



Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Parasitologia

HILCIELLY ANTUNES SILVA

**ARMADILHA GRAVID *Aedes* TRAP (GAT): VIDEOANÁLISE DO SEU  
MECANISMO DE FUNCIONAMENTO E SEU USO COMO FERRAMENTA DE  
MONITORAMENTO DE *Aedes aegypti***

Belo Horizonte, MG

Agosto, 2021

Hilcielly Antunes Silva

**ARMADILHA GRAVID *Aedes* TRAP (GAT): VIDEOANÁLISE DO SEU  
MECANISMO DE FUNCIONAMENTO E SEU USO COMO FERRAMENTA DE  
MONITORAMENTO DE *Aedes Aegypti***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Parasitologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Parasitologia.

**Área de concentração:** Entomologia

**Orientador:** Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras

**Coorientadora:** Dra. Elis Paula de Almeida Batista

Belo Horizonte, MG

Agosto, 2021

043

Silva, Hilcielly Antunes.

Armadilha Gravid Aedes Trap (GAT): videoanálise do seu mecanismo de funcionamento e seu uso como ferramenta de monitoramento de *Aedes aegypti* [manuscrito] / Hilcielly Antunes Silva. - 2021.

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

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras. Coorientadora: Dra. Elis Paula de Almeida Batista.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Parasitologia.

1. Parasitologia. 2. Aedes. 3. Controle de Vetores. I. Eiras, Álvaro Eduardo. II. Batista, Elis Paula de Almeida. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências

CDU: 576.88/.89

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO*****Hilcielly Antunes Silva***430/2021/13  
entrada  
1º/2019  
2019654029

Às **quatorze horas** do dia **27 de agosto do ano de 2021**, reuniu-se, por videoconferência, sala <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/hilcielly-antunes-silva>, a Comissão Examinadora da Dissertação, indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Parasitologia, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado: **“Armadilha Gravid Aedes Trap (GAT): vídeo-análise do seu mecanismo de funcionamento e seu uso como ferramenta de monitoramento de *Aedes aegypti*”** área de concentração: **Entomologia**. Abrindo a sessão, o(a) Presidente da Comissão, **Dr. Álvaro Eduardo Eiras**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao(a) candidato(a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do(a) candidato(a) e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof./Pesq.	Instituição	Indicação
Dr. Álvaro Eduardo Eiras	UFMG	<b>Aprovada</b>
Dr. Karlos Diogo de Melo Chalegre	IOC/ FIOCRUZ	<b>Aprovada</b>
Dr. Ricardo Nascimento Araujo	UFMG	<b>Aprovada</b>
Dra. Elis Paula de Almeida Batista	UFMG	<b>Aprovada</b>

**Expedição do resultado final.**

CONSIDERAÇÕES GERAIS – SOBRE TESE APRESENTADA PELO (A) O (A) CANDIDATO (A):

Exigências	Não
Recomendações	Não
Sugestões	Sugestões estão inseridas no corpo da dissertação entregue pelos membros examinadores

Pelas indicações, o(a) candidato(a) foi considerado(a): **APROVADA**

O resultado final foi comunicado publicamente ao(a) candidato(a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o(a) Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada digitalmente por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

**Belo Horizonte, 27 de agosto de 2021.****Dr. Álvaro Eduardo Eiras**

(Orientador)

**Dr. Karlos Diogo de Melo Chalegre****Dr. Ricardo Nascimento Araujo****Dra. Elis Paula de Almeida Batista**

(Coorientadora)

Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo do Coordenador

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Parasitologia da UFMG e a todos os professores que contribuíram para minha formação. A Sumara e a Sibeles por todo auxílio nesta etapa.

Ao Dr. Álvaro Eduardo Eiras, pela oportunidade de fazer parte do laboratório, por todos os ensinamentos desde a graduação, pela confiança, paciência e grande contribuição no meu crescimento profissional.

A Dra. Elis Paula de Almeida Batista por todo incentivo, apoio e ensinamentos. Obrigada, também, por me escutar a cada ideia ou dúvida nova que tive e por me orientar todas as vezes.

A todos que fizeram ou fazem parte do laboratório. Aos ICs do monitoramento pela contribuição no desenvolvimento desse trabalho. Ao Léo por todo auxílio nas análises estatísticas, pelas explicações e por rirmos juntos dessa vida de pós-graduando. A Ju por todas as conversas, carinho e ajuda. Ao Daniel, pela amizade e apoio. Ao Richard por fazer cada dia ser mais divertido. Aos demais, agradeço por toda contribuição, convívio e conversas.

A Marina, Rodrigo, Bella, Gaby, Thais e os Amoras por todo carinho.

Ao Agustin por ser esse amigo incrível que o laboratório me deu. Obrigada pelos vários momentos compartilhados, por horas e horas de conversas, por toda ajuda, por dividir comigo um milhão de planos/sonhos loucos e me fazer sonhar junto.

A Arielle por ser uma amiga maravilhosa, por me contagiar sempre com esse ânimo sem fim e por todo apoio.

A Jessica pelo companheirismo, por me encorajar, acreditar em mim e deixar a vida mais leve. A dona Leninha por toda torcida, orações e incentivo.

A minha base: meu pai Wilson e minha mãe Edinalva por todo apoio e por tudo que fizeram e fazem por mim. Obrigada por acreditarem no poder do estudo, isso é um dos fatores que me faz querer ir cada vez mais adiante. Aos meus irmãos Hilcilyne e Guilherme por sempre estarem comigo partilhando todos os momentos.

A Deus por cuidar de cada detalhe da minha trajetória.

## RESUMO

A Gravid *Aedes* Trap (GAT) é uma armadilha específica e eficiente para capturar grávidas de *Aedes aegypti* em busca de local para oviposição, que vem sendo utilizada como uma ferramenta promissora para substituir, ou complementar, as estratégias tradicionalmente utilizadas por programas de vigilância entomológica (pesquisa larvária e a armadilha ovitrampas). O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a GAT como método de monitoramento vetorial e foi dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo, o objetivo foi avaliar o comportamento de grávidas de *Ae. aegypti* da atração até a captura na armadilha. Experimentos de gravação e videoanálise comportamental dos mosquitos foram realizados em uma gaiola telada, em condições de laboratório, usando a armadilha iscada com (a) água, (b) infusão de gramínea ou (c) atraente de oviposição sintético. Etogramas demonstraram padrões de sequência de comportamentos, cujos principais observados foram: voo em direção à GAT, toque e pouso em determinadas partes e entrada na armadilha. Armadilhas iscadas com estímulos olfativos (infusão e atraente) aumentaram significativamente a movimentação e a captura dos mosquitos ( $p < 0,03$ ), cujo comportamento de voo de entrada na armadilha em “espiral” ocorreu em 70% das capturas. O segundo capítulo avaliou o uso da GAT para monitorar e avaliar a dinâmica populacional de adultos de *Ae. aegypti* no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. Em todo o campus, foram instaladas e georreferenciadas 168 armadilhas, as quais foram vistoriadas semanalmente durante 2017 a 2019. Os mosquitos capturados foram identificados por sexo e espécie e os dados coletados foram disponibilizados na internet no sistema MI-*Aedes*. Mapas e gráficos de indicadores entomológicos produzidos semanalmente demonstraram a abundância e a distribuição de *Ae. aegypti*, que foram utilizados para direcionar as ações de controle do vetor no campus. O monitoramento demonstrou um padrão sazonal na densidade populacional do *Ae. aegypti*, com o período de maior abundância ocorrendo entre setembro e janeiro e o com menor abundância entre maio e agosto. Em 2017 e 2018, observou-se maiores indicadores entomológicos e “hotspots” para *Ae. aegypti* na Escola de Veterinária. Entretanto, em 2019, atividades de controle do mosquito (larvicidas e adulticidas) foram realizadas, o que resultou na redução significativa da população de *Ae. aegypti* na área durante o período. Os resultados obtidos neste estudo elucidam os mecanismos envolvidos na atração e captura de fêmeas de *Ae. aegypti* pela GAT, o que além de contribuir para o entendimento do comportamento de oviposição do vetor, também pode ser utilizado para propor melhorias na armadilha e melhorar a sua eficácia. Além disso, o estudo também demonstrou a eficácia da armadilha em monitorar e identificar áreas infestadas pelo *Ae. aegypti*, fornecendo informações necessárias para orientar as ações de controle.

**Palavras-chave:** *Aedes aegypti*, Gravid *Aedes* Trap, Monitoramento vetorial, Análise comportamental.

## ABSTRACT

The Gravid *Aedes* Trap (GAT) is a specific and efficient trap to capture gravid *Aedes aegypti* seeking for breeding sites, which has been used as a promising tool to replace, or complement, the conventional strategies used by vector surveillance programs (larval survey and ovitraps). This study aimed to evaluate GAT as a monitoring method and was divided into two chapters. In the first chapter, the goal was to evaluate the behavior of gravid *Ae. aegypti* from attraction to capture in the trap. Recording experiments and video analysis of mosquito behavior were performed in a large screened cage, under laboratory conditions, using the trap baited either with (a) water, (b) grass infusion or (c) synthetic oviposition attractant. Ethograms showed patterns of behavior sequence, which the main activities were: flight towards the GAT, touching and landing on certain parts and entering the trap. Traps baited with olfactory stimuli (grass infusion and synthetic attractant) significantly increased the movement and capture of mosquitoes ( $p < 0.03$ ), whose “spiral” flight behavior to enter the trap occurred in 70% of the captures. The second chapter evaluated the use of GAT to monitor and assess the population dynamics of *Ae. aegypti* at the Pampulha campus of the Federal University of Minas Gerais. Across the campus, 168 traps were installed and georeferenced, which were inspected weekly during 2017 to 2019. Caught mosquitoes were identified by sex and species and the data collected were made available on the internet in the MI-*Aedes* system. Maps and graphs of entomological indices weekly produced showed the abundance and distribution of *Ae. aegypti*, which were used to conduct vector control on campus. Vector monitoring showed a seasonal pattern in the population density of *Ae. aegypti*, with the period of greatest abundance occurring between September and January and the least abundant between May and August. In 2017 and 2018, higher entomological indices and “hotspots” of *Ae. aegypti* were obtained at the Veterinary School. However, in 2019, mosquito control activities (container larvicide treatment and insecticide spraying) were carried out, resulting in a significant reduction in the population of *Ae. aegypti* in the area during the period. The study findings elucidate the mechanisms involved in the attraction and capture of gravaida *Ae. aegypti* by GAT, which in addition to contributing to the understanding of the oviposition behavior of the vector, can also be used to propose improvements in the trap and enhance its effectiveness. In addition, it was also demonstrated the effectiveness of the trap in monitoring and identifying areas infested by *Ae. aegypti*, providing necessary information to guide vector control activities.

**Keywords:** *Aedes aegypti*, Gravid *Aedes* Trap, Vector monitoring, behavioral analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Armadilha BG-Sentinel. ....	24
<b>Figura 2.</b> Armadilha MosquiTRAP. ....	25
<b>Figura 3.</b> Armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap. ....	26
<b>Figura 4.</b> Interior da gaiola construída com tubo de policloreto de vinila (PVC) para realização dos experimentos com armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap. Posições das câmeras centralmente instaladas no interior da gaiola. (VL1: vista lateral superior, VL2: vista lateral, VS: vista superior).....	35
<b>Figura 5.</b> Vistas da armadilha oferecidas pelas câmeras posicionadas no interior da gaiola. (VL1: vista lateral, VL2: vista lateral, VS: vista superior, VI: vista do interior da armadilha). .....	36
<b>Figura 6a.</b> Porcentagem de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i> capturadas na câmara translúcida da armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap com diferentes estímulos olfativos durante o experimento. ....	40
<b>Figura 7.</b> Número de eventos realizados por fêmeas <i>Aedes aegypti</i> diante da armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap com diferentes estímulos olfativos. A: armadilha controle (sem atraente); B: armadilha iscada com infusão de capim colônia; C: armadilha iscada com atraente sintético) por tempo de experimento. Linha de tendência baseada em uma equação polinomial de 3º grau. .....	42
<b>Figura 8.</b> Proporção de voos, toques e pousos ocorridos nas armadilhas controle, iscadas com atraente natural (infusão) e iscadas com atraente sintético ( <i>AtrAedes</i> ). ....	44
<b>Figura 9.</b> Padrão de voo rápido, de aproximação e circular das grávidas de <i>Aedes aegypti</i> frente a armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap iscadas com (C), iscadas com Infusão (I) ou atraente (A). Comparação de diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria de “tipo de voo”. Letras diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).....	45
<b>Figura 10.</b> Comportamento de toque de grávidas de <i>Aedes aegypti</i> em diferentes partes da armadilha controle (C), iscadas com infusão (I) ou atraente (A). Comparação estatística dos diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria “local de ocorrência” do toque. Letras	

diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Trans/base= região de junção entre a parte translúcida e a base da armadilha. .... 46

**Figura 11.** Comportamentos das fêmeas de *Aedes aegypti* no interior do funil para os tratamentos controle, atraente e infusão. (C= controle, I = infusão, A = atraente). Comparação estatística dos diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria “entrada da armadilha”. Letras diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ )...... 47

**Figura 12.** Etograma da sequência de comportamentos de captura fêmeas de *Aedes aegypti* para os tratamentos controle, infusão e atraente..... 49

**Figura 13.** Etograma da sequência de comportamentos gerais de fêmeas de *Aedes aegypti* para os tratamentos controle, infusão e atraente..... 50

**Figura 14.** Mecanismos de funcionamento da armadilha para os tratamentos controle, infusão e atraente..... 51

**Figura 15.** Mapa da área de estudo, mostrando a localização da Universidade Federal de Minas Gerais na cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais..... 61

**Figura 16.** Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais e a setorização realizada para o presente estudo juntamente com suas respectivas edificações..... 65

**Figura 17.** Distribuição das 168 armadilhas Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. Cada ponto demonstra a localização georreferenciada de uma armadilha. .... 68

**Figura 18.** Interface do Sistema de Monitoramento do *Aedes* (MI-*Aedes*) para o cadastramento de número, espécie e sexo dos mosquitos capturados e condições das armadilhas nas vistorias. .... 69

**Figura 19.** Painel de controle do Sistema de Monitoramento Inteligente do *Aedes* (MI-*Aedes*) com mapa georreferenciado das armadilhas e informações sobre a vistoria da semana epidemiológica de referência (SE 47 de 2018)...... 70

**Figura 20.** Média de fêmeas de *Aedes aegypti* dos setores da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019. O ponto acima da barra representa os valores outliers de cada conjunto de dados..... 75

<b>Figura 21.</b> Índice Médio de Fêmeas (IMFA) de <i>Aedes aegypti</i> nas edificações do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais em 2017 a 2019. ....	76
<b>Figura 22.</b> Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i> capturadas por armadilhas Gravid <i>Aedes</i> Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.....	78
<b>Figura 23.</b> Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de <i>Aedes albopictus</i> capturadas por armadilhas Gravid <i>Aedes</i> Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.....	79
<b>Figura 24.</b> Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de <i>Culex</i> sp. capturadas por armadilhas Gravid <i>Aedes</i> Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019. ....	80
<b>Figura 25.</b> Índice Médio de Fêmeas Gravidas de <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> e <i>Culex</i> sp. durante os anos de 2017, 2018 e 2019 na Universidade Federal de Minas Gerais. ....	82
<b>Figura 26.</b> Variação do IMFA semanal das fêmeas de <i>Aedes aegypti</i> pela armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap nos setores A – F da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019. ....	84
<b>Figura 27.</b> Dados meteorológicos da estação automática da Universidade Federal de Minas Gerais.....	85
<b>Figura 28.</b> Ranking do número de ações de controle empregadas nos prédios do campus Pampulha durante o período de estudo.....	86
<b>Figura 29.</b> Categoria da ação de controle empregada no campus Pampulha nos anos de 2017, 2018, 2019. *2 ou mais = ações da prefeitura que envolvia aplicação de larvicida e eliminação de criadouros simples. ....	86
<b>Figura 30.</b> Flutuação populacional de <i>Aedes aegypti</i> capturados pela armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap mensalmente nos anos de 2017 a 2019, na Escola de Veterinária no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG). As setas indicam a realização de atividades de controle vetorial na área realizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte.....	87

<b>Figura 31.</b> Trecho do córrego Engenho Nogueira situado dentro da área do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais antes das ações. ....	88
<b>Figura 32.</b> Alterações desenvolvidas no trecho do córrego Engenho Nogueira localizado situado dentro da área do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. (A) Limpeza da área com a retirada de vegetação; (B) Retirada de sedimentos do córrego; (C) Ação finalizada, fluxo do córrego em período de estiagem; (D) Ação finalizada, fluxo do córrego em período de chuva.....	88
<b>Figura 33.</b> Flutuação populacional de <i>Culex</i> sp. capturados pela armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap nos anos de 2017 a 2019, na Escola de Engenharia, Colégio Técnico e Departamento de Química do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG).....	89

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Ilustrações das categorias dos comportamentos de *Aedes aegypti* diante da armadilha GAT nas partes da armadilha em que foram realizados..... 38
- Quadro 2.** Especificação da frequência de eventos realizada por *Aedes aegypti* em diferentes partes da armadilha Gravid *Aedes* Trap para os eventos de toque e entrada..... 39
- Quadro 3.** Setorização dos prédios do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais de acordo com a instalação das armadilhas Gravid *Aedes* Trap para o monitoramento do *Aedes aegypti*..... 63
- Quadro 4.** Número de armadilhas presentes nos 46 prédios em cada mês. As células em verde indicam que houve instalação de armadilhas, as células em vermelho indicam que houve retirada de armadilhas..... 66
- Quadro 5.** Cronograma de realização das atividades de controle no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais de 2017 a 2019. .... 72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Avaliação da armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap com diferentes estímulos olfativos na captura de grávidas de <i>Aedes aegypti</i> . .....	39
<b>Tabela 2.</b> Frequência, média e erro padrão dos comportamentos de voo, pouso, toque e entrada das fêmeas na armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap nos diferentes tratamentos (controle, atraente e infusão). .....	43
<b>Tabela 3.</b> Comportamento de pouso na armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap considerando local de ocorrência na armadilha e diferentes estímulos olfativos.....	46
<b>Tabela 4.</b> Número de culicídeos capturados pela armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017 a 2019. ....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACE</b>	Agente de Combate a Endemia
<b>BGS</b>	Biogens Sentinel
<b>CDC-AGO</b>	<i>Centers for Disease Control and Prevention autocidal gravid ovitraps</i>
<b>CDTN</b>	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>DAV</b>	Departamento de Áreas Verdes
<b>DEMAI</b>	Departamento de Manutenção e Infraestrutura
<b>DENV</b>	Dengue Vírus
<b>DGA</b>	Departamento de Gestão Ambiental
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>GAT</b>	Gravid <i>Aedes</i> Trap
<b>GERCZO</b>	Gerência de Controle de Zoonoses
<b>GLMM</b>	Modelo Linear Generalizado Mistos
<b>IB</b>	Índice de Breteau
<b>IC</b>	Iniciação Científica
<b>IIP</b>	Índice de Infestação Predial
<b>IIR</b>	Índice de Tipo de Recipiente
<b>IMFA</b>	Índice Médio de Fêmeas Gravidas de <i>Aedes aegypti</i>
<b>LINTEC</b>	Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo no Controle de Vetores
<b>LIRAA</b>	Levantamento Rápido de Índices para <i>Aedes aegypti</i>
<b>MG</b>	Minas Gerais
<b>MI-<i>Aedes</i></b>	Sistema de Monitoramento Inteligente do Aedes
<b>MQT</b>	MosquiTRAP
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>OPAS</b>	Organização Pan-americana de Saúde
<b>PBH</b>	Prefeitura de Belo Horizonte
<b>PE</b>	Ponto estratégico
<b>PNCD</b>	Programa Nacional de Controle da Dengue
<b>PVC</b>	Policloreto de vinila
<b>RT-qPCR</b>	PCR quantitativa em tempo real
<b>SE</b>	Semana Epidemiológica
<b>SVS</b>	Secretaria de Vigilância em Saúde
<b>UBV</b>	Ultra Baixo Volume
<b>UFMG</b>	Universidade Federal de Minas Gerais
<b>ZIKV</b>	Zika vírus

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 Aspectos gerais sobre a biologia do <i>Aedes aegypti</i> .....	19
1.2 Importância epidemiológica .....	20
1.3 Controle vetorial .....	21
1.4 Vigilância entomológica .....	22
1.5 Armadilhas .....	23
1.5.1 BG-Sentinel .....	24
1.5.2 MosquiTRAP .....	25
1.5.3 Gravid <i>Aedes</i> Trap .....	25
1.6 Comportamento do inseto frente a armadilhas .....	27
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>28</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 Geral .....	29
3.2 Específicos .....	29
 <b>CAPÍTULO I: Avaliação do comportamento de fêmeas grávidas de <i>Aedes aegypti</i> frente a armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap</b>	
<b>RESUMO .....</b>	<b>31</b>
<b>I.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>I.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>33</b>
I.2.1 Objetivo geral .....	33
I.2.2 Objetivos específicos .....	33
<b>I.3 METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
I.3.1 Mosquitos .....	34
I.3.2 Gravid <i>Aedes</i> Trap .....	34

I.3.3 Gravação do comportamento de grávidas <i>Aedes aegypti</i> .....	34
I.3.4 Procedimento experimental.....	36
I.3.5. Análise dos dados.....	37
<b>I.4 RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
I.4.1 Categorias dos comportamentos observados e analisados .....	37
I.4.2 Captura dos mosquitos na armadilha .....	39
I.4.3 Atividade dos mosquitos .....	41
I.4.4 Dinâmica comportamental .....	43
I.4.4.1 Direcionamento dos mosquitos à armadilha .....	44
I.4.4.2 Chegada e interação dos mosquitos à armadilha.....	45
I.4.4.3 Entrada na armadilha pelo funil .....	47
I.4.4.4 Padrão comportamental.....	49
<b>I.5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>I.6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>

## **CAPÍTULO II: Monitoramento de *Aedes aegypti* no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais pela armadilha Gravid *Aedes* Trap**

<b>RESUMO.....</b>	<b>58</b>
<b>II.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>II.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>60</b>
II.2.1 Objetivo geral .....	60
II.2.2 Objetivos específicos .....	60
<b>II.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
II.3.1 Local do estudo .....	61
II.3.2 Armadilha Gravid <i>Aedes</i> trap.....	62
II.3.3 Atividades desenvolvidas .....	62
II.3.3.1 Parcerias para execução das atividades do projeto .....	62
II.3.3.2 Instalação de armadilhas .....	63

II.3.3.3	Vistoria das armadilhas - Monitoramento de Culicídeos.....	68
II.3.3.3.1	Sistema MI- <i>Aedes</i> .....	69
II.3.3.4	Atividades de controle de mosquito no campus Pampulha (UFMG) baseado no MI- <i>Aedes</i> .....	70
II.3.4	Obtenção de dados meteorológicos .....	73
II.3.5	Indicadores Entomológicos e análises estatísticas dos dados .....	73
<b>II.4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
II.4.1	Captura de culicídeos pela armadilha Gravid <i>Aedes</i> Trap.....	73
II.4.2	Indicadores entomológicos .....	74
II.4.3	Variação temporal.....	81
II.4.4	Variações climáticas .....	85
II.4.5	Ações de controle.....	85
II.4.5.1	Escola de veterinária: controle de <i>Aedes aegypti</i> .....	87
II.4.5.2	Controle de <i>Culex</i> sp.....	87
<b>II.5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>II.6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
<b>4.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Aspectos gerais sobre a biologia do *Aedes aegypti*

O *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) é uma espécie originária da região afrotropical e atualmente é cosmopolita, estando presente, principalmente, em regiões tropicais e subtropicais (Kraemer et al., 2015, WHO, 2016). No Brasil, sua introdução ocorreu no período colonial por via marítima (Foratini, 2002), porém, entre os anos de 1958 e 1973 ocorreram várias campanhas de controle vetorial que resultaram em erradicações e reintroduções do *Ae. aegypti* no país (Zara et al., 2016). Em 1976, esta espécie foi reintroduzida e se dispersou pelo país de forma definitiva, sendo, atualmente, endêmica em todo o território brasileiro (Zara et al., 2016).

O *Ae. aegypti* possui ciclo de vida holometábolo, apresentando os estágios de ovo, larva (com quatro estádios L1-4), pupa e adultos. Os ovos possuem formato cilíndrico e são comumente depositados nas paredes dos recipientes acima da linha d'água e, devido à sua grande resistência, podem ficar fora da água permanecendo viáveis por até 450 dias (Gadelha e Toda 1985; Foratini, 2002). Os locais de oviposição são selecionados considerando alguns fatores, como ambientes escuros, sombreados e superfície do recipiente com textura (Bentley e Day 1989). Além disso, os ovos podem ser depositados em vários recipientes e em quantidades diferentes, um comportamento denominado “oviposição em saltos”, o qual dificulta a realização do controle vetorial com base em fases imaturas do mosquito (Corbet e Chadee, 1993; Abreu et al., 2015). Após os ovos entrarem em contato com a água, a eclosão das larvas ocorre em um período de 2 a 3 dias e se desenvolvem em água parada, levando aproximadamente 5 dias de L1 a L4, em condições ideais de temperatura e disponibilidade de nutrientes, dando origem as pupas (Eiras, 2016).

Em fase adulta, o mosquito apresenta corpo enegrecido, tórax ornamentado com desenho em formato de lira, pernas e abdômen com manchas branco-prateadas (Foratini, 2002). Machos e fêmeas se alimentam de solução açucarada, entretanto, a fêmea também se alimenta de sangue, pois utiliza os nutrientes para a maturação dos ovos. O repasto sanguíneo ocorre durante o dia, principalmente, nas primeiras horas matutinas e vespertinas. O ciclo gonotrófico do mosquito que se inicia com a hematofagia finaliza com a oviposição, porém, em alguns casos, a espécie apresenta discordância gonotrófica, isto é, a necessidade de realizar o repasto sanguíneo mais de uma vez para o amadurecimento ovariano (Clements, 1999; Barata et al.,

2001), característica que, conseqüentemente, aumenta o número de hospedeiros picados, favorecendo a dispersão de patógenos (Smith et al., 2012).

## 1.2 Importância epidemiológica

A importância do *Ae. aegypti* está na transmissão de arbovírus de grande impacto para saúde pública (Terra, 2017; Espinal et. al, 2019), sendo vírus da Dengue, Chikungunya, (WHO, 2018) e o Zika (Schuler-Faccini, 2016) os de maior relevância atualmente.

A dengue, causada por um vírus da família Flaviviridae, gênero *Flavivirus*, possui quatro sorotipos virais DENV-1 a 4 e ocorre em mais de 100 países, com estimativa de até 400 milhões de pessoas infectadas anualmente (CDC, 2020). Caracterizada por suas sucessivas endemias (San Martin et al., 2010), o número de casos registrados é crescente desde os anos de 1970 (WHO, 2016). No Brasil, os anos de 2015 e 2016 registraram o maior número de casos de dengue (SVS, 2016; SVS, 2017), contudo, apesar da queda nos anos subsequentes, o que pode ser explicada pelos ciclos epidêmicos (3 a 5 anos) característicos dessa arbovirose (San Martin et al., 2010), a doença não deixou de ser um grande problema de saúde pública. Em 2019, foi registrado um aumento de mais de 600% de casos prováveis em relação à 2018 (MS, 2019). Nesse ano estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás foram destaque e juntos concentraram 67,9% dos casos prováveis de Dengue do país (SVS, 2020). Em 2020, diante da pandemia do Coronavírus, houve uma redução de 37% no número de casos de Dengue, possivelmente influenciado pelo receio da população de procurar atendimento em uma unidade de saúde, contudo, ainda assim, este foi um dos anos com a maior ocorrência da doença (SVS, 2021).

A Chikungunya é causada por um vírus pertencente à família Togaviridae e gênero *Alphavirus*. No mundo, surtos isolados da doença foram observados a partir de 2005 (Burt et al., 2012) e em 2013 a doença chegou nas américas. Em 2014, foi identificada pela primeira vez no Brasil a circulação do vírus no país e desde então prevalece como um dos problemas de Saúde Pública (SVS, 2015, Espinal, 2017).

Em 2015, o Zika vírus (Flaviviridae: *Flavivirus*) foi reportado pela primeira vez no Brasil, com registros de autoctonia em 18 estados (Zanluca et al., 2015; SVS, 2016). Apesar da aparente benignidade da doença, quadros mais severos são associados ao Zika, como microcefalia que foram registrados majoritariamente nos estados de Pernambuco, Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraíba (MS, 2019). Além disso, esse vírus também foi associado ao aumento do risco de complicações neurológicas, tais como síndrome de Guillain-Barré,

neuropatia e mielite (OMS, 2018). Em 2016, foram relatados 216.207 casos prováveis de Zika, maior registro até hoje da doença (SVS, 2017).

### 1.3 Controle vetorial

O controle vetorial é um componente essencial para prevenir a disseminação dos arbovírus veiculados pelo *Ae. aegypti* e por esta razão desde a sua introdução no país diversas estratégias para tentar erradicá-lo foram criadas (Guzman et al., 2010; Wong et al., 2011; Maciel-de-Freitas et al., 2012). Contudo, a ampla dispersão destes mosquitos inviabilizou a possibilidade de erradicação, fazendo-se necessária a atualização dos planos e estratégias voltados ao vetor (Teixeira et al., 1996; FUNASA, 2002). Em 2002, foi elaborado pelo Ministério da Saúde o Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD), o qual estabeleceu como objetivo a redução da infestação do *Ae. aegypti* em todos os municípios e a manutenção de sua densidade em níveis aceitáveis. Para isso, seguiu-se com o uso de ações já preconizadas envolvendo atividades de controle mecânico, biológico e químico (FUNASA, 2001; MS, 2009).

Essas atividades concentram-se, principalmente, na eliminação de focos do vetor. Por meio do controle mecânico há a remoção ou o manejo adequado dos criadouros (MS, 2009). O controle químico, por sua vez, é incorporado às atividades por meio da utilização de larvicidas (organofosforados), para diminuir a densidade larval, ou inseticidas, para o controle de adultos. Este último segue as normas técnicas e operacionais da Organização Mundial de Saúde (OMS) e quando aplicado afeta de maneira imediata a população do mosquito, sendo capaz de conter a transmissão dos vírus ao diminuir o contato vetor-humano. É uma medida emergencial aplicada somente em casos de surtos ou epidemias e a principal desvantagem é a possibilidade do surgimento de resistência nos mosquitos, por isso recomenda-se que seja aplicado de forma racional (MS, 2009).

Outras estratégias direcionadas as fases imaturas do inseto relacionam-se ao controle biológico, no qual, há o uso de patógenos, parasitos ou predadores de larvas ou pupas. Atualmente, os mais utilizados são (a) *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), que tem ação inibidora de desenvolvimento das larvas de *Ae. aegypti*, utilizado como larvicida, e (b) peixes larvóforos, normalmente dos gêneros *Gambusia* e *Poecilia*, que se alimentam das larvas (MS, 2009; OPAS, 2019). Estas abordagens aparecem, muitas vezes, como alternativas a resistência do mosquito à químicos.

Embora as estratégias acima citadas sejam amplamente aplicadas por programas de controle vetorial, há uma crescente necessidade de otimização, seja com uso integrado e efetivo de métodos já existentes, algo que vem sendo sugerido há décadas, seja com o desenvolvimento

de novas alternativas (Achee et al., 2019, OPAS, 2019). Apesar disso, a vigilância entomológica apresenta-se como etapa crucial do processo de otimização por propiciar o direcionamento das ações de controle, possibilitando o seu emprego eficiente e em tempo hábil (WHO, 2017).

#### 1.4 Vigilância entomológica

A vigilância entomológica consiste na contínua observação e avaliação de informações associadas ao vetor em diferentes níveis, seja sobre características biológicas e ecológicas, interação com humanos e animais reservatórios, mudanças de perfil da transmissão sua finalidade associa-se ao controle e prevenção de doenças (Gomes, 2002).

Se tratando de indicadores entomológicos, diferentes métodos podem ser empregados na vigilância entomológica para o levantamento de índices de infestação do *Ae. aegypti* em um determinado local, que variam conforme a fase alvo do ciclo de vida do mosquito (Achee et al., 2019). No Brasil, o Ministério da Saúde preconiza metodologias de monitoramento voltadas às fases imaturas do inseto, as quais são aplicadas, principalmente, através das visitas domiciliares. Durante as visitas, o levantamento de indicadores entomológicos é realizado, majoritariamente, por meio de pesquisas larvárias, que consistem na coleta de larvas e pupas em criadouros positivos para a presença do *Ae. aegypti* (MS, 2009).

Desde 2002, as pesquisas larvárias são realizadas a partir do Levantamento de Índice Rápido para *Aedes aegypti* (LIRAA), o qual utiliza métodos de amostragem para obtenção dos índices de infestação mais rapidamente (MS, 2009; MS, 2013). A densidade populacional e o número de imóveis são fatores determinantes para o delineamento da amostra. De forma geral, os conglomerados são definidos a partir do sorteio dos quarteirões e 20% dos imóveis de cada quarteirão são inspecionados, sendo todos os depósitos de água vistoriados. A partir dos dados coletados são estimados o (a) Índice de Infestação Predial (IIP), que indica a porcentagem de imóveis positivos dentre os pesquisados; (b) Índice de Breteau (IB), que expressa a relação entre recipientes positivos e imóveis inspecionados; e (c) Índice de Tipo de Recipiente (ITR), que demonstra a proporção de recipientes positivos considerando os tipos de recipientes encontrados (MS, 2013).

Outro método preconizado para o levantamento de indicadores entomológicos é a utilização de uma armadilha de oviposição, a ovitrampa (Fay e Eliason, 1966; MS, 2009), a qual é amplamente reconhecida por ser um método altamente sensível à detecção de *Ae. aegypti*, econômica e de fácil manuseio (Focks, 2003). A ovitrampa consiste em um recipiente plástico de cor preta, contendo uma palheta de fibra de madeira, com um lado corrugado e o outro liso, como substrato de oviposição para as fêmeas e infusão de feno como atraente (Fay e Eliason,

1966). Sua inspeção é semanal e a distribuição deve ser de, no mínimo, uma armadilha a cada nove quarteirões (MS, 2009).

Ambas as metodologias supracitadas apresentam limitações. A pesquisa larvária é um método adotado desde a primeira metade do século 20 pelos programas de vigilância, mantendo-se praticamente inalterado desde então, além de ser um método considerado de baixa sensibilidade e laborioso devido a carga de trabalho intensa, tanto em campo quanto em laboratório (Regis et al., 2013). Além disso, a precisão das taxas de risco de dengue fornecidas pelo programa é contestável, uma vez que utiliza índices baseados na coleta das formas imaturas do vetor, as quais apresentam uma baixa correlação com o risco de transmissão das arboviroses (Sivagnaname e Gunasekaran, 2012; Maccormack-Gelles et al., 2020). A ovitrampa, por sua vez, também possui como base a fase imatura do inseto e como as fêmeas apresentam variação no número de ovos colocados por recipiente, os indicadores oferecidos por esse método podem não demonstrar a real infestação vetorial (Costa, 2014; Abreu et al., 2015).

Dessa forma, índices de infestação embasados na população de adultos são mais indicados para o monitoramento vetorial, visto que podem fornecer melhores estimativas de frequência, distribuição e densidade do vetor (Sivagnaname e Gunasekaran, 2012; Eiras et al., 2019). Estas informações são essenciais para a avaliação do risco de transmissão de arbovírus, direcionamento e avaliação das ações de controle. Portanto, para programas de vigilância entomológica, as armadilhas apresentam-se como boas alternativas para estimar os parâmetros entomológicos.

## 1.5 Armadilhas

Nas últimas décadas, diversos dispositivos vêm sendo desenvolvidos e avaliados objetivando a obtenção de métodos de captura eficientes. Atualmente existem inúmeras armadilhas para amostrar a população de *Ae. aegypti*, que podem variar de acordo com especificidade, custo, manuseio e o estágio fisiológico alvejado dos mosquitos (Codeço et al., 2015; Eiras et al., 2021a).

Estas armadilhas são divididas em ativas e passivas, sendo as primeiras caracterizadas pelo uso de energia elétrica para o seu funcionamento e, normalmente, possuem uma fonte luminosa ou um ventilador para sucção dos insetos atraídos para o interior da armadilha, como a armadilha BG-Sentinel (BGS) (Krockel et al., 2006). De maneira oposta, as armadilhas passivas não necessitam de eletricidade para funcionarem, as quais são compostas por um conjunto de fatores atrativos que promovem a chegada e a entrada do mosquito, bem como a sua retenção no interior da armadilha. Como exemplo há a MosquiTRAP (MQT) (Eiras et al.,

2002), a Autocidal Gravid Ovitrap (CDC-AGO) (Barrera et al., 2014) e a Gravid *Aedes* Trap (GAT) (Eiras et al., 2014).

### 1.5.1 BG-Sentinel

A BGS é uma armadilha desenvolvida na Universidade de Regensburg (Regensburg, Alemanha) e comercializada pela empresa Biogents (Regensburg, Alemanha). Possui estrutura cilíndrica (diâmetro de 35 cm e comprimento com 40 cm) de cor branco, ventilador elétrico que forma correntes de ar capazes de realizar a sucção dos mosquitos que se aproximam e dispersão do odor presente no interior da armadilha (Figura 1). Há o uso do atraente sintético BG-Lure, constituído por compostos que simulam o odor humano. Alternativamente a esse atraente, também pode ser utilizado o gelo seco, fonte de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Kröeckel et al., 2006; Ázara et al., 2013). Esta é uma das armadilhas mais utilizadas em todo o mundo e sua eficácia em capturar o *Aedes* spp. já foi demonstrada em diversos estudos (Williams et al., 2006; Maciel-de-Freitas et al., 2006; Englbrecht et al., 2015; Roiz et al., 2016), sendo observada também para outros culicídeos de importância médica (Ázara et al., 2013).

Além disso, um trabalho realizado por Degener e colaboradores (2014) em Manaus constatou a capacidade da armadilha BGS em controlar populações de *Ae. aegypti* ao reduzir significativamente a abundâncias principalmente de fêmeas do vetor através da captura em massa. Contudo, a necessidade de energia elétrica e o elevado valor de comercialização da tecnologia, aproximadamente US\$ 180,00 sem incluir as taxas de importação e transporte, são limitantes que podem inviabilizar a utilização desta armadilha em larga escala.



**Figura 1.** Armadilha BG-Sentinel. Fonte: <https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/16/6/09-1000-f1>

### 1.5.2 MosquiTRAP

A armadilha MosquiTRAP, desenvolvida pela UFMG e licenciada pela empresa Ecovec-Rentokil, é um dispositivo que consiste em um contêiner preto fosco (33 cm de altura e 15 cm de largura), dividido em duas partes, uma base inferior, onde é adicionado 300 ml de água, e uma parte superior com uma abertura em forma de funil (Eiras, 2002) (Figura 2). No interior da armadilha são adicionados um atraente sintético, específico para atrair fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* a procura de locais para ovipor, e um cartão adesivo localizado entre a linha de água na base inferior e a parte superior da armadilha, no qual as fêmeas ficam retidas no momento da postura e pode ser facilmente retirado no momento da vistoria (Eiras e Resende, 2009; Resende, 2010).



**Figura 2.** Armadilha MosquiTRAP. Fonte: <https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/16/6/09-1000-fl>

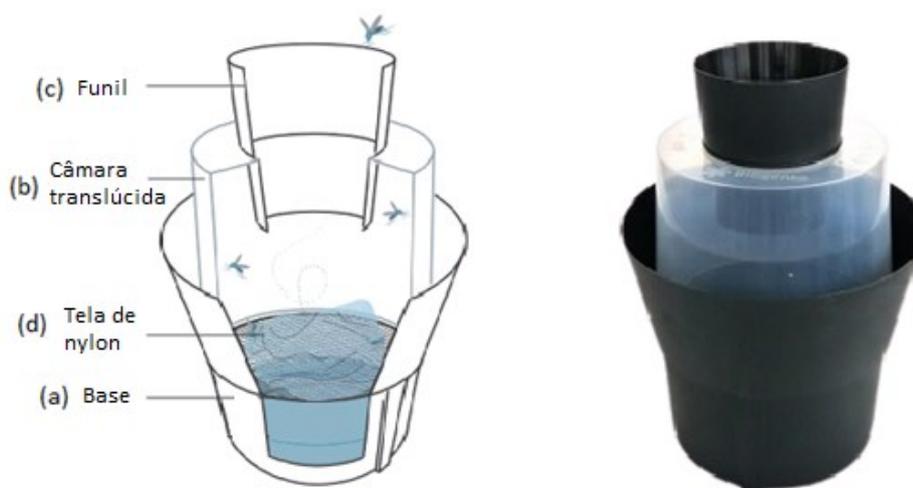
A MosquiTRAP foi comparada com diversos métodos de amostragem de *Ae. aegypti* para o levantamento de indicadores entomológicos e também em monitoramento em larga escala (Fávaro et al., 2006; Maciel-de-Freitas et al., 2008; Eiras e Resende, 2009; Melo et al., 2012). Ao serem comparadas com aspiradores de Nanci, método de busca ativa para captura de mosquitos adultos, apresentaram sensibilidade semelhante para detecção de *Ae. aegypti* (Favaro et al. 2008; Maciel-de-Freitas et al. 2008). Em estudos conduzidos no Rio de Janeiro, as MQT apresentaram resultados compatíveis com os encontrados pelas Ovitampas (Honório et al., 2009b). Resende e colaboradores (2013) comparou MQT, ovitrampa e pesquisa larvária e observaram que as três metodologias apresentavam correlação. Além disso, demonstraram ser capazes de apresentar indicadores entomológicos preditivos para surtos de dengue (Ferreira et al., 2017; Pepin et al. 2013).

### 1.5.3 Gravid Aedes Trap

A GAT foi desenvolvida pela Universidade de James Cook, Austrália, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (Eiras e Ritchie, 2012 – Patente). Embora, assim como a BG-Sentinel, seja produzida e comercializada pela BioGents (~US\$ 20,00), atualmente,

também está sendo produzida e será comercializada no Brasil pela empresa Biocontrole (Indaiatuba, SP), por um custo aproximado de R\$ 75,00.

Baseado em um estudo comportamental sequencial foram avaliados diferentes tamanhos, formatos e tamanhos das partes que constituem a GAT. A partir disso, elaborou-se uma armadilha constituída (a) um balde preto de 10L, posicionado na parte inferior da armadilha e onde são inseridos 1,5L de água; (b) uma câmara translúcida de 5,1L, posicionada acima do balde preto; (c) um funil de entrada (14 cm de altura e 13 cm de diâmetro), posicionado acima da câmara translúcida; e (d) uma tela de nylon disposta entre a câmara translúcida e a base para evitar o contato dos insetos com a água (Eiras et al., 2014) (Figura 3). Para retenção e morte dos mosquitos capturados, no interior da câmara translúcida podem ser utilizados um cartão adesivo, óleo de canola ou inseticida em spray ou impregnado em uma tela (Heringer et al., 2016). Os atrativos comumente utilizados são a infusão de feno envelhecida ou o atraente sintético *AtrAedes*<sup>®</sup>, composto por voláteis da infusão de capim colonião (*Panicum maximum*).



**Figura 3.** Armadilha Gravid *Aedes* Trap. Fonte: Biogents.

Esta armadilha foi projetada para capturar fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* a procura de locais para oviposição, porém, também demonstrou capacidade de atrair e aprisionar fêmeas de *Aedes albopictus* e *Culex* spp. (Eiras et al., 2014; Ritchie et al., 2014). É de fácil instalação, manuseio, baixo custo e a identificação dos mosquitos capturados pode ser realizada de forma eficiente em campo, com operacionalidade semelhante à da MosquiTRAP (Resende et al., 2010; Ritchie et al., 2014; Biogents, 2017). Tem sido utilizada para amostrar populações de

fêmeas de *Ae. aegypti* e, além de ser utilizada em programas de monitoramento de vetores do gênero *Aedes* spp. demonstra potencial como ferramenta de controle vetorial (Cilek et al., 2017; Becker et al. 2017; Mota, 2018; Johnson et al., 2018).

Estudos comparativos demonstraram que a GAT foi mais eficiente que diversas armadilhas em capturar *Ae. aegypti*. Quando comparada com a BG-Sentinel, o número de *Ae. aegypti* capturadas foi maior na BGS, porém o número de grávidas foi significativamente maior na GAT, sendo encontradas 30% mais fêmeas grávidas nesta armadilha (Ritchie et al., 2014; Cilek et al., 2017). Quando comparada a outras armadilhas passivas e adesivas, a GAT foi mais eficiente em capturar grávidas de *Ae. aegypti* do que Double Sticky Ovitrap e a MosquiTRAP em condições de semicampo, capturando em média 2,4 e 3,7 mais fêmeas, respectivamente (Ritchie et al., 2014).

O potencial da GAT como ferramenta de controle de fêmeas de *Aedes albopictus* foi avaliado em campo nos E.U.A. (Johnson et al., 2017) e Alemanha (Becker et al., 2017), enquanto para o controle de fêmeas de *Ae. aegypti* foi no Brasil (Mota, 2018).

## 1.6 Comportamento do inseto frente a armadilhas

A projeção de uma armadilha para captura de insetos vetores tem como base diferentes estágios fisiológicos das fêmeas, ou seja, as que estão à procura de repasto sanguíneo ou de ambientes de oviposição.

Para as fêmeas a procura de repasto, normalmente, há o uso de armadilhas ativas com adição de compostos que juntos simulam o odor humano, tais como, amônia, ácido lático, ácido capróico e/ou CO<sub>2</sub>. Para as fêmeas a procura de locais de oviposição é necessário simular um criadouro com as melhores condições possíveis, sendo todos os fatores presentes atrativos (Bentley e Day, 1989), por exemplo, estímulos físicos como a presença de água, a coloração escura do ambiente, textura e temperatura (Day, 2016); e estímulos químicos, como a presença de matéria orgânica (Wong et al., 2012), infusão de graminea (Sant'Ana et al., 2006) ou atraentes sintéticos (Eiras e Resende, 2009).

Apesar do amplo conhecimento sobre como diferentes estímulos influenciam o comportamento dos vetores, o seu entendimento diante das armadilhas ainda é restrito. Coperband e Cardé (2006) foram pioneiros em estudos na área ao investigar o comportamento de *Culex* sp. em diferentes modelos de armadilhas e relataram alteração no padrão de voo dos insetos à medida que se aproximavam das armadilhas. Crebellier et al. (2018) e Batista et al. (2019) estudaram o voo de espécies de *Anopheles* em torno das armadilhas BG-Suna e BG-Malária, respectivamente, e observaram alterações no padrão de voo dos insetos de acordo com

a posição de instalação das armadilhas, demonstrando que os resultados desse tipo de estudo auxiliam na otimização e aumento da eficácia de captura das armadilhas. Lima e Eiras (2010) realizaram um estudo em laboratório que, embora não seja associado às armadilhas, apresenta importantes contribuições para estudos comportamentais sobre armadilhas de oviposição, ainda inexistentes. Nele, foram identificados padrões ovipositivos e pré-ovipositivos realizados por *Culex* sp. em ambientes de oviposição.

## 2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, a vigilância entomológica apresenta desafios em amostrar efetivamente a população de *Ae. aegypti*. Isso se deve ao fato de o Ministério da Saúde ainda preconizar métodos antigos, com base nas fases imaturas do vetor. Para alguns ambientes as limitações desses métodos ficam ainda mais evidentes, como é o caso do campus Pampulha de UFMG, considerado um ponto estratégico.

Este local possui peculiaridades estruturais que favorecem a proliferação do *Ae. aegypti*, sendo a presença deste vetor relatada desde 2002. Além disso, é um local com circulação diária de cerca de 60 mil pessoas entre funcionários, estudantes, técnicos e prestadores de serviços, provenientes de Belo Horizonte e diversos municípios da região metropolitana que favorece a circulação de arbovírus. Eiras et al. (2018) identificaram, pela primeira vez em um campus universitário, a circulação dos arbovírus DENV1, DENV3 e ZIKV. Esses fatores associados demonstram como o campus pode ser centro de dispersão de arbovírus, necessitando de métodos mais eficazes em localizar áreas críticas para direcionar mais rapidamente o controle vetorial.

O uso de armadilhas georreferenciadas apresentam-se como métodos alternativos eficazes. Dentre as inúmeras armadilhas para captura de *Ae. aegypti*, a GAT vem sendo bastante estudada e tem apresentado bons resultados no monitoramento de vetores ao redor do mundo, além de ser de fácil manuseio e baixo custo. Entretanto, ainda não foi aplicada em larga escala em um centro de transmissão como a UFMG. Além disso, existe a necessidade de um melhor entendimento do mecanismo de funcionamento dessa armadilha, pois ampliar o conhecimento sobre o comportamento dos mosquitos frente a armadilha pode ser útil para implementá-la adequadamente e, possivelmente, melhorar a eficácia da armadilha.

Assim, visando contornar as limitações metodológicas existentes nas abordagens tradicionais de vigilância entomológica em pontos estratégicos, a armadilha GAT foi utilizada

como método de monitoramento vetorial. Paralelamente a isso, o mecanismo de funcionamento dessa armadilha foi explorado de forma pioneira.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Geral

Avaliar o mecanismo de funcionamento da armadilha Gravid *Aedes* Trap (GAT) através de vídeo-análise e seu uso como ferramenta de monitoramento de *Aedes aegypti* campus Pampulha da UFMG.

#### 3.2 Específicos

- Avaliar parâmetros comportamentais de grávidas de *Ae. aegypti* ao se aproximarem da armadilha GAT.
- Comparar os comportamentos de grávidas de *Ae. aegypti* na armadilha GAT iscada com atraentes de oviposição natural e sintéticos.
- Identificar áreas com alta infestação de *Ae. aegypti* no campus Pampulha da UFMG e definir *hotspots*.
- Analisar a variação espacial e temporal de *Ae. aegypti*.
- Verificar a correlação da densidade de *Ae. aegypti* e variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade e umidade) no campus Pampulha.
- Orientar ações de controle a serem realizadas no campus Pampulha.

## **CAPÍTULO I**

Avaliação do comportamento de fêmeas grávidas de *Aedes aegypti* frente a armadilha Gravid  
*Aedes* Trap

## RESUMO

Existem vários tipos de armadilhas para a coleta de ovos e captura de adultos do mosquito *Aedes aegypti* que utilizam atraentes naturais ou sintéticos, porém o comportamento de aproximação dos insetos às armadilhas atrativas ainda é desconhecido. Dentre as armadilhas, a Gravid *Aedes* Trap (GAT) se destaca devido alta sensibilidade, especificidade e eficácia na captura de grávidas de *Ae. aegypti*. Esta armadilha possui formato cilíndrico de cor preta (estímulos visuais) e consiste em um balde, uma câmara translúcida e um funil posicionado acima da câmara translúcida. O objetivo deste trabalho foi estudar os comportamentos de voos grávidas de *Ae. aegypti* em resposta a armadilha GAT em condições de laboratório. Os experimentos foram realizados no interior de uma gaiola telada (1,40 x 1,40m) localizada em sala climatizada (70% umidade e 26°C). No interior da gaiola foram colocadas três câmeras (60 frames/s) (acima e lateralmente e no interior da armadilha) para filmar o comportamento de voo dos mosquitos. Foram avaliadas individualmente armadilhas contendo água (controle), atraente natural de oviposição (infusão) e atraente sintético de oviposição (atraente). Sete repetições de 20 min./tratamento foram realizadas utilizando ~10 grávidas de *Ae. aegypti*/teste. Após as análises detalhadas das filmagens dos comportamentos dos mosquitos, foram estabelecidos quatro comportamentos principais: voo, toque, pouso e entrada na armadilha. Os resultados demonstraram que o voo de aproximação dos mosquitos à armadilha ocorreu na região superior da armadilha, principalmente na câmara translúcida em todos os tratamentos. Observou-se que as armadilhas com estímulos olfativos capturaram significativamente maior número de mosquitos ( $p < 0,03$ ) do que o controle, principalmente nos 5 min iniciais do experimento. Os voos sinuosos e circulares de aproximação e de contatos com a câmara translúcida da armadilha foram mais frequentes nas armadilhas com estímulos olfativos, sugerindo a procura de sítios de oviposição pelos mosquitos. A maioria dos toques na base armadilha também ocorreram na câmara translúcida (49,2%) ( $p < 0,008$ ) e no funil (22%) de armadilhas iscadas com atraente sintético, sugerindo que este estímulo olfativo aumenta a atividade de voo. Portanto, o presente trabalho contribui para a melhor compreensão dos mecanismos envolvidos na procura, aproximação e captura de grávidas de *Ae. aegypti* na armadilha GAT iscadas com e sem estímulos olfativos.

## I.1 INTRODUÇÃO

A oviposição é uma fase importante da dinâmica populacional do *Aedes aegypti*, no qual é o resultado de um processo complexo de identificação de pistas químicas e físicas capazes de desencadear uma série de comportamentos de pré-oviposição e de oviposição em função dos sítios de oviposição (Bentley e Day, 1989). É uma etapa crucial do ciclo de vida do inseto, por isso, muito explorada na vigilância e controle entomológico, principalmente por ferramentas embasadas no comportamento do vetor, como as armadilhas (WHO, 2016; Achee et al., 2019).

Mesmo diante da importância do processo de oviposição as observações comportamentais sobre essa temática ainda são limitadas. Ênfase tem sido dada nas elucidações sobre a estratégia de “oviposição em saltos” (Chadee, 2009; Costa, 2014), interferência da pré-existência de ovos e larvas na atração de fêmeas (Ganesan et al., 2006; Wong et al., 2011), além da influência na escolha de criadouro de pistas físicas e químicas tais como preferências de cor, textura do recipientes e temperatura da água (Bentley e Day, 1989), matéria orgânica, infusões de gramíneas, bactérias, entre outros para a atração dos mosquitos (Sant’Ana et al., 2006; Ponnusamy et al., 2008; Wong et al., 2012).

Individualmente, as diferentes pistas são capazes de promover a atração do mosquito, porém ao se associarem aumentam a probabilidade desta atração, atuando de forma interativa ou sinérgica possibilitando diferentes módulos comportamentais (Breugel et al., 2015). As pistas olfativas são capazes de orientar as fêmeas para sítios de oviposição em longo, médio e curto alcance, sendo essas as únicas capazes de atingir as fêmeas em longas distâncias e alcançá-las durante o voo (McMeniman et al., 2014; Cardé, 2015; Bidlingmayer et al., 1975). As pistas físicas e visuais são identificadas principalmente a médio e curto alcance e, a partir delas ocorre o direcionamento de voo, o alcance ao potencial criadouro, comportamentos de contato para avaliação dos sítios de oviposição e finalmente, a oviposição (Bentley e Day, 1989). No entanto, há relativamente poucos estudos para esclarecer a orientação de vetores a curto alcance (Sallam et al., 2019).

Com base no conhecimento de comportamento de oviposição, foram desenvolvidas várias armadilhas passivas de oviposição para grávidas de *Ae. aegypti* que se baseiam nos diferentes estímulos olfativos e visuais, tais como a MosquiTRAP (Gama et al., 2007; Eiras e Resende, 2009), a ovitrampa autocida de grávidas do Centro para Controle e Prevenção de Doenças (Barrera et al., 2013), e a Gravid *Aedes* Trap (GAT) (Eiras et al., 2014). A cor, tamanho e atraente utilizado nestes dispositivos são os principais fatores que influem na efetividade (Eiras et al., 2019).

A GAT tem sido usada como armadilha de intervenção eficaz devido alta sensibilidade, especificidade e com resultados promissores em semicampo (Eiras et al., 2021) e campo (Costa, 2014; Cilek et al., 2017; Mota, 2018; Johnson et al., 2018). Esta armadilha simula um criadouro e visa acionar nas fêmeas uma série de comportamentos envolvidos na busca por local de oviposição. Este dispositivo é uma combinação de (a) estímulos olfativos, atraente de oviposição sintético (Atr*Aedes*) ou natural (infusão de *Panicum maximum*), ambos igualmente atraentes conforme demonstrado por Roque (2007), (b) estímulos físicos e umidade a partir da presença de água) e (c) estímulos visuais (cor predominante preta). A câmara translúcida de modo a aumentar a eficiência da retenção dos mosquitos (Eiras et al., 2014). No entanto, ainda não é conhecido os comportamentos de grávidas de *Aedes* frente a armadilha GAT.

Apenas alguns autores trabalharam com comportamento de mosquitos em dispositivos de captura. Coperband e Cardé (2006), com trabalho pioneiro, analisaram o comportamento de *Culex quinquefasciatus* e *Culex tarsalis* em quatro modelos de armadilhas iscadas com CO<sub>2</sub> especificando o aumento de tortuosidade dos voos com a chegada das fêmeas nas armadilhas. Crebellier (2018) e Batista (2019) trabalharam com *Anopheles coluzzii* e *Anopheles arabiensis*, respectivamente. Testaram a armadilha BG-Suna e BG Sentinel com diferentes orientações de fluxo de ar e encontraram diferenças em principalmente no voo do mosquito. Embora esses trabalhos relacionem-se a vetores e contribuam para o entendimento do comportamento de mosquitos, em geral, não há estudos detalhados sobre os comportamentos de grávidas *Ae. aegypti* em armadilhas de oviposição. Portanto, o presente capítulo teve o objetivo de conhecer os comportamentos de pré-oviposição de grávidas de *Ae. aegypti* na armadilha GAT iscada com e sem estímulos olfativos.

## **I.2 OBJETIVOS**

### **I.2.1 Objetivo geral**

Avaliar o comportamento de grávidas de *Aedes aegypti* frente à armadilha GAT iscadas com ou sem estímulos olfativos através de vídeo-análise em laboratório.

### **I.2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar parâmetros comportamentais de grávidas de *Ae. aegypti* ao se aproximarem da armadilha GAT;
- Comparar os comportamentos de grávidas de *Ae. aegypti* na armadilha GAT iscada com atraentes de oviposição natural e sintéticos.

## **I.3 METODOLOGIA**

### **I.3.1 Mosquitos**

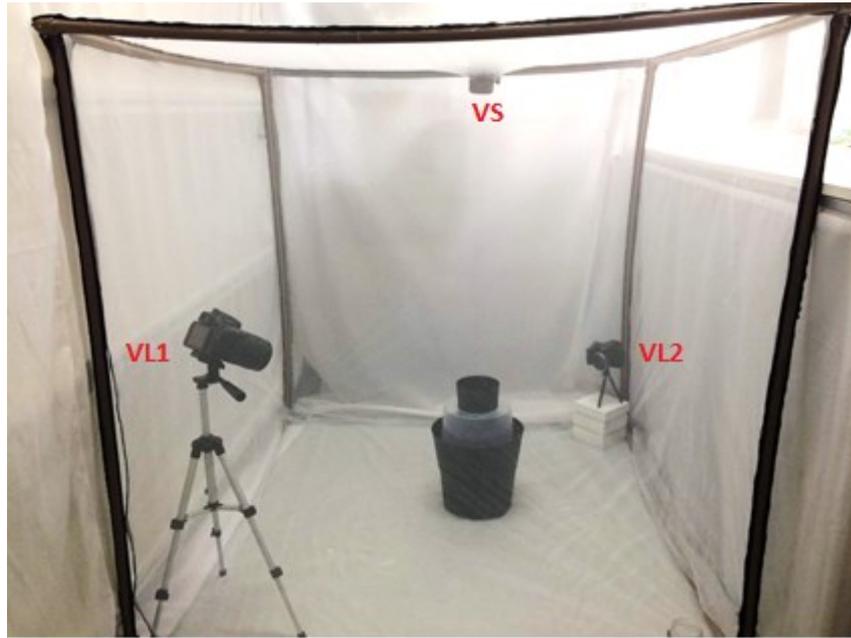
A colônia de *Ae. aegypti* (F7) foi mantida no insetário em condições controladas ( $27\pm 2$  °C, UR  $70\pm 10\%$  e fotoperíodo 12:12h). A eclosão dos ovos e desenvolvimento das larvas ocorreram em bacias plásticas (33,3 cm x 22,1 cm x 7,5 cm) com água desclorada. Larvas foram alimentadas com ração de répteis aquáticos (ReptoLife®), enquanto as pupas foram transferidas para potes plásticos e colocados em gaiola (30 x 30 x 30 cm) (Bugdorm-1, Mega View Science Education Services, Taiwan) até a emergência de adultos. Os adultos foram mantidos nestas gaiolas e alimentados com solução de sacarose (10%). As fêmeas foram separadas por meio de uma gaiola de seleção (Posey e Schrek 1981), receberam repasto sanguíneo artificialmente (Siria et al., 2018) durante uma hora e foram mantidas com solução de sacarose (10%) até a maturação dos ovos. Após 3 dias do repasto sanguíneo, grávidas de *Ae. aegypti* foram utilizadas para os testes (Gomes et al., 2006).

### **I.3.2 Gravid *Aedes* Trap**

A GAT foi avaliada com dois atraentes de oviposição, infusão de capim colônio (*Panicum maximum*) e atraente sintético de oviposição. A infusão foi preparada com 1L de água e 8g de folhas de capim, desprezando-se as pontas e os talos, e mantida em uma garrafa de 2L hermeticamente fechada para fermentar por 14 dias a 26 °C (Sant'Ana et al., 2006), enquanto que o atraente sintético, identificado a partir de voláteis de infusão de *P. maximum* (Eiras e Resende, 2009), foi liberado através de uma matriz polimérica porosa (Eiras et al., 2018b).

### **I.3.3 Gravação do comportamento de grávidas *Aedes aegypti*.**

O estudo de comportamento foi realizado no interior de uma gaiola telada (1,4 x 1,4 x 1,4 m) construída com tubo de policloreto de vinila (PVC) (20 mm diam.) e vértices por conexões de PVC tipo Joelho 90° (20mm) e Tê (20mm), com paredes revestidas de tecido do tipo organza simples na cor branca, as quais foram acopladas à estrutura através de velcro de 16 mm (Figura 4).



**Figura 4.** Interior da gaiola construída com tubo de policloreto de vinila (PVC) para realização dos experimentos com armadilha Gravid *Aedes* Trap. Posições das câmeras centralmente instaladas no interior da gaiola. (VL1: vista lateral superior, VL2: vista lateral, VS: vista superior).

Os comportamentos dos mosquitos próximos à armadilha foram gravados no interior da gaiola por meio de quatro câmeras em diferentes posições: (a) Vista Superior (VS) possibilitou observar os voos em toda a área experimental por meio de uma câmera (Canon Powershot SX530HS, 16 megapixels) colocada no teto da gaiola a 1,4 m do solo; (b) vista lateral (VL1) da armadilha por meio da câmara (Nikon D5100, 16,2 megapixels) posicionada em um tripé a 0,8 m do solo; (c) vista lateral (VL2) produzida por uma câmera (Sony Cyber-shot DSC-HX100V, 16,2 megapixels) posicionada em um tripé a 40 cm de altura do solo e opostamente a VD, de maneira que qualquer voo do mosquito próximo a armadilha, poderia ser gravado pelas duas câmeras simultaneamente ou em uma delas e (d) vista do interior (VI) da armadilha (GoPro Hero 3+, 16 megapixels) para observar a entrada e os voos dos mosquitos no interior da armadilha (Figura 4 e 5). Todas as câmaras foram ajustadas para gravar em 60 frames/s e as gravações foram armazenadas em cartões SD para posterior análise.



**Figura 5.** Vistas da armadilha oferecidas pelas câmeras posicionadas no interior da gaiola. (VL1: vista lateral, VL2: vista lateral, VS: vista superior, VI: vista do interior da armadilha).

### I.3.4 Procedimento experimental

O experimento foi realizado em uma sala (3,0 x 2,5 x 3,0 m) climatizada a  $25\pm 2$  °C e UR  $60\pm 10$  e iluminada com luz fluorescente. Inicialmente, todas as câmeras foram dispostas em suas respectivas posições no interior da gaiola e a armadilha foi posicionada centralmente a estrutura montada (Figura 4). Posteriormente, um recipiente contendo aproximadamente 10 grávidas de *Ae. aegypti* foi posicionado em uma das extremidades da gaiola por 10 min para aclimação. Após este período, as câmeras foram acionadas para gravar e os mosquitos foram liberados. As gravações do comportamento de voo dos mosquitos ao redor da armadilha ocorreram durante 20 min.

O comportamento dos mosquitos foi avaliado em armadilhas contendo três tipos de estímulos olfativos: (a) 2L de infusão de capim colônia a 10% colocados no balde preto; (b) atraente sintético, posicionado sobre a tela de nylon no interior da armadilha e (c) armadilha (controle). Nos tratamentos atraente sintético e controle foram adicionados 2L de água na base da armadilha.

Para cada tratamento foram realizadas 7 repetições em sequência durante três dias, sendo um dia para cada tratamento, começando pelo controle, seguido do atraente e infusão para evitar qualquer contaminação do ambiente com odores distintos. Os testes foram iniciados às 10:00h e finalizados às 18:30h, abrangendo diferentes fases do ritmo circadiano das fêmeas (Gomes et al., 2006). Ao final de cada repetição, todos os mosquitos foram removidos da gaiola

com o auxílio de uma raquete elétrica e os mosquitos capturados foram removidos da armadilha com um aspirador elétrico.

### **I.3.5. Análise dos dados**

Os vídeos gravados de cada câmera foram analisados individualmente e todos os eventos foram registrados. Ao fim de cada da análise, as imagens gravadas foram sincronizadas com auxílio do software Movavi Video Editor Plus 2.0 e reanalisadas para melhor definição das sequências e junção das análises individuais. A partir disso, os comportamentos foram categorizados e contabilizados.

Os dados numéricos de cada comportamento foram exportados para o software estatístico RStudio versão 1.3.1056 e analisados pelo teste de Shapiro-Wilk para normalidade ao nível de significância de 5%. O número de eventos (variável numérica) foi analisado em função do tratamento (variável explicativa), considerando o tipo de comportamento e/ou local na armadilha onde o evento foi realizado (fatores aleatórios). Essa análise foi feita a partir de um modelo misto generalizado (GLMM) com a função binomial negativa. Para os diferentes tratamentos foi realizado a múltipla comparação de médias a partir do teste de Tukey, as capturas foram comparadas através do teste de qui-quadrado.

## **I.4 RESULTADOS**

### **I.4.1 Categorias dos comportamentos observados e analisados**

Após as análises das gravações de todas as câmeras e de todos os experimentos, foram observadas três etapas comportamentais: (1) direcionamento do mosquito à armadilha, (2) chegada e interação dos mosquitos com a armadilha e (3) atividade de entrada no funil da armadilha. Nestas etapas foram observados quatro comportamentos que foram definidos como: voo, toque, pouso e entrada (Quadro 1).

Etapa 1: comportamento de voo foi classificado em três categorias de acordo com a forma de movimentação dos mosquitos: (a) *voo de aproximação*: direcionado à armadilha, lento e a partir de diferentes ângulos; (b) *voo retilíneo*: velocidade elevada de aproximação, chegada descendente e saída ascendente formando um ângulo menor que 90° e comumente na diagonal; e (c) *voo circular*: círculos completos ou incompletos ao redor da armadilha.

Etapa 2: os comportamentos de toque (breve contato) e pouso (Mosquitos em repouso por pelo menos 2 segundos), foram divididos conforme a região da armadilha que ocorreram

os eventos: (a) *base da armadilha*: balde preto inferior; (b) *câmara translúcida*; (c) *câmara translúcida + base*: região de interseção da câmara translúcida e base de armadilha; e (d) face externa do *funil de entrada*.

Etapa 3: os comportamentos observados na entrada da armadilha foram categorizados de acordo com o movimento realizado no funil de entrada ou interior da armadilha: (a) *pouso ou toque na face interna do funil*; (b) *voo espiral*: circular e descendente; (c) *movimento em V*: voo de entrada e saída no funil de forma sucessiva; e (d) *captura*: mosquitos que se encontram no interior da armadilha após passarem pelo funil de entrada.

**Quadro 1.** Ilustrações das categorias dos comportamentos de *Aedes aegypti* diante da armadilha Gravid *Aedes* Trap nas partes da armadilha em que foram realizados.

Comportamento	Movimentação/local na GAT			
Voo	 Aproximação	 Retilíneo	 Circular (completo ou incompleto)	
Toque	 Base	 Câmara translúcida	 câmara translúcida + base	 Funil (externo)
Pouso				
Entrada	 Pouso ou toque no funil (interno)	 Voo espiral	 Movimento em V	 Captura

Além da categoria do evento e do local onde ocorreu o comportamento, observou-se também outras categorias de eventos. Para o toque do mosquito em todas as regiões das armadilhas e voos em “V” na entrada, ocorreu diferenças na frequência dos comportamentos, em uma única categoria do comportamento de voo e são descritas na categoria “movimentação” (Quadro 2). Nesta categoria, o evento ocorre a partir de uma ação única (=1) ou várias frequências (>1), que pode ser lenta (> 1 espaçada) ou rápida (> 1 sucessiva).

**Quadro 2.** Especificação da frequência de eventos realizada por *Aedes aegypti* em diferentes partes da armadilha Gravid *Aedes* Trap para os eventos de toque e entrada.

Especificação do comportamento		
Evento	Região na armadilha/ tipo de comportamento	Frequência
Toque	Base	1
		> 1 espaçado
		> 1 sucessivo
	Translúcida	1
		> 1 espaçado
		> 1 sucessivo
	Translúcida com base	1
		> 1 espaçado
		> 1 sucessivo
	Funil	1
		> 1 espaçado
		> 1 sucessivo
Entrada	Voo em “V”	1
		>1

#### I.4.2 Captura dos mosquitos na armadilha

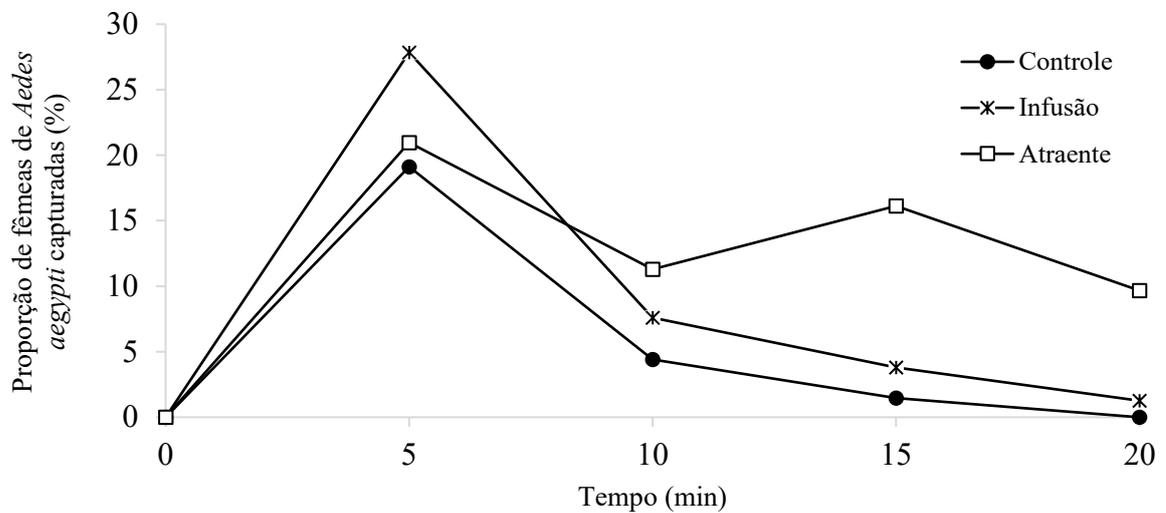
Considerando todo experimento, foram liberadas 209 fêmeas e 99 (47,4 %) foram recapturadas. Foi observada diferença significativa na captura de mosquitos entre os tratamentos ( $x^2 = 6,88$ ;  $gl = 2$ ;  $p < 0,03$ ), no qual a armadilha iscada com o atraente sintético capturou a maior proporção de mosquitos (58%) do que as armadilhas iscadas com infusão (49%) e controle (35%) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Avaliação da armadilha Gravid *Aedes* Trap com diferentes estímulos olfativos na captura de grávidas de *Aedes aegypti*.

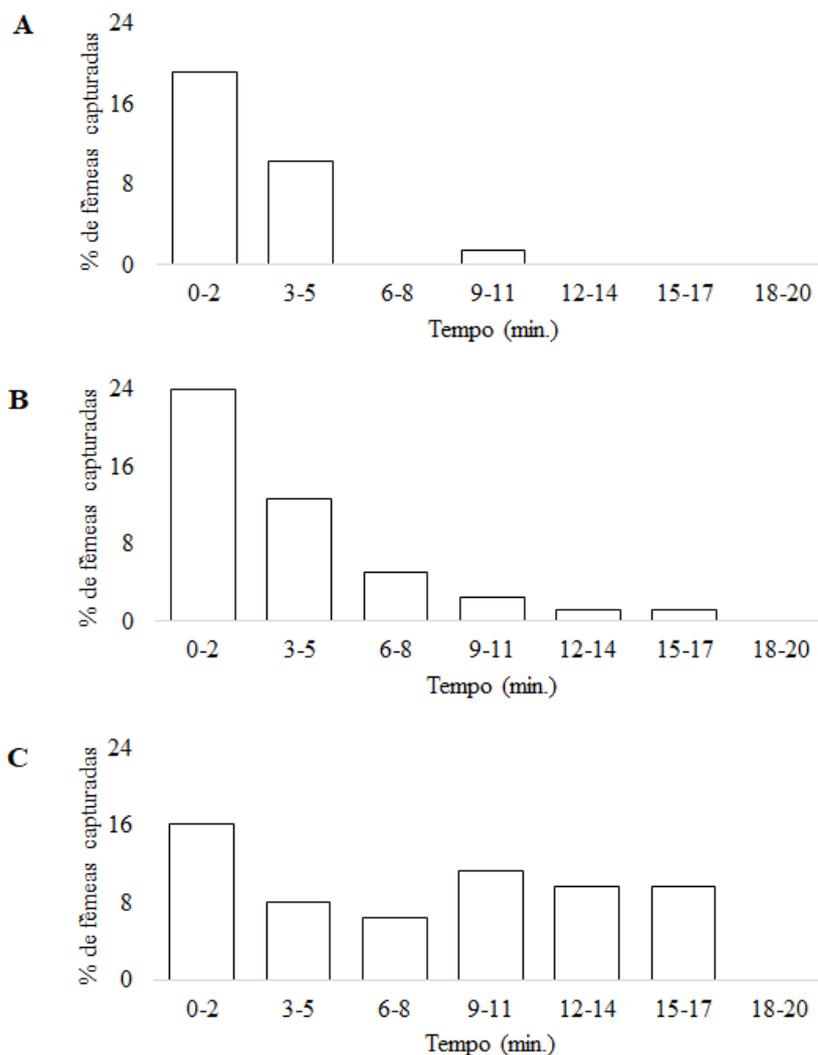
Tratamento	Total de fêmeas liberadas	Fêmeas capturadas pela armadilha	
		Nº	%
Controle	68	24	35
Infusão	79	39	49
Atraente	62	36	58
Total	209	99	47

$$(x^2 = 6,88; gl = 2; p < 0,03)$$

Os mosquitos foram capturados principalmente nos minutos iniciais dos testes em todos os tratamentos. Do total de mosquitos capturados, 50% dos mosquitos entraram na armadilha até o 3º minuto nas armadilhas controle e a iscada com infusão, enquanto nas armadilhas com atraente sintético o mesmo percentual foi observado até o 6º minuto (Figura 6a e 6b). Além disso, no controle e infusão, as capturas reduziram bruscamente após o 8º minuto de teste, diferentemente da armadilha iscada com o atraente sintético, cujas capturas mantiveram-se elevadas até o fim do experimento.



**Figura 6a.** Porcentagem de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas na câmara translúcida da armadilha Gravid *Aedes* Trap com diferentes estímulos olfativos durante o experimento.



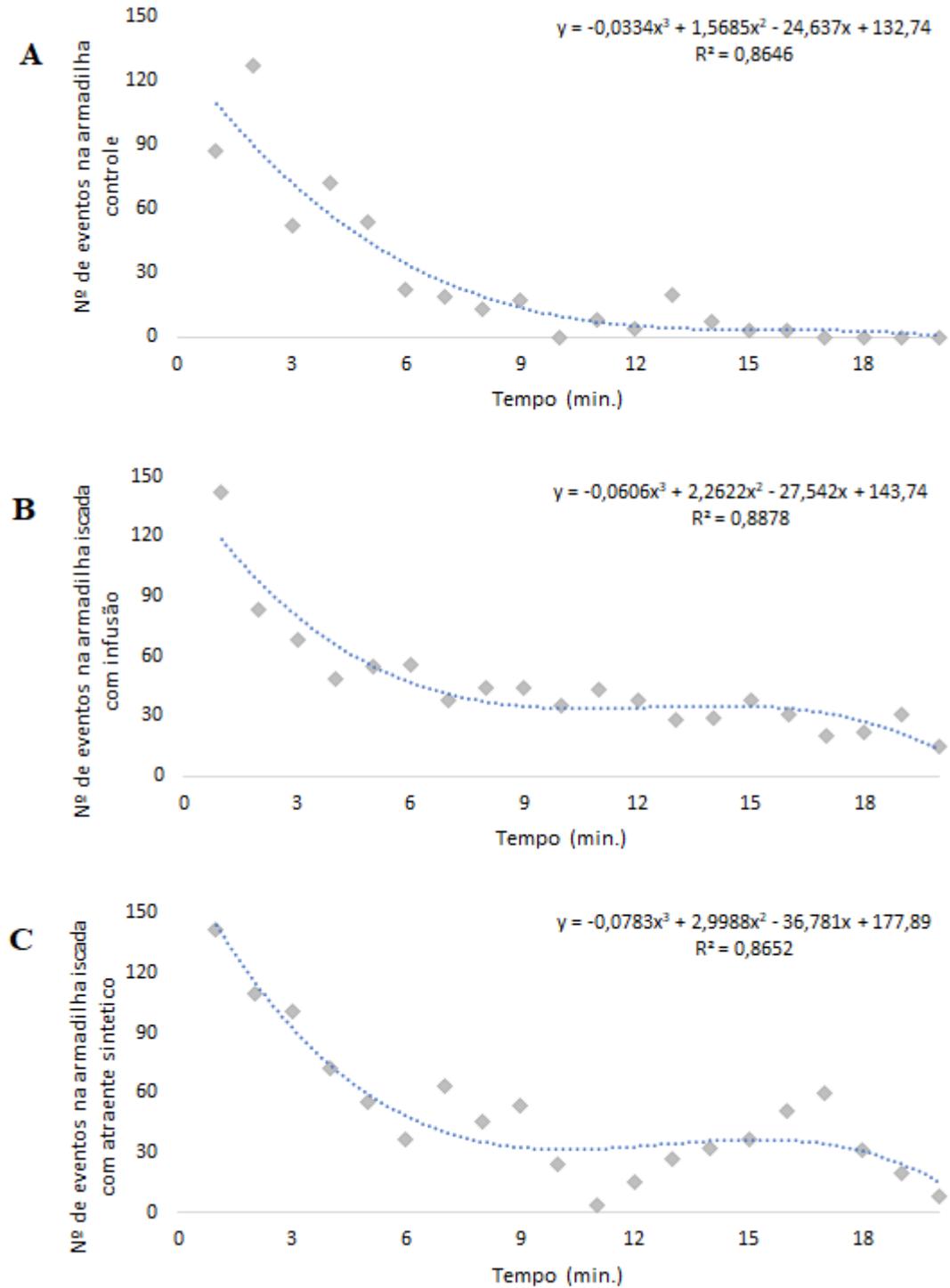
**Figura 6b.** Proporção de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas pela armadilha Gravid *Aedes* Trap (A) sem atraiante de oviposição (controle) ou iscada com (B) infusão de capim e (C) atraiante sintético em função do tempo de experimento em condições de laboratório.

### I.4.3 Atividade dos mosquitos

O tempo total de gravação foi de 7 horas, com 2 h e 33 min para cada tratamento. Foram observados 2.408 eventos, dos quais 508 (21,1%) ocorreram na armadilha controle, 911 (37,8%) na armadilha iscada com a infusão e 989 (41,1%) na armadilha com o atraiante sintético (Tabela 2). A frequência de eventos entre estes tratamentos foi significativamente maior nas armadilhas iscadas com atraiante ( $p = 0,001$ ) e infusão ( $p = 0,03$ ), demonstrando maior atividade dos mosquitos diante dos atrativos de oviposição.

A atividade total dos mosquitos também se concentrou nos minutos iniciais dos testes. Para o controle, 50% dos eventos foram observados até o 3º minuto, enquanto nas armadilhas iscadas com infusão ou atraiante essa mesma porcentagem foi atingida em 6 minutos. A

ocorrência de eventos reduziu mais rapidamente no controle, com o último evento sendo registrado no 14<sup>o</sup> minuto. Por outro lado, verificou-se que a ativação dos mosquitos foi sustentada por todo o período do experimento na presença da infusão ou atraente, demonstrando uma frequência de eventos significativamente maior que o controle a partir do 6<sup>o</sup> minuto ( $p > 0,05$ ) (Figura 7).



**Figura 7.** Número de eventos realizados por fêmeas *Aedes aegypti* diante da armadilha Gravid *Aedes* Trap com diferentes estímulos olfativos. A: armadilha controle (sem atraente); B: armadilha iscada com infusão de capim

colônio; C: armadilha iscada com atraente sintético) por tempo de experimento. Linha de tendência baseada em uma equação polinomial de 3º grau.

#### I.4.4 Dinâmica comportamental

De modo geral, considerando os comportamentos executados (Quadro 1), foram observados 1.038 (43%) voos, 655 (29%) em entrada, 631 (27%) toques, e 23 (1%) pousos. Entre os comportamentos, a frequência de voos foi significativamente maior ( $p < 0,01$ ) do que os demais, enquanto o de pouso foi menos frequente ( $p < 0,001$ ).

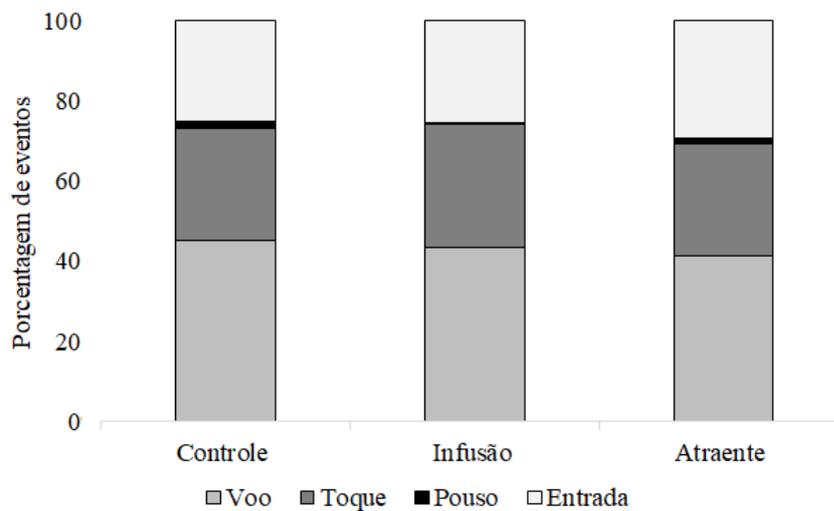
Ao analisar esses eventos, individualizados por tratamento, notou-se maior frequência de voos, toques e entrada nas armadilhas iscadas com infusão e atraente em comparação ao controle. O voo foi o evento mais frequente nos três tratamentos, seguido pela entrada nas armadilhas com atraente e pelo toque nas armadilhas controle e infusão (Tabela 2). O pouso foi o evento menos frequente nos três tratamentos, sendo significativamente menor quando comparado com as médias de voos, toques e entrada ( $p < 0,001$ ).

Contudo, apesar das diferenças em frequências, a proporção de ocorrência desses eventos é similar nos três tratamentos (Figura 8).

**Tabela 2.** Frequência, média e erro padrão dos comportamentos de voo, pouso, toque e entrada das fêmeas na armadilha Gradid *Aedes* Trap nos diferentes tratamentos (controle, atraente e infusão).

Tratamento	Controle		Infusão		Atraente	
	Média ± EP	Total	Média ± EP	Total	Média ± EP	Total
Voo	32,7 ± 6,29 aA	229	56,3 ± 14,36 aA	394	59,3 ± 13,93 aA	415
Toque	20,4 ± 4,01 aA	143	40,4 ± 18,48 aA	283	37,8 ± 9,77 aA	265
Pouso	1,3 ± 0,60 aB	9	0,14 ± 0,14 bB	1	2,0 ± 1,00 aB	14
Entrada	18,1 ± 3,80 aA	127	33,3 ± 7,96 aA	233	42,1 ± 10,64 aA	295
		508		911		989

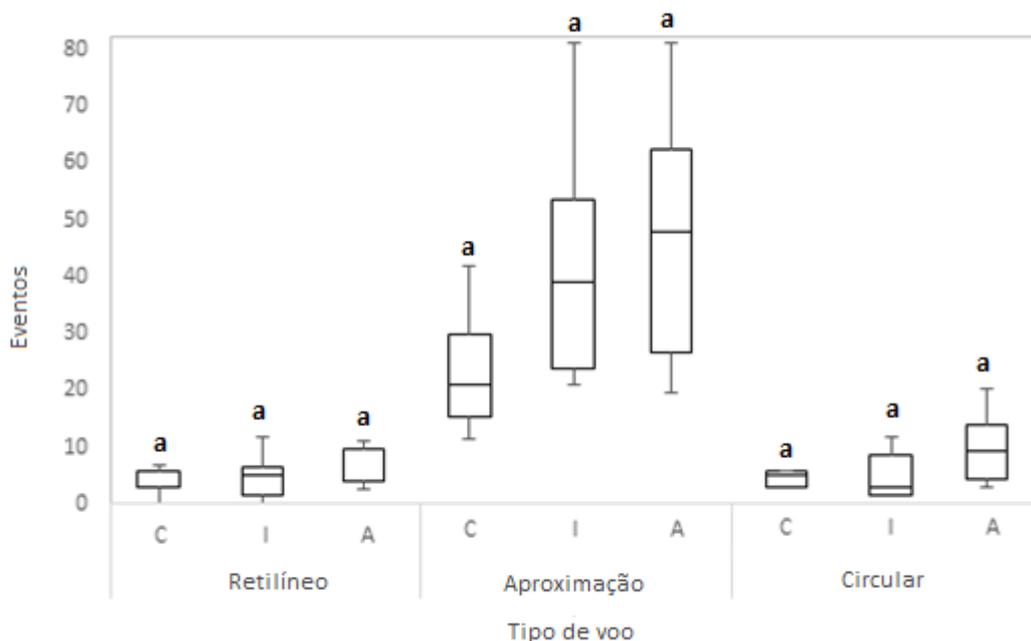
Médias nas colunas seguida de mesma letra em maiúscula não são diferentes significativamente dentre o evento; Médias nas linhas seguida da mesma letra em minúscula não são diferentes significativamente dentre o tratamento.



**Figura 8.** Proporção de voos, toques e pousos ocorridos nas armadilhas controle, iscadas com atraente natural (infusão) e iscadas com atraente sintético (*AtrAedes*).

#### *1.4.4.1 Direcionamento dos mosquitos à armadilha*

O voo foi o evento mais frequente nos três tratamentos testados, sendo registrado sobretudo na parte superior da armadilha, principalmente da câmara translúcida e funil. Dentre as diferentes categorias deste evento, o voo de aproximação apresentou maior frequência (75,1%) e medianas consideravelmente superiores aos voos retilíneo e circular ( $p < 0,0001$ ) (Figura 9). Apesar da frequência de eventos ser maior nas armadilhas com atraente e infusão, medianas iguais a 48 [25,5 e 57,5] e 39 [19,5 e 66,5] respectivamente, a diferença não foi significativa quando comparados ao controle 21 [15,5 e 29].

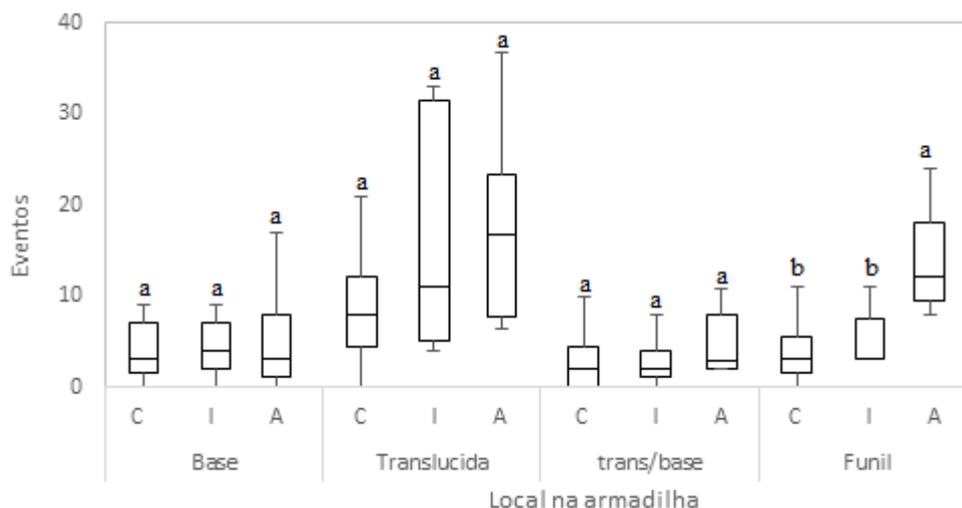


**Figura 9.** Padrão de voo rápido, de aproximação e circular das grávidas de *Aedes aegypti* frente a armadilha Gravid *Aedes* Trap iscadas com (C), iscadas com Infusão (I) ou atraente (A). Comparação de diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria de “tipo de voo”. Letras diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ )

#### 1.4.4.2 Chegada e interação dos mosquitos à armadilha

A chegada dos insetos à armadilha foi marcada pelo aumento da movimentação quando localizados a poucos centímetros de distância. Assim como nos voos, a chegada destes mosquitos também ocorreu majoritariamente na região superior. Desta forma, dentre todas as partes da armadilha, a câmara translúcida foi o local que mais recebeu toques, com 49,2% dos eventos observados ( $p = 0,008$ ), seguida pelo funil com 22%.

Na câmara translúcida a frequência de eventos foi maior para os tratamentos controle e infusão, enquanto no funil o atraente sintético teve frequência significativamente maior que os outros tratamentos ( $p < 0,02$ ). A base e a região de interseção da câmara translúcida com base foram locais em que o toque ocorreu de forma secundária, sempre após o inseto ter explorado a região superior da armadilha. Estes foram os locais com menor frequência de toques e não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 10).



**Figura 10.** Comportamento de toque de grávidas de *Aedes aegypti* em diferentes partes da armadilha controle (C), iscadas com infusão (I) ou atraente (A). Comparação estatística dos diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria “local de ocorrência” do toque. Letras diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Trans/base= região de junção entre a parte translúcida e a base da armadilha.

O evento de pouso apresentou números significativamente inferiores ( $p < 0,001$ ), contudo foi possível observar maior frequência desse evento para armadilhas iscadas com atraente sintético, principalmente no funil (Tabela 2, 3 e Figura 6). Observou-se apenas 8 pousos em diferentes partes das armadilhas sem estímulo olfativo, enquanto nas armadilhas iscadas com atraente foram 14 pousos, sendo 12 na entrada da armadilha (funil). Armadilhas iscadas com infusão ocorreu um único pouso que foi na base da armadilha. Interessante que não ocorreu pouso na parte translúcida da armadilha.

**Tabela 3.** Comportamento de pouso na armadilha Gravid *Aedes* Trap considerando local de ocorrência na armadilha e diferentes estímulos olfativos.

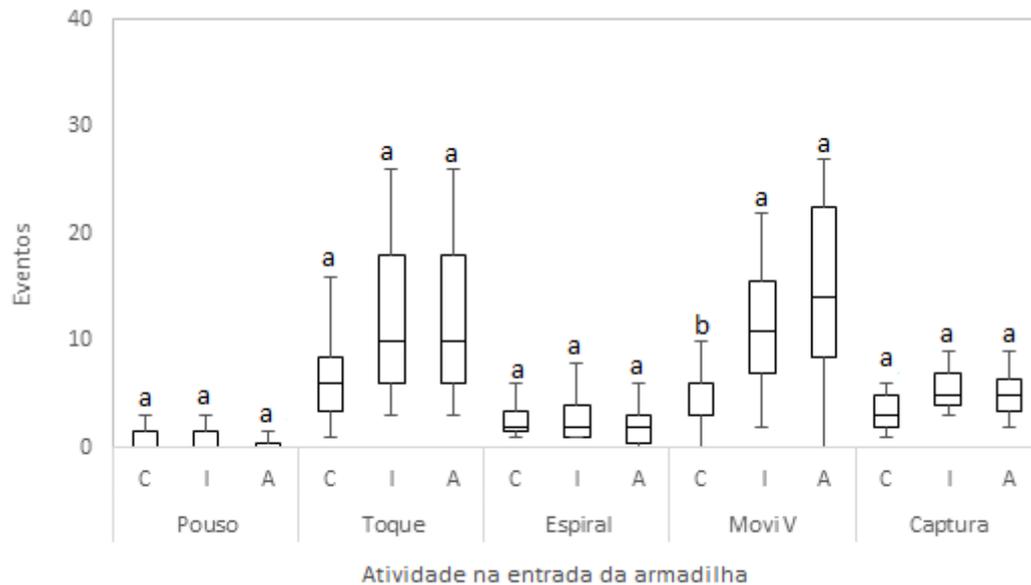
Local na armadilha	Tratamento		
	Controle	Infusão	Atraente
Base	3	1	1
Translúcida	0	0	0
Translúcida com base	4	0	1
Funil	1	0	12

#### 1.4.4.3 Entrada na armadilha pelo funil

Dentre os eventos que ocorreram no interior do funil, o toque foi o que apresentou maior frequência (39,2%), seguido pelo movimento em “V” (32,7 %). Estes eventos foram efetuados na maioria das vezes em conjunto, um sucessivo ao outro, e por consequência suas frequências foram semelhantes. Além disso, ambos foram mais frequentes nos tratamentos atraente e infusão, respectivamente.

No movimento em “V”, a frequência observada foi significativamente maior na presença de atraente sintético, (mediana = 14 [8,5; 22,5]), quando comparado ao controle (mediana = 3 [3; 6]), ( $p = 0,01$ ), porém similar à infusão (mediana = 11 [7; 15,5]). No comportamento de toque, apesar da maior frequência na presença de estímulo olfativo, os valores não foram significativamente maiores que o controle (Figura 11).

O voo espiral foi um evento muito característico dos mosquitos que foram capturados, pois este comportamento foi observado em 80% dos insetos capturados na armadilha, principalmente armadilhas iscadas com infusão, seguido por armadilhas controle e com atraente.

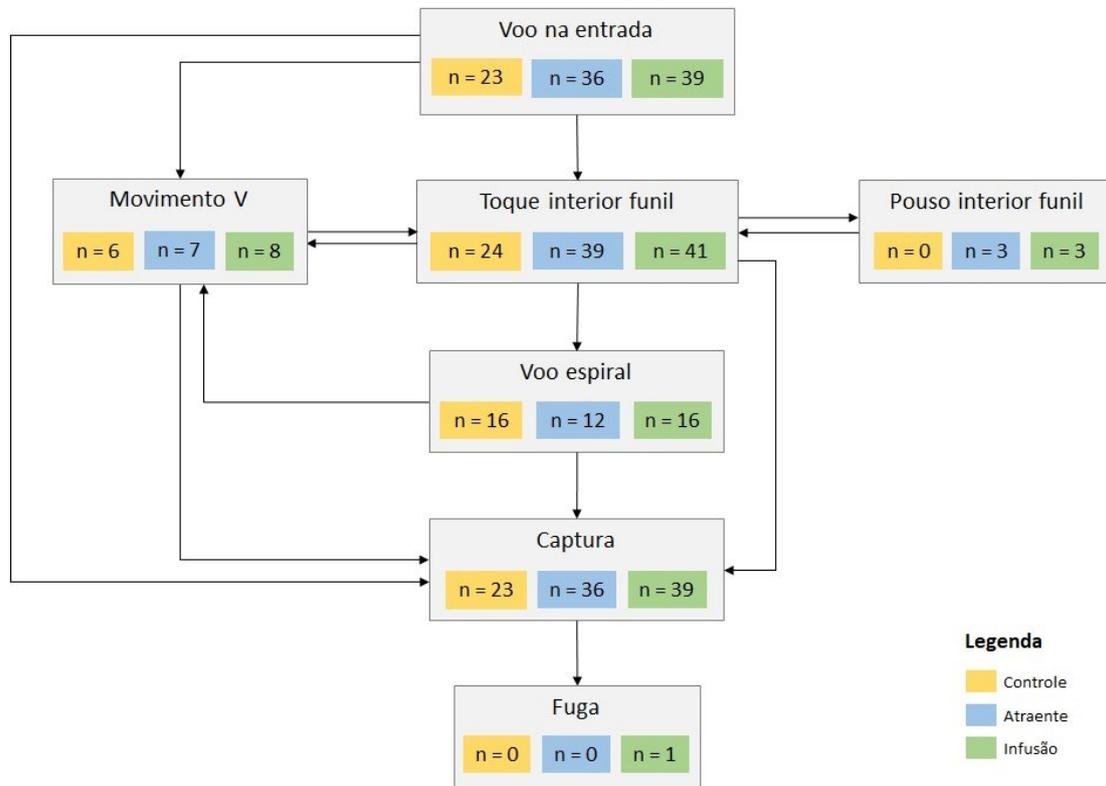


**Figura 11.** Comportamentos das fêmeas de *Aedes aegypti* no interior do funil para os tratamentos controle, atraente e infusão. (C= controle, I = infusão, A = atraente). Comparação estatística dos diferentes estímulos olfativos dentro da mesma categoria “entrada da armadilha”. Letras diferentes acima das barras representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Foram identificadas 99 seqüências comportamentais estabelecidas desde a entrada das fêmeas no interior do funil até o aprisionamento total na câmara translúcida. Dos 655 eventos

que ocorreram na entrada da armadilha, 371 (56,6%) fizeram parte destas trajetórias que resultaram na captura do inseto. Ao analisar as sucessões de eventos (Figura 12), determinou-se dois padrões de sequência de comportamentos predominantes que tiveram presentes em 74,7% das capturas dos mosquitos na GAT: (a) Voo na entrada, toque no interior do funil e captura; e (b) Voo na entrada, toque e voo espiral no interior do funil e captura. Na outras 25 (25,3%) capturas as sequencias não foram padronizadas, contudo, dentre elas, 24 apresentaram eventos de toque, 20 tiveram movimento em V, 6 contaram com movimento em V e houve pouso em 6.

Na sequência “a”, após a chegada das fêmeas no funil, foi iniciada por toques espaçados e sucessivos, normalmente associados ao movimento de descida. A partir da metade inferior do funil era comum a diminuição dos toques ou a pausa total deste evento associado ao voo direto para câmara translúcida. Esta foi a sequência mais frequente nas armadilhas iscadas com atraente, observada em 47,2% das capturas deste tratamento, em contrapartida, foi a sequência menos frequente nas armadilhas controle, presente em apenas 3 capturas (12,2 %). A sequência “b”, também foi iniciada por toques, porém eles se apresentaram com menor movimentação e muitas vezes em ação única. O voo espiral, normalmente, era iniciado na metade do funil e executado até a chegada na câmara translúcida. Essa sequência foi muito frequente e similar no controle (33,6%), infusão (33,3%) e atraente (30,5%).



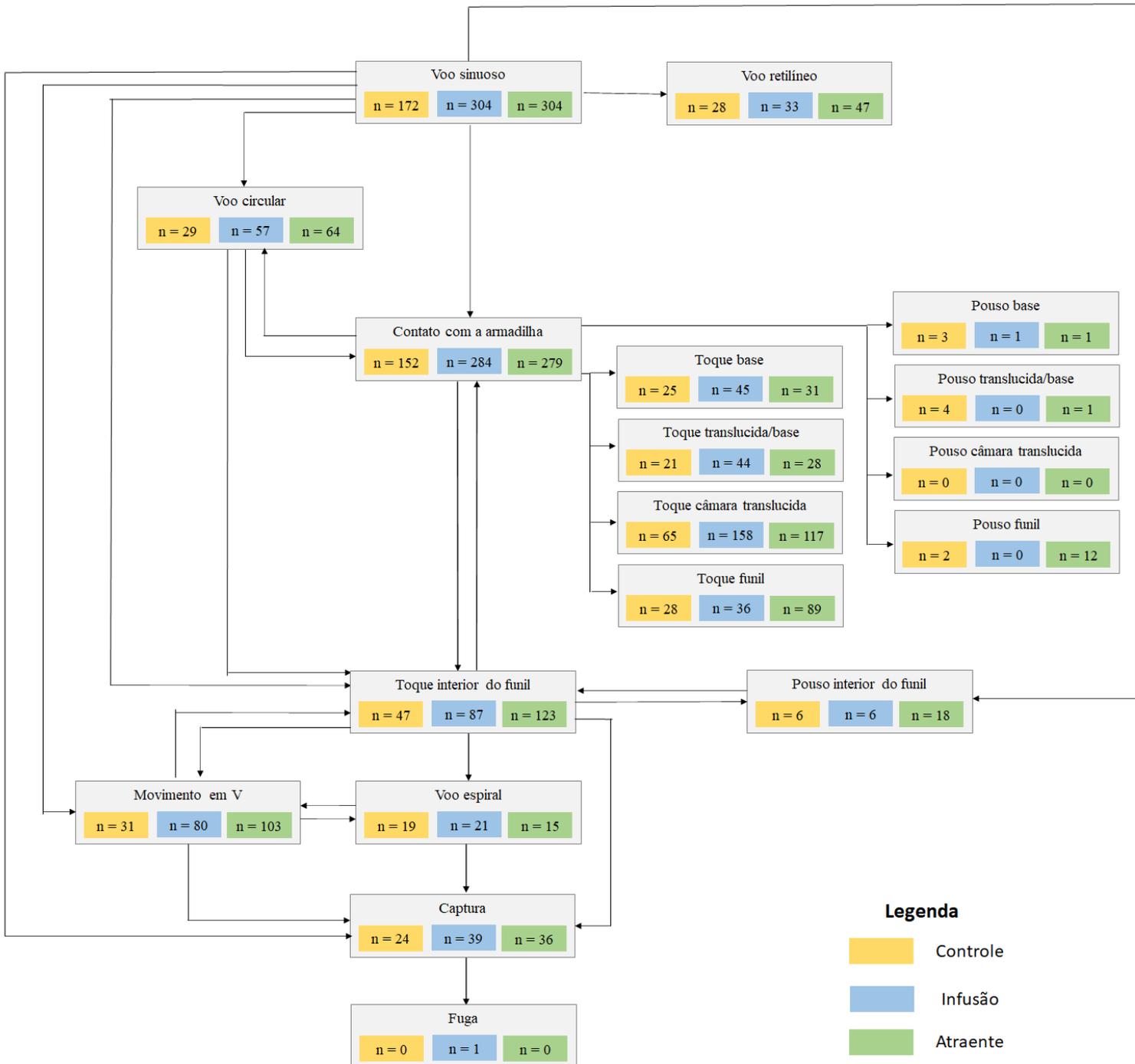
**Figura 12.** Etograma da sequência de comportamentos de captura fêmeas de *Aedes aegypti* para os tratamentos controle, infusão e atraente.

#### I.4.4.4 Padrão comportamental

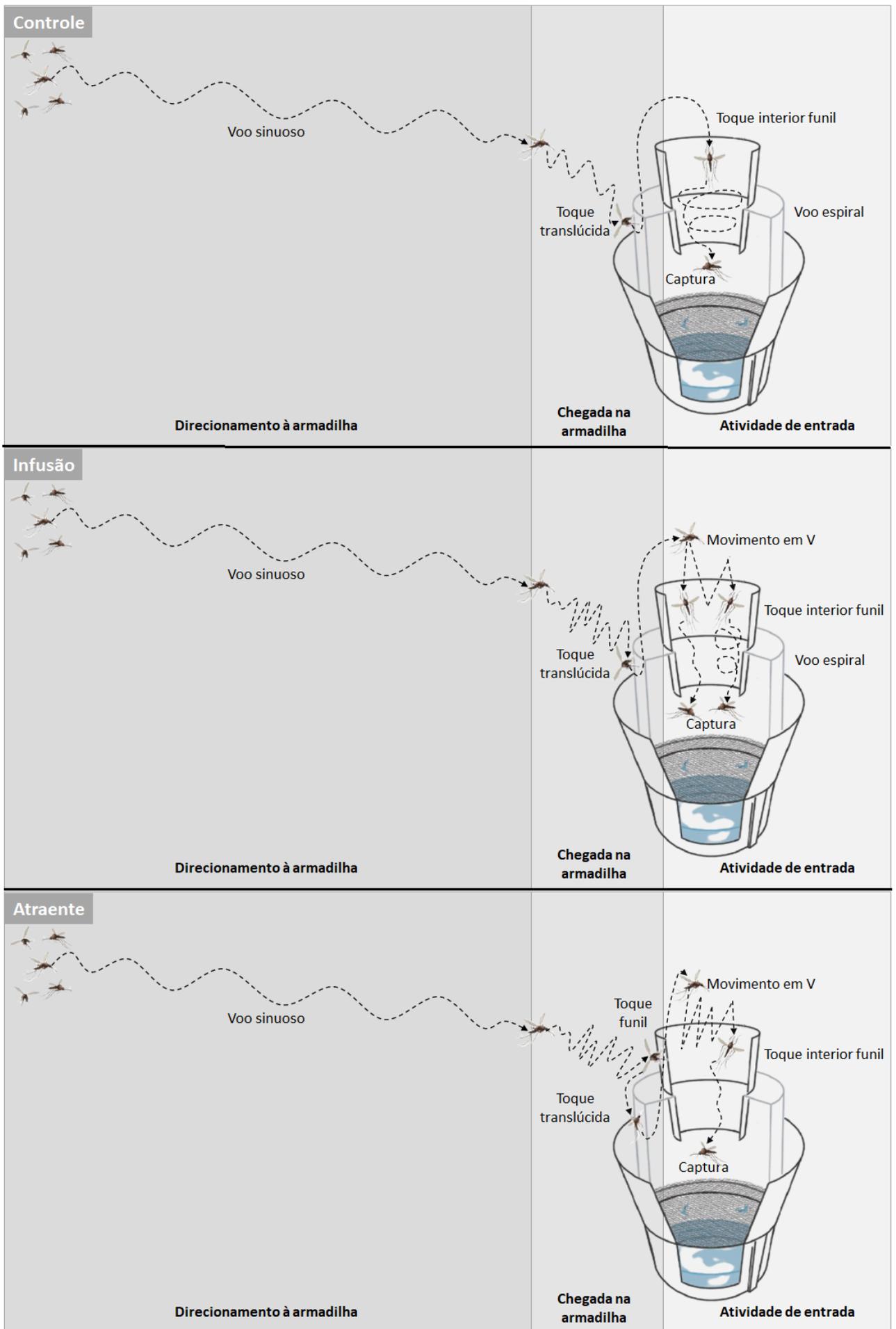
Dentre a sucessão de comportamentos executados pelas fêmeas de *Ae. aegypti* frente a armadilha (Figura 13) foi possível definir ao menos uma sequência comportamental de maior prevalência para os tratamentos controle, atraente e infusão. Nestes três, o direcionamento das fêmeas à armadilha ocorreu por meio do voo de aproximação, havendo um aumento de sinuosidade conforme diminuía a distância entre o mosquito e armadilha. Esta elevação da sinuosidade ficou mais evidente na GAT iscada com estímulo olfativo.

Após a aproximação, no controle, a atividade de contato mais comum foi o toque na câmara translúcida, seguido pela orientação das fêmeas para a entrada da armadilha. Neste local ocorreram toques no interior do funil e após o voo espiral descendente as fêmeas foram capturadas. Na armadilha com infusão, o contato também ocorreu por meio de toque na câmara translúcida. Posteriormente, na entrada, houve toques e a descida das fêmeas, até aprisionamento total, ocorreu de duas maneiras: voo espiral e voo reto. Na GAT com atraente verificou-se toques na câmara translúcida, assim como, na parte externa do funil. Ao seguirem

para entrada, as fêmeas realizaram movimentos em V associados aos toques e, logo em seguida, desceram por meio de voos retos, sendo capturadas totalmente (Figura 14).



**Figura 13.** Etoograma da sequência de comportamentos gerais de fêmeas de *Aedes aegypti* para os tratamentos controle, infusão e atraente.



**Figura 14.** Mecanismos de funcionamento da armadilha para os tratamentos controle, infusão e atraente.

## 1.5 DISCUSSÃO

O presente estudo descreve detalhadamente o comportamento de grávidas de *Ae. aegypti* frente a armadilha GAT na presença de diferentes estímulos olfativos. Este estudo é pioneiro e permitiu conhecer e compreender a sequência dos comportamentos de pré-oviposição, que é a procura e a chegada deste vetor à armadilha. Portanto, permite a melhor compreensão do funcionamento de atração e captura da GAT, uma armadilha promissora na vigilância entomológica e controle do vetor (WHO, 2018).

Os comportamentos de grávidas de *Ae. aegypti* foram obtidos através da observação de filmagens gravadas por câmeras posicionadas em 3 ângulos diferentes, próximos e no interior da armadilha GAT. Embora existam diferentes metodologias de análise videográfica para a quantificação de comportamentos de mosquitos, optamos por conhecer o comportamento dos mosquitos por diferentes ângulos e uma gaiola no qual os insetos são liberados e confinados próximos à armadilha. Outros trabalhos utilizaram também ambiente experimental pequeno (Chambers et al., 2013) e com restrição da área a ser observada (Wilkinson et al., 2014). O uso de software ou necessidade de equipamento sofisticado (Parker et al., 2016; Angarita-Jaimes et al., 2016) permite uma análise observacional digitalizada mais detalhada e quantificada, porém a análise dos vídeos pelo observador, embora seja laborioso, permite obter dados qualitativos e quantitativos o suficiente para responder as perguntas sobre o comportamento de voo de aproximação e da entrada nas armadilhas.

No presente trabalho, a armadilha GAT iscada com estímulos olfativos foi mais eficiente em capturar grávidas de *Ae. aegypti* que o controle (apenas água), porém demonstraram-se semelhantes quando atraente e infusão foram comparados entre si. Este resultado corrobora com estudo realizado por Roque (2007) que, em ambiente de semicampo e utilizando a armadilha MosquiTRAP, comparou a eficiência do atraente sintético *AtrAedes* e da infusão de *Panicum maximum* em diferentes períodos de fermentação. Primeiramente, foi observado que o *AtrAedes* teve melhor eficiência quando comparado à armadilha apenas com água e, posteriormente, ao comparar a infusão (15 dias de fermentação) com *AtrAedes* notou-se captura similar entre ambos.

No presente estudo, as capturas aconteceram, majoritariamente, nos minutos iniciais do experimento, ocorrendo mais rapidamente na infusão do que no atraente. Conforme exposto por Dekker (2011) é esperado que misturas, tenham o seu conjunto de compostos atrativos agindo em conjunto ou sinergicamente e atraentes de compostos individuais funcionem de forma limitadas. Provavelmente, é o caso da infusão de *P. maximum* e do atraente sintético, respectivamente. A eficiência do *AtrAedes* já foi comprovada, entretanto, talvez o acréscimo

de algum composto pode fornecer efeito aditivo ao aumento da velocidade de atração e captura das fêmeas em armadilhas.

Em concordância com o que ocorreu na captura dos mosquitos, a ativação das fêmeas de *Ae. aegypti* ocorreu também nos minutos iniciais do teste foi muito elevada em todos os tratamentos. Durante o experimento, o número de eventos no tratamento controle foi menor que o atraente e infusão a ativação do mosquito foi sustentada.

No presente trabalho, todos os tratamentos tiveram em comum estímulos físicos, a atração visual oferecida pela estrutura da armadilha e a presença de umidade (Bentley e Day, 1989; Eiras et al., 2014). Estes estímulos são suficientes para promover a atração dos insetos à armadilha e a consequente ativação com eles executando inúmeros eventos, conferindo certa eficiência ao controle. Ainda assim, a presença de algum odor apresenta-se como uma pista adicional e comumente promove maior ativação dos mosquitos. Conforme o que foi reportado por Hawkes e Gibson (2016), fêmeas de *Anopheles coluzzi* apresentaram maior ativação dos insetos na presença de CO<sub>2</sub> quando comparado ao ar limpo.

As análises videográficas permitiram categorizar quatro eventos comportamentais. O primeiro deles, o voo, é um comportamento estudado e caracterizado, principalmente, em trabalhos associados a busca de hospedeiros, considerando a importância epidemiológica da interação entre os mosquitos e humanos (Dekker et al., 2005; Bernier et al., 2007; Cardé e Willis, 2008; Dekker e Cardé, 2011; Afify et al., 2014; Lacey et al., 2014). Estudos de comportamento de voo frente a armadilha são escassos, Coperband e Cardé (2006), Crebellier (2018) e Batista et al. (2019) estão entre os poucos que trabalharam com essa temática, mas não diretamente com *Ae. aegypti*. Outros eventos considerados foram os comportamentos de toque, pouso e de entrada, que por estarem estreitamente associados às características específicas da armadilha, são avaliados conforme o objetivo de cada estudo.

O voo é o primeiro evento do mosquito em resposta a armadilha. Dentre as categorias de comportamento de voos observadas, o voo de aproximação demonstrou-se muito prevalente e invariavelmente sucedido por outros eventos. Este voo apresentou-se mais direcionado para armadilha, com pouca tortuosidade, divergindo do padrão de voo conhecido e, inclusive, já observado frente a armadilhas de captura de culicídeos (Dekker et al., 2011; Crebellier et al., 2018; Batista et al., 2019). Com o tamanho limitado do ambiente de experimento e a ausência de fluxo de ar, a tendência é a maior influência das pistas visuais e nesta situação os voos tendem a ser menos tortuosos, isso ajuda a compreender a mudança de padrão voo observada neste trabalho (Gillies e Wilkes, 1972; Mcmeniman et al., 2014; Breugel et al., 2015; Cardé, 2015; Sallam et al., 2019).

Em estudo do comportamento de fêmeas *Anopheles coluzzii* quando aproximavam no funil de entrada da armadilha BG-Suna, de vídeo-análises demonstraram que o voo de aproximação ocorria intensamente de movimentação circular. Este comportamento do mosquito também foi observado no presente estudo, a chegada até a armadilha iscadas com atraente foi mais direcionada à borda do funil, possivelmente em função da maior concentração de odor nesta região, enquanto no controle essa aproximação apresentou-se mais exploratória e originada de outras direções.

Depois de aproximarem da armadilha, quase todas as atividades de interação dos mosquitos limitam-se ao toque. Neste evento, assim como já observado em outras ocasiões, a maior frequência de atividades ocorre na região superior da armadilha, principalmente com armadilhas iscadas com infusão ou atraente sintético. Provavelmente, a presença de maior movimentação e interação do inseto com armadilha e consequente aumento da frequência de toques está associado com a presença de odor. Breugel e colaboradores (2015) também identificaram um acréscimo da atividade das fêmeas de *Ae. aegypti* relataram a influência de pistas química em desencadear a identificação e exploração de características visuais. Além do toque, o pouso também foi um evento de interação do inseto com a armadilha, mesmo ocorrendo raramente, provavelmente momentos de repouso do inseto, ocorridos durante os períodos pré ou pós a exploração da GAT pelas fêmeas.

Na atividade de voo de entrada no interior do funil, os mosquitos também apresentaram maior movimentação na presença de algum estímulo olfativo. Nos movimentos em “V” e no toque, este aumento da frequência de eventos na presença de odor ficou mais evidente. Essa alta frequência de toque provavelmente está associado ao uso de receptores táteis dos insetos, comumente utilizados para avaliação de pistas presentes (McIver, 1982; Bentley e Day, 1989; Day, 2016). O movimento em “V” caracterizado por sucessivos voos para cima e para baixo no interior do funil, ainda não havia sido descrito para *Ae. aegypti*. Contudo, semelhante comportamento foi observado no trabalho clássico de Kennedy (1942), no qual mosquitos do gênero *Anopheles* e *Culex* tiveram repetidos voos para cima e para baixo na presença de água, supostamente a movimentação ocorreu devido uma reação direcionada à água. Por outro lado, Parker e colaboradores (2016) identificaram trajetos de voos com sucessivas subidas e decidas de *Anopheles gambiae*, principalmente, na presença de um objeto visualmente atrativo e associou tal comportamento a atividade exploratória do mosquito. Assim como foi exposto nestes trabalhos, o movimento em “V” pode estar associado a presença de água no interior da armadilha e a atividade exploratória das fêmeas à procura de alvo atrativo.

Uma observação interessante realizada no presente estudo associa-se à identificação dos padrões comportamentais de captura das fêmeas na armadilha, assim como foi realizado por Lima e Eiras (2010). Foram duas sequências predominantemente realizadas (a) Voo na entrada, toque no interior do funil e captura e (b) Voo na entrada, toque e voo espiral no interior do funil e captura. A sequência “a” caracterizou-se como uma forma de entrada mais direta na armadilha, enquanto a sequência “b” foi um pouco mais demorada. No controle a sequência “b” esteve mais presente, no atraente foi a sequência “a” e na infusão ambas estiveram igualmente evidentes. Esse resultado demonstra que nas armadilhas com estímulo olfativo, principalmente, no controle há uma tendência a entrada mais rápida das fêmeas a partir do momento que elas iniciam a sequência de entrada.

Os resultados do presente trabalho, especialmente aqueles associados aos mecanismos de funcionamento da armadilha (Figura 13), precisam ser estudados sem condições de semicampo e campo. Nestes ambientes, as condições de vento, luz e odor em distâncias maiores impactariam a descoberta da armadilha pelos mosquitos, o que possibilitaria uma análise mais aproximada do meio ambiente natural.

No entanto, o presente estudo contribuiu para a melhor compreensão dos mecanismos envolvidos na atração e captura de grávidas de *Ae. aegypti* na armadilha GAT, e contribui para conhecer os fundamentos para desenvolver novas ferramentas alternativas e inovadoras para a vigilância entomológica.

## **I.6 CONCLUSÃO**

- O trabalho demonstrou que as armadilhas iscadas com infusão e atraente apresentaram melhores resultados de captura e movimentação das fêmeas em comparação ao controle.
- As capturas de mosquitos em armadilhas foram mais elevadas nos tratamentos com uso de estímulo olfativo, assim como a frequência de eventos.
- Tanto as atividades quanto as capturas, concentraram-se nos minutos iniciais do teste, porém as armadilhas com infusão e atraente conseguiram sustentar a ativação dos mosquitos ao longo do experimento.
- Dentre os eventos estudados o voo foi o que apresentou maior relevância, seguido pela entrada, toque e pouso.
- A chegada do inseto a armadilha ocorreu principalmente na região superior da armadilha, com destaque para câmara translúcida em todos os tratamentos e para o funil no controle.

- Na entrada da armadilha pelo funil, as principais atividades foram o toque e movimento em V e a as capturas dos mosquitos tiveram sequências comportamentais padronizada, porém a entrada na armadilha com atraente sintético é mais rápida.

## CAPÍTULO II

Monitoramento de *Aedes aegypti* no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas  
Gerais pela armadilha Gravid *Aedes* Trap

## RESUMO

Atualmente, os métodos de vigilância entomológica convencionais para *Aedes aegypti*, vetor de arboviroses (Dengue, Chikungunya e Zika vírus), demonstram limitações, principalmente quando aplicadas em ambientes de alta infestação do vetor. Como alternativa, o uso de armadilhas georreferenciadas (ex: sistema MI-*Aedes*) vem sendo usadas efetivamente gerando indicadores entomológicos de forma rápida e localizando áreas prioritárias para o controle do vetor. Dentre os dispositivos de captura de adultos disponíveis, a armadilha Gravid *Aedes* Trap (GAT) se destaca por possuir sensibilidade e especificidade, de fácil transporte e de baixo custo. A presença de *Ae. aegypti* e transmissão de Dengue e Zika vírus tem preocupado a comunidade acadêmica do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. Portanto, o objetivo do trabalho foi monitorar a população de *Ae. aegypti* no Campus Pampulha da UFMG por meio da armadilha GAT e o sistema MI-*Aedes*. Entre 2016 e 2017, foram instaladas 168 armadilhas GAT georreferenciadas e iscadas com atraente sintético em 46 edificações do campus e monitoradas por 3 anos. Semanalmente, as armadilhas foram vistoriadas e os mosquitos capturados foram identificados e os dados foram disponibilizados no MI-*Aedes* e utilizados para direcionar ações de controle. Foram capturados o total de 38.658 culicídeos, no qual *Ae. aegypti* (82,2%) foi superior a *Ae. albopictus* (14,5%) e *Culex* sp. (3,1%). Foi observada um padrão sazonal de *Ae. aegypti*, no qual a maior abundância na época de chuvas (setembro a janeiro) e outro com menor abundância na época seca (maio-agosto). Mapas de Kernel identificaram *hotspots* de indicadores entomológicos com maiores infestações de *Ae. aegypti* na Escola de veterinária (24%) durante 2017-2018, enquanto em 2019 a população do vetor foi reduzida devido às ações de controle (larvicida e remoção de criadouros). Portanto, a armadilha GAT e o MI-*Aedes* foram eficientes em determinar áreas com altas infestações de *Ae. aegypti* e desencadear ações de controle.

## II.1 INTRODUÇÃO

O principal método de evitar a transmissão dos arbovírus transmitidos pelo *Aedes aegypti*, com exceção da febre amarela, é baseado no controle do vetor. A vigilância entomológica possibilita acompanhar a dinâmica populacional dos insetos, realizar levantamentos de indicadores entomológicos e identificar precocemente áreas infestadas com o vetor, possibilitando o melhor planejamento e direcionamento das ações de controle. Portanto, diferentes metodologias de monitoramento vetorial podem ser adotadas, variando conforme custos, recursos humanos e fase do ciclo de vida do inseto (WHO, 2017).

Atualmente, o Ministério da Saúde do Brasil preconiza metodologias de monitoramento voltadas às fases imaturas do mosquito, como a pesquisa larvária e o uso de ovitrampas (MS, 2009), porém ambas metodologias apresentam desvantagens (Resende et al., 2013). A pesquisa larvária, aplicada desde a primeira metade do século 20 sem grandes alterações até o momento (Connor e Monroe, 1923; Breteau, 1954; PNCD, 2002; MS 2013), demonstra-se laboriosa e com baixa sensibilidade (Regis et al., 2013). Por outro lado, a ovitrampa, possui alta sensibilidade para detecção de *Ae. aegypti*, baixo custo e fácil aplicabilidade, (MS, 2009; Focks, 2003), vantagens que se destacam em relação à pesquisa larvária (Braga et al., 2000; Codeço et al., 2015; Barbosa et al., 2010; Melo et al., 2012). Entretanto, possui como base a fase imatura do inseto e, uma vez que as fêmeas apresentam variação no número de ovos colocados por recipiente, os indicadores oferecidos por esse método podem não demonstrar a real infestação vetorial (Abreu et al., 2015; Focks, 2003).

A limitação dessas metodologias é ainda mais evidente em regiões que apresentam maior importância na dispersão do vetor, como os pontos estratégicos (PE), havendo necessidade de medidas alternativas (Reis et al., 2019). Os PE são caracterizados como imóveis não residenciais de médio a grande porte com muitos locais propícios à proliferação de *Ae. aegypti*, como exemplo há as indústrias, os hospitais, as escolas e os campus universitários. A principal adaptação metodológica frente à peculiaridade desses ambientes corresponde ao aumento da periodicidade de pesquisas larvárias que, nesta situação, são realizadas quinzenalmente. Ainda não é possível estimar o aumento de sensibilidade proporcionado por pesquisas larvárias quinzenais, entretanto, sabe-se que barreiras operacionais desta metodologia permanecem, e nesse caso, são maximizadas com aumento da frequência, o que mantém a inadequação desse método (MacCormack-Gelles et al., 2020).

As armadilhas georreferenciadas apresentam-se como uma alternativa aos métodos tradicionais e seu uso tem ocorrido com sucesso (Johnson et al., 2017; Eiras et al. 2018b). A armadilha GAT (do inglês “*Gravid Aedes Trap*”) é uma armadilha passiva, portanto não utiliza

eletricidade para capturar grávidas de *Ae. aegypti*, apresenta alta sensibilidade e especificidade, é de fácil transporte e de baixo custo, e, por isso, destaca-se dentre as ferramentas de captura de adultos (Eiras et al., 2014; Ritchie et al., 2014; Eiras et al. 2021a). Esta armadilha tem sido utilizada para o monitoramento (Johnson et al., 2016) e controle de *Aedes albopictus* (Johnson et al., 2018; Becker et al. 2017) e *Ae. aegypti* (Eiras et al., 2021b).

A utilização de dados coletados em campo por armadilhas georreferenciadas, gerando índices de infestação automaticamente e disponibilizados em tempo real na internet apresenta vantagens no monitoramento por otimizar o processo de vigilância e tomada de decisões para controle vetorial (Eiras et al., 2018b). Recentemente, testes de biologia molecular para detectar mosquitos capturados infectados por arbovírus via RT-qPCR têm sido utilizados como uma importante ferramenta de detecção precoce de circulação viral (Gu et al., 2008; Reis et al., 2013; Lau et al., 2017) e verificado forte correlação com casos de arboviroses (Sedda et al, 2018).

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizada na cidade de Belo Horizonte, é definida como ponto estratégico por possuir peculiaridades estruturais, grande circulação de pessoas diariamente e ampla proliferação do vetor. A presença do *Ae. aegypti* na UFMG é relatada desde 2002 (Silva, 2003; Gomes et al., 2006; Gonçalves et al., 2009; Abreu et al. 2007; Rocha et al., 2016; Silva et al., 2016) e recentemente, foram identificados pela primeira vez em um campus universitário, a circulação dos arbovírus DENV1, DENV3 e ZIKV no Campus Pampulha da UFMG (Eiras et al., 2018a). Diante disso, devido à complexidade desta região, o monitoramento contínuo do vetor por meio de armadilhas apresenta-se como estratégia viável e eficiente para o levantamento de índices de infestação o que possibilita o direcionamento de ações de controle vetorial. Portanto, o objetivo do trabalho foi realizar o monitoramento do campus da UFMG para identificar áreas com alta densidade vetorial.

## **II.2 OBJETIVOS**

### **II.2.1 Objetivo geral**

Monitorar o campus universitário através da integração da armadilha Gravid *Aedes* Trap e o Sistema de Monitoramento Inteligente (MI-*Aedes*).

### **II.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar áreas com alta infestação de *Ae. aegypti* no campus Pampulha da UFMG e definir *hotspots*.
- Analisar a variação espacial e temporal de *Ae. aegypti*.

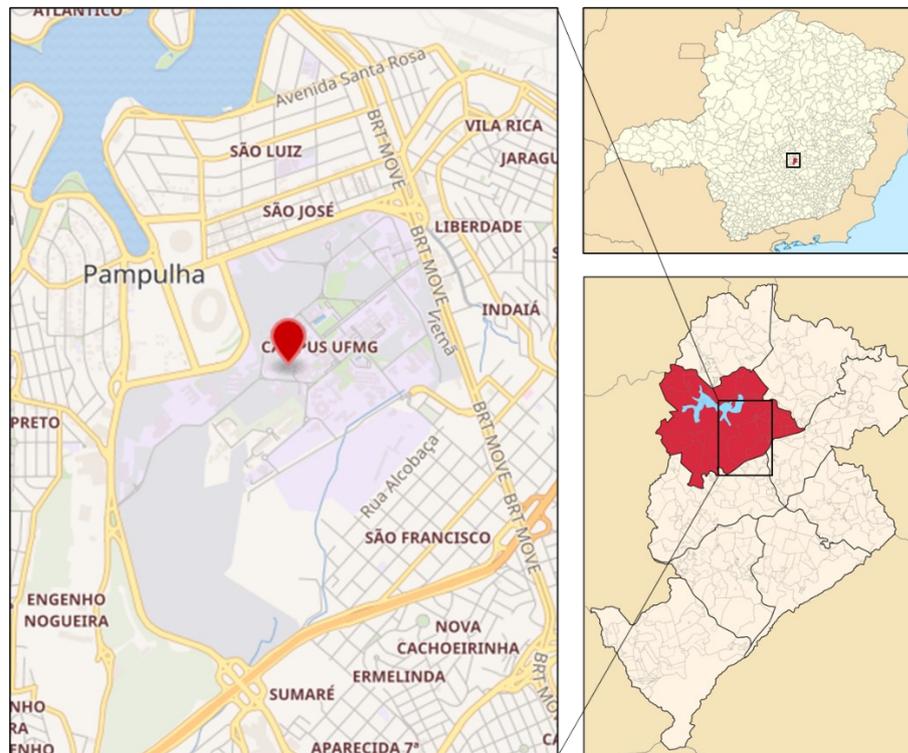
- Verificar a correlação da densidade de *Ae. aegypti* e variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade e umidade) no campus Pampulha.
- Orientar ações de controle a serem realizadas no campus Pampulha.

## II.3 MATERIAIS E MÉTODOS

### II.3.1 Local do estudo

O campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (19° 52' 8.72" S, 43° 57' 58.97" W) está localizado em Belo Horizonte (MG), município com a 3ª maior aglomeração urbana do país, (Figura 15) (IBGE, 2019; UFMG, 2012). Este campus possui extensão territorial de 3,34 km<sup>2</sup>, sendo composto por áreas de associações florestais de mata atlântica e 400.159 m<sup>2</sup> de área construída por onde circulam diariamente mais de 60 mil pessoas de diferentes locais de Belo Horizonte e várias cidades da região metropolitana.

O clima tropical de altitude do local apresenta-se com duas estações bem definidas: a seca, de abril a setembro (outono/ inverno) e a chuvosa, de outubro a março (primavera/verão). No ano, a temperatura média é de 21 °C, com variações médias de 16 °C a 31 °C, a umidade relativa do ar é de, aproximadamente, 65% e a precipitação é de 1.600 mm.



**Figura 15.** Mapa da área de estudo, mostrando a localização da Universidade Federal de Minas Gerais na cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais.

### II.3.2 Armadilha Gravid *Aedes* trap

Na base das GATs foram adicionados 1,5L de água e larvicida pyriproxyfen (Sumilarv<sup>®</sup> 0,5g) para evitar o possível desenvolvimento de larvas. No interior da câmara translúcida, utilizou-se um atraente sintético de oviposição (*AtrAedes*) constituído por voláteis identificados a partir da infusão de capim colônia (*Panicum maximum*) e por um polímero que permite uma taxa de liberação de odor constante (Eiras e Resende, 2009), para aumentar a sua eficiência. Uma tela (20 x 20cm) impregnada com o piretróide alfacipermetrina (4,8%) foi colocada também no interior desta câmara para promover a morte dos mosquitos aprisionados no interior armadilha (Costa et al., 2014).

### II.3.3 Atividades desenvolvidas

#### II.3.3.1 Parcerias para execução das atividades do projeto

Este projeto foi parcialmente financiado pela Reitoria da UFMG e teve como parceiros o Departamento de Gestão Ambiental (DGA/UFMG) e Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo no Controle de Vetores (LINTEC/ICB/UFMG) compondo as coordenações administrativas e científicas, respectivamente. A Gerência de Controle de Zoonoses da Pampulha (GERCZO/PBH), o Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI/UFMG) e a Divisão de Áreas Verdes (DAV/UFMG) integraram o projeto disponibilizando pessoas para operacionalizar as atividades de controle.

A condução do monitoramento do vetor teve a participação de seis bolsistas de iniciação científica (IC) e um coordenador de campo. Os bolsistas ICs foram devidamente selecionados pela coordenação do projeto e receberam treinamento para adquirir conhecimento teórico e prático sobre identificação de culicídeos, manutenção da armadilha e métodos de monitoramento e controle para o *Ae. aegypti* alternativos e convencionais (MS, 2009; WHO, 2018; Achee et al., 2019). No decorrer do projeto os ICs realizaram vistorias e manutenção das armadilhas, acompanhamento de ações de controle e práticas de divulgação científica, enquanto o coordenador teve a função de gerenciar a equipe de campo e os dados de vistoria, analisar as informações coletadas e ao identificar áreas críticas, indicar os pontos prioritários para o controle vetorial.

### II.3.3.2 Instalação de armadilhas

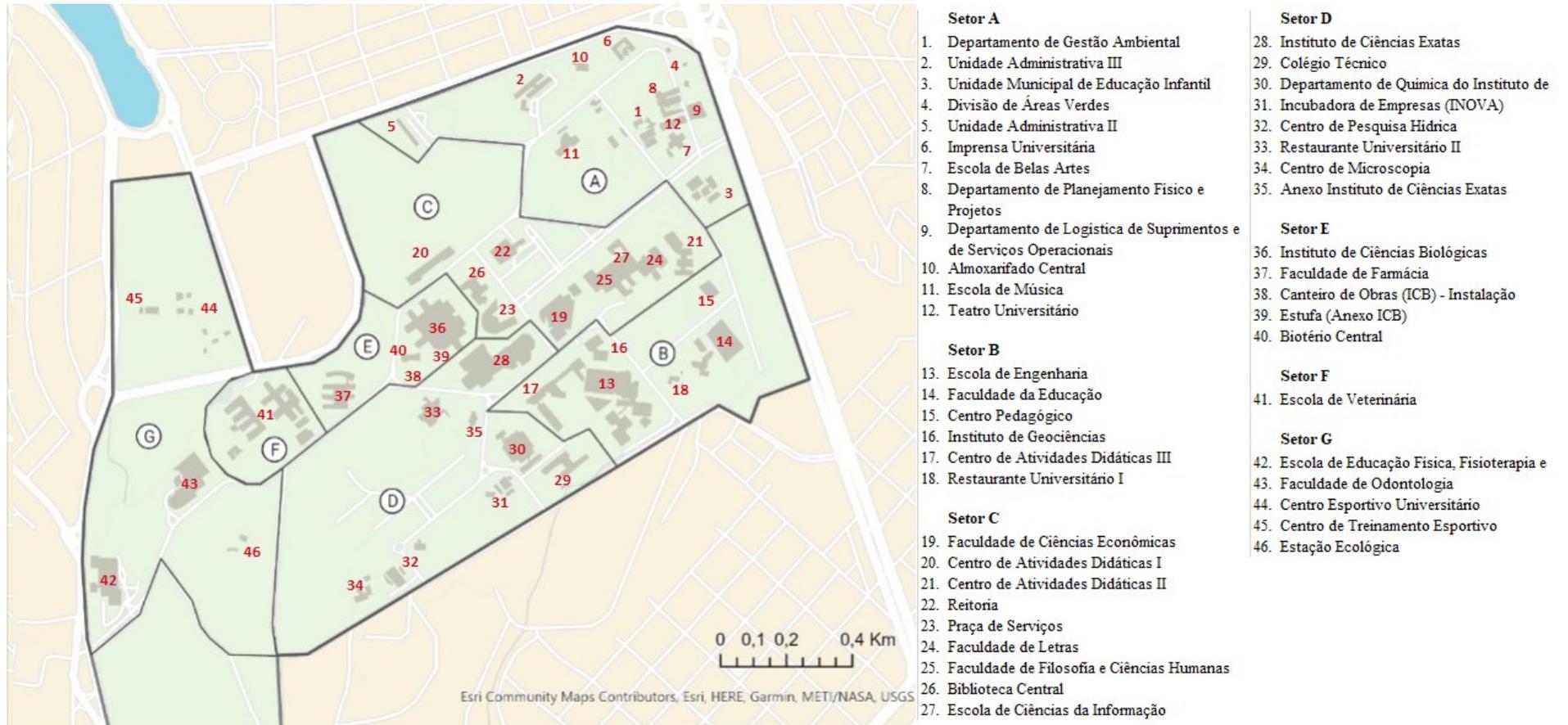
As armadilhas foram instaladas na área externa dos 45 prédios acadêmicos, especiais e administrativos e 1 prédio temporário da universidade a, aproximadamente, 50m de distância uma da outra. Assim, o número de armadilhas por prédio ficou condicionada à extensão da edificação. Todos os pontos de instalação foram georreferenciados e os prédios foram setorizados, de acordo com o quadro 3. Com exceção do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), toda área construída da universidade foi abrangida pelo estudo (Figura 16).

**Quadro 3.** Setorização dos prédios do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais de acordo com a instalação das armadilhas GAT para o monitoramento do *Aedes aegypti*.

Setor	Prédio	Siglas	Nº de armadilhas
A	Departamento de Gestão Ambiental	DGA	7
	Unidade Administrativa III	UAD3	3
	Unidade Municipal de Educação Infantil	UMEI	3
	Divisão de Áreas Verdes	DAV	2
	Unidade Administrativa II	UAD2	2
	Imprensa Universitária	IMP	2
	Escola de Belas Artes	EBA	2
	Departamento de Planejamento Físico e Projetos	DPFP	1
	Departamento de Logística de Suprimentos e de Serviços Operacionais	DLO	1
	Almoxarifado Central	ALM	1
	Escola de Música	MUS	1
	Teatro Universitário	TU	1
B	Escola de Engenharia	ENG	17
	Faculdade da Educação	FAE	8
	Centro Pedagógico	CP	3
	Instituto de Geociências	IGC	2
	Centro de Atividades Didáticas III	CAD3	2
	Restaurante Universitário I	RU2	1
C	Faculdade de Ciências Econômicas	FACE	5
	Centro de Atividades Didáticas I	CAD1	4
	Centro de Atividades Didáticas II	CAD2	3
	Reitoria	Reitoria	3
	Praça de Serviços	PRÇS	3
	Faculdade de Letras	FALE	3
	Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas	FAFICH	3
	Biblioteca Central	BIC	2
	Escola de Ciências da Informação	ECI	2

D	Instituto de Ciências Exatas	ICEX	9
	Colégio Técnico	COLTEC	4
	Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas	DQ	4
	Incubadora de Empresas (INOVA)	INOVA	3
	Centro de Pesquisa Hídrica	CPH	3
	Restaurante Universitário II	RU2	1
	Centro de Microscopia	Micro	1
	Anexo Instituto de Ciências Exatas	AICEX	1
E	Instituto de Ciências Biológicas	ICB	11
	Faculdade de Farmácia	FAR	5
	Canteiro de Obras (ICB) - Instalação temporária	COI	3*
	Estufa (Anexo ICB)	AICB	1
	Biotério Central	Biotério	1
F	Escola de Veterinária - Baias	VET	9
	Escola de Veterinária – Prédio	VET	8
G	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional	EEFFTO	6
	Faculdade de Odontologia	ODO	5
	Centro Esportivo Universitário	CEU	3
	Centro de Treinamento Esportivo	CTE	3
	Estação Ecológica	EECO	3
<b>Total</b>			<b>168</b>

\* Instalação temporária



**Figura 16.** Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais e a setorização realizada para o presente estudo juntamente com suas respectivas edificações.

A instalação das armadilhas ocorreu de forma gradual (Quadro 4), sendo iniciada em dezembro de 2016 na região central do campus Pampulha, pelos prédios ICB e Praça de serviços. Em fevereiro de 2017 (SE-09) houve um ajuste do número de armadilhas nestes dois prédios, com a retirada de 31 GAT. Entre fevereiro (SE-06) e maio de 2017 (SE-20) ocorreram instalações de armadilhas em quase todas as semanas epidemiológicas, compreendendo 43 prédios e uma instalação temporária (Canteiro de Obras do ICB) com 198 armadilhas. Em agosto deste mesmo ano ocorreu a inclusão do Centro Esportivo e o Centro de Treinamento da UFMG, totalizando os 45 prédios do estudo e uma instalação temporária com 204 armadilhas instaladas.

Entre janeiro (SE-01) e março (SE-10) de 2018 ocorreram ajustes no raio de distância das armadilhas, sendo necessário a retirada de alguns dispositivos. Com isso, o total de GAT em campo passou de 204 para 168, esta foi a última mudança considerável na quantidade de armadilhas (Figura 17). Posteriormente ao período relatado acima e expresso no quadro A, o Canteiro de Obras foi desativado (SE-10 de 2018), uma armadilha foi retirada da Estação Ecológica (SE-02 DE 2019) e da Estufa do ICB (SE-24 de 2019).

**Quadro 4.** Número de armadilhas presentes nos 46 prédios em cada mês. As células em verde indicam que houve instalação de armadilhas, as células em vermelho indicam que houve retirada de armadilhas.

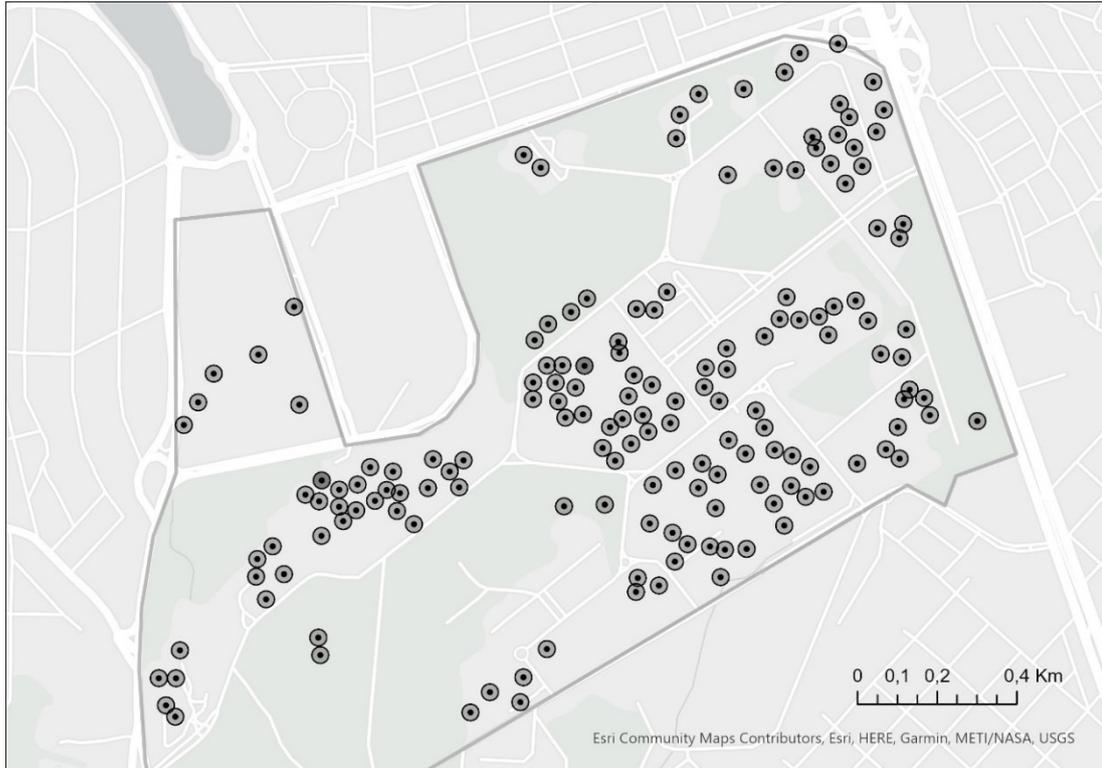
Prédios	2017												2018					
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
AICB *	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AICEX	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
ALM	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
BIC	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	2
Biotério	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1
CAD1	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
CAD2	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
CAD3	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CEU	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
COLTEC	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
COI	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
CPH	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CTE	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DAV	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2
DGA	0	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

DLO	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1
DPFP	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DQ	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
EBA	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ECI	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
EECO *	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
EEFFTO	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6
ENG	0	0	0	0	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	17	17	17	17
FACE	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
FAE	0	0	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8
FAFICH	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
FALE	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
FAR	0	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5	5
ICB	42	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	11	11	11	11
ICEX	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9
IGC	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
IMP	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
INOVA	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Micro	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
MUS	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ODO	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5	5	5	5
PRÇS	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Reitoria	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3
RU1	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
RU2	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1
TU	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UAD2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
UAD3	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
UMEI	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	3	3	3	3
VET	0	0	17	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	17	17	17	17
Total	48	27	93	124	196	198	198	204	204	204	204	204	204	203	203	168	168	168	168

Instalação de armadilhas no prédio

Retirada de armadilhas do prédio

\* Retirada de 1 armadilha posterior ao período exposto



**Figura 17.** Distribuição das 168 armadilhas Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. Cada ponto demonstra a localização georreferenciada de uma armadilha.

### II.3.3.3 *Vistoria das armadilhas - Monitoramento de Culicídeos*

O monitoramento de culicídeos foi realizado durante 3 anos, com primeira vistoria na SE-1 de 2017 (03/01/2017) e a última na SE-52 de 2019 (22/12/2019). As coletas foram contínuas, exceto na SE-29 e 30 de 2017 (16/07/2017 a 29/07/2017) devido ao recesso acadêmico. As armadilhas foram inspecionadas semanalmente entre o 3º e 4º dia de cada semana epidemiológica, de acordo com o calendário epidemiológico disponibilizado pelo Ministério da Saúde. Trimestralmente ocorreram trocas de atraente sintético de oviposição e tela impregnada com inseticida.

Nas vistorias, os mosquitos capturados pela armadilha foram contabilizados e identificados em campo com auxílio de uma lupa entomológica manual com aumento de 20x, seguindo a metodologia de identificação de culicídeos em campo avaliada por Resende e Eiras (2010). Todas as fêmeas das espécies *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex* sp. foram coletadas e enviadas ao Laboratório de Biologia Molecular do LINTEC para análise via RT-PCR em tempo real, enquanto os machos foram descartados. Além da identificação de culicídeos (espécie, sexo e quantidade), durante as vistorias, também foram avaliadas condições associadas a armadilha, tais como: nível da água, presença de ovos, presença de lixo, necessidade de substituição de atraente, tela ou componentes da armadilha. Todas essas informações foram inseridas

manualmente em planilha de papel para posterior inserção destes dados no sistema MI-*Aedes* (Figura 18).

**CADASTRAR VISTORIA**

ARMADILHA: 10892

BAIRRO: CP - ICB

SEMANA: 07/2021

VISTORIADOR\*

DATA DA VISTORIA\*: 14/02/2021

HORA DA VISTORIA\*: 01:41

NÍVEL DA AGUA\*

Vazio  Médio  Cheio

Larvas na armadilha  Substituiu atraente  Substituiu cartão  Foco encontrado no imóvel  Ovos

OBSERVAÇÕES

***Aedes aegypti***

FÊMEA: 0 MACHO: 0

***Aedes albopictus***

FÊMEA: 0 MACHO: 0

***Culex sp***

FÊMEA: 0 MACHO: 0

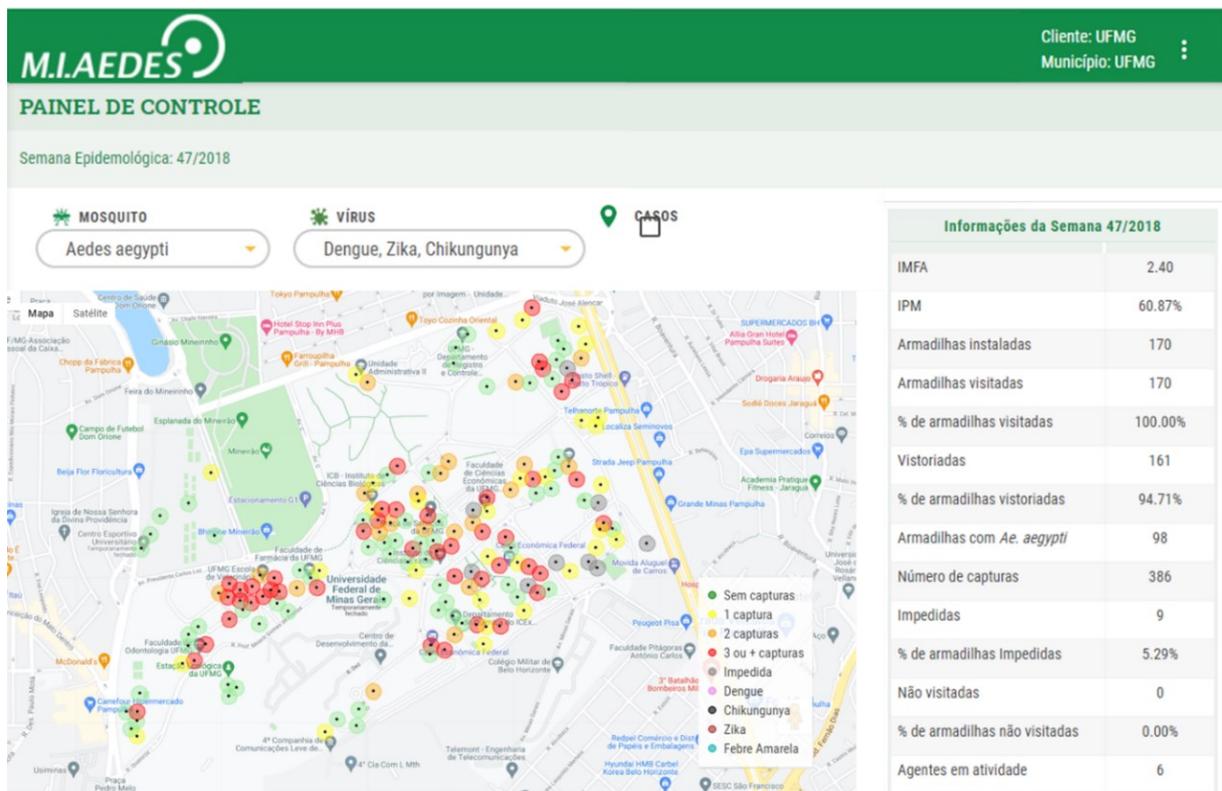
CANCELAR **SALVAR**

**Figura 18.** Interface do Sistema de Monitoramento do *Aedes* (MI-*Aedes*) para o cadastramento de número, espécie e sexo dos mosquitos capturados e condições das armadilhas nas vistorias.

#### II.3.3.3.1 Sistema MI-*Aedes*

Ao fim das atividades de campo, entre o quinto e sexto dia de cada semana epidemiológica, todos os dados de vistorias foram encaminhados ao laboratório. O coordenador de campo encarregava-se de cadastrar na plataforma MI-*Aedes* as informações obtidas durante as inspeções das armadilhas, conforme a figura 18. Os dados de campo ficavam disponíveis imediatamente no site do MI-*Aedes* por meio de um login e senha (<https://mi2.miaedes.com.br/>).

Por meio deste painel foi possível visualizar mapas georreferenciados baseado em índices de captura de *Ae. aegypti*. Além disso, também ficavam disponíveis o total de mosquitos capturados e os índices entomológicos (a) Índice Médio de Fêmeas Grávidas de *Aedes* (IMFA) (Eiras e Resende, 2009); (b) Índice de Positividade (quantidade de armadilhas instaladas, o número e a porcentagem de armadilhas vistoriadas, impedidas e não visitadas) (Figura 19). Todos esses dados permitiam acompanhar de forma otimizada a dinâmica populacional do vetor.



**Figura 19.** Painel de controle do Sistema de Monitoramento Inteligente do *Aedes* (MI-Aedes) com mapa georreferenciado das armadilhas e informações sobre a vistoria da semana epidemiológica de referência (SE 47 de 2018).

### II.3.3.4 Atividades de controle de mosquito no campus Pampulha (UFMG) baseado no MI-Aedes

A partir da contínua análise dos dados de infestação de grávidas de *Ae. aegypti* (Eiras et al., 2018a), áreas críticas foram identificadas e verificado a necessidade de controle vetorial, seguindo as recomendações dos PNCD (MS, 2009). Este processo foi realizado pelo LINTEC, responsável por fornecer informações para o Departamento de Gestão Ambiental (DGA) sobre os pontos críticos, a necessidade de controle e o tipo de controle necessário. Ao DGA foi atribuída a responsabilidade do repasse das informações aos órgãos responsáveis.

Dois agentes de controle de endemias (ACE) da Prefeitura de Belo Horizonte cumpriram vistorias quinzenais, preferencialmente em áreas críticas sugeridas pela coordenação. Nestes ambientes foi realizada a procura de criadouros e possíveis criadouros e, quando encontrados, houve a aplicação do larvicida pyriproxyfen (Sumilarv® 0,5g). O Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI-UFMG) integrou o projeto para efetuar as atividades de controle mecânico, sendo elas: vedação de bueiros, retirada de entulhos, limpeza e vedação de caixas d'água, limpeza de calhas e desativação de canteiros de obras. A Divisão de Áreas Verdes (DAV-UFMG) disponibilizou técnicos responsáveis pela aplicação do inseticida Lambdacialotrina CE5% a Ultra Baixo Volume (UBV), diluído em água com concentração de 0,025% e dose de 1 g/hectare do ingrediente ativo. Todas as atividades realizadas podem ser visualizadas no quadro 5.

Em 2018, houve a ausência da DAV no projeto, por problemas técnicos no aparelho de aplicação de inseticida. No mesmo ano, também, não houve a participação dos ACE, devido desfalque de Agentes de endemias na Gerência de Controle de Zoonoses da Pampulha.

**Quadro 5.** Cronograma de realização das atividades de controle no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais de 2017 a 2019.

ATIVIDADE	2017												2018												2019											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Retirada de entulho			3		1										1																					
Desativação/remoção de possível criadouro			1		1										1	1	1	1	1	1	1	1	1*													1
Eliminação de criadouros pela PBH + larvicida						5			4	7															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aplicação de larvicida				1		3																			1											
Aplicação de UBV				1	2	6			1	11																										
Levantamento de criadouro + larvicida									3	5					3														1							1

\* Obra para remoção de criadouro = contabilizada como atividade única

### II.3.4 Obtenção de dados meteorológicos

Os dados meteorológicos da SE-01 de 2017 a SE-52 de 2019 foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram consideradas as informações geradas pela Estação Automática de Belo Horizonte (Pampulha – A521), localizada na Universidade Federal de Minas Gerais, 19° 88' 39.45" S, 43° 96' 93.97" W, em altitude de 854 m. As variáveis climáticas consideradas foram temperatura média diária (°C), precipitação pluviométrica diária (mm) e umidade relativa do ar média diária (%).

### II.3.5 Indicadores Entomológicos e análises estatísticas dos dados

O número de mosquitos capturados foi utilizado para determinar o Índice Médio de Fêmeas de *Ae. aegypti* (IMFA) (Eiras e Resende, 2009):

$$IMFA = \frac{n^{\circ} \text{ de fêmeas capturadas}}{n^{\circ} \text{ de armadilhas vistoriadas}}$$

Este indicador foi utilizado para análise da variação temporal dos culicídeos. Para análise espacial o IMFA foi comparado considerando os diferentes prédios e setores do campus Pampulha, sendo submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-wilk para verificar se apresentavam distribuição normal. Como não seguiram distribuição gaussiana, foi aplicado o teste de Kruskal-wallis para a comparação entre os diferentes grupos. A distribuição do vetor foi analisada a partir do estimador de densidade de Kernel por meio do software ArcGIS (Pro versão 2.6.), que demonstrou hotspots para a captura de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex* sp. A correlação entre o indicador entomológico e variáveis climáticas, foi testada pelo teste não paramétrico Spearman. Todos os testes estatísticos foram realizados utilizando o software R versão 4.0.2 e GraphPad Prism versão 5.0.

## II.4 RESULTADOS

### II.4.1 Captura de culicídeos pela armadilha Gravid *Aedes* Trap

Em 128 semanas de estudo, as armadilhas GAT capturaram o total de 38.658 culicídeos (302,01 mosquitos/semana), dos quais 31.778 (82,2%) foram identificados como *Ae. aegypti*, 5.594 (14,5%) *Culex* sp e 1.286 (3,3%) *Ae. albopictus*. O número de fêmeas capturadas do gênero *Aedes* foi predominantemente maior que o de machos, sendo 31.261 (80,9%) fêmeas de *Ae. aegypti* e 1196 (3,1%) fêmeas de *Ae. albopictus*. Para *Culex* sp. ocorreu o oposto, ou seja,

os machos foram mais abundantes que as fêmeas, 3.913 (10,1%) e 1.681 (4,3%), respectivamente (Tabela 4).

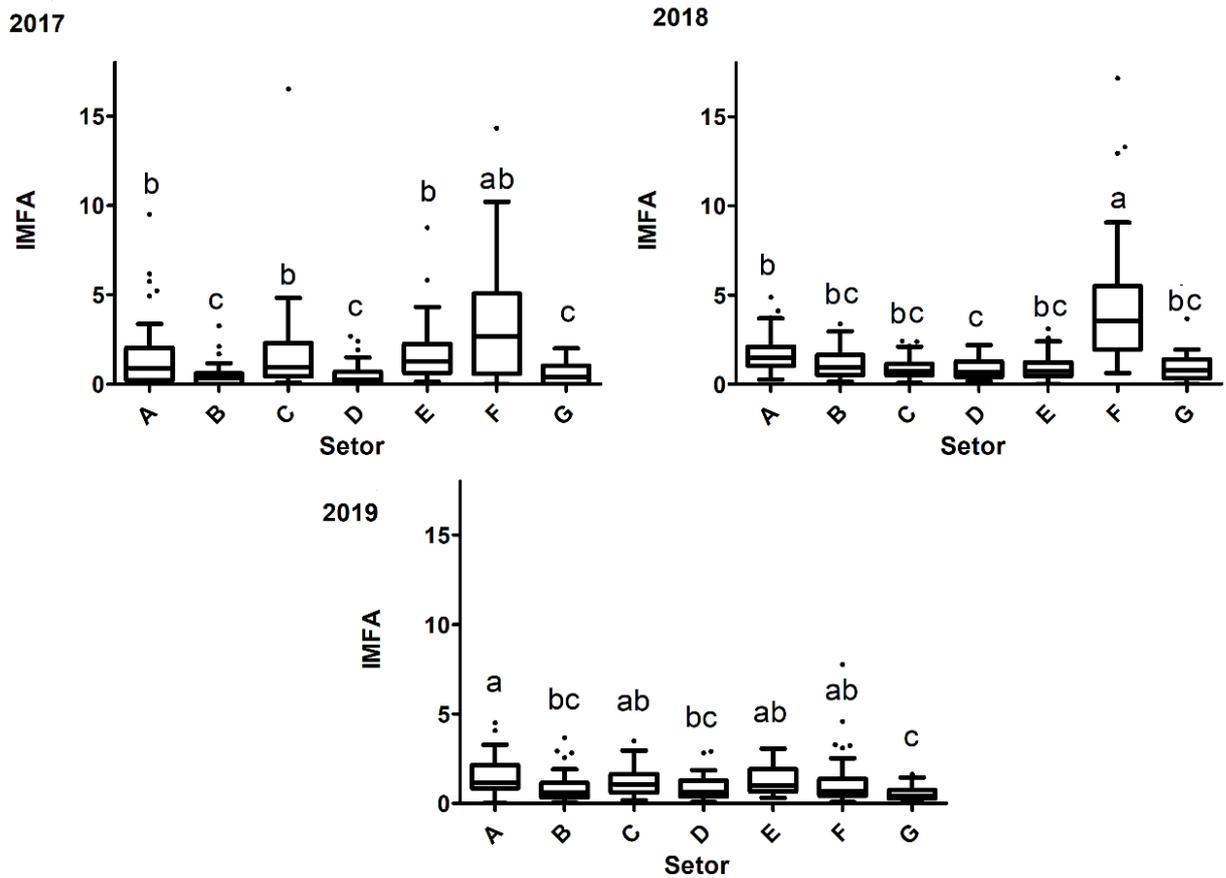
A média de fêmeas *Ae. aegypti* capturadas foi significativamente superior ao *Culex* sp. e *Ae. albopictus*. Foi observada uma variação entre o número de mosquitos capturados por armadilhas, porém uma armadilha capturou excepcionalmente 163 machos de *Culex* sp., enquanto para as fêmeas, o maior número observado em uma armadilha GAT foi de 100 *Ae. aegypti*.

**Tabela 4.** Número de culicídeos capturados pela armadilha Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017 a 2019.

	Fêmeas		Machos	
	Média ± EP	Total	Média ± EP	Total
<i>Aedes aegypti</i>	1,25 ± 0,02 a	31.261	0,02 ± 0,0 b	517
<i>Aedes albopictus</i>	0,05 ± 0,0 b	1.191	0,004 ± 0,0 b	90
<i>Culex</i> sp.	0,07 ± 0,0 b	1.681	0,16 ± 0,02 a	3.913

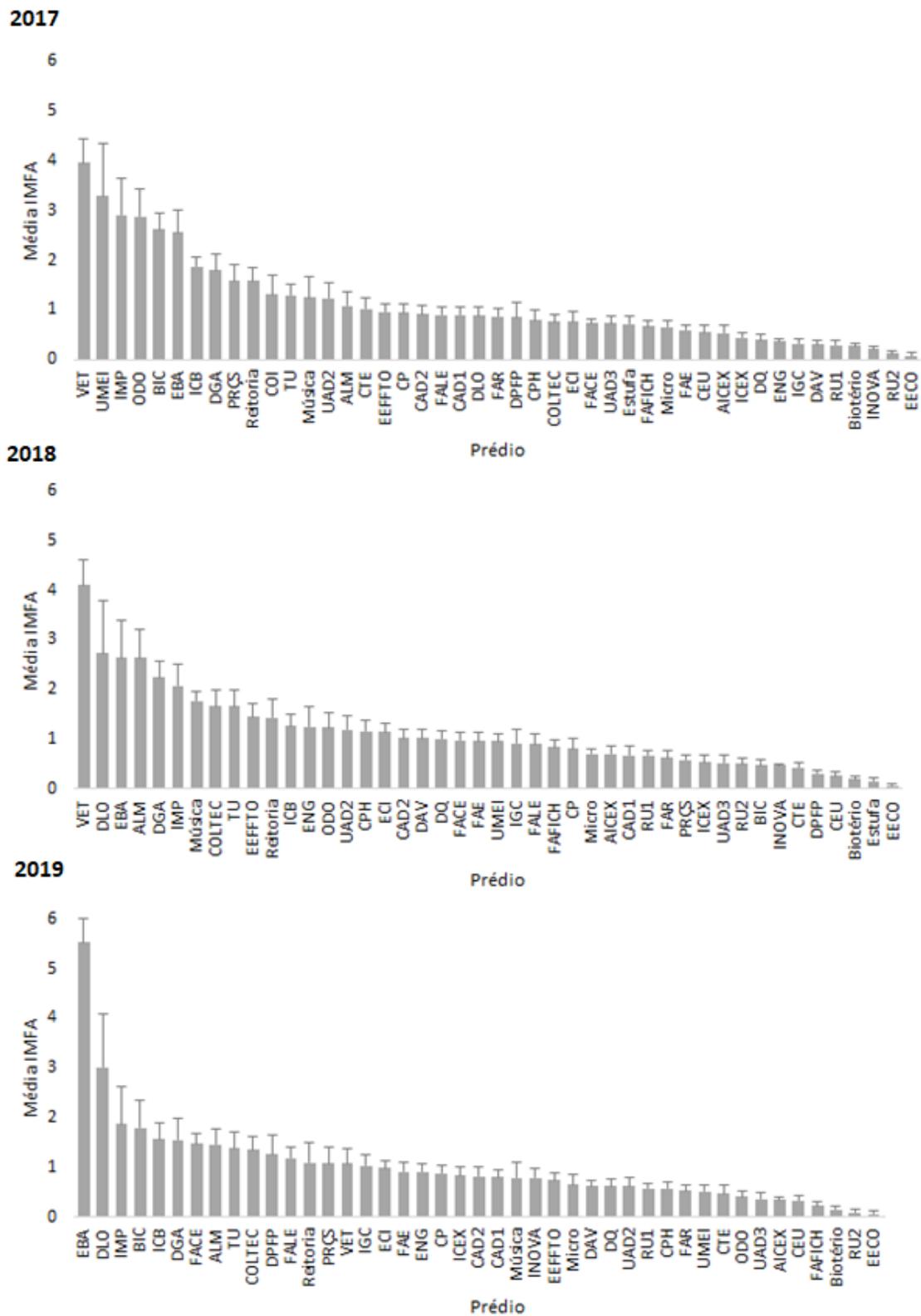
#### II.4.2 Indicadores entomológicos

Das sete áreas do campus, o setor F foi responsável por 24,8% de fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas no estudo, enquanto a menor proporção de captura (6,8%) ocorreu no setor G. A média do IMFA no setor F foi significativamente maior nos anos de 2017 e 2018 ( $p < 0,0001$ ), entretanto, em 2019 diante da queda brusca de capturas, esse indicador foi estatisticamente igual às demais áreas. Além deste, os setores A, C e E também apresentaram indicadores entomológicos elevados em 2017, sendo significativamente maior que os setores B, D e G. Nos demais anos as médias desses setores foram semelhantes (Figura 18).



**Figura 20.** Média de fêmeas de *Aedes aegypti* dos setores da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019. O ponto acima da barra representa os valores outliers de cada conjunto de dados.

Ao considerar as capturas de culicídeos nas edificações, em 2017 e 2018, a Escola de Veterinária se destacou por apresentar a maior média do IMFA para *Ae. aegypti* ( $3,96 \pm 0,49$ ) e obteve IMFA significativamente reduzido em 2019 quando comparado com os anos anteriores. Já em 2019, a Escola de Belas Artes demonstrou média do IMFA significativamente maior que os demais prédios ( $p < 0,001$ ). As edificações que obtiveram menores indicadores entomológicos em 2017, 2018 e 2019 foi a Estação Ecológica (Figura 21).



**Figura 21.** Índice Médio de Fêmeas (IMFA) de *Aedes aegypti* nas edificações do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais em 2017 a 2019.

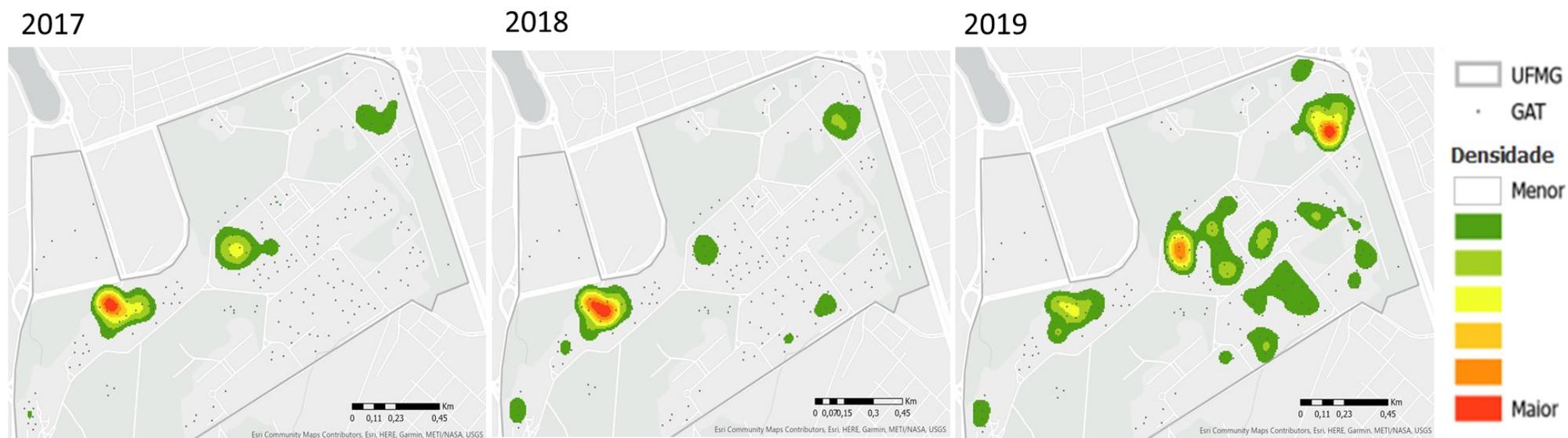
Assim como o IMFA médio, as maiores capturas de *Ae. aegypti* foram observadas na Escola de Veterinária, porém a ordem foi diferente quanto as outras edificações. O Instituto de Ciências Biológicas, a Escola de Engenharia e o Departamento de Gestão Ambiental, ocuparam, respectivamente, as posições subsequentes de prédios com as maiores abundância de mosquitos e juntos somaram 15.466 (49,5%) de fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas em todo período de estudo.

#### **II.4.3 Mapas de Calor do Monitoramento de *Aedes aegypti***

A partir dos mapas de Kernel foi possível observar anualmente regiões de maior abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*. No geral, os setores A, E e F apresentaram-se como pontos de maior densidade para o *Ae. aegypti*. Em 2017 e 2018, foram observados uma área quente (*hotspot*) no setor F/Escola de Veterinária. No entanto, este *hotspot* não foi observado em 2019. Em 2019, houve dois *hotspots*, sendo um no setor A, compreendendo principalmente a Escola de Belas Artes, e outro no setor E/Instituto de Ciências Biológicas. Nesse ano, a área que anteriormente era vista como ponto de alta densidade (Setor F/ Escola de Veterinária) passou para densidade moderada/baixa (Figura 22).

Os *hotspots* para *Ae. albopictus* localizaram-se na região central do campus, entre os C e E em 2017. Em 2018, esses *hotspots* se mantiveram e houve o surgimento de novos *hotspots* no setor B/Escola de Engenharia e outro no Setor D. Em 2019, os pontos de densidade foram diferentes dos anos anteriores, havendo apenas um *hotspot* no setor A (Figura 23).

As alta densidade de *Culex* sp ocorreu, principalmente, na região central do campus (2017 e 2018) e na região entre a Escola de Engenharia, o Colégio Técnico e o Departamento de Química (2017, 2018, 2019). Além dessas áreas, houve pontos de densidade moderada (amarelo), como o Restaurante Universitário I e a Escola de Veterinária em 2017 (Figura 24).



**Figura 22.** Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas por armadilhas Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.



**Figura 23.** Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de *Aedes albopictus* capturadas por armadilhas Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.



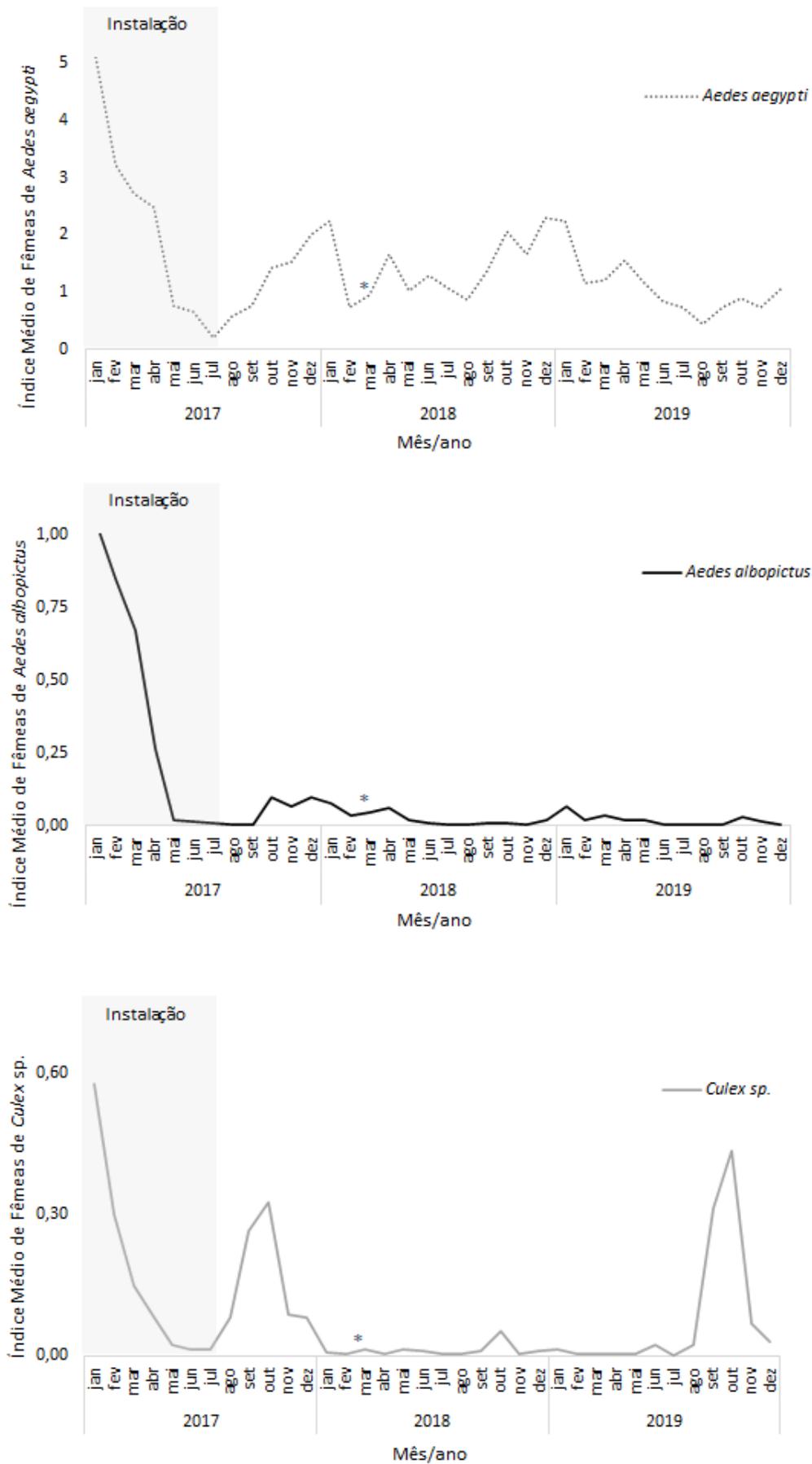
**Figura 24.** Estimador de densidade Kernel da abundância de fêmeas de *Culex* sp. capturadas por armadilhas Gravid *Aedes* Trap no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.

### II.4.3 Variação temporal

A variação temporal de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex* sp. apresentou semelhanças em todos os anos de estudo (Figura 25). Estas espécies apresentaram uma elevada captura no início de 2017, principalmente, nos primeiros meses, intervalo que coincide com o período de instalação de armadilhas.

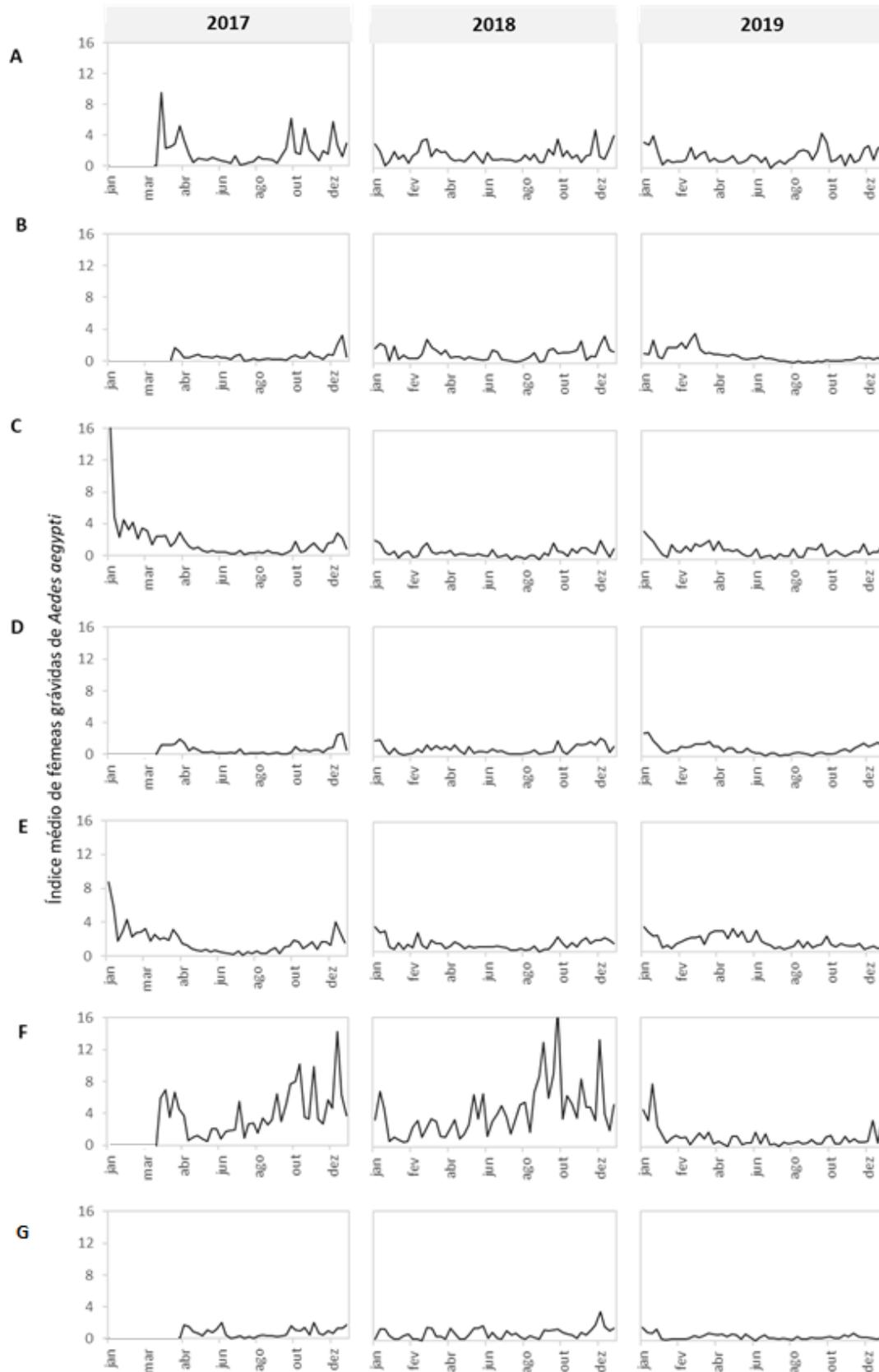
De forma geral, ocorreram capturas das fêmeas de *Ae. aegypti* durante todos os meses dos anos, porém demonstrou aumento a partir do mês de setembro até dezembro/janeiro, momento em que os picos de captura foram observados. Em 2017 e 2018, os maiores valores observados do IMFA ocorreram na SE-52 (4,10) e SE-51 (3,85), respectivamente. Foi observado que no início dos anos ocorreram índices entomológicos elevados e que em fevereiro ocorreram uma redução na captura, seguido por um novo aumento no mês de março. Em 2018, observou-se picos nos meses de março (SE-14; IMFA 2,15 e 365 mosquitos capturados e abril (SE-15, IMFA = 1,95 e 331 capturas) em 2019 (SE-14; IMFA = 1,98 e 337 fêmeas de *Ae. aegypti*). Observou-se uma redução nos indicadores durante os meses mais frios (julho e agosto), como a SE32 de 2017 e de 2018 apresentando IMFA 0,14 e 0,52 de 28 e 92 fêmeas, respectivamente, e a SE34 de 2019 com IMFA 0,32 e 54 fêmeas, sendo essas umas das menores capturas dos respectivos anos.

Apesar dos indicadores entomológicos para o mosquito *Culex* sp. serem reduzidos, quando comparados como o de *Ae. aegypti*, esse gênero apresentou uma maior população entre agosto e outubro, com um pico observado no mês de outubro nos três anos de estudo (Figura 25). O *Ae. albopictus* apresentou baixas capturas, de modo geral, entretanto, foi possível observar um aumento na densidade populacional no período de setembro de 2017 a abril de 2018 e em dezembro de 2018 a abril de 2019.



**Figura 25.** Índice Médio de Fêmeas Gravidas de *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* e *Culex sp.* durante os anos de 2017, 2018 e 2019 na Universidade Federal de Minas Gerais.

A flutuação sazonal do *Ae aegypti* não foi similar entre os diferentes setores da Universidade (Figura 26). É possível observar o padrão sazonal descrito acima, com aumento de capturas de setembro a abril e menores capturas entre maio a agosto, em quase todos os setores, salvo algumas exceções, como: setor F em 2017 no qual os indicadores entomológicos começaram a aumentar a partir de junho; Setor F em 2018 em que não houve diminuição considerável dos índices de infestação; e Setor E em 2019 quando os indicadores só começaram a diminuir a partir de junho.

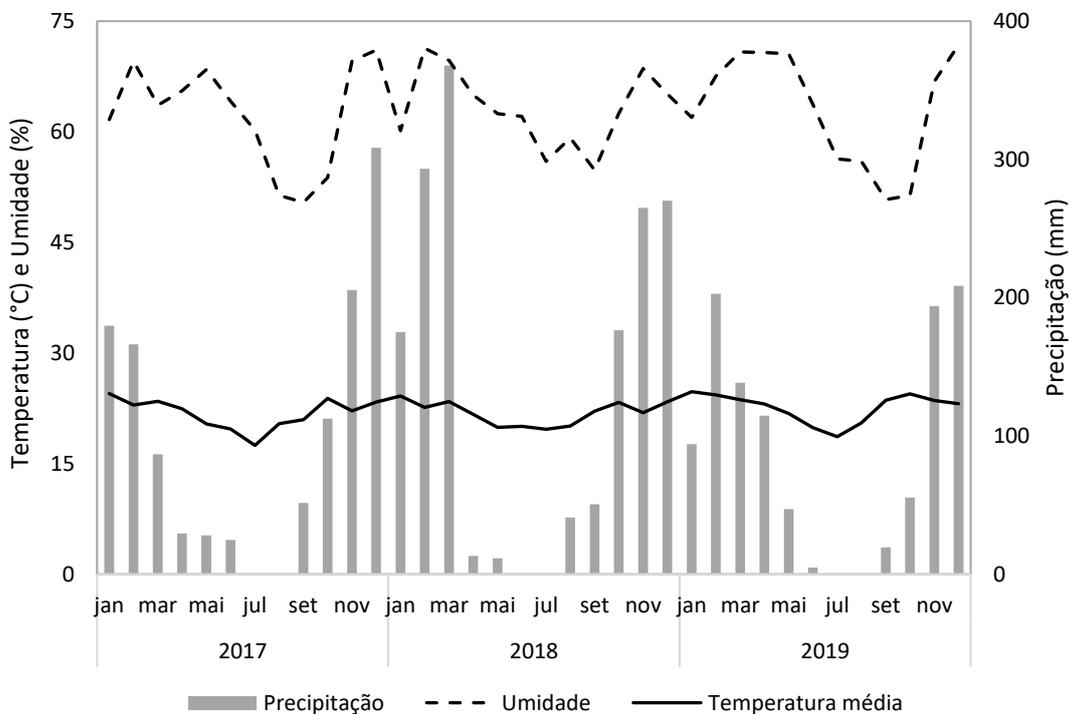


**Figura 26.** Variação do IMFA semanal das fêmeas de *Aedes aegypti* pela armadilha Gravid *Aedes* Trap nos setores A – F da Universidade Federal de Minas Gerais nos anos de 2017, 2018 e 2019.

#### II.4.4 Variações climáticas

Durante o período do estudo, ocorreram variações climáticas semanais na temperatura média (15,5 a 26,4 °C), umidade relativa do ar (38,1 a 81,3%) e a precipitação acumulada (0 a 226 mm) (Figura 27).

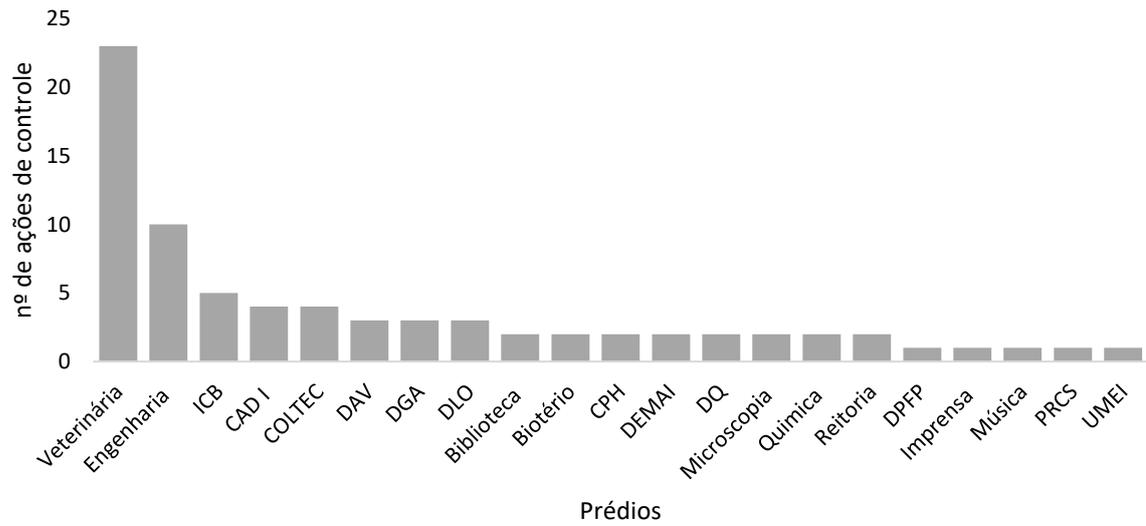
Nas análises de correlação entre o IMFA e as variáveis climáticas, observou-se uma correlação moderada positiva ( $\rho = 0,50$ ) e significativa ( $p < 0,0001$ ) entre o indicador entomológico e a temperatura média semanal. A correlação foi fraca e positiva para a precipitação ( $\rho = 0,34$ ) e não houve correlação para umidade ( $\rho = 0,14$ ).



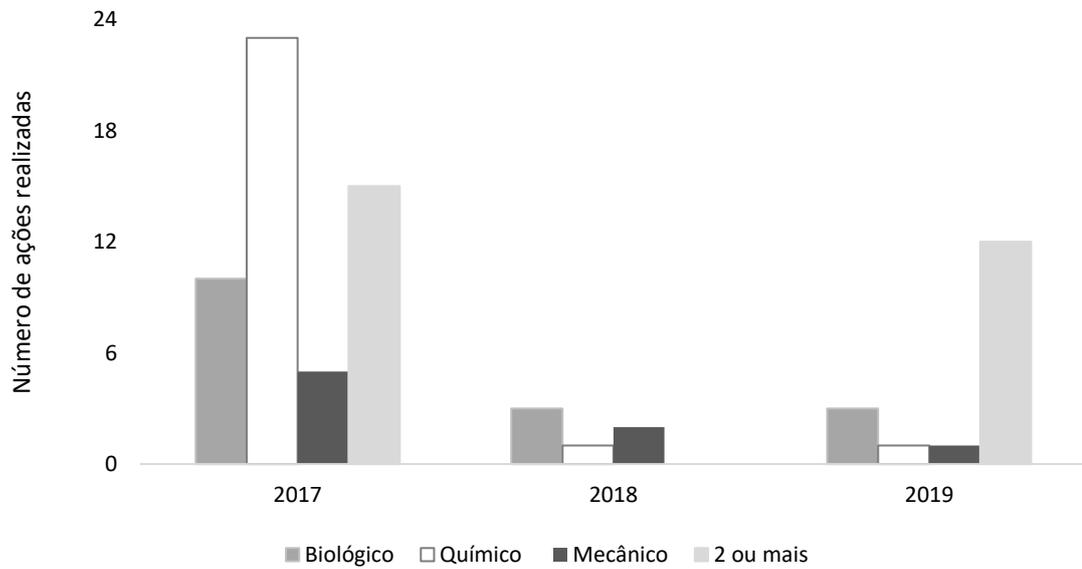
**Figura 27.** Dados meteorológicos da estação automática da Universidade Federal de Minas Gerais. Fonte: INMET.

#### II.4.5 Ações de controle

Foram realizadas 76 ações de controle na Universidade. Dentre os 47 prédios do campus, 21 receberam alguma ação de controle durante o período do estudo, sendo a maioria realizada na Escola de Veterinária e Escola de Engenharia (Figura 28). O tipo de controle mais frequente foi o químico e o com menor frequência foi o mecânico (Figura 29). Cerca de 70% das ações foram realizadas em 2017, 22% em 2019 e 9 % em 2018.



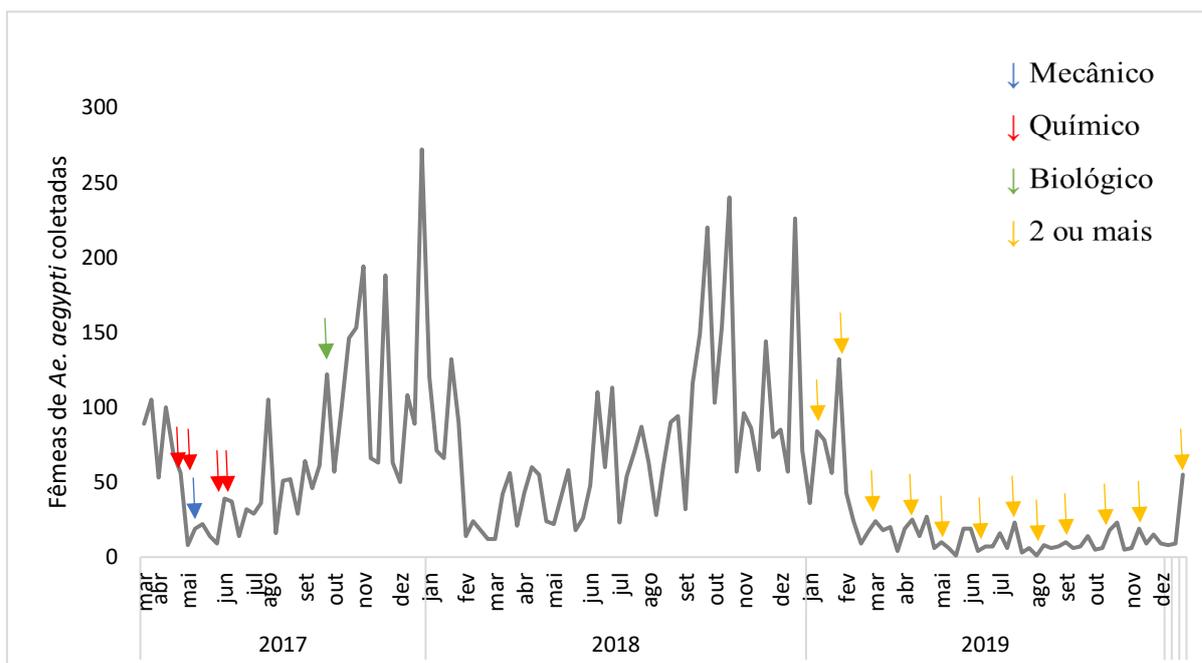
**Figura 28.** Ranking do número de ações de controle empregadas nos prédios do campus Pampulha durante o período de estudo



**Figura 29.** Categoria da ação de controle empregada no campus Pampulha nos anos de 2017, 2018, 2019. \*2 ou mais = ações da prefeitura que envolvia aplicação de larvicida e eliminação de criadouros simples.

#### II.4.5.1 Escola de veterinária: controle de *Aedes aegypti*

Na Escola de Veterinária foram realizadas atividades de controle em 2017, entretanto, não houve uma continuidade das ações no ano de 2018, o que resultou no aumento dos indicadores entomológicos. Em 2019, o controle contínuo da área pôde ser implementado, principalmente com a realização efetiva das atividades dos ACE, com eliminação de habitats larvais e tratamento com larvicida (Figura 30).



**Figura 30.** Flutuação populacional de *Aedes aegypti* capturados pela armadilha Gravid *Aedes* Trap mensalmente nos anos de 2017 a 2019, na Escola de Veterinária no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG). As setas indicam a realização de atividades de controle vetorial na área realizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte.

#### II.4.5.2 Controle de *Culex* sp.

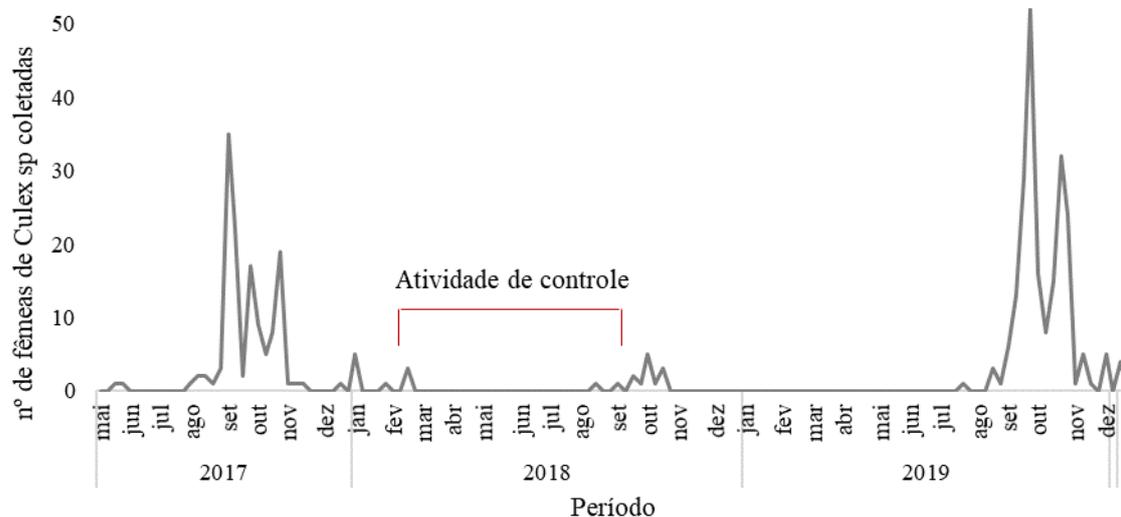
Nas proximidades da Escola de Engenharia, Colégio Técnico e Departamento de Química foram realizadas atividades voltadas ao controle de *Culex* sp. Em 2017, nesta região, a média de captura semanal de *Culex* sp. no período de alta abundância (agosto a outubro) foi de  $3,88 \pm 1,35$ . No ano seguinte, entre março e setembro de 2018 foram implementadas no córrego Engenho Nogueira (Figura 31), a limpeza do ambiente e desassoreamento (Figura 32). Subsequentemente, houve redução significativa de *Culex* sp entre agosto a outubro em comparação a 2017 ( $p < 0,05$ ) (Figura 33).



**Figura 31.** Trecho do córrego Engenho Nogueira situado dentro da área do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais antes das ações.



**Figura 32.** Alterações desenvolvidas no trecho do córrego Engenho Nogueira localizado situado dentro da área do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. (A) Limpeza da área com a retirada de vegetação; (B) Retirada de sedimentos do córrego; (C) Ação finalizada, fluxo do córrego em período de estiagem; (D) Ação finalizada, fluxo do córrego em período de chuva.



**Figura 33.** Flutuação populacional de *Culex* sp. capturados pela armadilha Gravid *Aedes* Trap nos anos de 2017 a 2019, na Escola de Engenharia, Colégio Técnico e Departamento de Química do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG).

## II.5 DISCUSSÃO

A identificação de áreas com alta infestação do *Ae aegypti* em áreas com alta densidade da população humana é fundamental para o direcionamento das ações de controle e evitar a propagação do vírus para outras áreas e transmissão de arboviroses no local. Portanto, o presente trabalho usou um campus universitário que apresenta uma circulação diária de mais de 60 mil pessoas de Belo Horizonte e diferentes cidades da região metropolitana (UFMG, 2012). A presença de *Ae. aegypti* no campus da Pampulha da UFMG já foi reportada anteriormente por meio de armadilhas ovitrampas (Silva et al., 2003), BG-Sentinel (Kröckel et al., 2006) e MosquiTRAP (Gonçalves et al., 2009). Recentemente, a armadilha GAT detectou a presença fêmeas de *Ae. aegypti* infectadas por DENV-2, DENV-3 e ZIKV (Eiras et al., 2018a).

O presente estudo é pioneiro em monitorar populações de *Ae. aegypti* pela armadilha GAT utilizando o sistema MI-*Aedes*. Esta metodologia de monitoramento utilizando armadilhas georreferenciadas e disponibilizar os dados em tempo real na internet fornecem informações rápidas e precisas de infestação, apresentando-se como um método alternativo a essas metodologias tradicionais (Eiras et al., 2018b). Embora o sistema MI-*Aedes* utilize a armadilha adesiva MosquiTRAP como ferramenta de monitoramento (Fávaro et al., 2006; Maciel-de-Freitas et al., 2008; Eiras e Resende, 2009; Melo et al., 2012), o presente trabalho utilizou a

armadilha GAT devido a sua eficiência em capturar *Ae. aegypti*, quando comparado com a MosquiTRAP (Ritchie et al., 2014).

A armadilha GAT vem sendo utilizada em diversos países devido a sua maior eficiência e especificidade em capturar grávidas de *Ae. aegypti* (Cilek et al., 2017; Johnson et al., 2018; Mota, 2018) e foi reconhecido pela Organização Mundial da Saúde como uma ferramenta promissora para o monitoramento e controle de *Aedes* (WHO, 2017), além de ser de fácil manuseio e de baixo custo, quando comparados com armadilhas que necessitam de eletricidade para seu funcionamento (Johnson et al., 2017).

O sistema MI-*Aedes* com a MosquiTRAP utiliza o raio de 150-200m entre as armadilhas e a classificação do IMFA como “crítico”, “alerta”, “moderado” ou “satisfatório” (Eiras e Resende, 2009; Pepin et al., 2013), contudo, estas distâncias não podem ser adotadas pela GAT, devido a diferença entre a especificidade e eficácia entre as armadilhas. Portanto, considerando que o deslocamento de *Ae. aegypti* em ambientes urbanos é em média de 250m (Harrington et al. 2005; Maciel-de-Freitas, 2007), e que em locais com abundância de criadouros, tais como o campus Pampulha da UFMG, os mosquitos tendem a se deslocar menos, utilizou-se no presente trabalho o raio de 50m entre as GAT, havendo alguns ajustes até esta definição. Outros estudos com a GAT utilizaram diferentes distâncias entre as armadilhas. Becker e colaboradores (2017) adotou a distância de 25 – 50 m entre as armadilhas para monitorar *Ae. albopictus* em áreas de jardins em um bairro da Alemanha, enquanto Mota (2018) utilizou ~100 m para monitorar *Ae. aegypti* em imóveis residenciais. Sabe-se que a escolha da distância entre armadilhas envolve muitos fatores, tais como a sensibilidade do dispositivo de captura, o ambiente e, até mesmo os recursos humanos disponíveis para execução das vistorias. Portanto, são necessários estudos para determinar a distância entre as GAT e a classificação do IMFA em “crítico”, “alerta”, “moderado” ou “satisfatório” para a utilização e adaptação do sistema MI-*Aedes*.

No presente trabalho, durante os três anos de monitoramento foram identificados mosquitos das espécies *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex* sp., o que reforça a especificidade e capacidade da GAT em coletar culicídeos urbanos de importância médica (Ritchie et al., 2014). A maioria absoluta nas capturadas foram de fêmeas de *Ae. aegypti*, conforme esperado, devido esta armadilha ser desenvolvida para capturar este vetor (Eiras et al. 2014).

Embora alguns estudos confirmem a efetividade da GAT em coletar *Ae. albopictus* na Alemanha (Becker et al., 2017), nos E.U.A. (Cilek et al 2017), na Austrália (Johnson et al., 2017). No Brasil o ambiente urbano é amplamente ocupado pelo *Ae. aegypti*, o que ainda se apresenta como um dos fatores limitantes à colonização desses ambientes por *Ae. albopictus*

devido a competitividade entre estas espécies de *Stegomyia* (Carvalho et al., 2014; Kraemer et al., 2015). Interessante que o mosquito *Culex* sp. correspondeu a ~15% do total de mosquitos capturados, no qual os machos representavam 2/3 dessa porcentagem, entretanto, essa captura expressiva difere de outros trabalhos realizados com a GAT, os quais, entre os machos, a espécie *Ae. aegypti* foi maioria (Cilek et al., 2017; Mota, 2018). Possivelmente, essa diferença relaciona-se a área em que algumas armadilhas foram colocadas no presente estudo.

Dentre as regiões monitoradas no campus, o setor F (Escola de Veterinária) apresentou as maiores infestações semanais de *Ae. aegypti* em 2017 e em 2018. Esta unidade apresentava alguns fatores que favoreciam o desenvolvimento do *Ae. aegypti*, tais como a presença de locais com grande acúmulo de água, como os reservatórios da aquacultura, os cochos de animais e os bueiros constantemente entupidos no Hospital veterinário. Considerando que quanto maior o recipiente com água, maior a oviposição das fêmeas (Focks 2006; Wong et al., 2011) é de se esperar que essa região fique condicionada a alta infestação do vetor. Em 2019, ocorreu uma redução da abundância de mosquitos na Escola de veterinária (Setor F), possivelmente, devido a intensificação das ações de controle realizadas pelo Agentes de Controle de endemias. Neste caso, houve a implementação de ações contínuas, de 15 em 15 dias, com a eliminação de reservatórios de água e tratamento constante por meio de larvicidas de reservatórios permanentes. Além disso, atividades de manejo ambiental também foram implementadas.

A redução e, até mesmo, a eliminação de *Ae. aegypti* em localidades de alta infestação demonstra-se praticável. Um trabalho realizado por Trewin e colaboradores (2017) investigou fatores responsáveis pela eliminação do *Ae. aegypti* em um grande centro urbano da Austrália e apontou a vigilância constante combinada com eliminação de habitats larvais como responsável pelo sucesso da eliminação do *Ae. aegypti*, demonstrando que tais estratégias com engajamento público e fiscalização adequada são efetivas.

O estimador de densidade de Kernel é um método que tem sido usado em vários estudos para demonstrar *hotspots* de *Ae. aegypti* (Ferreira, 2015; Parra et al., 2018). É uma importante ferramenta de análise, sendo capaz de evidenciar facilmente áreas críticas. No presente estudo, este método detectou em 2017 e 2018 *hotspot* de *Ae. aegypti* na Escola de Veterinária (Setor F) em por outro lado, em 2019 ocorreu uma redução, provavelmente devido as ações de controle do vetor desencadeado pelo monitoramento.

Portanto, a análise da distribuição espacial do vetor apenas reforçou o nível crítico dessas regiões para a presença do *Ae. aegypti* na universidade, demonstrando a necessidade e importância de identificá-las para o direcionamento das ações de controle vetorial. Lagrotta et al. (2008) também fez uso desse método para identificar áreas-chaves para presença do vetor

na cidade do Rio de Janeiro e atestou a importância dos mapas de kernel em compilar informações e direcionar pontualmente as regiões com indicadores entomológicos mais preocupantes.

Os *hotspots* para *Ae. albopictus* estiveram presentes por dois anos consecutivos entre o Instituto de Ciências Biológicas e o Centro de Atividades Didáticas I, áreas com grande cobertura vegetal. Esta espécie possui capacidade de ocupar uma variedade de habitats, incluindo áreas urbanas e principalmente áreas com muita vegetação, (Lima-Camara, et al 2006, Kraemer et al., 2015). Em 2019, não houve *hotspot* de *Ae. albopictus* entre o ICB e o CAD1, porém, foi visto *hotspot* de *Ae. aegypti* nesta região. A mudança na distribuição da abundância das espécies, principalmente de *Ae. albopictus* pode estar associada a uma competição interespecífica na qual o aumento da população de *Ae. aegypti* suprime a população de *Ae. albopictus*, conforme já visto em outros estudos (Passos et al., 2003; Braks et al., 2014).

O mosquito do gênero *Culex* prefere águas com alto teor de matéria orgânica para depositar seus ovos, diferentemente de *Aedes* sp. que preferencialmente deposita seus ovos em águas paradas e transparentes (Foratini, 2002). No presente trabalho, *hotspots* de *Culex* se concentraram na região entre a Escola de Engenharia, Departamento de Química e Colégio Técnico. Os mapas de kernel mostram que essa área se manteve como ponto de alta densidade de *Culex* sp. durante os três anos de estudo. Concomitantemente, foi identificado neste período, que o córrego Engenho Nogueira, localizado paralelamente a essas edificações, apresentava intenso assoreamento e acúmulo de vegetação. Considerando a preferência do mosquito de ovipor em água com acúmulo de matéria orgânica, as condições apresentadas pelo córrego podem ser facilmente associadas as altas densidades de *Culex* sp encontradas (Muturi et al., 2008). Situação similar foi observada por Honório e colaboradores (2009) em um trabalho desenvolvido no Rio de Janeiro com a MosquiTRAP, uma das áreas do estudo 85% dos mosquitos coletados correspondiam a espécie *Culex quinquefasciatus*. Essa captura expressiva e contrastante ao que foi encontrada nas demais áreas estudadas foi relacionada a um rio poluído, com alto teor de matéria orgânica que passava pela região.

A média de fêmeas de *Ae. aegypti* apresentou um padrão sazonal com dois momentos distintos, um com maior captura entre setembro e janeiro e outro com declínio na abundância *Ae. aegypti* entre maio e agosto, sendo estes períodos que coincidem com as duas estações que ocorrem em Belo Horizonte, a chuvosa (verão) e a seca (inverno). Dentre as variáveis, a temperatura foi a que apresentou melhor correlação com a abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*, corroborando com estudo de Ferreira e colaboradores (2017) que verificaram que a abundância dos mosquitos foi fortemente sazonal, sendo influenciado positivamente pela temperatura.

Outros trabalhos também observaram a abundância de fêmeas sendo influenciada positivamente pela temperatura (Honório et al., 2009b; Melo, 2009; Codeço et al., 2015; Mota, 2018). Por outro lado, a precipitação e a umidade tiveram correlação fraca e positiva. A associação dessas variáveis climáticas a indicadores entomológicos do vetor apresentou resultados variados em diferentes estudos (Azil et al., 2010; Resende et al., 2013; Degener, 2014). Isso possivelmente ocorreu devido a influência de características locais da região em que o estudo está sendo executado, tais como, distribuição das precipitações ao longo do ano, formação ou manutenção de criadouros pelas chuvas no local (Wu et al., 2007; Ferreira, 2015).

Para *Culex* sp foi observado maior abundância especialmente nos meses de frio (seca), período oposto ao observado para alta abundância de *Ae. aegypti*. Provavelmente, a falta de chuvas favorece o surgimento de criadouros com alta concentração de matéria orgânica, propiciando ambientes ideais para o desenvolvimento de *Culex* spp. (Costa e Calado, 2016).

## II.6 CONCLUSÃO

- A armadilha GAT associada ao sistema MI-*Aedes* demonstrou ser uma ferramenta eficiente em identificar áreas de alta densidade do vetor para direcionar medidas de controle;
- Mapas de Kernel produzidos com os dados da GAT foram efetivos em apontar infestações de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex* sp.;
- Medidas de controle realizadas sequencialmente em áreas infestadas indicadas pela GAT e MI-*Aedes* reduziram significativamente a população de *Ae. aegypti*;
- O padrão sazonal para abundância de *Ae. aegypti* apresentou dois momentos distintos, um com maior abundância entre setembro e janeiro, período majoritariamente chuvoso, e outro com menor abundância entre maio e agosto, período de seca na região;
- A temperatura apresentou correlação positiva e moderada para a abundância de *Ae. aegypti*, enquanto a precipitação apresentou correlação positiva, porém fraca, e a umidade não apresentou nenhuma correlação.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou a GAT a partir de perspectivas diferentes, isto é, o seu mecanismo de funcionamento e a sua utilização para monitorar populações de adultos de *Ae. aegypti*, demonstrando que, apesar de haver inúmeros estudos apontando a eficácia dessa armadilha, ainda há muito a ser explorado.

Há muitos estudos comportamentais sobre fêmeas de *Ae. aegypti*, porém, são raros os trabalhos direcionados aos mecanismos envolvidos na captura de adultos. Nesse contexto, o presente estudo é inédito e fornece importantes informações sobre o funcionamento da GAT que podem ser utilizados para a otimização e aumento da eficácia da armadilha. De forma geral, os resultados também fornecem (indiretamente) informações sobre o comportamento ovipositivo e pré-ovipositivo de fêmeas de *Ae. aegypti*. Além disso, embora a inclusão da comparação entre diferentes estímulos olfativos tenha enriquecido o trabalho e ampliado as discussões, mais estudos a respeito são necessários, preferencialmente em ambientes de semicampo e/ou campo, para que parâmetros possam ser definidos e utilizados futuramente.

A especificidade e eficácia da GAT em capturar grávidas de *Ae. aegypti* já é bem estabelecida e neste estudo foi demonstrado o quanto a armadilha também é eficaz para indicar regiões críticas com necessidade de controle, evidenciando que a metodologia aqui avaliada é promissora para substituir a metodologia rotineiramente utilizada (pesquisa larvária e uso de ovitrampas), porém pouco efetiva, preconizada pelo Ministério da Saúde para áreas de alta infestação.

A execução de forma padronizada e contínua de atividades de controle, seja remoção de criadouros e aplicação de larvicidas ou manejo ambiental de coleções d'água, teve grande impacto na redução das populações de *Ae. aegypti* e *Culex* sp., demonstrando, mais uma vez, a eficácia da GAT no monitoramento, bem como do controle vetorial em si.

Para a utilização de um sistema de georreferenciamento das armadilhas, a GAT foi integrada ao MI-*Aedes*. Entretanto, considerando a maior sensibilidade desta armadilha em comparação à MosquiTRAP, dispositivo de captura originalmente utilizada no sistema, estudos de avaliação do sistema MI-*Aedes* com a GAT devem ser conduzidos para o melhoramento da precisão da tecnologia.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABREU, Filipe Vieira Santos de et al. Influence of breeding site availability on the oviposition behaviour of *Aedes aegypti*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 5, p. 669-676, 2015. DOI: 10.1590/0074-02760140490
- ABREU, F. V. S. et al. Monitoramento do mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) no Campus Pampulha da UFMG. **Revista de Patologia Tropical**, Volume 36, Número 2, 2007.
- ACHEE, Nicole L. et al. Alternative strategies for mosquito-borne arbovirus control. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, Bangkok, v.13, n.1, p.1-22, 2019. DOI: 10.1371/journal.pntd.0006822
- AFIFY, Ali; GALIZIA, C. Giovanni. Chemosensory Cues for Mosquito Oviposition Site Selection. **Journal of Medical Entomology**, Konstanz, v.52, n.2, p.120-130, 2015. DOI: doi:10.1093/jme/tju024
- ANGARITA-JAIMES, N.C. et al. A novel video-tracking system to quantify the behaviour of nocturnal mosquitoes attacking human hosts in the field. **Journal of the Royal Society Interface**, Coventry, v.13, n.1, p.1-14, 2016. DOI: 10.1098/rsif.2015.0974.
- ÁZARA, T. M. F. et al. The impact of CO<sub>2</sub> on collection of *Aedes aegypti* (Linnaeus) and *Culex quinquefasciatus* Say by BG-Sentinel (R) traps in Manaus, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 108, p. 229-232, 2013. DOI: 10.1590/0074-0276108022013016
- AZIL, Aishah H. et al. The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of *Aedes aegypti* abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia. **Tropical Medicine & International Health**, v. 15, n. 10, p. 1190-1197, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-3156.2010.02592.x
- BARATA, E. A. M. et al. População de *Aedes aegypti* (L.) em área endêmica de dengue, Sudeste do Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 35, p. 237-242, 2001. DOI:10.1590/s0034-89102001000300004
- BARBOSA, Gerson Laurindo; LOURENÇO, Roberto Wagner. Análise da distribuição espaço-temporal de dengue e da infestação larvária no município de Tupã, Estado de São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 43, p. 145-151, 2010. DOI: 10.1590/S0037-86822010000200008
- BARRERA, R. et al. Use of the CDC Autocidal Gravid Ovitrap to Control and Prevent Outbreaks of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, San Juan, v.51, n.1, p.145-154, 2014. DOI: 10.1603/ME13096.
- BATISTA, Elis P. A. et al. Videographic analysis off light behaviours of host-seeking *Anopheles arabiensis* towards BG-Malaria trap. **PLOS ONE**, Crete, v.14, n.7, p.1-14, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0220563.
- BECKER, N. et al. First mass development of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)—its surveillance and control in Germany. **Parasitology Research**, Speyer, v.116, p.847–858, 2017. DOI: 10.1007/s00436-016-5356-z.

BENTLEY, M. D.; DAY, Jonathan F. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. **Annual Review of Entomology**, v.34, n.1, p.401-421, 1989. DOI: 10.1146/annurev.en.34.010189.002153.

BIDLINGMAYER W. L. Mosquito flight paths in relation to the environment. Effect of vertical and horizontal visual barriers. **Annals of the Entomological Society of America**, v.68, n.1, p.51-57, 1975. DOI: 10.1093/aesa/68.1.51.

BRAGA, Ima Aparecida et al. Comparação entre pesquisa larvária e armadilha de oviposição, para detecção de *Aedes aegypti*. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 33, p. 347-353, 2000. DOI: 10.1590/S0037-86822000000400003

BRAKS, M. A. H. et al. Interspecific Competition Between Two Invasive Species of Container Mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), in Brazil, **Annals of the Entomological Society of America**, Vero Beach, v.97, n.1, p.130-139, 2014. DOI: [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2004\)097\[0130:ICBTIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2004)097[0130:ICBTIS]2.0.CO;2).

BRETEAU, H. La fièvre jaune en Afrique-occidentale française: Un aspect de la médecine préventive massive. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 11, n. 3, p. 453, 1954.

BURT, F. J. et al. Chikungunya: a re-emerging virus. **Lancet**, v. 379, n. 9816, p. 662-671, 2012. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)60281-X

CARDE, Ring T. Multi-cue integration: how female mosquitoes locate a human host. **Current Biology**, Riverside, v.25, n.18, p.R793-R795, 2015. DOI: 10.1016/j.cub.2015.07.057.

CARDE, Ring T.; WILLIS, Mark A. Navigational strategies used by insects to find distant, wind-borne sources of odor. **Journal of Chemical Ecology**, Riverside, v.34, n.7, p.854-866, 2008. DOI: 10.1007/s10886-008-9484-5.

CARVALHO, R.G.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R.; BRAGA, I.A. Updating the geographical distribution and frequency of *Aedes albopictus* in Brazil with remarks regarding its range in the Americas. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v.109, n.6, p.787-796, 2014. DOI: 10.1590/0074-0276140304.

CDC. Center For Disease Control And Prevention. Atlanta. **Dengue**. 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/dengue/about/index.html>. Acesso em: 01/06/2021.

CHADEE, D.D. Oviposition strategies adopted by gravid *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) as detected by ovitraps in Trinidad, West Indies (2002-2006). **Acta Tropica**, Saint Augustine, v.111, n.3, p.279-283, 2009. DOI: 10.1016/j.actatropica.2009.05.012.

CHAMBERS, E.W. et al. Landing response of *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* mosquitoes to coloured targets. **Medical and Veterinary Entomology**, Lexington, v.27, n.3, p.332-338, 2013. DOI: 10.1111/j.1365-2915.2012.01065.x.

CORBET, P. S.; CHADEE, D. D. An improved method for detecting substrate preferences shown by mosquitoes that exhibit 'skip oviposition'. **Physiological Entomology**, v. 18, n. 2, p. 114-118, 1993. DOI: 10.1111/j.1365-3032.1993.tb00457.x

CILEK, James E.; WESTON, Joshua R.; RICHARDSON, Alec G. Comparison of Adult Mosquito Abundance From Biogents-2 Sentinel and Biogents Gravid Aedes Traps In Northeastern Florida. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v.33, n.4., p358-360, 2017. DOI: 10.2987/17-6678.1.

CLEMENTS, A. N. et al. The biology of mosquitoes. **Sensory Reception and Behaviour**. v. 2. ed. CABI publishing, 1999.

CODEÇO, C. T. et al. Surveillance of *Aedes aegypti*: comparison of house index with four alternative traps. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, Rio de Janeiro, v.9, n.2, p.1-23, fev.2015. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003475.

CONNOR, M. E.; MONROE, W. M. Stegomyia Indices and Their Value in Yellow Fever Control. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 1, n. 1, p. 9-19, 1923.

COOPERBAND, M.F.; CARDE, R.T. Orientation of Culex mosquitoes to carbon dioxide-baited traps: flight manoeuvres and trapping efficiency. **Medical and Veterinary Entomology**, Riverside, v.20, n.1, p.11-26, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2915.2006.00613.x.

COSTA, I. M. P.; CALADO, D. C.. Incidência dos casos de dengue (2007-2013) e distribuição sazonal de culicídeos (2012-2013) em Barreiras, Bahia. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, p. 735-744, 2016. DOI: 10.5123/S1679-49742016000400007

COSTA, L. H. **Análises do comportamento de oviposição e avaliações na supressão por armadilhas de grávidas de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: Culicidae)**. Tese (Doutorado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.190. 2014.

CRIBELLIER, A. et al. Flight behaviour of malaria mosquitoes around odour-baited traps: capture and escape dynamics. **Journal of the Royal Society**, Wageningen, v.5, n.8, p.1-17, 2018. DOI: 10.1098/rsos.180246.

DAY, Jonathan F. Mosquito Oviposition Behavior and Vector Control. **Insects**, Vero Beach, v.7, n.4, p.1-22, 2018. DOI: 10.3390/insects7040065.

DEGENER, C. M. **Avaliação das armadilhas MosquiTRAP, BG-Sentinel e BGMosquitito como possíveis ferramentas no controle de *Aedes aegypti***. Tese (Doutorado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 188, 2014.

DEKKER, T.; CARDE, R.T. Moment-to-moment flight manoeuvres of the female yellow fever mosquito (*Aedes aegypti* L.) in response to plumes of carbon dioxide and human skin odour. **The Journal of Experimental Biology**, Alnarp, v.214, n.20, p.3480-3490, 2011. DOI: 10.1242/jeb.055186

DEKKER, T.; GEIER, M., CARDE, R.T. Carbon dioxide instantly sensitizes female yellow fever mosquitoes to human skin odours. **The Journal of Experimental Biology**, Alnarp, v.208, n.15, p.2963-2972, 2005. DOI: 10.1242/jeb.01736.

ENGLBRECHT, C. et al. Evaluation of BG-Sentinel trap as a management tool to reduce *Aedes albopictus* nuisance in an urban environment in Italy. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 31, n. 1, p. 16-25, 2015. DOI: 10.2987/14-6444.1

Eiras, A.E. 2002. Armadilha para captura de insetos 2002. Depósito de patente no Brasil: PI0203907-9.

EIRAS, A.E. et al. A high-risk Zika and dengue transmission hub: virus detections in mosquitoes at a Brazilian university campus. **Parasites and Vectors**, Belo Horizonte, v.11, n.359, p.1-6, 2018a. DOI: 10.1186/s13071-018-2883-8.

EIRAS, A. E.; BATISTA, E. P. A.; RESENDE, M. C. **Sampling Methods for Blood-Feeding Insects Diversity**. In: Measuring Arthropod Biodiversity. Springer, Cham, 2021a. p. 545-582.

EIRAS, A.E.; BUHAGIAR, T.S.; RITCHIE, S.A. Development of the Gravid *Aedes* trap for the capture of adult female container-exploiting mosquitoes (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, v.51, n.1, p.200-209, 2014. DOI: 10.1603/me13104.

EIRAS, A. E. Culicidae. In: NEVES, D. P. (Ed.). **Parasitologia Humana**. São Paulo: Atheneu, 2016. cap. 43, p.387-401.

EIRAS, Alvaro E. et al. New cost-benefit of Brazilian technology for vector surveillance using trapping system. In: **Malaria**. IntechOpen, 2018b.

EIRAS, A.E.; RESENDE, M.C. Preliminary evaluation of the 'Dengue-MI' technology for *Aedes aegypti* monitoring and control. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.25, n.1, p.S45-S58, 2009. DOI: 10.1590/s0102-311x2009001300005.

EIRAS, A. E. et al. Semi-field assessment of the Gravid Aedes Trap (GAT) with the aim of controlling *Aedes (Stegomyia) aegypti* populations. **Plos one**, v. 16, n. 4, p. e0250893, 2021b. DOI: 10.1371/journal.pone.0250893

ESPINAL, M. Chikungunya: first emergent arbovirolosis in the XXI century in the Americas." **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 41, n. 3, 2017.

ESPINAL, M. A. et al. Emerging and reemerging *Aedes*-transmitted arbovirus infections in the region of the Americas: implications for health policy. **American Journal of Public Health**, v. 109, n. 3, p. 387-392, 2019. DOI:10.2105/ajph.2018.304849

FORATTINI, O. P. **Culicidologia Médica: identificação, biologia e epidemiologia**: v. 2. In: Culicidologia médica: identificação, biologia e epidemiologia: v. 2. p. 860-860. 2002

FÁVARO, E.A. et al. Physiological state of *Aedes (Stegomyia) aegypti* mosquitoes captured with MosquiTRAPs in Mirassol, São Paulo, Brazil. **Journal of Vector Ecology**, São José do Rio Preto, v.31, n.2, p.285-291, 2006. DOI: 10.3376/1081-1710(2006)31[285:psoasa]2.0.co;2.

FAY, R. W. et al. A preferred oviposition site as a surveillance method for *Aedes aegypti*. **Mosq news**, v. 26, n. 4, p. 531-5, 1966.

FERREIRA, D.A.C. et al. Meteorological variables and mosquito monitoring are good predictors for infestation trends of *Aedes aegypti*, the vector of dengue, chikungunya and Zika. **Parasites and Vectors**, Belo Horizonte, v.10, n.78, p.1-11, 2017. DOI: 10.1186/s13071-017-2025-8.

FERREIRA, D.A.C. **Distribuição espaço-temporal do *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: Culicidae) e casos de dengue e avaliação de variáveis climáticas em Porto Alegre(RS)**. Dissertação (Mestrado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.102. 2015.

FOCKS, D.A.; ALEXANDER, N.; VILLEGAS, E. **Multicountry study of *Aedes aegypti* pupal productivity survey methodology: findings and recommendations**. London: World Health Organization on behalf of the Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, 2006.

FOCKS D.A. **A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors**. Geneva, UNICEF, UNDP, World Bank, WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, 2003.

FONSECA, D.M. et al. Density-Dependent Oviposition by Female *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Spreads Eggs Among Containers During the Summer but Accumulates Them in the Fall. **Journal of Medical Entomology**, New Brunswick, v.52, n.4, p.705-712, 2015. DOI: 10.1093/jme/tjv060.

GADELHA D.P.; TODA, A.T. **Biologia e comportamento do *Aedes aegypti***. *Revista Brasileira de Malariologia e Doenças Tropicais*, v. 37, p. 29-36, 1985.

GAMA, R. et al. Evaluation of the sticky MosquiTRAP™ for detecting *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) during the dry season in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Entomology**, Belo Horizonte, v.36, n.2, p.294-302, abril.2007. DOI: 10.1590/S1519-566X2007000200018.

GANESAN, K. et al. Studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) ovipositional responses to newly identified semiochemicals from conspecific eggs. **Australian Journal of Entomology**, Gwalior, v.45, n.1, p.75-80, 2006. DOI: 10.1111/j.1440-6055.2006.00513.x.

GILLIES, M.T.; WILKES, T.J. The range of attraction of animal baits and carbon dioxide for mosquitoes. Studies in a freshwater area of West Africa. **Bulletin of Entomological Research**, Brighton, v.61, n.3., p.389-404, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485300047295>.

GOMES, A.; SCIAVICO, C.; EIRAS, A. Periodicidade de oviposição de fêmeas de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) em laboratório e campo. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Belo Horizonte, v.39, n. 4, p.327-332, 2006. DOI: 10.1590/S0037-86822006000400002.

GOMES, A. C. Vigilância entomológica. **Informe Epidemiológico do SUS**, v. 11, n. 2, p. 79-90, 2002.

- GONÇALVES, C. L. et al. Monitoramento do mosquito *Aedes aegypti* pela Tecnologia MI-Dengue no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). **Livro de Resumos**, 2009.
- GU, Weidong et al. Fundamental issues in mosquito surveillance for arboviral transmission. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 102, n. 8, p. 817-822, 2008.
- GUZMAN, A; ISTÚRIZ, R. E. Update on the global spread of dengue. **International journal of antimicrobial agents**, v. 36, p. S40-S42, 2010. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2010.06.018
- HARRINGTON, L.C. et al. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, Ithaca, v.72, n.2, p.209-220, 2005. DOI: 10.4269/ajtmh.2005.72.209.
- HAWKES, F.; GIBSON, G. Seeing is believing: the nocturnal malarial mosquito *Anopheles coluzzii* responds to visual host-cues when odour indicates a host is nearby. **Parasites and Vectors**, London, v.8, n.1, p.2-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1609-z>. Disponível em: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-016-1609-z>.
- HONÓRIO, N.A. et al. The spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a transition zone, Rio de Janeiro, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.25, n.6, p. 1203-1214, 2009a. DOI: 10.1590/s0102-311x2009000600003.
- HONÓRIO, N.A. et al. Temporal distribution of *Aedes aegypti* in different districts of Rio de Janeiro, Brazil, measured by two types of traps. **Journal of Medical Entomology**, Rio de Janeiro, v.46, n.5, p.1001-1014, 2009b. DOI: 10.1603/033.046.0505.
- JOHNSON, B.J. et al. Neighbors help neighbors control urban mosquitoes. **Scientific Reports**, New Brunswick, v.8, p.1-6, out.2018. DOI:10.1038/s41598-018-34161-9.
- JOHNSON, B.J.; RITCHIE, S.A.; FONSECA, D.M. The State of the Art of Lethal Oviposition Trap-Based Mass Interventions for Arboviral Control. **Insects**, Cairns, v.8, n.1, p.1-16, 2017. DOI:10.3390/insects8010005.
- JOHNSON, B.J. et al. Comparisons of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) and BG-Sentinel Trap for Monitoring *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Populations and Notes on Indoor GAT Collections in Vietnam. **Journal of Medical Entomology**, Cairns, v.54, n.2, p.340-348, 2017. DOI: 10.1093/jme/tjw166
- KENNEDY, J. On Water-finding and Oviposition by captive Mosquitoes. **Bulletin of Entomological Research**, London, v.32, n.4, p.279-301, 1942. DOI: 10.1017/S0007485300017235.
- KRAEMER, M.U. et al. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. **Elife**, Oxford, v.4, p.1-18, 2015. DOI: 10.7554/eLife.08347.

KRÖCKEL, Ulla et al. New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of trap catches with human landing rates in an urban environment. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 22, n. 2, p. 229-238, 2006. DOI: 10.2987/8756-971X(2006)22[229:NTFSOA]2.0.CO;2

LACEY, E.S.; RAY, A.; CARDE, R.T. Close encounters: contributions of carbon dioxide and human skin odour to finding and landing on a host in *Aedes aegypti*. **Physiological Entomology**, Riverside, v.39, n.1, p.60-68, 2014. DOI: 10.1111/phen.12048.

LAGROTTA, M.T.F; SILVA, W.C.; SOUZA-SANTOS, R. Identification of key areas for *Aedes aegypti* control through geoprocessing in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, Mesquita, v.24, n.1, p.70-80, 2008. DOI: 10.1590/S0102-311X2008000100007.

LAU, C. et al. New evidence for endemic circulation of Ross River virus in the Pacific Islands and the potential for emergence. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 57, p. 73-76, 2017. DOI: 10.1016/j.ijid.2017.01.041

LIMA, C. A.; EIRAS, A. E. Analysis of VCR images of pre-oviposition and oviposition behaviour of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) females, in the laboratory. **Journal of Natural History**, Belo Horizonte, v.44, n.27-28, p.1659-1669, junho.2010. DOI: 10.1080/00222931003760038

LIMA-CAMARA, T. N. de; HONÓRIO, N. A.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R.. Frequência e distribuição espacial de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) no Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de saúde publica**, v. 22, p. 2079-2084, 2006. DOI: 10.1590/S0102-311X2006001000013

MACCORMACK-GELLES, Benjamin et al. Evaluation of the usefulness of *Aedes aegypti* rapid larval surveys to anticipate seasonal dengue transmission between 2012–2015 in Fortaleza, Brazil. **Acta tropica**, v. 205, p. 105391, 2020. DOI: 10.1016/j.actatropica.2020.105391

MACIEL-DE-FREITAS, R. et al. Mosquito traps designed to capture *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) females: preliminary comparison of Adultrap, MosquiTRAP and backpack aspirator efficiency in a dengue-endemic area of Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v.103, n.6, p.602-605, 2008. DOI: 10.1590/S0074-02762008000600016.

MACIEL-DE-FREITAS, R.; CODEÇO, C.T.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R. Daily survival rates and dispersal of *Aedes aegypti* females in Rio de Janeiro, Brazil. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, Rio de Janeiro, v.76, n.4, p.659-665, 2007.

MACIEL-DE-FREITAS, R.; EIRAS, A.E.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R. Field evaluation of effectiveness of the BG-Sentinel, a new trap for capturing adult *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v.101, n.3, p.321,325, 2006. DOI: 10.1590/s0074-02762006000300017.

MARTEIS, L.S. et al. Identificação e distribuição espacial de imóveis-chave de *Aedes aegypti* no bairro Porto Dantas, Aracaju, Sergipe, Brasil entre 2007 e 2008. **Cadernos de Saúde**

**Pública**, Rio de Janeiro, v.29, n.2, p.368-378, fev.2013. DOI: 10.1590/S0102-311X2013000200023

MCMENIMAN, C.J. et al. Multimodal Integration of Carbon Dioxide and Other Sensory Cues Drives Mosquito Attraction to Humans. **Cell**, New York, v.156, n.5, p.1060-1071, fev.2014. DOI: 10.1016/j.cell.2013.12.044

MCLVER, Susan B. Sensilla of mosquitoes (diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 19, n. 5, p. 489-535, 1982

MELO, D.P.O; SCHERRER L.R.; EIRAS, A.E. Dengue Fever Occurrence and Vector Detection by Larval Survey, Ovitrap and MosquiTRAP: A Space-Time Clusters Analysis. **PLOS ONE**, Belo Horizonte, v.7, n.7, p.1-14, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0042125.

MOTA, Luiz Henrique Vieira. **Avaliação da supressão de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) com a armadilha Gravid Aedes Trap em condições de campo no município de Piumhi, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.113. 2018.

MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual sobre Medidas de Proteção à Saúde dos Agentes de Combate às Endemias**. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* – LIRAA – para Vigilância Entomológica do *Aedes aegypti* no Brasil: Metodologia para avaliação dos índices de Breteau e Predial e Tipo de Recipientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009

MUTURI, E.J. et al. Environmental factors associated with the distribution of *Anopheles arabiensis* and *Culex quinquefasciatus* in a rice agro-ecosystem in Mwea, Kenya. **Journal of Vector Ecology**, Birmingham, v.33, n.1, p.56-63, 2008. DOI: 10.3376/1081-1710(2008)33[56:efawtd]2.0.co;2.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Avaliação das estratégias inovadoras para o controle de *Aedes aegypti*: desafios para a introdução e avaliação do impacto dessas**. Washington, D.C.: OPAS; 2019.

PARRA, M.C.P. et al. Using adult *Aedes aegypti* females to predict areas at risk for dengue transmission: A spatial case-control study. **Acta tropica**, São José do Rio Preto, v.182, p. 43-53, 2018. DOI: 10.1016/j.actatropica.2018.02.018.

PARKER, J. et al. Infrared video tracking of *Anopheles gambiae* at insecticide-treated bed nets reveals rapid decisive impact after brief localized net contact. **Scientific Reports**, Liverpool, v.5, p.1-14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep13392>.

PASSOS, R.A. et al. Dominância de *Aedes aegypti* sobre *Aedes albopictus* no litoral sudeste do Brasil. **Revista de Saúde Pública**, Taubaté, v.37, n.6, p.729-734, 2003. DOI: 10.1590/S0034-89102003000600007.

PEPIN, K.M. et al. Cost-effectiveness of novel system of mosquito surveillance and control, Brazil. **Emerging infectious diseases**, Washington, v.19, n.4, p. 542-550, 2013. DOI: 10.3201/eid1904.120117.

PONNUSAMY, L. et al. Identification of bacteria and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Raleigh, v.105, n.27, p.9262-9267, 2008. DOI: 10.1073/pnas.0802505105.

REGIS, L. N. et al. Sustained reduction of the dengue vector population resulting from an integrated control strategy applied in two Brazilian cities. **PLoS One**, v. 8, n. 7, p. e67682, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0067682

POSEY, K. H.; CE, SCHRECK. An airflow apparatus for selecting female mosquitoes for use in repellent and attraction studies. 1981.

REIS, I.C. et al. Entomo-virological surveillance strategy for dengue, Zika and chikungunya arboviruses in field-caught *Aedes* mosquitoes in an endemic urban area of the Northeast of Brazil. **Acta Tropica**, Rio de Janeiro, v.197, p. 1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.105061>.

RESENDE, M.C. et al. A comparison of larval, ovitrap and MosquiTRAP surveillance for *Aedes (Stegomyia) aegypti*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Belo Horizonte, v.108, n.8, p.1024-1030, 2013. DOI:10.1590/0074-0276130128.

RESENDE, M. C.; SILVA, I. M.; EIRAS, A. E.. Avaliação da operacionalidade da armadilha MosquiTRAP no monitoramento de *Aedes aegypti*. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 19, n. 4, p. 329-338, 2010. DOI: 10.5123/S1679-49742010000400003

RITCHIE, S.A. et al. Field validation of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) for collection of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, Cairns, v.51, n.1, p.210-219, 2014. DOI: 10.1603/me13105.

ROIZ, D. et al. Trapping the Tiger: Efficacy of the novel BG-Sentinel 2 with several attractants and carbon dioxide for collecting *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Southern France. **Journal of medical entomology**, v. 53, n. 2, p. 460-465, 2016. DOI: 10.1093/jme/tjv184

ROQUE, R.A. **Avaliação de atraentes de oviposição, identificados em infusões de capim colônia (*Panicum maximum*) para fêmeas de *Aedes aegypti* (L. 1762) (Diptera: Culicidae) em condições de semi campo e campo.** Tese (Doutorado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.113. 2007.

SALLAM, M.F. et al. Factors Affecting Short-Range Host-Seeking for the Yellow Fever Mosquito (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, Gainesville, v.56, n.3, p.609-616, 2019. DOI: 10.1093/jme/tjy230.

SAN MARTÍN, J. L. et al. The epidemiology of dengue in the Americas over the last three decades: a worrisome reality. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 82, n. 1, p. 128-135, 2010. DOI: 10.4269/ajtmh.2010.09-0346

SANTANA, A.L.; ROQUE, R.A.; EIRAS, A.E. Characteristics of grass infusions as oviposition attractants to *Aedes (Stegomyia)* (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, Belo Horizonte, v.43, n.2, p.214-220, 2006. DOI: 10.1603/0022-2585(2006)043[0214:cogiao]2.0.co;2.

SANTOS, E. et al. Oviposition activity of *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) in response to different organic infusions. **Neotropical Entomology**, Recife, v.39, n.2, p.299-302, abril.2010. DOI:10.1590/S1519-566X2010000200023.

SCHNEIDER, J. M. P. H. et al. A timeline for dengue in the Americas and noted first occurrences. *The History of Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) in the Region of the Americas, 1635-2001*, 2001.

SCHULER-FACCINI, L. et al. Possible association between Zika virus infection and microcephaly—Brazil, 2015. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 65, n. 3, p. 59-62, 2016.

SECRETARIA DE SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Normas e recomendações técnicas para vigilância e controle do *Aedes aegypti* no estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo, 2002.

SEDDA, Luigi et al. The spatial and temporal scales of local dengue virus transmission in natural settings: a retrospective analysis. **Parasites & vectors**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2018. DOI: 10.1186/s13071-018-2662-6

SILVA, H.A.. **Monitoramento e controle da população de *Aedes (stegomyia) aegypti* e *Aedes (stegomyia) albopictus* no ICB-UFMG por meio de armadilhas de captura de fêmeas grávidas**. Belo Horizonte: VII Encontro de Pesquisa em Parasitologia - Da pesquisa à inovação: novos caminhos para a parasitologia. Anais do encontro, 2016.

SILVA, I. M. **Avaliação de componentes sintéticos do odor humano como atraentes para *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) em laboratório e campo**. 2003. Tese de doutorado (Doutorado em Parasitologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SIRIA, D.J. et al. Evaluation of a simple polytetrafluoroethylene (PTFE)-based membrane for blood-feeding of malaria and dengue fever vectors in the laboratory. **Parasites and Vectors**, Morogoro, v.11, n.1, p.1-10, 2018. DOI: 10.1186/s13071-018-2823-7.

SIVAGNANAME, N.; GUNASEKARAN, K. Need for an efficient adult trap for the surveillance of dengue vectors. **Indian Journal of Medical Research**, Puducherry, v.136, n.5, p.739-749, 2012.

SMITH, D. R. et al. Development of field-based real-time reverse transcription–polymerase chain reaction assays for detection of chikungunya and O’nyong-nyong viruses in mosquitoes.

**The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 81, n. 4, p. 679-684, 2009. DOI: 10.4269/ajtmh.2009.09-0138

SPITZEN, J.; TAKKEN, W. Keeping track of mosquitoes: a review of tools to track, record and analyse mosquito flight. **Parasites and Vectors**, Wageningen, v.11, n.1, p.1-11, mar.2018. DOI: 10.1186/s13071-018-2735-6.

SVS. Secretaria De Vigilância Em Saúde. Ministério da saúde. Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika até a Semana Epidemiológica 52, 2016. **Boletim Epidemiológico**, v. 48, n. 3, p. 1-11, 2017.

SVS. Secretaria De Vigilância Em Saúde. Ministério da saúde. Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika até a Semana Epidemiológica 52, 2017. **Boletim Epidemiológico**, v. 49, n. 2, p. 1-13, 2018.

SVS. Secretaria De Vigilância Em Saúde. Ministério da saúde. Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes* (dengue, chikungunya e Zika), Semanas Epidemiológicas 01 a 52 de 2019. **Boletim Epidemiológico**, v. 51, n. 2, p. 1-16, 2020.

SVS. Secretaria De Vigilância Em Saúde. Ministério da saúde. Monitoramento dos casos de arbovirus urbanas causados por vírus transmitidos por *Aedes* (dengue, chikungunya e zika), semanas epidemiológicas 1 a 53, 2020. **Boletim Epidemiológico**, v. 51, n. 3, p. 1-31, 2021.

TEIXEIRA, Maria da Glória; BARRETO, Maurício Lima. Porque devemos, de novo, erradicar o *Aedes aegypti*. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 1, p. 122-136, 1996. DOI: 10.1590/1413-812319961101582014

TERRA, M. R. et al. *Aedes aegypti* e as arboviroses emergentes no Brasil. **Revista Uningá Review**, v. 30, n. 3, 2017.

TREWIN, B.J. et al. The elimination of the dengue vector, *Aedes aegypti*, from Brisbane, Australia: The role of surveillance, larval habitat removal and policy. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, Brisbane, v.11, n.8, p.1-23, 2017. DOI: 10.1371/journal.pntd.0005848.

UFMG. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Campus da mobilidade. **Boletim UFMG**, nº 1289, ano 38, 2012. Disponível em: <https://www.ufmg.br/boletim/bol1789/4.shtml>. Acesso em: 01/08/2021

VAN BREUGEL, F.. Mosquitoes use vision to associate odor plumes with thermal targets. **Current Biology**, Los Angeles, v.25, n.16, p.2123-2129, agosto.2015. DOI: 10.1016/j.cub.2015.06.046. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4546539/>.

WILKINSON, D.A. et al. Straightforward multi-object video tracking for quantification of mosquito flight activity. **Journal of Insect Physiology**, Sainte-Clotilde, v.71, n.1., p.114-121, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.10.005>

WILLIAMS, C. R. et al. Field efficacy of the BG-Sentinel compared with CDC Backpack Aspirators and CO<sub>2</sub>-baited EVS traps for collection of adult *Aedes aegypti* in Cairns,

Queensland, Australia. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 22, n. 2, p. 296-300, 2006. DOI: 10.2987/8756-971X(2006)22[296:FEOTBC]2.0.CO;2

WONG, J. et al. Linking Oviposition Site Choice to Offspring Fitness in *Aedes aegypti*: Consequences for Targeted Larval Control of Dengue Vectors. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, Davis, v.6, n.5, p. 1-12, 2012. DOI: 10.1371/journal.pntd.0001632.

WONG, J. et al. Oviposition site selection by the dengue vector *Aedes aegypti* and its implications for dengue control. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v.5, n.4, p.1-12, 2011. DOI: 10.1371/journal.pntd.0001015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Efficacy-testing of traps for control of *Aedes* spp. mosquito vectors**. World Health Organization, 2018. Disponível em: <http://eprints.gla.ac.uk/173660/>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Health Organization. **Dengue control**. Epidemiology. Last update 22/12/2016. Disponível em: <https://www.who.int/denguecontrol/epidemiology/en/>. Acesso em: 08/06/2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Health Organization. **Chikungunya**. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chikungunya>. Acesso em: 10/08/2021

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Health Organization. Programmes, **Dengue control**. Acompanhamento e avaliação de programas Disponível em: <http://www.who.int/denguecontrol/monitoring/en/>. Acesso em: 08/06/2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Health Organization. **Zika virus**. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zika-virus>. Acesso em: 10/08/2021

WU, Pei-Chih et al. Weather as an effective predictor for occurrence of dengue fever in Taiwan. **Acta tropica**, v. 103, n. 1, p. 50-57, 2007. DOI: 10.1016/j.actatropica.2007.05.014

ZANLUCA, Camila et al. First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 110, n. 4, p. 569-572, 2015. DOI: 10.1590/0074-02760150192

ZARA, Ana Laura de Sene Amâncio et al. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, p. 391-404, 2016. DOI: 10.5123/S1679-49742016000200017