SABELIS, M. W., MAGALHÃES, S., MONTSERRAT, M., & VAN DER HAMMEN, T. Habitat structure affects intraguild predation. **Ecology**, v. 88, n. 11, p. 2713-2719, 2007.

KOMO, Larissa; HEDOUIN, Valéry; CHARABIDZE, Damien. Benefits of heterospecific aggregation on necromass: influence of temperature, group density, and composition on fitness-related traits. **Insect science**, v. 28, n. 1, p. 144-152, 2021.

KRÜGER, Rodrigo Ferreira; RIBEIRO, Paulo Bretanha; CARVALHO, CJB de. Desenvolvimento de *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae) em condições de laboratório. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 4, p. 643-648, 2003.

KRÜGER, Rodrigo F. et al. Longevity and oviposition of *Ophyra albuquerquei* (Diptera, Muscidae) under laboratory conditions. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 2, p. 211-216, 2004.

KRÜGER, Rodrigo Ferreira; WENDT, Lisiane Dilli; RIBEIRO, Paulo Bretanha. The effect of environment on development and survival of pupae of the necrophagous fly *Ophyra albuquerquei* Lopes (Diptera, Muscidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 3, p. 401-405, 2011.

LACHANCE, S.; GRANGE, G. Repellent effectiveness of seven plant essential oils, sunflower oil and natural insecticides against horn flies on pastured dairy cows and heifers. **Medical and veterinary entomology**, v. 28, n. 2, p. 193-200, 2014.

LARRAÍN, Patricia; SALAS, Claudio. House fly (*Musca domestica* L.)(Diptera: Muscidae) development in different types of manure. **Chil. J. Agric. Res**, v. 68, p. 192-197, 2008.

LEFEBVRE, Fabrice; GAUDRY, Emmanuel. Forensic entomology: a new hypothesis for the chronological succession pattern of necrophagous insect on human corpses. In: **Annales de la Société entomologique de France**. Taylor & Francis Group, 2009. p. 377-392.

LÓPEZ-SÁNCHEZ, J., CRUZ-VÁZQUEZ, C., LEZAMA-GUTIÉRREZ, R., & RAMOS-PARRA, M. Effect of entomopathogenic fungi upon adults of *Stomoxys calcitrans* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 22, n. 8, p. 969-973, 2012.

LYABZINA, S. N. et al. An Insect Complex of Large Animal Carcasses and the Peculiarities of Their Decomposition in Northern European Russia. **Entomological Review**, v. 99, n. 4, p. 473-484, 2019.

MALIK, Anushree; SINGH, Neena; SATYA, Santosh. House fly (*Musca domestica*): a review of control strategies for a challenging pest. **Journal of environmental science and health part B**, v. 42, n. 4, p. 453-469, 2007.

MARKUSSEN, Mette DK; KRISTENSEN, Michael. Spinosad resistance in female *Musca domestica* L. from a field-derived population. **Pest Management Science**, v. 68, n. 1, p. 75-82, 2012.

MERDAN, Bouthaina A. *Bacillus thuringiensis* as a feed additive to control *Musca domestica* associated with poultry houses. **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 65, n. 1, p. 83-87, 2012.

MOON, Roger D. Muscid flies (Muscidae). In: **Medical and veterinary entomology**. Academic Press, p. 345-368, 2019.

MORAL, Rafael A.; HINDE, John; DEMÉTRIO, Clarice GB. Half-normal plots and overdispersed models in R: the hnp package. **Journal of Statistical Software**, v. 81, p. 1-23, 2017.

MORIN, Peter. Productivity, intraguild predation, and population dynamics in experimental food webs. **Ecology**, v. 80, n. 3, p. 752-760, 1999.

MÜLLER, P. Significance of the *Musca domestica* antagonist *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae). III. Laboratory studies of the interaction between the larvae of *M. domestica* and *O. aenescens*. **Angewandte Parasitologie**, v. 23, n. 3, p. 143-154, 1982.

NOLAN III, M. P.; KISSAM, J. B. Nuisance potential of a dump fly, *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae), breeding at poultry farms. **Environmental entomology**, v. 16, n. 3, p. 828-831, 1987.

OLCKERS, P. E. et al. Facultative predation of house fly larvae by larvae of *Ophyra capensis* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae). **Journal of the Entomological Society of Southern Africa**, v. 47, n. 2, p. 231-237, 1984.

OMAR, Aziza H. Cannibalism and predation behaviour of the blowfly, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) larvae (Diptera: Calliphoridae). **Journal of the Egyptian Society of Parasitology**, v. 25, n. 3, p. 729-743, 1995.

PALIY, A. P.; SUMAKOVA, N. V.; ISHCHEKHO, K. V. Biological control of house fly. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 8, n. 2, p. 230-234, 2018.

PATITUCCI, L. D., MULIERI, P. R., OLIVA, A., & MARILUIS, J. C.. Status of the forensically important genus *Ophyra* (Diptera: Muscidae) in Argentina. **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, v. 69, n. 1-2, p. 91-99, 2010.

PATITUCCI, L. D., MULIERI, P. R., DOMÍNGUEZ, M. C., & MARILUIS, J. C. An inventory of saprophagous Calypttratae (Insecta: Diptera) in urban green spaces of Buenos Aires City. **Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.**, v. 17, n. 1, p. 97-107, 2015.

PEACOR, S. D., BARTON, B. T., KIMBRO, D. L., SIH, A., & SHERIFF, M. J. A framework and standardized terminology to facilitate the study of predation-risk effects. **Ecology**, v. 101, n. 12, p. e03152, 2020.

PECHAL, Jennifer L. et al. Delayed insect access alters carrion decomposition and necrophagous insect community assembly. **Ecosphere**, v. 5, n. 4, p. 1-21, 2014.

PIRES, S. M.; CÁRCAMO, M. C.; ZIMMER, C. R.; RIBEIRO. Influência da dieta no desenvolvimento e investimento reprodutivo de *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794)(Diptera: Calliphoridae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 1, p. 41-47, 2009.

POLIS, Gary A.; MYERS, Christopher A.; HOLT, Robert D. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. **Annual review of ecology and systematics**, v. 20, n. 1, p. 297-330, 1989.

PORTCHINSKY, I. A. et al. *Hydrotaca dentipes*; its biology and the destruction by its larvae of the larvae of *Musca domestica*. **Hydrotaca dentipes; its biology and the destruction by its larvae of the larvae of Musca domestica.**, v. 9, n. 5, 1913.

PRADELLI, J. et al. Environmental necrophagous fauna selection in a funerary hypogeal context: The putridarium of the Franciscan monastery of Azzio (northern Italy). **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 24, p. 683-692, 2019.

PYKE, Graham H. Optimal foraging theory: a critical review. **Annual review of ecology and systematics**, v. 15, n. 1, p. 523-575, 1984.

REIS, SF dos; VON ZUBEN, C. J.; GODOY, W. A. C. Larval aggregation and competition for food in experimental populations of *Chrysomya putoria* (Wied.) and *Cochliomyia macellaria* (F.)(Dipt., Calliphoridae). **Journal of applied entomology**, v. 123, n. 8, p. 485-489, 1999.

RIBEIRO, Maria José Rocha et al. Insalubridade ambiental e aspectos sociais associados a patógenos intestinais isolados de dípteros. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 83-90, 2011.

RIBEIRO, PAULO B.; CARVALHO, C.; COSTA, P.; JUNIOR, P. S. Desenvolvimento de *Ophyra aenescens* Wiedemann, 1830 (Diptera, Muscidae, Azeliinae), em diferentes temperaturas, em condições de laboratório. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2000.

RICHARDS, Stephanie L. et al. Arthropods associated with carrion in a salt marsh habitat in southeastern Florida. **Florida Entomologist**, v. 98, n. 2, p. 613-619, 2015.

RIVERS, D. B.; THOMPSON, C.; BROGAN, R. Physiological trade-offs of forming maggot masses by necrophagous flies on vertebrate carrion. **Bulletin of entomological research**, v. 101, n. 5, p. 599, 2011.

ROBIN, Xavier et al. pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. **BMC bioinformatics**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2011.

ROSA, Gisele S. et al. The dynamics of intraguild predation in *Chrysomya albiceps* Wied.(Diptera: Calliphoridae): interactions between instars and species under different abundances of food. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 775-780, 2006.

ROTHERAY, Graham E.; WILKINSON, Geoffrey. Trophic structure and function in the larva of predatory muscid flies (Diptera, Muscidae). **Zoomorphology**, v. 134, n. 4, p. 553-563, 2015.

SARWAR, Muhammad. Typical flies: Natural history, lifestyle and diversity of Diptera. In: **Life Cycle and Development of Diptera**. IntechOpen, 2020.

SCHULTKA, H.; BETKE, P.; SCHUMANN, H. The importance of the *Musca domestica* predator *Ophyra aenescens* (Diptera: Muscidae). IV. Biology and behavior of *O. aenescens* in facilities for animal production. **Angewandte Parasitologie**, v. 27, n. 2, p. 87-89, 1986.

SILVA, Ândrio Z., HOFFMEISTER, C. H., ANJOS, V. A. D., RIBEIRO, P. B., KRÜGER, R. F.. Necrophagous Diptera associated with wild animal carcasses in southern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 58, n. 4, p. 337-342, 2014.

SIH, Andrew. The behavioral response race between predator and prey. **The American Naturalist**, v. 123, n. 1, p. 143-150, 1984.

SIMON, P. P.; KRÜGER, R. F.; RIBEIRO, P. B. Influence of diets on the rearing of predatory flies of housefly larvae. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 6, p. 1414-1420, 2011.

SHIAO, Shih-Feng; YEH, Ta-Chuan. Larval competition of *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya rufifacies* (Diptera: Calliphoridae): behavior and ecological studies of two blow fly species of forensic significance. **Journal of Medical Entomology**, v. 45, n. 4, p. 785-799, 2008.

SCHMITZ, Oswald. Predator and prey functional traits: understanding the adaptive machinery driving predator-prey interactions. **F1000Research**, v. 6, 2017.

TEIXEIRA, Adair Ferreira Motta, AMARO FILHO, A. A., QUINTAES, B. R., SANTOS, E. C. L. D., & SURLIUGA, G. C. Controle de mosca doméstica em área de disposição de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 365-370, 2008.

THOMPSON, C. R., BROGAN, R. S., SCHEIFELE, L. Z., & RIVERS, D. B. Bacterial interactions with necrophagous flies. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 106, n. 6, p. 799-809, 2013.

TURCHETTO, Margherita; VANIN, Stefano. Forensic evaluations on a crime case with monospecific necrophagous fly population infected by two parasitoid species. **Anil Aggrawal's internet journal of forensic medicine and toxicology**, v. 5, n. 1, p. 12-18, 2004.

TURNER, E. C.; CARTER, Lorraine. Mass rearing and introduction of *Ophyra aenescens* (Wiedemann)(Diptera: Muscidae) in high-rise caged layer houses to reduce house fly populations. **J. Agric. Entomol**, v. 7, n. 3, p. 247-257, 1990.

TSANKOVA, R. N.; LUVCHIEV, V. I. Laboratory investigations on the larval zoophagy of *Ophyra capensis*--an antagonist of *Musca domestica*. **Applied parasitology**, v. 34, n. 3, p. 221-228, 1993.

- VAN DE WOLFSHAAR, K. E.; DE ROOS, A. M.; PERSSON, Lennart. Size-dependent interactions inhibit coexistence in intraguild predation systems with life-history omnivory. **The American Naturalist**, v. 168, n. 1, p. 62-75, 2006.
- VAN LENTEREN, S. L., BENBOW, M. E., TOMBERLIN, J. K., & TARONE, A. M. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018.
- VANLAERHOVEN, Sherah L. et al. Modeling species interactions within carrion food webs. **Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications; Benbow, ME, Tomberlin, JK, Tarone, AM, Eds**, p. 231-245, 2015.
- VASCONCELOS, S. D., CRUZ, T. M., SALGADO, R. L., & THYSSEN, P. J. Dipterans associated with a decomposing animal carcass in a rainforest fragment in Brazil: notes on the early arrival and colonization by necrophagous species. **Journal of Insect Science**, v. 13, n. 1, p. 145, 2013.
- VENABLES, William N.; RIPLEY, Brian D. **Modern applied statistics with S-PLUS**. Springer Science & Business Media, 2013.
- VIBE-PETERSEN, Solveig. Development, survival and fecundity of the urine fly, *Scatella (Teichomyza) fusca* and predation by the black dumpfly, *Hydrotaea aenescens*. **Entomologia experimentalis et applicata**, v. 87, n. 2, p. 157-169, 1998.
- VON ZUBEN, Claudio José; STANGENHAUS, Gabriela; GODOY, Wesley Augusto Conde. Competição larval em *Chrysomya megacephala* (F.)(Diptera: Calliphoridae): efeitos de diferentes níveis de agregação larval sobre estimativas de peso, fecundidade e investimento reprodutivo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 2, p. 195-203, 2000.
- WANG, Yu et al. Development of *Musca domestica* at constant temperatures and the first case report of its application for estimating the minimum postmortem interval. **Forensic science international**, v. 285, p. 172-180, 2018.
- WATSON, E. J.; CARLTON, C. E. Spring succession of necrophilous insects on wildlife carcasses in Louisiana. **Journal of Medical Entomology**, v. 40, n. 3, p. 338-347, 2003.
- WERNER, Earl E.; ANHOLT, Bradley R. Ecological consequences of the trade-off between growth and mortality rates mediated by foraging activity. **The American Naturalist**, v. 142, n. 2, p. 242-272, 1993.
- WICKHAM, Hadley. **ggplot2: elegant graphics for data analysis**. springer, 2016.
- WILLIAMS, H.; RICHARDSON, A. M. M. Growth energetics in relation to temperature for larvae of four species of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae). **Australian Journal of Ecology**, v. 9, n. 2, p. 141-152, 1984.
- WILLS, Laura E.; MULLENS, Bradley A.; DAVID MANDEVILLE, J. Effects of pesticides on filth fly predators (Coleoptera: Histeridae, Staphylinidae; Acarina: Macrochelidae, Uropodidae) in caged layer poultry manure. **Journal of economic entomology**, v. 83, n. 2, p. 451-457, 1990.
-
-