



Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde



DOUTORADO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARMADILHAS LUMINOSAS À BASE DE
DIODOS EMISSORES DE LUZ E OUTROS MÉTODOS DE CAPTURA DE
MOSQUITOS DO GÊNERO *Anopheles* (DIPTERA: CULICIDAE)**

BENEDITA MARIA COSTA NETA

SÃO LUÍS - MA

2023

BENEDITA MARIA COSTA NETA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARMADILHAS LUMINOSAS À BASE DE
DIODOS EMISSORES DE LUZ E OUTROS MÉTODOS DE CAPTURA DE
MOSQUITOS DO GÊNERO *Anopheles* (DIPTERA: CULICIDAE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Saúde da Universidade Federal do
Maranhão, para obtenção do título de Doutora em
Ciências Saúde.

Orientador(a): Prof. Dr. Francinaldo Soares Silva

SÃO LUÍS – MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Costa-Neta, Benedita Maria.

Estudo comparativo entre armadilhas luminosas à base de diodos emissores de luz e outros métodos de captura de mosquitos do gênero Anopheles Diptera: Culicidae / Benedita Maria Costa-Neta. - 2023.
134 f.

Orientador(a): Francinaldo Soares Silva.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

1. Anofelinos. 2. Armadilhas Silva. 3. Atividade de voo. 4. Crepúsculo. 5. Uso de LEDs. I. Silva, Francinaldo Soares. II. Título.

BENEDITA MARIA COSTA NETA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARMADILHAS LUMINOSAS À BASE DE
DIODOS EMISSORES DE LUZ E OUTROS MÉTODOS DE CAPTURA DE
MOSQUITOS DO GÊNERO *Anopheles* (DIPTERA: CULICIDAE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Saúde da Universidade Federal do
Maranhão, para obtenção do título de Doutor(a) em
Ciências da Saúde.

Data: 01/11/2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francinaldo Soares Silva
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Prof. José Manuel Macário Rebêlo
Universidade Federal do Maranhão- UFMA

Profa. Dra. Valéria Cristina Soares Pinheiro
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

Prof. Dr. Ciro Lúbio Caldas dos Santos
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Profa. Dra. Antônia Suely Guimarães e Silva
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”

(Chico Xavier)

Dedicatória

A Deus pelo presente da vida e seu amor infinito.

Aos meus pais, minha base! em especial minha mãe Maria das Neves (*In memoriam*), pela dedicação e amor incondicional.

Aos meus irmãos, em especial Roquildes (*In memoriam*), pela amizade e companheirismo.

Aos meus amados tios, em especial tio Edson (*In memoriam*), pelos ensinamentos e incentivos.

A meu esposo, pelo amor, companheirismo, a quem adoro partilhar os dias da minha vida.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Prof. Dr. Francinaldo Soares Silva, pesquisador e profissional incomparável, pelo belíssimo exemplo de ser humano que és. Agradeço pela oportunidade e confiança para o desenvolvimento da pesquisa e pela belíssima e competente orientação. Agradeço seus ensinamentos, conselhos, paciência, carinho, amizade, compressão e incentivo no decorrer desta pesquisa. Obrigada por tudo meu querido e amável pai científico. És meu exemplo de cientista.

Aos professores da banca de qualificação prof. Valéria Cristina Soares Pinheiro, Joelma Soares da Silva e Adalberto Alves Pereira Filho pelas contribuições essenciais para a melhoria do trabalho.

A todos integrantes do Laboratório de Entomologia Médica (LEME), em especial Eudimara Araújo, Joany Costa, Francisco França, Jefferson Brito, pela amizade, companheirismo e principalmente pela contribuição nas coletas de campo e laboratório que foram essenciais para a concretização desse estudo.

As minhas amigas Joany e Eudimara, companheiras de lutas! que tenho o prazer de compartilhar todos os momentos de obstáculos e vitórias na busca incansável pelo conhecimento científico e profissional.

A minha amiga Francisca Cláudia, pela amizade e ajuda nas coletas de campo durante a pandemia que foram fundamentais para concretização deste trabalho.

A todos os meus colegas de doutorado e em especial, Érica Alessandra Caldas, Kelly Portela Sousa, pelas trocas de informações, amizade e apoio durante toda a jornada. Aos professores e administrativo do programa em Ciências da Saúde (PPGCS).

A Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa que foi importante para o desenvolvimento da pesquisa.

A senhora Cleides pelo acolhimento em sua casa e aos agentes de endemia da cidade de Cachoeira Grande- MA, pela ajuda durante a busca por locais de coletas.

A senhora Carmen pelo acolhimento em sua casa e aos agentes de endemia da cidade de Centro Novo Maranhão, pela ajuda durante a busca por locais de coletas, transporte e alimentação.

Aos agentes de endemia Dilson e Carlos Henrique pelo auxílio e orientações durante as coletas na cidade de Icatu-MA.

Ao seu Sr. Elton por ceder o espaço em sua propriedade para a realização das coletas de anofelinos.

Ao Sr. Jorge pela disponibilidade em acompanhar durante as coletas na cidade de Macapá-AP.

Ao Sr. Herbeth e a senhora Antônia pelo acolhimento em sua casa e ajuda na cidade de Macapá-AP.

Ao pai Raimundo, pelo seu amor incondicional, apoio, paciência e cuidados dedicados durante toda minha vida. Grata por tê-lo em minha vida! (TE AMO). E a todos da minha família que sempre me apoiaram nesta linda jornada de estudo.

A minha sogra Úrsula Brito, pela amizade, carinho e apoio durante esta jornada.

Agradeço ao meu grande amor e parceiro científico Jefferson Brito, pelo companheirismo, carinho, cuidado e dedicação. Obrigada por segura minha mão e não me deixar desistir. Por sempre estar ao meu lado e por fazer parte da minha vida. Adoro compartilhar cada segundo da minha vida com você! (TE AMO).

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3 OBJETIVOS.....	46
3.1 Objetivo Geral	46
3.2 Objetivos específicos.....	46
4 RESULTADOS.....	47
4.1 Capítulo 1 – Artigo 1.....	47
4.2 Capítulo 2 – Artigo 2.....	78
4.3 Capítulo 3 -Artigo 3	105
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
REFERÊNCIAS	118
ANEXOS	131

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CDC - Centers for Disease Control and Prevention

HP - Hoover Pugedo

BG-Sentinel- Biogents HmGb, Regensburg, Germany

BG-Suna - Biogents AG

Mosquito Magnet® - American Biophysics Corporation, North Kingstown, RI

CO₂ - Dióxido de Carbono

LED - Light-Emitting Diode

BG-Pro- Modular Biogents

RB – *Resting Box*

ITT – *Ifakara Tent Trap*

MLB- *Mosquito Landding Box*

OMS – Organização Mundial de Saúde

WHO – World Health Organization

PNCM – Programa Nacional de Prevenção e Controle de Malária

MS – Ministério da Saúde

IN – Intervalo

IN1- Primeiro intervalo

IN2- Segundo intervalo

IN3- Terceiro intervalo

PC- Período de captura

PC1- Primeiro período

PC2- Segundo período

LISTA DE TABELAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Tabela1. Lista da distribuição das 41 espécies de vetores dominantes da malária nos continentes Americanos, Europa e Oriente-Médio, África e Ásia.....	28
4.1 Capítulo 1- A tecnologia diodo emissor de luz na captura de insetos vetores: estado da arte.	
Tabela 1. Comparativo do atrativo luminoso (LED – Light-Emitting Diode) com o atrativo químico em armadilhas na captura de Ceratopogonidae, Culicidae e Psychodidae	56
4.2 Capítulo 2 - Influência da luz crepuscular e lunar na atividade de mosquitos <i>Anopheles</i> na busca por hospedeiro no nordeste do Brasil	
Tabela 1. Datas das observações de horários do nascer e pôr da lua nas fases crepusculares na região Nordeste do Brasil, nos meses de agosto a dezembro de 2020.....	85
Tabela 2. Espécies de mosquitos anofelinos coletados com armadilha Silva com LED verde/Azul em dois períodos de captura por noite, no Nordeste do Brasil.....	87
Tabela 3. Espécies de anofelinos coletados com armadilha Silva com LED Verde/Azul em três intervalos durante o período crepuscular (18:00 às 19:00h), no Nordeste do Brasil.....	89
Tabela 4. Mosquitos anofelinos capturados em diferentes fases lunares com armadilha Silva à base de LED (Light-Emitting Diode) no Nordeste do Brasil. O primeiro período de captura (PC1) ocorreu das 18:00 às 19:00 horas e o segundo período de captura (PC2) das 19:00 às 06:00 horas.....	90
4.3 CAPÍTULO 3- COMPARAÇÃO DE ARMADILHAS NAS CAPTURAS DE ESPÉCIES DE ANOFELINOS em área de mata no município de Chapadinha-MA.	
Tabela 1. Espécies de anofelinos capturadas com uso de armadilhas Silva, CDC e BG-Pro em mata de galeria no município de Chapadinha- MA, região Nordeste do Brasil.	111
Tabela 2. Mosquitos anofelinos capturados com uso de armadilhas Silva, CDC e BG-Pro em área de mata de galeria na cidade de Chapadinha-MA, região Nordeste do Brasil.....	111
Tabela 3. Média do número de espécies de mosquitos anofelinos ($\pm$ SEM) coletados no município de Chapadinha-MA.....	111

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

- Figura 1. Representação geográfica dos casos de malária no Brasil.** Representação geográfica indicado as áreas que não têm transmissão da malária e as áreas de alto risco de transmissão..... 21
- Figura 2. Distribuição do vetor, hospedeiros e transmissão do parasito.** (1) Fêmea de mosquito durante o repasto sanguíneo; (2) as larvas emergindo do ambiente aquático; (3) as fêmeas de mosquitos em busca de fonte sanguínea em habitações humanas; (4) medidas de prevenção para evitar o repasto sanguíneo; (5) busca por fonte sanguínea; (6) distribuição das fêmeas de mosquitos relacionado com a atividade humana; (7) percurso realizado pelo vetor em busca de fonte sanguínea..... 23
- Figura 3. Ciclo biológico do protozoário do gênero *Plasmodium*.** O parasito é transmitido pela fêmea do mosquito do gênero *Anopheles* ao ser humano, onde passa por dois ciclos: hepático e eritrocítico. O ciclo hepático e eritrocítico irá originar os gametócitos masculinos e femininos que serão ingeridos pela fêmea durante a hematofagia. No vetor, gametócitos se fundem formando o zigoto que irá passar por processos de diferenciação no tubo digestivo do inseto até originar o esporozoíto que migram para as suas glândulas salivares, dando continuidade ao ciclo..... 24
- Figura 4. Vacinas recomendadas no tratamento contra a malária em crianças.** As vacinas RTS,S/AS01 e R21/Matrix-M aprovadas pela organização mundial da saúde para tratamento contra a malária em crianças..... 26
- Figura 5. Representação geográfica da distribuição dos vetores dominantes da malária.** Representação geográfica indicado a distribuição das espécies vetores dominantes da malária nos continentes..... 27
- Figura 6. Características gerais da fêmea de *Anopheles triannulatus* s.l.** (A) Fêmea de *Anopheles* durante o repasto sanguíneo; (B) pernas com V articulo tarsais com anel negro basal (círculo em azul); (C) fêmea de *Anopheles triannulatus* s.l. e suas principais características para identificação; (D) asas com mancha subcostal clara (pequena ou ausente) (círculo em verde)..... 29
- Figura 7. Representação geográfica das áreas de transmissão da malária no Brasil.** Representação geográfica indicando a distribuição das espécies vetores pelo Brasil..... 30
- Figura 8. Representação geográfica indicando a distribuição das espécies vetores nas Américas.**..... 32
- Figura 9. Criadouros naturais de larvas de anofelinos no município de Chapadinha, MA** (A) Corpos de água na floresta; (B) Corpos de água secundário; (C) Coleção de água em área de piscicultura; (D) coleção de água em área de cultivo..... 33
- Figura 10. Criadouros artificiais de larvas de anofelino no Município de Chapadinha, MA** (A e B) Tanques; (C e D) Açudes..... 34

Figura 11. Comportamento de fêmea de mosquitos aos semioquímicos. O comportamento de fêmea de mosquitos aos estímulos das substâncias químicas produzidas pelos seres.....	36
Figura 12. Ciclos gonotróficos de mosquito do gênero <i>Anopheles</i>. Comportamentos e atividades dos mosquitos da malária: oviposição, emergência, acasalamento, atividade hematofágica e alimentação de substâncias açucaradas.....	37
Figura 13. Borrifação e o uso de redes impregnadas com inseticidas em áreas endêmicas de malária. (A) uso de mosquiteiro tratado com inseticida, (B) nebulização, (C) pulverização da casa, (D) manejo de larvas em coleções de água.....	39
Figura 14. Uso de atrativo humano na captura de <i>Anopheles</i> no Município de Chapadinha, MA. (A, B) Captura de espécies anofelinos com uso da técnica atrativo humano.....	41
Figura 15. Armadilhas luminosas. (A) Armadilha HP (Hoover Pugedo) e (B) armadilha CDC (Centers for Disease Control and Prevention).....	42
Figura 16. Armadilhas que utilizam atrativos químicos na captura de espécies de <i>Anopheles</i>. Armadilhas que são combinadas com atrativos para atração e captura de espécies de vetores da malária, (A) BG-Pro, (B) BG-Malaria, (C) BG-Sentinel, (D) BG-Suna.....	43
Figura 17. Armadilhas luminosas do tipo HP (Hoover Pugedo) à base de LED na cor verde. (A, B) Armadilhas em campo equipadas com LED verde.....	44
Figura 18. Armadilha Silva. (A) Desenho da armadilha Silva; (B) Partes separadas da armadilha; (C) Armadilha em campo.....	45
4. 1 Capítulo 1- A tecnologia diodo emissor de luz na captura de insetos vetores: estado da arte	
Figura 1. Número de indivíduos capturados com armadilha luminosa CDC modificada com LED verde e azul com diferentes intensidades. A e B. Capturas de flebotomíneos e anofelinos com LED verde e azul com diferentes intensidades.....	53
4.2 Capítulo 2 - Influência crepuscular na atividade de busca por hospedeiros de mosquitos <i>Anopheles</i> no Nordeste do Brasil	
Figura 1. Imagem de satélite Maxar obtida no dia 20 de junho de 2022.	
Notação científica geográfica: dia Juniano = 171, órbita 220. res. 30/30.....	81
Figura 2. Armadilhas Silva. (A) armadilha Silva com LED verde A (20,000mCD) e (B) azul (15,000mCD) utilizada na coleta de anofelinos na fazenda Cantinho, município de Chapadinha-MA, Brasil.....	83
Figura 3. Média de mosquitos anofelinos capturados no Nordeste do Brasil. A. Capturas de mosquitos pelas fontes luminosas. B. Média de indivíduos em dois períodos de captura (PC) no primeiro experimento. C. Média de indivíduos coletados em três intervalos de 20 minutos (In1, In2, In3) durante o crepúsculo, no segundo experimento. D. Capturas de indivíduos em relação a lua. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$).....	90
Figura 4. Média de anofelinos coletados por hora no nordeste do Brasil. Estimativa de anofelinos coletados por hora durante a coleta noturna. A primeira hora de coleta foi	91

dividida em três intervalos de (20 minutos) para verificar a influência do crepúsculo (civil, náutico, astronômico) na atividade de voo do mosquito.....

4.3 capítulo 3 - Comparação de armadilhas nas capturas de espécies de anofelinos em área de mata no município de Chapadinha-MA.

Figura 1- Imagem de satélite Landsat 8 obtida no dia 28 julho de 2023.

Notação científica geográfica: dia Juliano= 209, órbita 220. a res. 30/30..... 108

Figura 2. Armadilhas utilizadas na coleta de anofelinos em mata de galeria. (A) Armadilha Silva com LED verde (15,000mCD), (B) CDC, (C) BG-Pro..... 109

RESUMO

Os mosquitos do gênero *Anopheles* são insetos de importância médica, pois as fêmeas de algumas espécies são responsáveis pela transmissão do protozoário do gênero *Plasmodium*, causador da malária. O monitoramento vetorial constitui uma das principais ferramentas em inquéritos entomológicos. O uso de armadilhas luminosas à base de LEDs (Light-Emitting Diode) tem apresentado bons resultados na captura de insetos vetores, como a armadilha Silva, uma armadilha luminosa passiva específica para capturar mosquitos anofelinos. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de armadilhas luminosas à base de LEDs com outros métodos utilizados na vigilância de vetores da malária. A pesquisa foi realizada em duas regiões distintas: no município de Chapadinha-MA e no município de Macapá-AP. No município de Chapadinha a pesquisa foi dividida em dois momentos. No primeiro, as armadilhas foram posicionadas das 18h:00min às 19h:00min e 19h:00min às 06h:00min e no segundo, os mosquitos foram coletados em intervalos de 20 minutos, das 18h:00min às 19h:00min, totalizando três intervalos. No Estudo realizado nos municípios de Macapá e Chapadinha, as armadilhas foram dispostas no período das 18h:00min às 06h:00min. As armadilhas Silva, CDC e BG-Pro foram usadas nestes estudos. Foram capturados 2815 mosquitos no primeiro estudo, distribuídos em nove espécies. As duas espécies mais frequentes foram *Anopheles triannulatus* s.l, e *An. argyritarsis*. Observou-se que atividade de voo dos anofelinos não foi influenciada pela fase lunar. Os mosquitos estavam mais ativos na primeira hora após o pôr do sol, principalmente durante o período crepuscular náutico. No segundo estudo foram capturados 2122 indivíduos, distribuídos em 12 espécies. A espécie mais comum foi *An. triannulatus* s.l, representando 86,3% dos indivíduos. A armadilha Silva foi eficiente na captura de anofelinos e capturou mais indivíduos em comparação à armadilha BG-pro. Portanto, desenvolver novos métodos de captura que possam ser utilizados em estudos para compreender o comportamento e o padrão da atividade de voo dos mosquitos anofelinos pode ser uma forma de desenvolver estratégias e medidas de controle de espécies vetores em áreas endêmicas.

Palavras-chave: anofelinos; armadilhas Silva; crepúsculo; atividade de voo; uso de LEDs.

ABSTRACT

Anopheline mosquitoes are insects of medical importance, as the females of some species are responsible for transmitting the malarial genus *Plasmodium*. Vector monitoring constitutes one of the main tools in entomological surveys. The use of LED (Light-Emitting diode)-based light traps has been shown to be effective in capturing insect vectors, such as the Silva trap, a passive light trap designed for capturing anopheline mosquitoes. The aim of this study was to evaluate the efficiency of LED-based light traps with other trapping methods in malaria vectors surveillance. This study was carried out in two distinct regions: in the municipality of Chapadinha-MA and in the municipality of Macapá-AP. In the municipality of Chapadinha the research was divided in two moments. In the first, traps were deployed from 6:00 pm to 7:00 pm and from 7:00 pm to 6:00 am, and in the second moment, mosquitoes were collected at 20-minute intervals from 6:00 pm to 7:00 pm, totaling three intervals. In the study carried out in the municipalities of Macapá and Chapadinha, the traps were placed between 6:00 pm and 6:00 am. The Silva trap, CDC light traps and BG-Pro traps were used in these studies. 2815 mosquitoes were captured in the first study, distributed in nine species. The two most frequent species were *Anopheles triannulatus* and *An. argyritarsis*. It was observed that anopheline flight activity was not influenced by the lunar phase. Mosquitoes were most active in the first hour after sunset, especially during the nautical twilight period. In the second study, 2122 individuals were captured, distributed in 12 species. The most common species was *An. triannulatus*, accounting for 86.3% of the individuals. The Silva trap was efficient in capturing anophelines and captured more individuals compared to the BG-pro trap. Therefore, by developing new capture methods that can be used in studies to understand the behavior and pattern of flight activity of anopheline mosquitoes can be a way to guide strategies and measures to control vector species in endemic areas.

Keywords: anophelines; Silva trap; twilight; flight activity; use of LEDs.

1 INTRODUÇÃO

Os mosquitos do gênero *Anopheles* Meigen (1818) (Diptera: Culicidae) pertencem à subfamília Anophelinae. Atualmente o gênero é formado por aproximadamente 508 espécies distribuídas nas regiões tropicais e temperadas do mundo, cerca de 70 espécies são capazes de transmitir os agentes patogênicos da malária aos seres humanos e 41 são consideradas espécies de vetores dominantes (SINKA et al., 2012; HARBACH; KITCHING, 2016; HARBACH, 2018; 2023). A transmissão ocorre no momento da atividade hematofágica praticada pela fêmea infectada com protozoário do gênero *Plasmodium* (Apicomplexa: Haemosporidae) (CONSOLI; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, 1994; PHILLIPS et al., 2017; CARLOS et al., 2019).

Atualmente, existem várias ferramentas disponíveis para o monitoramento e controle de espécies vetores da malária, que incluem métodos químicos, físicos e biológicos, que quando combinados podem melhorar a sua eficiência. O método químico é o mais utilizado para controle de anofelinos em áreas endêmicas, com pulverização residual interna e uso de mosquiteiros impregnados com inseticidas de longa duração. No entanto, a utilização a longo prazo desses inseticidas pode causar resistência e alteração no comportamento de algumas espécies de anofelinos (WHO, 2017; KISINZA et al., 2017; BENELLI; BEIER, 2017).

O uso de armadilhas luminosas do tipo CDC (Centers for Disease Control and Prevention) e HP (Hoover Pugged) são técnicas de capturas muito utilizadas em inquéritos entomológicos de insetos vetores (SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962; PUGEDO et al., 2005). Outras armadilhas utilizadas na captura de vetores são: BG-Sentinel (*Biogents HmGb, Regensburg, Germany*), BG-Suna (Biogents AG), Mosquito Magnet® (American Biophysics Corporation, North Kingstown, RI), BG-Malária (GAMA et al., 2013; HISCOX et al., 2014; PONLAWAT et al., 2017; MBURU et al., 2019) e BG-Pro (DEGENER et al., 2021). As armadilhas são associadas a atrativos químicos, como o dióxido de carbono (CO₂), ácido lático e octenol para aumentar a captura de anofelinos. No entanto, alguns destes químicos são de difícil aquisição e muitas vezes são limitados à algumas regiões, principalmente o CO₂ que apresenta algumas limitações no seu manuseio e aquisição (MCPHATTER; GERRY, 2017; MBURU et al., 2017).

O método biológico basicamente inclui o atrativo humano ou animal. O atrativo humano é o método tradicional utilizado na captura e monitoramento entomológico de vetores da

malária (LIMA et al., 2014; BURKOT et al., 2019). Este método consiste na utilização de seres humanos capacitados para a captura de mosquitos anofelinos, os participantes são expostos ao risco de infecção por diversos patógenos transmitidos pelos insetos durante o inquérito. Essa técnica apresenta complexidade no manuseio e os resultados podem variar dependendo da equipe, uma vez que, podem existir diferenças na atratividade dos participantes envolvidos (HIWAT; BRETAS, 2011; ACHEE et al., 2015). Devido a essas considerações, o ministério da saúde não recomenda a utilização do atrativo humano na coleta de anofelinos.

As pesquisas realizadas com os LEDs (Light-Emitting Diode) na captura de insetos vetores, incluindo os vetores da malária, comprovam a sua eficiência em relação a lâmpada incandescente (COSTA-NETA et al., 2017; 2018; 2023; LIMA-NETO et al., 2018; SILVA et al., 2019; DA SILVA et al., 2019; 2020; ARAÚJO et al., 2023). O uso do LED em armadilhas luminosas apresenta várias vantagens, tais como: baixo custo, alta resistência e longa durabilidade, além de ser mais econômica no consumo de energia (COHNSTAEDT et al., 2008; SILVA et al., 2015a; 2015b; 2016; SILVA et al., 2019). Uma armadilha que usa esta tecnologia é a armadilha Silva, que foi desenvolvida com o propósito de superar as limitações observadas em outras armadilhas existentes. Para a captura de anofelinos, a armadilha demonstrou várias vantagens, além de um comprimento de onda específico para atratividade deste inseto (SILVA et al., 2019).

Diante da necessidade de um método eficiente para a captura de anofelinos e que não exponha o coletor ao inseto infectado durante o inquérito entomológico, a armadilha Silva tem apresentado resultados positivos na captura de anofelinos em comparação a CDC (SILVA et al., 2019). Com o advento da nova armadilha, foi possível a realização de novos estudos sobre a biologia comportamental do inseto, tal conhecimento pode ser utilizado para o desenvolvimento de estratégias, medidas de monitoramento e controle em áreas endêmicas.

Baseado em estudos com uso de armadilha Silva e seu potencial promissor como método de captura de mosquitos anofelinos em comparação com outros métodos, este trabalho apresenta três capítulos: 1- artigo intitulado “A tecnologia diodo emissor de luz na captura de insetos vetores: estado da arte”. 2- Artigo intitulado “Influência crepuscular na atividade de busca por hospedeiros de mosquitos *Anopheles* no Nordeste do Brasil”. Este trabalho apresenta os resultados obtidos em experimentos realizados em campo com uso de armadilha Silva para capturar espécies de anofelinos, que foram interceptados durante a busca por hospedeiros no

período crepuscular e lunar. O estudo teve como objetivo investigar a influência da luz crepuscular e lunar na atividade de voo de mosquitos anofelinos em busca de fontes sanguíneas. 3- é intitulado “Comparação de armadilhas na captura de espécies de anofelinos em área de mata município de Chapadinha-MA. Este estudo apresenta os resultados de coletas realizadas em área de mata no município de Chapadinha-MA. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho da armadilha Silva em comparação a armadilhas CDC e BG-Pro na captura vetores da malária em área de mata.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Malária

2.1.1 Aspectos epidemiológicos

A malária é um problema de saúde pública global, que afeta principalmente as populações de países em desenvolvimento. Em 2019, estima-se que aproximadamente 229 milhões de pessoas contraíram a doença e 409 mil óbitos foram registrados no mundo (WHO, 2020). Ao contrário do ano anterior, em 2020 houve uma redução para 214 milhões de novos casos, no entanto, as mortes relacionadas com a malária aumentaram para 427.000, um aumento de 12% em comparação ao ano de 2019. Na região das Américas foram registrados cerca de 653.000 casos de malária (WHO, 2021; 2022).

No Brasil, os maiores índices de transmissão da malária concentram-se na região amazônica, com 99% de todos os casos do país. Esta região é composta por nove estados: Acre (AC), Amazonas (AM), Amapá (AP), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT) e Tocantins (TO) (Figura 1). Os estados brasileiros que compõem a região extra-amazônica somam 1% dos casos notificados no país (FERREIRA; CASTRO, 2016, CARLOS et al., 2019; MS, 2021; 2022; BUERY et al., 2021).

A malária é uma doença infecciosa transmitida aos seres humanos durante a atividade hematofágica realizada pela fêmea do mosquito *Anopheles* infectada com protozoários do gênero *Plasmodium* (RECHT et al., 2017; PHILLIPS et al., 2017; CARLOS et al., 2019; MS, 2020; 2021). São conhecidas aproximadamente 30 espécies que são responsáveis pela infecção em hospedeiros mamíferos, sabe-se que algumas espécies que causam a malária nos seres humanos são: *Plasmodium falciparum* (Welch, 1897), *Plasmodium vivax* (Grassi e Feletti, 1890), *Plasmodium malariae* (Laveran, 1881), *Plasmodium ovale* (Stephens, 1922). Sendo que as duas primeiras espécies as mais prevalentes e responsáveis pela maioria das mortes no mundo, principalmente na África Subsaariana (LALLOO et al., 2016; MS, 2020; SHARP et al., 2020; WHO, 2021). A espécie *Plasmodium knowlesi* (Knowles e Das Gupta, 1932) está presente no Sudeste Asiático e pode infectar os humanos, nesse caso quando os humanos são infectos por essa espécie de *Plasmodium*, vinda do reservatório de primatas se configura uma zoonose (SINGH; DANESHVAR, 2013; FORNACE et al., 2023).

As espécies de parasitos apresentam distribuição geográfica diferente, a exemplo de *P. falciparum* que a maioria dos casos ocorre no continente africano, enquanto a espécie *P. vivax* é mais frequentes nas regiões das Américas, Índia e Ásia (WHO, 2019). Nos continentes da África, Ásia e América do Sul foram registrados casos de *P. malariae* (YERLIKAYA et al., 2018). A África Subsaariana é a principal região do continente africano de ocorrência de *P. ovale*, apesar dos registros do parasito em baixa densidade em outras regiões. A Ásia é o continente com alta prevalência da espécie de *P. knowlesi* (ZHOU et al., 2019). Enquanto no Brasil, a maioria dos casos é causado pela espécie *P. vivax* (LALLOO et al., 2016; MS, 2020; WHO, 2021).

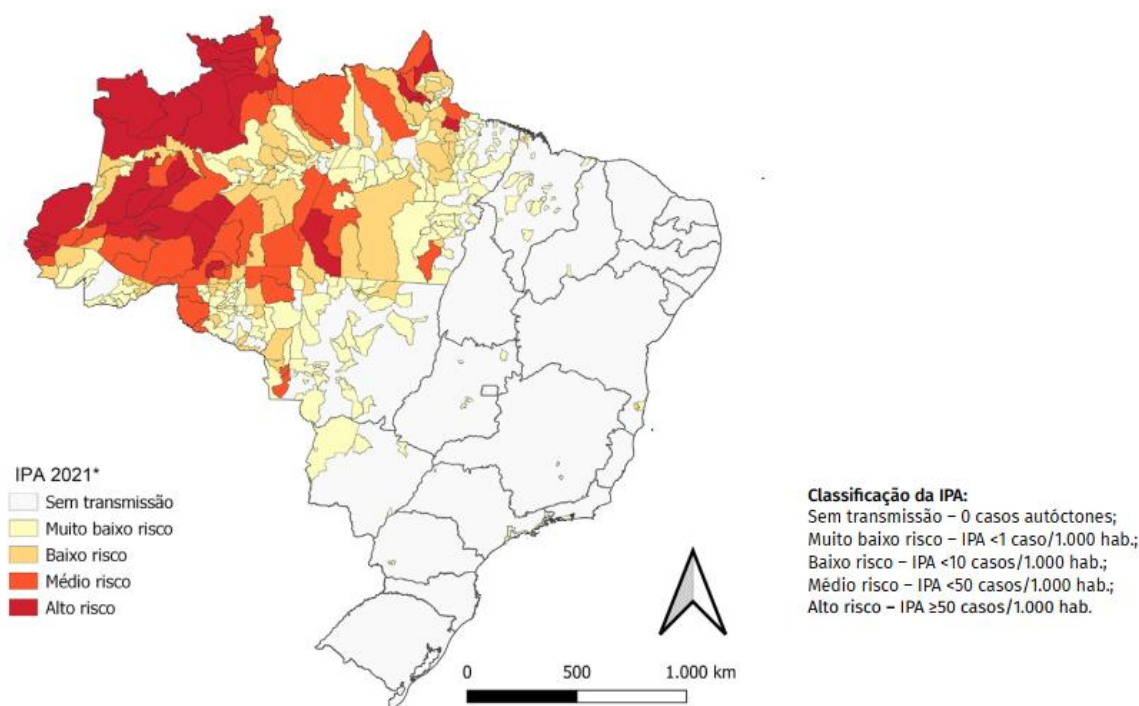


Figura 1. Representação geográfica dos casos de malária no Brasil. Representação geográfica indicando as áreas que não têm transmissão da malária e as áreas de alto risco de transmissão.

Fonte: SIVEP-MALÁRIA E SINAN/SVS/MS, 2022

Os principais fatores que favorecem a dinâmica da transmissão da doença, manutenção e propagação do vetor, incluem mudanças ambientais, condições socioeconômicas e migração humana (CARLOS et al., 2019; BUERY et al., 2021). Em 2020, as duas principais áreas da região Amazônica mais afetadas por casos de malária foram áreas rurais com 41,2% e indígenas com 34%. Foi observado que houve uma redução de casos em 13,3% em áreas rurais e 5,4% em áreas indígenas em relação ao ano anterior (MS, 2022).

De acordo com ministério da saúde, em 2021, foram registrados 139.211 novos casos da doença em comparação a 145.205 referente ao ano de 2020, observou-se uma redução de 4,1% em relação a 2021, possivelmente a redução de casos foi em decorrência da pandemia da COVID-19. Em 2021, foram notificados 23.408 casos de infecções causada por *P. falciparum* e malária mista (17,0%), além de 114.449 casos causados por *P. vivax* e outras espécies de parasitos (83,0%). É importante mencionar que houve uma diminuição de 0,6% das infecções ocasionada por *P. falciparum* e malária mista em relação a 2020 (MS, 2021b; 2022).

2.1.1.2 Os determinantes ambientais

Entender como ocorre o processo da dinâmica populacional do mosquito é essencial para determinar os fatores que favorecem uma população de mosquitos, incluindo os vetores da malária. Os modelos matemáticos proposto por Ronald Ross e George Macdonald foram primordiais para as investigações dos mecanismos responsáveis pela transmissão da malária em diferentes contextos mundiais e o desenvolvimento de possíveis soluções para a erradicação da malária (SMITH et al., 2012; REINER JR et al., 2013).

Os principais fatores que podem influenciar o aumento populacional do vetor e, consequentemente, a disseminação da doença incluem mudanças climáticas, temperatura, humidade relativa, precipitação e direção do vento. Sabe-se que os estágios de desenvolvimento do inseto e do parasito dependem das condições ambientais para a sua sobrevivência (DEPINAY et al., 2004; SHAPIRO et al., 2017; CELLA et al., 2019; MORDECAI et al., 2019). Além disso, é importante conhecer a biologia do vetor, seu comportamento alimentar, os horários da atividade alimentar e compreender o comportamento humano em áreas malarígenas durante atividade do vetor (SMITH et al., 2014).

De acordo com estudos de modelo matemático, a temperatura é um dos principais fatores que interfere nas fases de cada estágios de desenvolvimento, sobrevivência e longevidade dos mosquitos. Deste modo, ressalta-se a importância do conhecimento da biologia do inseto vetor para o desenvolvimento de medidas de controle em áreas endêmicas (BECK-JOHNSON et al., 2013; GALANTE et al., 2014; ROSSATI et al., 2016).

Outros fatores podem influenciar diretamente no aumento populacional do vetor e, consequentemente, no crescimento da malária em várias regiões. Alguns exemplos incluem a migração, a utilização do solo, o aumento populacional, a urbanização e a degradação do meio

ambiente (ROSSATI et al., 2016; CELLA et al., 2019). A espécie *An. darlingi*, principal vetor da malária no Brasil, apresenta características favoráveis para a sobrevivência e manutenção de sua população em áreas de alterações ambientais, o que possibilita o aumento da transmissão da doença (BARROS; HONÓRIO, 2015; LAPORTA et al., 2020).

De maneira geral, as fêmeas de mosquitos utilizam diferentes mecanismos e estratégias de sobrevivência e reprodução no ambiente em que habitam. O comportamento e distribuição do vetor desempenham um papel crucial no desenvolvimento de medidas e estratégias de prevenção e controle da doença em áreas de risco. A dinâmica da busca por fonte sanguínea em diferentes ambientes realizada pela fêmea do vetor, favorece o aumento no número de casos da doença (Figura 2) (SMITH et al., 2014).

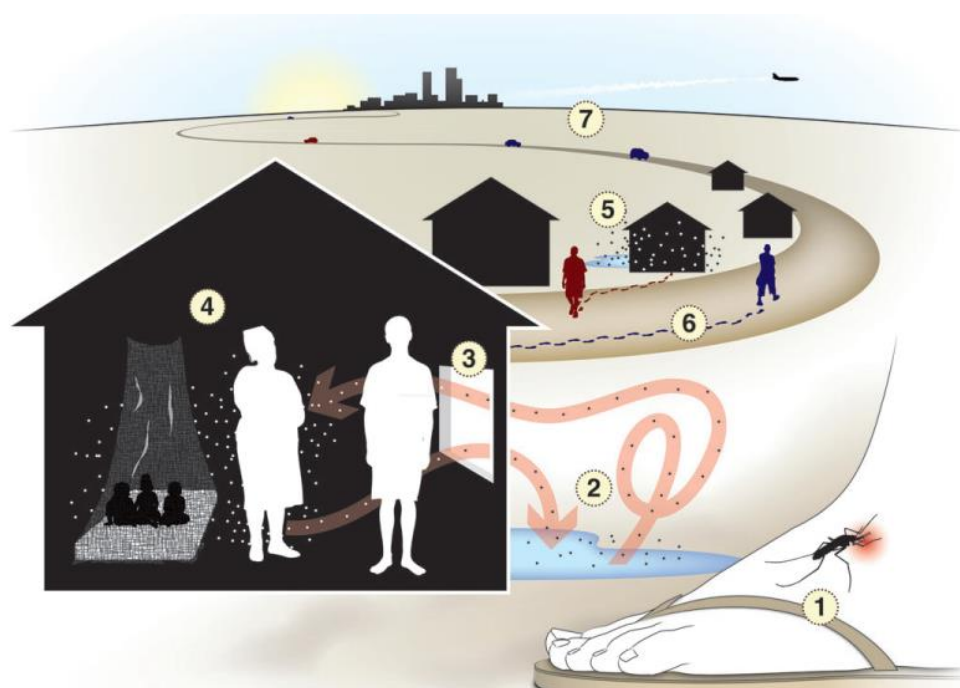


Figura 2. Distribuição do vetor, hospedeiros e transmissão do parasito. (1) Fêmea de mosquito durante o repasto sanguíneo; (2) as larvas emergindo do ambiente aquático; (3) as fêmeas de mosquitos em busca de fonte sanguínea em habitações humanas; (4) medidas de prevenção para evitar o repasto sanguíneo; (5) busca por fonte sanguínea; (6) distribuição das fêmeas de mosquitos relacionado com a atividade humana; (7) percurso realizado pelo vetor em busca de fonte sanguínea.

Fonte: SMITH et al., 2014.

2.1.2 O ciclo da malária

Durante a hematofagia realizada pelo vetor ocorre a transmissão do protozoário *Plasmodium* ao ser humano. Na corrente sanguínea do indivíduo, os esporozoítos atingem o fígado, onde infectam as células hepáticas, neste momento inicia-se o ciclo hepático. No interior

destas células, multiplicam-se milhares de vezes e dão origem aos merozoítos, que lisam os hepatócitos e são direcionados para a corrente sanguínea, infectando as hemácias, iniciando o ciclo eritrocítico com a esquizogonia sanguínea. Os merozoítos reproduzem-se por esquizogonia até romper as hemácias, com a formação dos trofozoítos jovens, em que as hemácias apresentam um aspecto anelar formado pelo parasito internalizado até desenvolver o trofozoíto maduro, quando a hemácia fica na forma irregular com esquizontes jovens e maduros, as hemácias rompem-se e o parasito infecta outras hemácias para iniciar o processo, o que dá início a ciclos repetitivos de multiplicação eritrocitária. Após algumas gerações dos merozoítos no ciclo eritrocítico, ocorre a diferenciação em estágios sexuais chamados gametócitos, como apresentado na figura 3 (MS, 2020; SINGH et al., 2021).

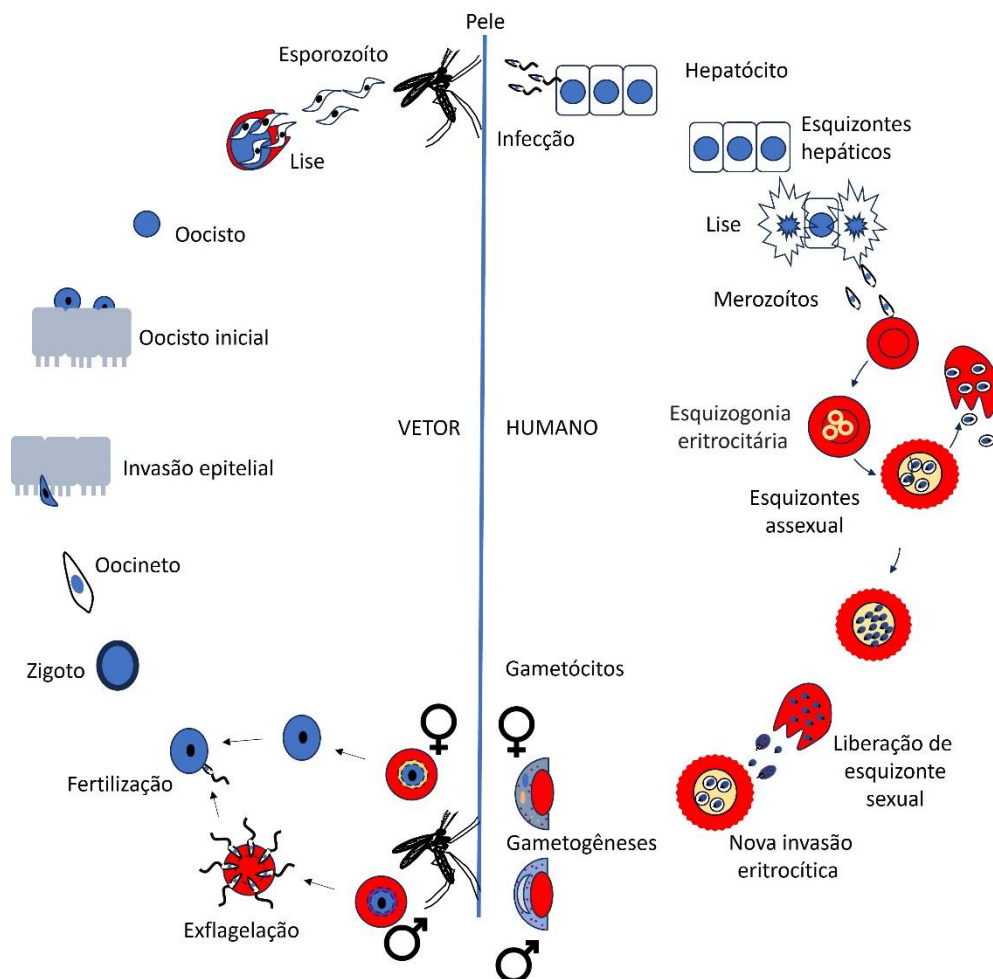


Figura 3. Ciclo biológico do protozoário do gênero *Plasmodium*. O parasito é transmitido pela fêmea do mosquito do gênero *Anopheles* ao ser humano, onde passa por dois ciclos: hepático e eritrocítico. O ciclo hepático e eritrocítico irá originar os gametócitos masculinos e femininos que serão ingeridos pela fêmea durante a hematofagia. No vetor, gametócitos se

fundem formando o zigoto que irá passar por processos de diferenciação no tubo digestivo do inseto até originar o esporozoíto que migram para as suas glândulas salivares, dando continuidade ao ciclo.

Fonte: BRITO, J.M, 2023.

O vetor ingere os gametócitos durante o repasto sanguíneo realizado no indivíduo infectado. Os microgametócitos (gametócitos masculinos) e macrogametócitos (gametócitos femininos) são ingeridos pelo vetor e no sistema digestivo do inseto, forma-se o zigoto. O zigoto é envolvido pela camada epitelial da parede do intestino médio do vetor, diferenciando-se em oocisto. Posteriormente, ocorre a ruptura da parede do oocisto e liberação dos esporozoítos que migram até as glândulas salivares do mosquito, neste microambiente aguardam a próxima atividade hematofágica para continuar o ciclo pela infecção humana (MS, 2020; SINGH et al., 2021).

2.1.3 Os avanços terapêuticos

O diagnóstico da malária deve levar em consideração os principais sintomas: febre, calafrios, tremores suor intenso, dor de cabeça, dores musculares, náuseas, vômitos, tosse, falta de apetite, dor abdominal, diarreia, podendo ocorrer juntamente com esses sintomas um quadro de anemia decorrente da destruição dos glóbulos vermelhos do sangue pelos protozoários, todos os sintomas são importantes para o diagnóstico da infecção (MS, 2020).

Para o diagnóstico da malária o método mais utilizado é a microscopia de gota espessa de sangue, colhida por punção digital e corada pelo método de Walker, o exame da gota espessa permite diferenciação das espécies de *Plasmodium* e do estágio de evolução do parasito circulante. O teste de diagnóstico rápido (TDR) é mais usado em áreas de difícil acesso, visa a detecção de antígenos dos parasitos por anticorpos mono e policlonais, que são mostrados por método imunocromatográfico. Além disso, são usadas as técnicas biologia molecular são utilizadas com menos frequência por causa do custo e da demora para liberação dos resultados (MS, 2020).

Atualmente existem várias terapias combinadas para o tratamento da malária, como: artemeter/lumefantrina, artesunato/mefloquina, artesunato-amodiaquina, diidroartemisinina-piperaquina, artesunato + sulfadoxina-pirimetamina, cloroquina, artesunato-pironaridina. O tratamento é ministrado de acordo com as especificações de cada paciente (MS, 2020; WHO,2023).

No geral, a malária afeta principalmente a região da África Subsaariana, sendo que as crianças e as gestantes constituem a população mais vulnerável e frequentemente acometida pela doença. Neste país, a estação chuvosa é o período em que se observa um aumento significativo nas infecções e óbitos ocasionados pelo protozoário que causa a malária. Neste sentido, destaca-se a importância das medidas de prevenção e cuidados nas áreas endêmicas antes do início do período chuvoso, incluindo a vacinação, utilização de mosquiteiros impregnados com inseticidas e pulverização residual nos domicílios (YAMBA et al., 2023).

Os avanços na prevenção e tratamento da malária estão possibilitando o aumento da expectativa de vida de milhões de pessoas. Em 2021, a organização mundial de saúde propôs a vacinação com a RTS,S/AS01 para a prevenção do *P. falciparum* que acomete crianças que moram em regiões com média e alta taxa de transmissão da doença. O avanço da expansão da vacinação no ano de 2021 contribuiu para aprovação de pré-qualificação da vacina (RTS,S/AS01) em 2022, o que garantiu a distribuição de mais de 18 milhões doses até 2025 (WHO, 2021; 2022).

No início de outubro de 2023, a organização mundial de saúde aprovou a segunda vacina conhecida como R21/Matrix-M contra a malária em crianças. Essa vacina foi desenvolvida pela Universidade de Oxford com o objetivo de disponibilizar aos países uma alternativa mais barata e acessível em relação a primeira vacina a RTS,S/AS01, principalmente ao continente Africano, onde cerca de 500 mil de crianças morrem anualmente por causa desta doença. É importante ressaltar que este é um momento histórico para a ciência com o desenvolvimento e a disponibilidade de duas vacinas contra a malária para crianças, como apresentado na figura 4 (WHO, 2023).



Figura 4. Vacinas recomendadas no tratamento contra a malária em crianças. As vacinas RTS,S/AS01 e R21/Matrix-M aprovadas pela organização mundial da saúde para tratamento contra a malária em crianças.

Fonte: WHO, 2021;2023.

2.2 Os vetores da malária

Os anofelinos são insetos de grande importância epidemiológica para a saúde pública, algumas espécies são incriminadas na transmissão do protozoário do gênero *Plasmodium*. Os anofelinos pertencem à ordem Diptera, família Culicidae, subfamília Anophelinae e ao gênero *Anopheles* Meigen (1818) (MS, 2022; HARBACH, 2023).

O gênero *Anopheles* é formado por aproximadamente 508 espécies distribuídas nas regiões temperadas, subtropicais e tropicais do mundo. Cerca de 70 espécies são capazes de transmitir os protozoários causadores da malária ao homem e 41 espécies são consideradas vetores dominantes (Figura 5 e Tabela 1) (SINKA et al., 2012; HARBACH; KITCHING, 2018; HARBACH, 2023). No Brasil, aproximadamente 67 espécies foram descritas e 49 são vetores na região da Amazônia brasileira, ressalta-se que as principais espécies vetores pertencem ao subgênero *Nyssorhynchus* e *Kerteszia* (DEANE, 1986; TADEI et al., 2000; BAIA-DA-SILVA et al., 2019; CARLOS et al., 2019).

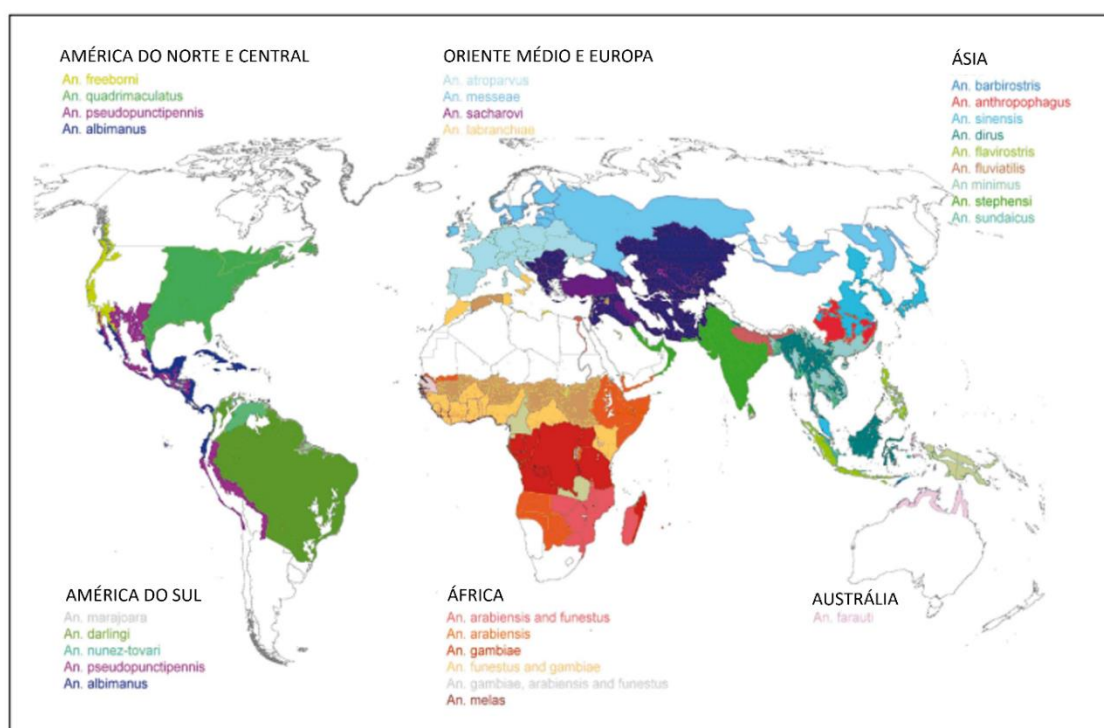


Figura 5. Representação geográfica da distribuição dos vetores dominantes da malária. Representação geográfica indicado a distribuição das espécies vetores dominantes da malária nos continentes.

Fonte: ROSSATI et al., 2016.

Tabela 1. Lista da distribuição das 41 espécies de vetores dominantes da malária nos continentes Americanos, Europa e Oriente-Médio, África e Ásia.

Espécies de <i>Anopheles</i> e complexo de espécies			
Américas	Europa e Oriente-Médio	África	Ásia
<i>An. freeborni</i>	<i>An. atroparvus</i>	<i>An. arabiensis</i>	<i>An. barbirostris</i>
<i>An. pseudopunctipennis</i>	<i>An. labranchiae</i>	<i>An. funestus</i>	<i>An. lesteri</i>
<i>An. quadrimaculatus</i>	<i>An. messeae</i>	<i>An. gambiae</i>	<i>An. sinensis</i>
<i>An. albimanus</i>	<i>An. sacharovi</i>	<i>An. melas</i>	<i>An. aconitus</i>
<i>An. albitarsis</i>	<i>An. sergentii</i>	<i>An. merus</i>	<i>An. annularis</i>
<i>An. aquasalis</i>	<i>An. superpictus</i>	<i>An. moucheti</i>	<i>An. balabacensis</i>
<i>An. darlingi</i>		<i>An. nili</i>	<i>An. culicifacies</i>
<i>An. marajoara</i>			<i>An. dirus</i>
<i>An. nuneztovari</i>			<i>An. farauti</i>
			<i>An. flavirostris</i>
			<i>An. fluviatilis</i>
			<i>An. koliensis</i>
			<i>An. leucosphyrus</i>
			<i>An. maculatus group</i>
			<i>An. minimus</i>
			<i>An. punctulatus</i>
			<i>An. Stephensi</i>
			<i>An. subpictus</i>
			<i>An. sundaicus</i>
Total: 9	Total: 6	Total: 7	Total: 19
Total: 41			

Apenas as fêmeas são capazes de transmitir o protozoário do gênero *Plasmodium* que causa a malária aos seres humanos, a infecção ocorre durante o repasto sanguíneo praticado pela fêmea infectada (Figura 6) (CARLOS et al., 2019; MS, 2020; 2021).

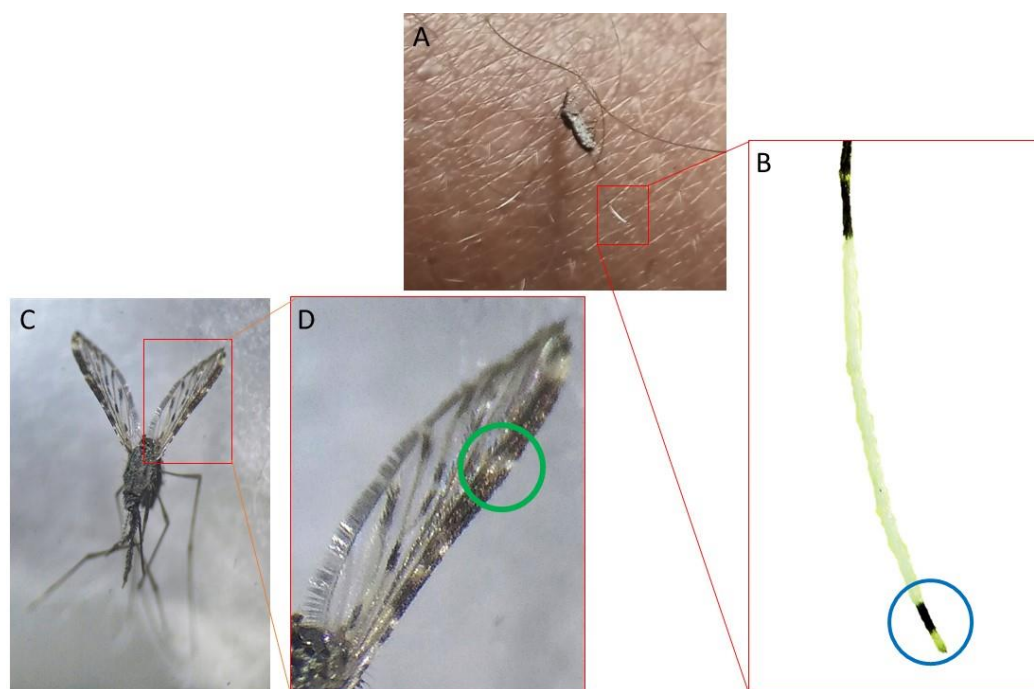


Figura 6. Características gerais da fêmea de *Anopheles triannulatus* s.l. (A) Fêmea de *Anopheles* durante o repasto sanguíneo; (B) pernas com V artícuo tarsais com anel negro basal (círculo em azul); (C) fêmea de *Anopheles triannulatus* s.l. e suas principais características para identificação; (D) asas com mancha subcostal clara (pequena ou ausente) (círculo em verde).
Fonte: COSTA-NETA, BM, 2023.

No Brasil, as principais espécies vetores responsáveis pela transmissão do parasito são: *An. darlingi*, *An. aquasalis* e as espécies do complexo *An. albitarsis* s.l. que pertencem ao subgênero *Nyssorhynchus* e *An. cruzii* e *An. bellator*, que estão incluídas no subgênero *Kerteszia* (Figura 7) (TADEI et al., 1998; 2000; MARRELLI et al., 2007; LAPORTA et al., 2015). Neste contexto, a espécie *An. darlingi* é considerado o principal vetor da malária no Brasil (SALLUM et al., 2019). No estado do Maranhão foram registradas 24 espécies do gênero *Anopheles*, no entanto, apenas duas são consideradas espécies vetores *An. darlingi* e *An. aquasalis* (REBÊLO et al., 2007). Embora exista apenas este trabalho mostrando as espécies em todo o Maranhão, foram realizados trabalhos de investigação molecular para verificação de espécies infectadas, foram encontradas as espécies: *An. nuneztovari* s.l., *An. oswaldoi*, *An. albitarsis* s.l. infectadas pelo *Plasmodium* (FIGUEIREDO et al., 2017; BARROS et al., 2020). Estudos recentes no Maranhão encontraram o primeiro registro da espécie *Anopheles neomaculipalpus* no estado (COSTA-NETA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2023).



Figura 7. Representação geográfica das áreas de transmissão da malária no Brasil.

Representação geográfica indicando a distribuição das espécies vetores pelo Brasil.

Fonte: CARLOS et al., 2019.

A subfamília Anophelinae é composta por 501 espécies e constituída por três gêneros: *Anopheles* Meigen (488 espécies), *Bironella* Theobald (8 espécies), *Chagasia* Cruz (5 espécies). O gênero *Anopheles* apresenta distribuição global, enquanto o *Bironella* é restrito a região da Australásia e *Chagasia* na região Neotropical (HARBACH; HOWARD, 2009; HARBACH; KITCHING, 2016; HARBACH, 2023).

O gênero *Anopheles* é dividido em oito subgêneros: *Anopheles* Meigen (195 espécies) que reúnem as principais espécies vetores da região neotropical, *Kerteszia* Theobald (12 espécies) e *Nyssorhynchus* Blanchard (43 espécies), *Cellia* Theobald (224 espécies), *Sthethomyia* Theobald (5 espécies), *Lophopodomyia* Antunes (6 espécies), *Baimaia* Harrbach,

Rattanarithikul; Harrison (1 espécie) e *Christya Theobald* (2 espécies) (SINKA et al., 2012; HARBACH; KITCHING, 2016; 2018; HARBACH, 2023).

O subgênero *Nyssorhynchus* Blanchard, 1902, é composto por nove espécies consideradas vetores dominantes, com ampla distribuição nas Américas. Cabe ressaltar que as principais espécies responsáveis pela transmissão da malária no Brasil são: *An. darlingi*, *An. aquasalis* e as espécies que estão dentro do complexo *An. albitarsis* s.l. (Figura 8) (SINKA et al., 2012). *An. darlingi* é o principal vetor da malária na região das Américas e possuem ampla distribuição, sendo encontrado nas regiões tropicas e subtropicais das Américas Central e do Sul, estendendo-se do Sul ao México até o Norte da Argentina (SINKA et al., 2012).

Os principais países com registro desta espécie são: Brasil, México, Colômbia, Venezuela, Guianas, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina entre outros (CONN; RIBOLLA, 2016). No Brasil, ocorre na região da floresta amazônica, principalmente no interior do país (DEANE et al., 1948; CARLOS et al., 2019). Uma das principais características desta espécie é sua facilidade de adaptação a ambiente modificado pelo homem, como: áreas de garimpos, substituição da floresta por plantações, áreas de assentamentos e entre outras, características do ambiente da região amazônica (TADEI et al., 1988; MS, 2022).

Outra espécie que desempenha um importante papel na transmissão da malária é *An. aquasalis*, que ocorre nas áreas litorâneas da América Central e do Sul (SINKA et al., 2012). No Brasil, este vetor ocorre nas zonas áridas da região do Nordeste, além de Belém, Amapá e Amazônia, além disso, foi encontrada infectada nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Esta espécie é restrita a região do litoral brasileiro e tem preferência por águas com grande concentração de salinidade (DEANE et al., 1948; DEANE, 1986; FLORES-MENDOZA; LOURENÇO DE OLIVEIRA, 1996; TADEI et al., 1998).

A espécie *An. albitarsis* apresenta ampla distribuição geográfica, abrangendo desde a América Central e do Sul, encontrada em todo território brasileiro. Suas larvas se desenvolvem em uma variedade de coleções de corpos de água naturais e artificiais, podendo ser constante ou temporários, com águas limpas ou turvas, áreas sombreadas ou exposta ao sol. Ressalta-se, que a maioria das larvas são mais abundantes em áreas alagadas como pântanos, gramíneas, capim de água limpa e doce em locais ensolarados (DEANE, 1986; HIWAT; BRETAS, 2011).

As espécies do subgênero *Kerteszia* Theobald, 1905, apresentam uma ampla distribuição pela América Central e do Sul. Este subgênero é formado por 12 espécies, mas, apenas 6 são responsáveis pela transmissão do parasito da malária. No Brasil, as duas principais

espécies de importância epidemiológica são: *An. bellator* e *An. cruzii* (HARBACH, 2023). As espécies vetores envolvida na transmissão da malária no bioma da mata atlântica incluem *An. cruzii*, *An. bellator*, *An. homunnculus*. No entanto, *An. cruzii* é considerado o principal vetor, enquanto os demais são incriminados com vetores secundários devido sua baixa densidade populacional e menor índice de transmissão (CHAVES et al., 2016).

A espécie *An. cruzii* está amplamente distribuída ao longo do litoral brasileiro, com registros que abrangem desde o Rio Grande do Sul até os estados nordestinos, provavelmente Sergipe (CONSOLI; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, 1994). Essa espécie realiza sua reprodução em bromélias epífitas e terrestres, sendo encontrada principalmente em áreas de matas úmidas e sombreadas, além de locais protegidos da exposição direta aos raios solares. O principal período de atividade hematofágica desta espécie ocorre durante o crepúsculo vespertino, uma vez que, as fêmeas alimentam ao longo do dia (RESENDE et al., 2009).

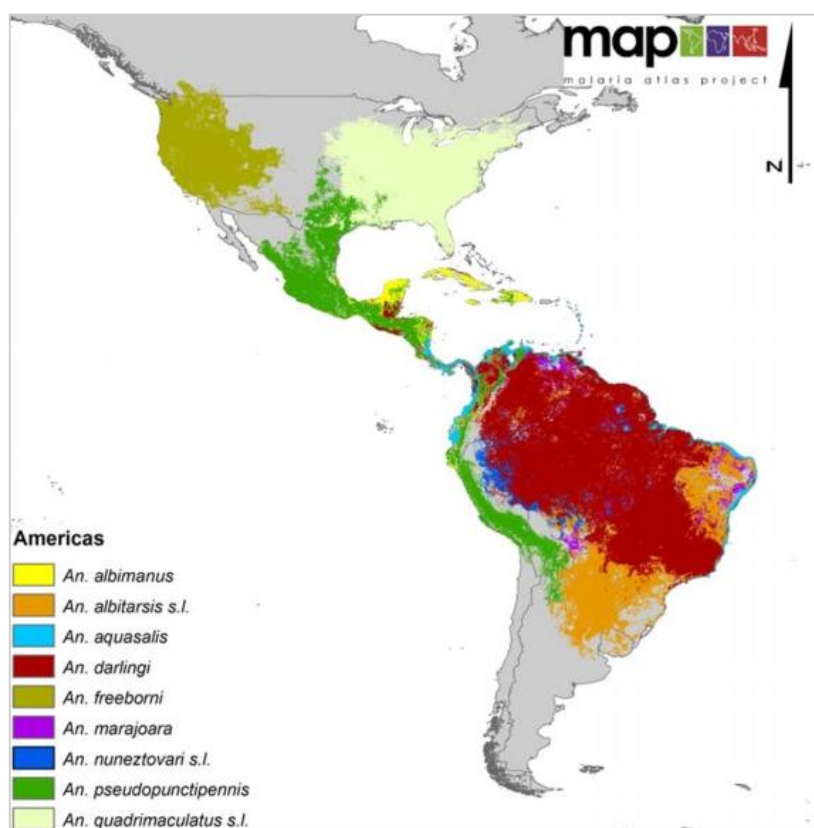


Figura 8. Representação geográfica indicando a distribuição das espécies vetores nas Américas.

Fonte: SINKA et al., 2012.

2.2.1 Criadouros dos mosquitos anofelinos

As larvas de anofelinos podem ser encontradas em uma diversidade de criadouros, algumas espécies como *An. darlingi* podem ser achadas em criadouros naturais ou artificiais (DEANE et al., 1948; DOS-REIS et al., 2015; ARCOS et al., 2018; RUFALCO-MOUTINHO et al., 2021). Os criadouros naturais podem ser coleções ou pequenos corpos de água, como: lagos, lagoas, poças, represas, igarapés. Com águas profundas ou rasas, sombreadas e de baixo fluxo, todas as características da região amazônica brasileira (Figura 9) (DEANE et al., 1948; VITTOR et al., 2009; SÁNCHEZ-RIBAS et al., 2017).



Figura 9. Criadouros naturais de larvas de anofelinos no município de Chapadinha, MA (A) Corpos de água na floresta; (B) Corpos de água secundário; (C) Coleção de água em área de piscicultura; (D) coleção de água em área de cultivo.

Fonte: COSTA-NETA, BM, 2023.

Em criadouros artificiais, as larvas podem ser encontradas em açudes, tanques, viveiro de peixes e outros (Figura 10) (REIS et al., 2015; ARCOS et al., 2018; RUFALCO-MOUTINHO et al., 2021). Conhecer a diversidade e as características da dimensão dos criadouros de reprodução é fundamental para o desenvolvimento de estratégias e medidas para o controle populacional das lavas de mosquitos, como exemplo: controle biológico com a utilização de bactérias, larvicidas, peixes larvívoros, além do controle químico com uso de pulverização dos locais e repelentes (HIWAT; BRETAS, 2011; GALANTE et al, 2014).

As modificações ambientais são um dos fatores que contribuem para a origem de novos criadouros de larvas de anofelinos, principalmente *An. darlingi* (MACDONALD; MORDECAI, 2019; CHAVES et al., 2020). Além disso, as alterações no ambiente ocasionadas pela ação antrópica podem influenciar na presença de outras espécies vetores, como o aumento significativo de criadouros de *An. marajoara* em ambientes modificados, em detrimento da população de larvas de *An. darlingi* nos criadouros, conforme observado por Conn et al. (2002).



Figura 10. Criadouros artificiais de larvas de anofelino no Município de Chapadinha, MA (A e B) Tanques; (C e D) Açudes.

Fonte: COSTA-NETA, BM, 2023.

As principais características dos criadouros de *An. aquasalis* são coleções de águas paradas e salobras, com tamanho pequeno e médio, transitórias ou semipermanentes, ensolaradas ou relativamente sombreadas (DEANE et al., 1948; DEANE, 1986; FLORES-MENDOZA; LOURENÇO DE OLIVEIRA, 1996).

2.2.2 Característica gerais dos anofelinos

2.2.2.1 Ciclo de vida dos anofelinos

Os anofelinos são insetos holometábolos, e as fêmeas, em seu ambiente natural, buscam as margens de coleções de água para realizar a oviposição. No entanto, em ambiente artificiais ou em colônias, esse comportamento é completamente diferente do que ocorre no ambiente natural. Nesses casos, os ovos são depositados isoladamente e exibem formas ovais ou elípticos, muitas vezes apresentam estruturas laterais dotadas de flutuadores, que inclui gomos ocos que dificultam a submersão dos ovos (CONSOLI; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, 1994).

O ciclo do mosquito é formado por quatro estágios: ovo, larva, pupa e adulto, sendo que as primeiras fases ocorrem em ambiente aquático. Os ovos podem ser dispostos em uma diversidade de criadouros, como pântanos, alagados, lagos, lagoas, remansos de rios e córregos, represas artificiais, entre outros. Esses criadouros podem ter águas profundas ou rasas, limpas, sombreadas e de baixo fluxo. O desenvolvimento de ovo até a fase adulta do inseto leva em média de 7 a 20 dias, dependendo das condições ambientais (DEANE et al., 1948; FERREIRA; LUZ, 2003; SÁNCHEZ-RIBAS et al., 2017). Na fase adulta, os anofelinos apresentam morfologia caracterizada pela presença de pernas e antenas longas, as asas são compostas por escamas claras e escuras ao longo das suas veias alares, apresenta o corpo inclinado em ângulo de 30° à 45° em relação à superfície (HARBACH, 2023).

2.2.2.2 Comportamento

A maioria dos anofelinos possuem hábito crepuscular ou noturno, ao longo do dia permanecem em repouso em locais úmidos, quentes e sombreados. Evitam lugares com incidência de luz solar, ventos e presença de predadores naturais (FERREIRA; LUZ, 2003; ZIMMERMAN et al., 2013). Ao iniciar o período crepuscular, as fêmeas abandonam seus abrigos em busca de hospedeiros para atividade hematofágica, o pico de alimentação ocorre nas primeiras horas da noite (TADEI et al., 1983; OLIVEIRA-PEREIRA; REBÊLO, 2000; SILVA-VASCONCELOS et al., 2002; REDDY et al., 2011; ZIMMERMAN et al., 2013).

Tanto a fêmea como o macho se alimentam de açúcares extraídos do néctar das plantas, porém somente a fêmea precisa de fonte sanguínea para o desenvolvimento e maturação de seus ovos (GODFRAY, 2013; KESSLER et al., 2015). As fêmeas de anofelinos, podem realizar o repasto sanguíneo em uma diversidade de hospedeiros vertebrados, incluindo o ser humano, algumas espécies tendem a apresentar especificidade em relação a preferência pela fonte sanguínea (LYIMO; FERGUSON, 2009; RECHT et al., 2017; PHILLIPS et al., 2017;

CARLOS et al., 2019). Os açúcares extraídos do néctar floral são fontes de carboidratos que os mosquitos machos e fêmeas alimentam-se (FOSTER, 1995; KESSLER et al., 2015).

A atividade hematofágica das fêmeas de mosquitos estabeleceu uma intensa forte dependência entre inseto e hospedeiro no ambiente. Durante o voo em busca da fonte sanguínea, as fêmeas desenvolveram mecanismos para detectar cairomônios por sinais olfativos, térmicos e visuais presentes no ar (MEIJERINK et al., 2000).

Os principais cairomônios detectados pelos mosquitos são: gás carbônico, octenol, ácido láctico, acetona e amônia (COSTANTINI, 1996; GAMA et al., 2007; BRAKS et al., 2001; BERNIER et al., 2003). A ativação do voo dos mosquitos em busca de hospedeiros está associada a percepção destes compostos no ambiente. Para localização dos mamíferos alvos, parceiros para o acasalamento e sítios de ovoposição, as fêmeas orientam-se por meio de substâncias químicas que formam a pluma de odores. Tanto os machos como as fêmeas, respondem aos estímulos de odores liberados pelas plantas (Figura 11) (TAKKEN, 1991; TAKKEN; KNOLS, 1999; ZWIEBEL; TAKKEN, 2004; VERHULST et al., 2011).

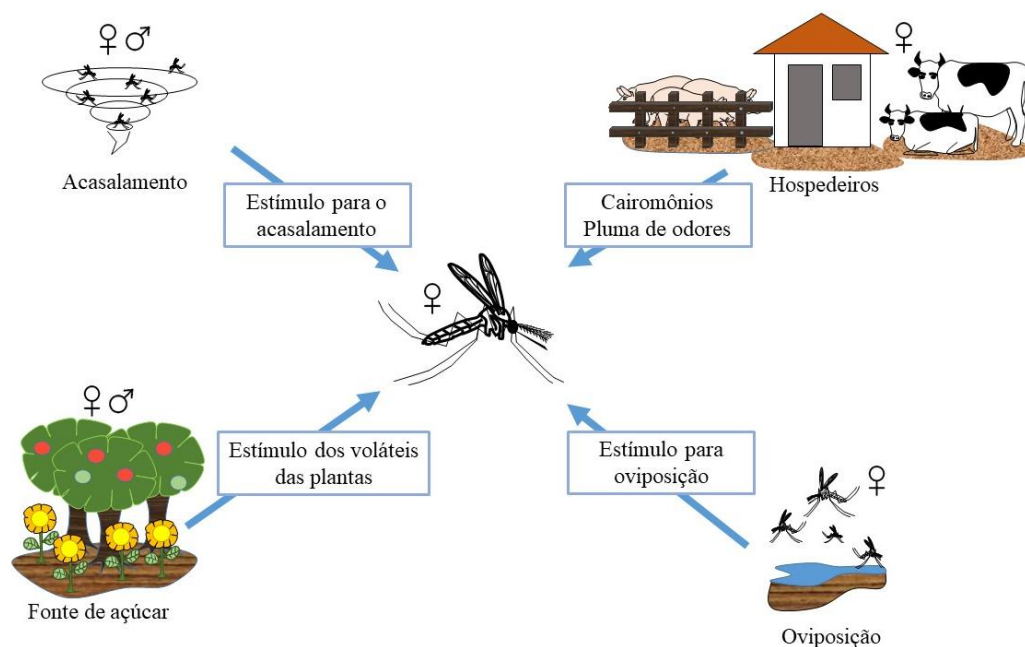


Figura 11. Comportamento de fêmea de mosquitos aos semioquímicos. O comportamento de fêmea de mosquitos aos estímulos das substâncias químicas produzidas pelos seres.
Fonte: BRITO, JM, 2022.

Estudos mostram que, provavelmente o acasalamento ocorre antes da atividade hematofágica, os machos procuram locais favoráveis e formam os enxames, aguardando as fêmeas para o acasalamento. A formação dos enxames ocorre no início do período crepuscular, minutos antes do pôr do sol ou ao pôr do sol, leva em média de 5 minutos para alcançar o pico máximo de macho no local e finaliza com a duração de 30 a 35 minutos ao final do crepúsculo (YUVAL et al., 1993; CHARLWOOD et al., 2002).

Compreender o comportamento e as diferentes etapas que compõem as fases do ciclo de vida do inseto na natureza é de suma importância para o desenvolvimento de medidas eficazes de controle, principalmente das espécies vetores como os anofelinos. O primeiro ciclo gonotrófico inicia quando os mosquitos jovens (macho e fêmeas) emergem do ambiente aquático, alimentam-se dos açúcares provenientes dos vegetais, após os machos acasalam com as fêmeas e em seguida morrem. As fêmeas saem do enxame e buscam os hospedeiros para realizar a atividade hematofágica, as ingurgitadas procuram locais para o descanso. Alguns dias depois, a fêmea procura um ambiente aquático favorável para a oviposição. As fêmeas acasalam apenas uma vez, acredita-se que a partir do segundo ciclo, ao terminar a oviposição, a fêmea procura os hospedeiros para o repasto sanguíneo, reiniciando o ciclo com a ausência do acasalamento (Figura 12) (BENELLI; BEIER, 2017).

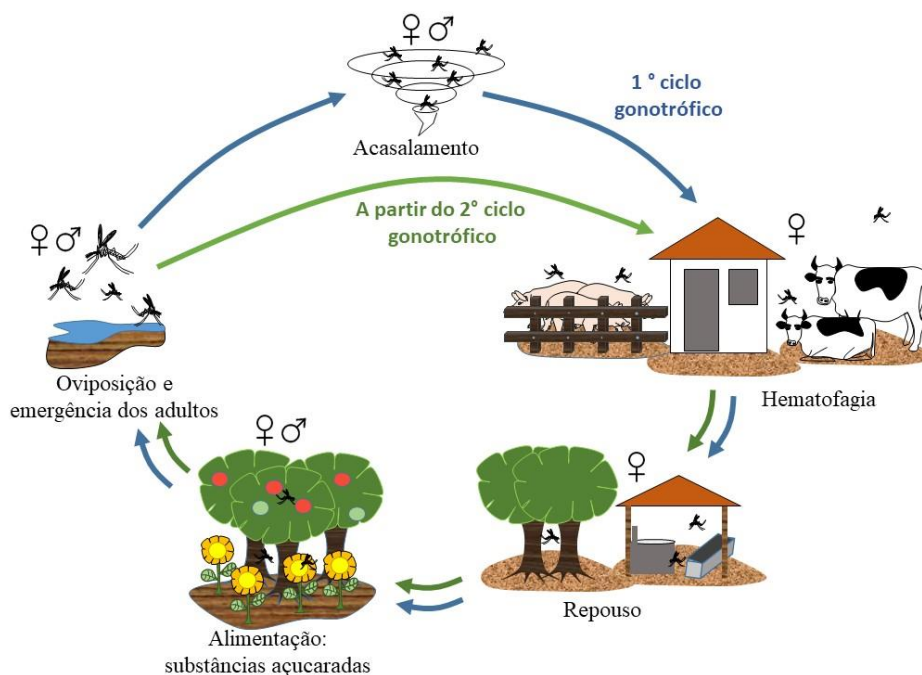


Figura 12. Ciclos gonotróficos de mosquito do gênero *Anopheles*. Comportamentos e atividades dos mosquitos da malária: oviposição, emergência, acasalamento, atividade hematofágica e alimentação de substâncias açucaradas.

Fonte: BRITO, JM, 2022.

2.3 Controle vetorial

O controle de vetores são as principais formas de desenvolver estratégias de intervenção e prevenção do aumento do vetor nas áreas malarígenas, com o intuito de diminuir os casos de malária em pelo menos 90% nos próximos 15 anos, à nível mundial. Para isso, elaborou-se o plano “Estratégia Técnica Mundial para o Paludismo 2016-2030”, que tem como principais pilares assegurar o acesso universal à prevenção, diagnóstico e tratamento da malária, estimular e ampliar os esforços para a eliminação da doença, além disso, garantir que a vigilância seja uma ferramenta primordial na avaliação de todas as ações de intervenções (OMS, 2015).

O ministério da saúde criou o programa nacional de prevenção e controle de malária (PNCM) que tem como principais objetivos: a diminuição da mortalidade, a redução das infecções graves e incidência da doença. Além disso, é preciso contemplar as populações desprotegidas e áreas mais afetadas pela malária no país, como as áreas indígenas, garimpos e áreas de fronteira (MS, 2022).

O controle vetorial é uma das principais medidas de prevenção do aumento da malária nas áreas endêmicas. Este controle se faz por ação de agentes químicos, biológicos ou físicos. Os métodos mais indicados para o controle vetorial da malária no Brasil têm sido constituídos principalmente pelo uso de redes de longa duração tratada com inseticidas, pulverização residual interna, mosquiteiro tratado com inseticidas e controle das larvas e nebulização (WHO, 2019; BAIA-DA-SILVA et al., 2019). O uso de redes tratada com inseticidas e a pulverização residual interna são as principais medidas de intervenção e prevenção mais eficazes na redução e controle dos vetores da malária no mundo (Figura 13) (KNOLS et al., 2016; BARREAUX et al., 2017).

De acordo com a organização mundial de saúde, várias pesquisas foram realizadas em diversos países com o objetivo de conhecer os níveis de intensidade da resistência que os vetores da malária apresentaram aos inseticidas utilizados em áreas de risco (WHO, 2022). Atualmente, o controle de espécies vetores da malária é um dos maiores desafios enfrentados no campo da ciência. Estudos observaram que espécies de *Anopheles* adquiriram resistências a vários inseticidas no decorrer dos anos de avaliação. Cabe ressaltar a importância do monitoramento constante de aplicação de inseticidas, principalmente em áreas malarígenas (KILLEEN, 2020; MESSENGER et al., 2023).



Figura 13. Borrifação e o uso de redes impregnadas com inseticidas em áreas endêmicas de malária. (A) uso de mosquiteiro tratado com inseticida, (B) nebulização, (C) pulverização da casa, (D) manejo de larvas em coleções de água.

Fonte: BAIA-DA-SILVA et al., 2019.

No entanto, existem algumas limitações na utilização dos produtos químicos em áreas afetadas pela malária, por exemplo, a resistência de algumas espécies à frequente exposição aos inseticidas, variações comportamentais das espécies, ausência de dados em relação a dispersão e comportamento durante o acasalamento (GATON et al., 2013; BENELLI; BEIER, 2017). Neste contexto, a principal limitação observada na utilização das ferramentas para a redução da transmissão da malária é a resistência que muitas espécies desenvolveram aos químicos, o que coloca em risco as medidas de controle do plano de eliminação da malária no mundo. É necessária uma avaliação do uso dos produtos químicos a longo prazo (WANJALA et al., 2015).

O desenvolvimento de estratégias de controle vetorial vai muito além, do que conhecer o comportamento da fêmea durante a atividade hematofágica, é necessário avaliar todas as etapas que envolve a biologia do vetor, como os criadouros, os locais de acasalamento, a diversidade de hospedeiros alvos da prática hematofágica, os locais de descanso e local apropriado para oviposição. A partir deste conhecimento será possível desenvolver medidas de controle (BENELLI; BEIER, 2017).

2.3.1 Técnicas de capturas

Um dos grandes desafios das campanhas antimaláricas é desenvolver uma técnica eficiente para ser utilizada no monitoramento dos mosquitos anofelinos, principalmente em áreas endêmicas. A vigilância entomológica consiste em uma estratégia essencial para manter as populações dos insetos vetores em menor quantidade, principalmente os vetores da malária. Neste sentido, o monitoramento vetorial é uma das táticas mais utilizadas pela vigilância epidemiológica, visando realizar o rastreamento e identificar possíveis focos de transmissão da doença nas áreas endêmicas (REBÊLO et al., 2007). Deste modo, é possível conhecer as espécies vetores na área e sua distribuição, o tamanho populacional, os principais locais de foco da doença, os horários de atividade hematofágica do vetor e o controle de entrada e saída de espécies nos territórios monitorados. Além disso, deve levar em consideração os fatores ambientais, e o comportamento homem e vetor (WILLIAMS et al., 2012; GUEYE et al., 2016).

Os indicadores de vigilância vetorial permitem monitorar e avaliar os diferentes aspectos envolvido no comportamento das principais espécies vetores da malária. Neste sentido, é considerado os vetores, a abundância, os locais de maior incidência, os fatores que contribuem para permanência da espécie no local e os hábitos da atividade hematofágica (endofagia, exofagia, endofilia, exofilia, antropofilia e zoofilia), além de identificar as espécies que são resistentes aos inseticidas e as possíveis intervenções que podem ser aplicadas (BURKOT et al., 2019).

O atrativo humano conhecido como padrão ouro é considerado o método clássico e utilizado no monitoramento de espécies de importância médica em áreas malarígenas (LIMA et al., 2014; BURKOT et al., 2019). Este método, utilizam seres humanos como atrativos para os anofelinos, envolve a exposição de algumas partes do corpo dos coletores, o que coloca o pesquisador em risco de contrair alguma infecção devido o contato com diferentes agentes etiológicos transmitidos pelos mosquitos infectados no momento das coletas. No entanto, é uma técnica trabalhosa e os resultados podem alterar de acordo com as diferenças de atratividade de cada coletor. Por questões éticas, não é recomendável o uso de atrativo humano para coleta de anofelinos, e quando for utilizado é necessário que esteja dentro das normas do ministério da saúde (Figura 14) (HIWAT; BRETAS, 2011; ACHEE et al., 2015).



Figura 14. Uso de atrativo humano na captura de *Anopheles* no Município de Chapadinha, MA. (A, B) Captura de espécies anofelinos com uso da técnica atrativo humano.
Fonte: COSTA-NETA, BM, 2023.

Atualmente encontra-se disponíveis técnicas de captura baseadas em propriedades biológicas, químicas e físicas empregadas nos inquéritos entomológicos. Armadilhas luminosas do tipo CDC e HP (Figura 15) (SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962; PUGEDO et al., 2005), armadilhas BG-Sentinel, BG-Suna, Mosquito Magnet®, BG-Malária e BG-Pro (Figura 16). Algumas são combinadas com atrativos químicos como o dióxido de carbono (CO_2) e outras substâncias. No entanto, a utilização de algumas substâncias como exemplo, o CO_2 é de difícil obtenção e manuseio, custo financeiro alto o que dificulta o estudo em campo, e muitas vezes, são restritos a algumas regiões, tornando impossível a utilização (RUBIO-PALIS et al., 2012; GAMA et al., 2013; LIMA et al., 2014; ACHEE et al., 2015; MBURU et al., 2017 et al., 2018; MWANGA et al., 2019; MBURU et al., 2019; DEGENER et al., 2021).

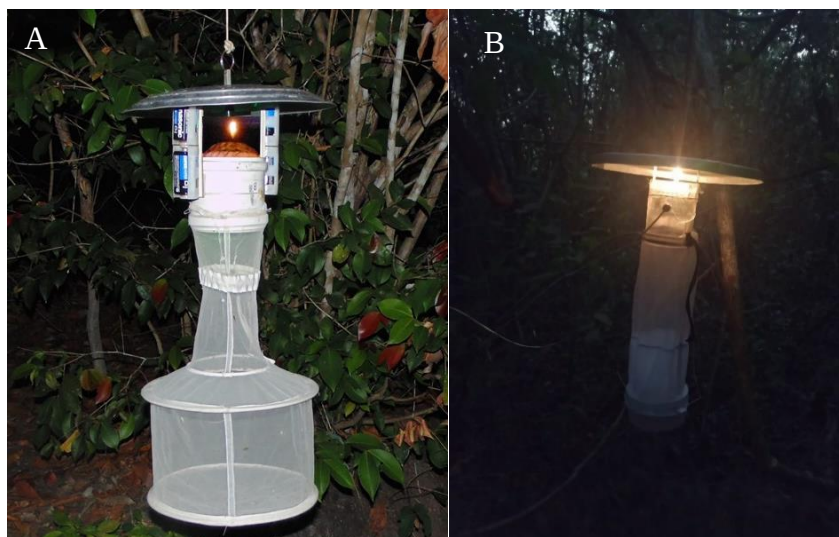


Figura 15. Armadilhas luminosas. (A) Armadilha HP (Hoover Pugedo) e (B) armadilha CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*).

Fonte: Laboratório de Entomologia Médica- LEME, 2019.

Neste contexto, diversas alternativas foram desenvolvidas com o propósito de capturar insetos vetores e diminuir os riscos de infecção durante as coletas realizadas por seres humanos. As armadilhas têm desempenhado um papel importante nos inquéritos entomológicos de mosquitos por exemplos, *Resting Box* (RB), *Ifakara Tent Trap* (ITT), *Mosquito Landing Box* (MLB), armadilha do tipo CDC, BG-Sentinel, BG-Suna, BG-Pro, BG-Malaria e Armadilha Silva. Algumas dessas armadilhas são utilizadas como ferramenta para o monitoramento, principalmente as armadilhas luminosas que diminui a exposição do homem ao risco de infecção (DAVIS et al., 1995; COSTANTINI et al., 1998; MAGBITY et al., 2002; GAMA et al., 2013; MWANGA et al., 2019; SILVA et al., 2019).



Figura 16. Armadilhas que utilizam atrativos químicos na captura de espécies de *Anopheles*. Armadilhas que são combinadas com atrativos para atração e captura de espécies de vetores da malária, (A) BG-Pro, (B) BG-Malaria, (C) BG-Sentinel, (D) BG-Suna. Fonte: COSTA-NETA, BM, 2022; GAMA et al., 2013; MWANGA et al., 2019.

2.3.2 Diodos emissores de luz (LEDs - Light-Emitting Diode)

O comportamento de cada espécie de inseto em relação a luz é um fator determinante para o sucesso da captura pelas armadilhas luminosas. Os insetos podem apresentar comportamento de fototaxia positiva, que são movimentos em direção a luz ou fototaxia negativa, que se refere ao distanciamento da fonte luminosa. Este comportamento é influenciado por algumas características da luz: intensidade luminosa, comprimento de onda, direção e qualidade da luz no ambiente. Outras condições são consideradas como: o clima, a estação do ano e o estado fisiológico do inseto (SHIMODA; HONDA, 2013; KIM et al., 2013; PARK; LEE, 2017; KIM et al., 2019).

Os insetos exibem uma sensibilidade espectral, possuindo células fotorreceptoras que auxilia na preferência por um determinado comprimento de onda ou intensidade luminosa (BRISCOE; CHITTKA, 2001). Nesse contexto, várias pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de entender a resposta dos mosquitos a diferentes comprimentos de ondas e as intensidades luminosas (BARR et al., 1960; WILTON; FAY, 1972; BURKETT et al., 1998; BENTLEY et al., 2009; SILVA et al., 2014).

O uso de diodos emissores de luz (LEDs) tem apresentado resultados promissores na captura de insetos vetores (BURKETT et al., 1998; BISHOP et al., 2004; MANN et al., 2009; SILVA et al., 2015a, b; 2016; COSTA-NETA et al., 2017; 2018; SILVA et al., 2019) (Figura 17). A utilização dos LEDs no estudo da vigilância entomológica tem apresentado resultados satisfatórios, devido as várias vantagens em relação as outras luzes, pois são mais econômicas, tem baixo consumo de energia, que resulta na diminuição dos gastos com pilhas ou baterias e na maior eficiência da armadilha, são resistentes e podem substituir as lâmpadas incandescentes, possuem maiores intervalos de funcionamento e um alto potencial de produzir luz monocromática, além dos maiores intervalos de comprimento de onda específicos para cada tipo de espécie (COHNSTAEDT et al., 2008; MWANGA et al., 2019).

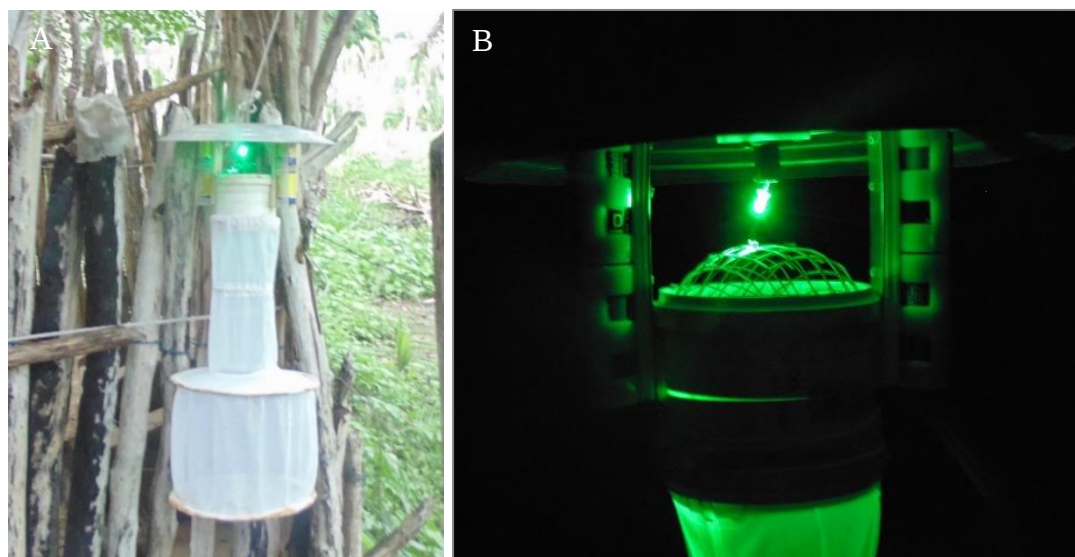


Figura 17. Armadilhas luminosas do tipo HP (Hoover Pugedo) à base de LED na cor verde. (A, B) Armadilhas em campo equipadas com LED verde.

Fonte: COSTA-NETA, BM, 2017.

Estudos demonstraram a preferência de espécies de mosquitos pela faixa de comprimento de onda azul e verde (BENTLEY et al., 2009; SILVA et al., 2014). Entender o comportamento de cada espécie de mosquitos aos diferentes aspectos luminosos que compõem

cada LED é primordial para o resultado e sucesso de cada pesquisa. De acordo com Costa-Neta et al. (2017) o uso de LEDs na captura de anofelinos em comparação a luz incandescente foi eficiente. Os LEDs com intensidades maiores favoreceram o aumento da captura, potencializando o desempenho da armadilha. Isto demonstra que os vários aspectos da luz devem ser levados em consideração, o que muitos autores ignoram em seus trabalhos (COSTA-NETA et al., 2018).

2.3.3 Armadilha silva

Diante da necessidade de uma armadilha específica para captura de anofelinos, foi desenvolvida uma armadilha sem aparato elétrico, de baixo custo e de fácil manuseio, equipada com LEDs, intitulada armadilha Silva que tem como proposta a captura de pequenos insetos voadores. Esta armadilha leva em consideração a preservação morfológica dos insetos e os diferentes aspectos luminosos dos LEDs (Figura 18) (SILVA et al., 2019).



Figura 18. Armadilha Silva. (A) Desenho da armadilha Silva; (B) Partes separadas da armadilha; (C) Armadilha em campo.

Fonte: SILVA et al., 2019; COSTA-NETA, BM, 2023.

Trabalhos recentes comprovaram que a armadilha Silva com diferentes comprimentos de onda pode ser usada em estudos ecológicos de mosquitos anofelinos (COSTA-NETA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2023; SILVA et al., submetido para publicação). Esses estudos são cruciais para conhecer o comportamento e a dispersão dos insetos em ambiente natural.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de armadilhas luminosas à base de LEDs (Light-Emitting Diode) com outros métodos utilizados na vigilância de vetores da malária.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão sobre o uso de LEDs como fonte de atração na captura de insetos vetores;
- Investigar o efeito do período crepuscular e lunar na atividade de voo dos mosquitos anofelinos na busca de hospedeiros;
- Avaliar o desempenho da armadilha Silva em comparação a armadilha CDC (Centers for Disease Control) e BG-Pro na captura de vetores da malária em área de mata.

4 RESULTADOS

4.1 Capítulo 1 – “A tecnologia diodo emissor de luz na captura de insetos vetores: estado da arte”

RESUMO

O uso de diodo emissor de luz (LED) representa uma ferramenta importante para a captura e o monitoramento de insetos vetores, sobretudo ao grupo de inseto que pertencem as famílias Ceratopogonidae, Culicidae e Psychodidae. As armadilhas luminosas à base de LEDs (Light-Emitting Diode) têm desempenhado um papel crucial na vigilância de espécies de importância médica em áreas endêmicas. Estudos mostram que algumas espécies de mosquitos, flebotomíneos e maruins têm apresentado preferência por determinados comprimentos de ondas dos LEDs, o que possibilita conhecer o comportamento do inseto em relação a fonte de luz específica, garantindo a eficiência das armadilhas luminosas. Nesta revisão, foi discutido o comportamento dos insetos a diferentes espectros luminosos, o tipo de armadilha usada, intensidade luminosa, comprimento de onda e os fatores que podem influenciar na eficiência das armadilhas luminosas durante as capturas dos insetos vetores. Ao final, concluímos com as principais características que precisam ser levados em consideração para a seleção dos comprimentos de onda dos LEDs para a utilização nas capturas dos insetos vetores.

Palavras-chave: fonte luminosa, vetor, LEDs, técnica de captura, comprimento de onda.

INTRODUÇÃO

A primeira armadilha luminosa nova Jersey foi desenvolvida por Headlee em 1932, para a captura de mosquitos (STEWART, 1970). Funcionava ligada diretamente na corrente elétrica, era pesada e o seu funcionamento dependia energia. No entanto, o uso desta armadilha ficou inviável na realização de estudos em áreas distantes, pois seria necessário a troca de motores, dos ventiladores e de baterias, o que torna inviável seu uso em áreas distantes. Neste contexto, surge a armadilha luminosa do tipo CDC (Center for Diseases Control and Prevention) desenvolvida por Sudia e Chamberlain (1962), uma armadilha de tamanho pequeno e com baterias portáteis, que facilita o uso e transporte em campo durante o monitoramento entomológico (STEWART, 1970; SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962; SUDIA, 1981).

Durante anos, entomologistas realizaram diversas modificações nas configurações da armadilha luminosa do tipo CDC. No entanto, apesar de todas as modificações em seu design, essas armadilhas funcionam com baterias de chumbo-ácido seladas de 6V para o funcionamento do motor, ventilador e da luz incandescente. As baterias são pesadas, o que muitas das vezes dificulta o seu manuseio no campo (STEWART, 1970; SUDIA, 1981; WILKE et al., 2022). Para contornar este problema, uma adaptação elétrica foi feita nas armadilhas luminosas CDC por Pugedo et al. (2005), com a substituição das baterias por quatro pilhas 1.5 “D”, o que diminuiu o peso, porém a carga das pilhas durava pouco, necessitando de trocas constante e de uma grande demanda de pilhas, gerando uma preocupação com o volume e descarte no meio ambiente.

A lâmpada incandescente é a principal fonte luminosa usada nas armadilhas luminosa CDC para atração dos insetos, fonte luminosa que emite 94% da sua radiação na faixa do infravermelho, espectro invisível a maioria dos insetos (COHNSTAEDT et al., 2008). Devido a temperatura da lâmpada, vários grupos de insetos são capturados, gerando um grande volume para a triagem, sendo uma armadilha não seletiva para a coleta. Com o incremento do uso de LEDs em armadilhas luminosas, o problema foi contornado. Diferentemente da lâmpada incandescente das armadilhas luminosas convencionais, os LEDs podem emitir isoladamente uma porção do espectro luminoso, apresentando cores monocromáticas que variam de 350 nm à 700 nm, incluindo o ultravioleta.

As Armadilhas luminosas são amplamente usadas na amostragem de populações de insetos de importância médica e veterinária, principalmente mosquitos, flebotomíneos e

maruins (SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962; ELSTON; APPERSON, 1977; WILKINSON, 2017). Os insetos vetores são espécies hematófagas e desempenham um papel importante na transmissão de agentes etiológico (JAYAKRISHNAN et al., 2018). Neste contexto, algumas espécies mosquitos, flebotomíneos e *Culicoides* são responsáveis pela transmissão de muitas enfermidades no planeta (MORDECAI et al., 2019). Desta forma, surge a necessidade de estudos que buscam melhorar a eficiência das técnicas de capturas de insetos vetores. Portanto, esta revisão discute a influência do comprimento de onda específico do LED em armadilhas luminosas na atração de mosquitos, flebotomíneos e *Culicoides*. Com base neste conhecimento, será possível melhorar a eficiência das armadilhas luminosas equipadas com LEDs e contribuir com o desenvolvimento de novas estratégias para o monitoramento de insetos vetores.

Seleção de literatura

As bases de dados utilizadas para a construção desta revisão foram: PudMed, Google Scholar, LILACS, Web of Science, Scopus. Para a seleção dos artigos foram utilizados os descritores “Light- emitting diode”, “light trap”, “insect vector capture”, “disease vectors”, “Ceratopogonidae”, “Culicidae”, “Psychodidae”, no período de 1998 a 2023. Nesta revisão foram incluídos estudos com uso de LEDs na atração de insetos vetores.

As principais fontes luminosas

As primeiras lâmpadas que surgiram foram as incandescentes, inventadas por Thomas Alva Edson em 1879. As lâmpadas incandescentes são constituídas por um filamento de tungstênio, a principal estrutura que converte grande parte da energia elétrica em calor. A lâmpada incandescente emite luz predominantemente na região do espectro infravermelho, com cerca de 94% da sua energia emitida em forma de radiação (COHNSTAEDT et al., 2008; WAIDE, 2010). Este fato motivou alguns países a aprovarem a substituição destas lâmpadas por opções mais econômicas (ECODESIGN REGULATORY COMMITTEE, 2008).

As lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) foram implantadas no mercado por volta de 1930, com a proposta de serem mais econômicas e duráveis em comparação as lâmpadas incandescentes. Essas lâmpadas contêm mercúrio na sua composição com a função de emitir energia em forma de radiação ultravioleta (UV). Por causa deste processo, a luz se torna visível ao olho humano quando alcança o revestimento de fósforo no interior da estrutura (BOUWKNEGT, 1982; COHNSTAEDT et al., 2008). Uma das principais preocupações dos

órgãos ambientais é a poluição ambiental resultante da liberação de mercúrio durante o seu descarte.

Os primeiros estudos com diodos emissores de luz (LEDs) foram iniciados por volta do ano de 1920, mas foi somente em 1962 que foi desenvolvido o primeiro LED com espectro visível. O aprimoramento dos primeiros LEDs de alta potência (1W) ocorreu no início da década de 1990, com incremento de novos modelos e design de LEDs monocromáticos de alta eficiência (BOURGET, 2008; CHO, et al., 2017). Os LEDs são semicondutores que emitem energia pelo processo de eletroluminescência (DUPUIS et al., 2008; CHO et al., 2017), o que permite emitirem uma estreita largura espectral de 5 nm em vários comprimentos de ondas que podem variar no espectro de UV (350 nm) à infravermelho (700 nm). A alteração ocorre de acordo com a composição química do LED (COHNSTAEDT et al., 2008).

Os LEDs são tecnologias modernas e aprimoradas. Um dos seus principais atributos em relação as outras fontes luminosas convencionais é longa vida útil, em torno 100.000 horas. Enquanto a vida útil da luz incandescente é cerca de 1.000 horas e da luz fluorescente de 8.000 horas. Ao contrário das lâmpadas incandescente e fluorescente, o LED não apresenta filamento de tungstênio e nem mercúrio na sua composição, desta forma são capazes de emitirem mais luz visível do que calor, além de não prejudicar a natureza, pois não liberam metais tóxicos (YEH; CHUNG, 2009; NARENDRAN et al., 2013; INFUSINO et al., 2017).

Os LEDs apresentam várias vantagens em relação as demais lâmpadas, como o pequeno tamanho, comprimento de onda específico, baixo consumo de energia que resulta na diminuição dos gastos com pilhas ou baterias, baixa produção térmica, diferentes intensidades luminosas, são resistentes, maior durabilidade, apresentam luz monocromática (comprimento de onda específico), o que possibilita a maior eficiência da armadilha com intervalos maiores de funcionamento (COHNSTAEDT et al., 2008; YEH; CHUNG, 2009). Neste contexto, o uso de LEDs como atrativo em armadilhas luminosas surge como uma alternativa promissora utilizada para a atração de insetos de importância médica, principalmente em áreas endêmicas.

Comportamento do inseto na atração da luz

Os insetos podem apresentar comportamento de fototaxia positiva, movendo-se em direção a luz, ou negativa, afastando-se da luz (YANG et al., 2003; KIM et al., 2013). Os fatores que influenciam neste comportamento estão diretamente relacionados com as características da

fonte luminosa, como a intensidade, comprimento de onda, direção, tempo de exposição, combinações de comprimento de onda, qualidade, contraste da intensidade e duração da direção da luz no ambiente (NISSINEN et al., 2008; SAMBARAJU; PHILLIPS, 2009; SHIMODA; HONDA, 2013; PARK; LEE, 2017; KIM et al., 2019). Outras condições que podem influenciar no comportamento dos insetos são as condições climáticas e seu estado fisiológico que incluem a idade, sexo, adaptação ao escuro e o período de acasalamento (KIM et al., 2018).

No geral, muitos insetos apresentam sensibilidades espectrais a luz e conseguem perceber e responder aos estímulos da fonte luminosa no comprimento de onda dentro do intervalo de 350 a 700 nm, a sensibilidade ao espectro luminoso pode ter variação, dependendo da espécie de interesse (LAND, 1997; COHNSTAEDT et al., 2008). Logo, os insetos apresentam uma elevada sensibilidade espectral as luzes ultravioleta, verde e azul (BRISCOE; CHITTKA, 2001; KIM et al., 2019). Alguns insetos quando expostos a presença da luz apresentam comportamento e sensibilidade diferente, de acordo com o comprimento de onda e intensidade da fonte luminosa, desse modo, é importante conhecer as características físicas de cada luz usada no estudo (SHEIKH et al., 2016; KIM et al., 2019). As espécies de insetos vetores apresentam diferenças específicas na preferência pelo comprimento de onda (WILSON et al., 2021).

Os mosquitos são estimulados ao voo por vários aspectos visuais, como a intensidade do espectro luminoso (ALLAN et al., 1987). As luzes artificiais conseguem desorientar os insetos durante a atividade noturna e crepuscular (MCDERMOTT; MULLENS, 2018). A maioria dos insetos noturnos e diurnos dependem de características terrestre para a sua navegação, entre elas: a luz lunar, estelar e alguns sinais de referências para direcionar e encontrar seu abrigo durante à noite, além de auxiliar no controle do voo (WARRAN; DACKE, 2011).

Entender o comportamento dos mosquitos diante da luz é primordial no desenvolvimento de medidas para o monitoramento e controle vetorial em áreas endêmicas, uma vez que, o estudo é direcionado para compreender os locais específicos de repouso do vetor (JENKINS; MUSKAVITCH, 2015). Em investigações laboratoriais, foi observado que a fêmea de *Anopheles gambiae* conseguiu memorizar aspectos associados aos estímulos visuais e olfativos, favorecendo a localização do hospedeiro no ambiente (CHILAKA et al., 2012). Enquanto, no estudo de Bernáth et al. (2016) a mesma espécie apresentava uma memória

flexível, comportamento diferente do reportado anteriormente. São necessárias mais investigações para compreender o comportamento das espécies de mosquitos na busca por hospedeiro.

Armadilha luminosa e LEDs

As armadilhas luminosas equipadas com lâmpadas incandescentes são amplamente utilizadas no monitoramento de insetos vetores. O incremento do uso de LEDs otimizou a atração visual dos insetos nessas armadilhas. O primeiro estudo com o uso de LEDs foram realizados com espécies de mosquitos, tais observações serviram de base para o aprimoramento de trabalhos posteriores (BURKETT et al., 1998). Alguns estudos observaram que os LEDs verde e azul atraíram mais anofelinos (COSTA-NETA et al., 2017; SILVA et al., 2020; ARAÚJO et al., 2023), flebotomíneos (SILVA et al., 2015b; SILVA et al., 2016; ZORRILLA et al., 2021) e *Culicoides* (BISHOP et al., 2004ab, 2006; SILVA et al., 2015a) em comparação com as lâmpadas incandescentes. A lâmpada incandescente emite vários comprimentos de onda, desde 450 à 700 nm, incluindo a faixa espectral de luz invisível e infravermelho em forma de calor. Ao contrário das incandescentes, os LEDs possuem luz monocromática, um comprimento de onda específico em cada diodo, resultando na maior atração dos insetos (arquivo suplementar tabela 1).

Algumas espécies de flebotomíneos foram mais atraídas por comprimentos de onda maiores como o vermelho, 660 nm, quando comparadas com faixas menores (HOEL et al., 2007; MANN et al., 2009). Este resultado entra em conflito com estudos posteriores, pois outros estudos demonstraram que a maioria dos insetos preferem comprimentos de onda mais curtos. Este fato evidencia a necessidade de mais investigações para explicar as possíveis causas que tenha influenciado neste resultado.

A escolha dos LEDs como fonte de atração para insetos de importância médica é uma alternativa promissora, entretanto, deve-se considerar as especificações de cada comprimento de onda. Nessa revisão, observa-se a ausência de informações sobre LEDs em vários estudos, o que pode estar afetando os resultados. Além disso, é crucial determinar a posição adequada de cada espectro luminoso na armadilha durante a coleta (ARAÚJO et al., 2023; COSTA-NETA et al., 2023).

Intensidade

Estudos evidenciam que a intensidade luminosa influencia positivamente na atração de insetos vetores. O uso de LEDs verde e azul com maior intensidade aumentou a atração de espécies de anofelinos (COSTA-NETA et al., 2018), flebotomíneos (LIMA et al., 2018) e maruins (BISHOP et al., 2004ab). Observa-se na figura 1 que o número de flebotomíneos e anofelinos aumentam na medida que utiliza uma intensidade luminosa maior dos LEDs verde e azul. É importante frisar que os comprimentos de ondas não apresentam diferenças entre si no número de indivíduos capturados, apesar de existir uma tendência maior de atração pelo LED verde (SILVA et al., 2015ab; 2016; COSTA-NETA et al., 2017; ARAÚJO et al., 2023; COSTA-NETA et al., 2023).

Da mesma forma, as mesmas observações foram averiguadas em relação ao LED branco com intensidade maior comparado ao verde, mesmo assim, a fonte luminosa verde foi mais atrativa, com o aumento significativo na atração dos mosquitos anofelinos (SILVA et al., enviado para publicação). Deve-se enfatizar que a composição do LED branco é policromática, não é um espectro luminoso específico, pelo contrário, o LED branco é composto por uma mistura de alguns elementos químicos que permite a emissão da cor branca, o que influencia na atração dos mosquitos. O LED branco é uma fonte frágil que necessita de muitas trocas, devido sua intensidade diminuir com pouco dias de uso (KRAMES et al., 2007; CHO et al., 2017).

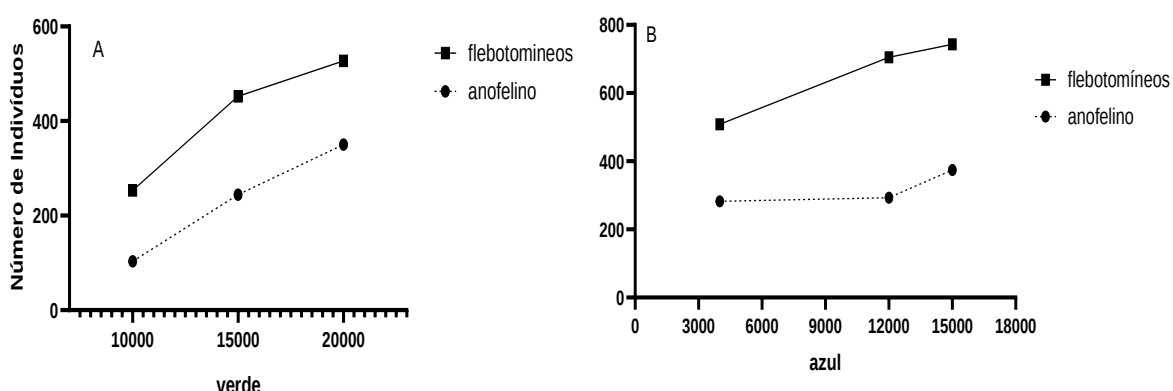


Figura 1- Número de indivíduos capturados com armadilha luminosa CDC modificada com LED verde e azul com diferentes intensidades. A e B. Capturas de flebotomíneos e anofelinos com LED verde e azul com diferentes intensidades.

Armadilhas para captura de insetos vetores

Recentemente foi desenvolvida uma armadilha passiva à base de LEDs específica para captura de mosquitos anofelinos (SILVA et al., 2019; COSTA-NETA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2023; SILVA et al., enviado para publicação). Segundo Araújo et al. (2023) verificou que a lâmpada incandescente foi menos atrativa em comparação aos LEDs verde e azul. Um ponto importante a ser destacado para uso desta ferramenta é a preservação dos caracteres morfológicos dos espécimes, ao contrário do que ocorre na coleta realizada por outras armadilhas que apresentam o sistema de sucção para captura de espécies de anofelinos (KIM et al., 2016; JHAIUN et al., 2021), outras apresentam a combinação do atrativo químico com o motor para sucção (OBENAUER et al., 2013; PONLAWAT et al., 2017; MWANGA et al., 2019). Tais observações contribuem para a escolha de ferramentas mais econômicas e eficientes no monitoramento de mosquitos (arquivo suplementar tabela 1).

Atualmente, uma nova armadilha de sucção à base de LEDs foi criada para a captura de pequenos insetos, como os flebotomíneos (SILVA et al., enviado para publicação). Armadilha de fácil manuseio e econômica, além de outras vantagens em comparação as armadilhas CDC (SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962) e HP (PUGEDO et al., 2005).

Armadilhas luminosas com atrativos químicos

A adição de CO₂ mais os LEDs em armadilhas luminosas aumentou a atração de mosquitos (BURKET et al., 1998; BENTLEY et al., 2009; MWANGA et al., 2019). Adição de atrativos químicos em combinação com a fonte luminosa pode potencializar o efeito da atração de mosquitos na armadilha. No entanto, nem sempre o uso de CO₂ é viável, pois a maioria dos estudos são realizados em áreas de difícil acesso, além de ser um químico de difícil aquisição e custo elevado, principalmente para região menos desenvolvidas.

Para a comparação da eficiência do LED UV em combinação com CO₂ na atração de espécies de anofelinos foram feitas comparações de várias técnicas de capturas, inclusive do atrativo humano (MWANGA et al., 2019). Apesar dos resultados serem promissores é possível perceber que o LED UV com atrativo químico alcançou resultados semelhantes ao atrativo humano. Em comparações com outras fontes luminosa, o LED UV teve um efeito significativo na atração de anofelinos (KIM et al., 2017). Um problema relatado pela utilização do LED UV foi a grande quantidade de insetos, principalmente mariposas que são atraídos durante a captura ao contrário do comprimento verde (ARAÚJO et al., 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do LED tornou-se uma das principais alternativas em relação à lâmpada incandescente na atração dos insetos vetores. Os achados demonstram que certos comprimentos de ondas exibem maior atratividade em comparação a outros, com destaque a faixa do comprimento de onda verde. No entanto, a escolha do comprimento de onda e a intensidade deve ser baseada na preferência de cada inseto, uma vez que estudos evidenciam que diferentes grupos de insetos podem responder de maneira distinta a diferentes espectros luminosos. A falta de informações detalhadas sobre as características dos LEDs em muitos estudos é uma limitação a ser superada para obter resultados mais precisos na avaliação da sua atratividade.

Ademais, é pertinente ressaltar a necessidade de estudos mais abrangentes que explorem as diversas especificidades dos LEDs, com o propósito de identificar fontes luminosas de maior eficácia e alcançar uma compreensão mais precisa das preferências espectrais específicas de espécies de vetores em diferentes contextos.

TABELA 01. Comparativo do atrativo luminoso (LED – Light-Emitting Diode) com o atrativo químico em armadilhas na captura de Ceratopogonidae, Culicidae e Psychodidae.

Vetor	Modelo da armadilha	Tipo de armadilha	Fonte luminosa	Achados principais	Referência
<i>Aedes</i> (Diptera: Culicidae)	Armadilha mosquito Black Hole tm	Sucção	Luz fluorescente branca e UV e LEDs azul, verde, vermelho e UV	O LED azul e luz UV foram as fontes mais atrativas.	JHAIUN et al., 2021
			LEDs azul, vermelho e UV	Os mosquitos diurnos apresentam respostas comportamentais de acordo com à cor da luz e na hora do dia luz. As fêmeas de <i>Ae. aegypti</i> foram atraídas pelos LEDs UV, azul e vermelho.	BAIK et al., 2020
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs azul e vermelho	O comprimento de onda azul foi atrativo para a espécie <i>Aedes aegypti</i> .	SILVA et al., 2020
	Armadilha Blackhole Mosquito Buster	Sucção	Luz fluorescente (UV) e LED UV	A armadilha com LED UV foi eficiente na captura de mosquitos em comparação a luz UV.	KIM et al., 2017
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs azul, verde, violeta, vermelho e azul-	As armadilhas com luz incandescente foram eficientes na captura de <i>Aedes</i> em comparação os LEDs. São necessários mais estudos para	TCHOUASSI et al., 2012

			verde-vermelho (RGB)	avaliar a preferências dos mosquitos aos comprimentos de onda.	
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention), Resting Boxes (RB), Cartões adesivos e CO ₂	Sucção e passiva	LEDs vermelho, verde, azul e infravermelho	Os LEDs azul e verde foram mais atrativos. O uso de LEDs com atrativos pode ajudar conhecer a preferência das espécies de mosquitos por diferentes espectros luminosos.	BENTLEY et al., 2009
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e CO ₂	Sucção	Incandescente e LEDs azul, vermelho, laranja, verde, amarelo e sem luz	As armadilhas à base de LEDs associadas ao CO ₂ apresentaram achados similares a lâmpada incandescente.	BURKETT et al., 1998
<i>Anopheles</i> (Diptera: Culicidae)	HP (Hoover Pugedo) e Armadilha silva	Sucção e passiva	Incandescente e LEDs verde, azul e UV	No primeiro experimento, foram utilizados três LEDs em cada armadilha Silva, os LEDs verde e azul foram mais atrativos que o LED UV na captura de mosquitos. No segundo experimento, o LED verde foi significativo em relação a lâmpada incandescente.	ARAÚJO et al., 2023
	Armadilha silva	Passiva	LEDs verde e azul	A armadilha Silva teve desempenho significante com a utilização dos LEDs verde e azul na captura de espécies de <i>Anopheles</i> .	COSTA-NETA et al., 2023

		No período crepuscular náutico foi capturado maior quantidade de indivíduos.		
CDC (Center for Diseases Control and Prevention), CDC-type light trap e Armadilha silva	Sucção e passiva	Incandescente, lâmpada branca LED e LEDs verde e branco	O uso da armadilha Silva com LED verde demonstrou ser mais eficiente que o LED branco nas capturas, mas foi igual CDC com lâmpada incandescente. Entretanto, a armadilha Silva com LED verde ou com LED branco foi mais atrativa que a CDC com lâmpada LED branca.	SILVA et al., enviado para publicação
Armadilha mosquito Black Hole™	Sucção	Luz fluorescente branca e UV e LEDs azul, verde, vermelho e UV	As armadilhas com luz UV e LED azul foram os comprimentos mais atrativos em comparação as demais fontes luminosas.	JHAIUN et al., 2021
		LEDs azul, vermelho e UV	Os mosquitos noturnos apresentam preferências de comprimento de onda diferente dos mosquitos diurnos, dependendo da hora do dia. As fêmeas <i>An. coluzzii</i> foram atraídas pelo comprimento de onda vermelho durante a noite, mas evitavam a luz UV durante o dia. Experimento realizado em ambiente laboratorial.	BAIK et al., 2020

	CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs azul e vermelho	As armadilhas com LED azul foram significantes na captura de espécies <i>Anopheles</i> em comparação aos demais espectros luminosos.	SILVA et al., 2020
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention), BG-Suna, BG-Sentinel, Mosclean, atrativo humano e CO ₂	Sucção	Incandescente e LED UV	A armadilha Mosclean com o uso de LED UV associado com atrativo químico foi mais eficiente que a CDC com luz incandescente na captura de <i>Anopheles arabiensis</i> . Além disso, a armadilha Mosclean apresentou resultado semelhante a técnica do atrativo humano e foi capturou mais indivíduos que as outras armadilhas avaliadas (BG-Suna, BG-Sentinel, Mosclean).	MWANGA et al., 2019
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e Armadilha silva	Sucção e passiva	Incandescente e LED azul	As armadilhas Silva e CDC apresentaram resultados semelhantes na quantidade anofelinos coletados.	SILVA et al., 2019
	HP (Hoover Pugedo)	Sucção	LEDs (verde e azul) e diferentes intensidades	Intensidades dos LEDs maiores foram significantes em comparação as menores nas capturas de espécies de <i>Anopheles</i> .	COSTA-NETA et al., 2018
			Incandescente e LEDs verde, azul	O comprimento de onda verde foi eficiente em relação à luz incandescente.	COSTA-NETA et al., 2017

CDC (Center for Diseases Control and Prevention), BG Sentinel e cairomônios (CO ₂ e BG-lure)	Sucção	Incandescente e LEDs verde, vermelho e UV	A armadilha com luz incandescente com adição de CO ₂ e BG-lure foram eficientes na captura em comparação a BG-Sentinel associado com LEDs.	PONLAWAT et al., 2017
Armadilha Blackhole Mosquito Buster	Sucção	Luz fluorescente (UV) e LED UV	A armadilha com LED UV foi eficiente na captura de espécies de anofelinos em comparação à luz fluorescente UV.	KIM et al., 2017
CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e cairomônios (CO ₂ e lure)	Sucção	Incandescente e fluorescente UV e LED UV	As armadilhas com luz fluorescente UV em combinação a cairomônios foram significantes na captura de <i>An. gambiae</i> em comparação a lâmpada incandescente e LED.	OBENAUER et al., 2013
CDC (Center for Diseases Control and Prevention), Resting Boxes (RB), Cartões adesivos e CO ₂	Sucção, passiva e solo	LEDs vermelho, verde, azul e infravermelho	As fêmeas de <i>Anopheles quadrimaculatus</i> foram atraídas pelo LED vermelho na armadilha RG.	BENTLEY et al., 2009
CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e CO ₂	Sucção	Incandescente e LEDs azul, vermelho, laranja, verde,	As armadilhas à base de LEDs associadas ao CO ₂ apresentaram achados similares à lâmpada incandescente na captura de espécies de anofelinos.	BURKETT et al., 1998

<i>Culex</i> (Diptera: Culicidae)			amarelo e sem luz		
	Armadilha choice chamber	Passiva	Luzes de amplo espectro branca (RS), vermelho, verde, azul (RGB), azul-amarelo (BY), LEDs azul (440nm 465nm), verde (520), vermelho (625) e amarelo (570nm)	As luzes brancas atraíram mais mosquitos da espécie <i>Culex pipiens</i> do que as demais fontes luminosas, exceto o LED verde, que não apresentou diferença na atratividade.	WILSON et al., 2022
	Armadilha mosquito Black Hole tm	Sucção	Luz fluorescente branca e UV e LEDs azul, verde, vermelho e UV	A luz UV e LED azul foram os comprimentos que mais atraíram os <i>Culex</i> em comparação as demais fontes luminosas.	JHAIUN et al., 2021
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs azul e vermelho	O LED azul foi mais eficiente na captura em comparação as demais fontes luminosas.	SILVA et al., 2020

CDC (Center for Diseases Control and Prevention), BG-Suna, BG-Sentinel, Mosclean, atrativo humano e CO ²	Sucção	Incandescente e LED UV	A armadilha Mosclean à base de LED UV e atrativo químico foi eficaz na captura de <i>Culex</i> em comparação as outras técnicas testadas.	MWANGA et al., 2019
Armadilha Blackhole Mosquito Buster	Sucção	Luz fluorescente UV e LED UV	A armadilha com LED UV foi eficiente na captura de mosquitos do gênero <i>Culex</i> em comparação à luz fluorescente UV.	KIM et al., 2017
		Incandescente e LEDs vermelho, azul, verde e UV	Não houve diferença entre as fontes luminosas avaliadas. Entretanto, o LED verde e azul atraiu maior diversidade de espécies.	SILVA et al., 2014
CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs BGR, azul, verde, violeta e vermelho	A armadilha CDC com a luz incandescente capturou mais indivíduos que a CDC com LEDs. Entretanto, é necessário novos estudos para avaliar os comprimentos de onda.	TCHOUASSI et al., 2012
CDC (Center for Diseases Control and Prevention), Resting boxes (RB), Cartões adesivos e CO ₂	Sucção, passiva e solo	LEDs vermelho, verde, azul e infravermelho	Os LEDs azul e verde foram mais atrativos em relação aos LEDs vermelho e infravermelho.	BENTLEY et al., 2009

	CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e CO ₂	Sucção	Incandescente e LEDs azul, vermelho, laranja, verde, amarelo e sem luz	As armadilhas à base de LEDs associadas ao CO ₂ apresentaram achados similares a lâmpada incandescente.	BURKETT et al., 1998
<i>Culicoides</i> (Diptera: Ceratopogonidae)	CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e Armadilha luminosa 3d	Sucção	LEDs UV e verde)	As armadilhas luminosas 3D e CDC com LED UV foram eficientes na captura em comparação ao LED verde.	FUJISAWA et al., 2023
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente, fluorescente branca, fluorescente ultravioleta (UV) e LED UV	A armadilha com a luz UV e LED UV foram mais atrativas em comparação às demais.	CHOOCHERD et al., 2022
	Onderstepoort 12 e 220 Volts	Sucção	Luz ultravioleta fluorescente (UV) e LEDs branco e UV	A luz UV foi significativa na captura em comparação aos LEDs. O aumento da quantidade de LEDs nas armadilhas influenciou positivamente no número de indivíduos.	BEER et al., 2021

Armadilha luminosa de sucção	Sucção	LEDs UV, rosa, azul, verde, amarelo, vermelho e branco	O comprimento de onda UV foi mais atrativo do que os demais, seguido pelo azul.	MAZUMDA; MAZUMDAR, 2020
CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e CO ₂	Sucção	Incandescente e LED UV	As armadilhas com LED UV e luz incandescente associada ao CO ₂ foram mais eficientes na captura.	SLOYER et al., 2019
Onderstepoort 220 Volts	Sucção	Luz ultravioleta fluorescente (UV) e LEDs verde, azul, branco e vermelho	A armadilha com luz UV foi eficiente na captura em relação aos demais comprimento de onda. Apesar da utilização de doze LEDs em cada armadilha.	VENTER et al., 2018
CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	LEDs branco, verde, azul, vermelho e UV	Os comprimentos de onda verde e UV foram eficientes em comparação aos demais.	GONZÁLEZ et al., 2016
		LEDs UV e verde	O LED UV foi mais eficiente em relação ao LED verde.	HARRUP et al., 2016

		LEDs vermelho, azul, verde e UV e intensidades	A espécie <i>Culicoides sonorensis</i> apresentou preferência pelo comprimento de onda UV em comparação aos demais espectros luminosos.	SNYDER et al., 2016
CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Luz fluorescente (UV) e LEDs azul, UV, verde amarelo, vermelho e branco	Foram utilizados oito LEDs nas armadilhas. Os LEDs verde e azul apresentaram resultado similar à luz fluorescente.	HOPE et al., 2015
HP (Hoover Pugedo)	Sucção	Incandescente e LEDs verde e azul	Os LEDs apresentaram resultados semelhante à luz incandescente.	SILVA et al., 2015a
Armadilha luminosa	Sucção	Luz ultravioleta fluorescente (UV) e LEDs verde, branco e UV	O LED UV foi mais atrativo nas capturas.	JENKINS; YOUNG, 2010
		Incandescente e LEDs UV, azul, verde e amarelo	Os LEDs verde e UV foram eficientes na atração. No entanto, algumas espécies mostraram especificidade por determinado comprimento de onda.	BISHOP et al., 2006

			Incandescente e LEDs azul, verde, branco, vermelho e amarelo e intensidades	Foram utilizados três LEDs azul, verde, branco e vermelho e cinco LEDs amarelo. Os resultados mostraram que as armadilhas com LEDs verde e azul foram mais atrativas, principalmente na atração da espécie <i>C. brevitarsis</i> .	BISHOP et al., 2004a
				Nas armadilhas foram utilizados três LEDs azul, verde, branco e vermelho e cinco LEDs amarelo. Os LEDs verde e azul foram mais atrativos, principalmente na atração da espécie <i>C. brevitarsis</i> .	BISHOP et al., 2004b
Flebotomíneos (Diptera: Psychodidae)	Armadilha Silva de Sucção (SS) e CDC-Type light trap	sucção	Lâmpada LED branca e LEDs verde e branco	As armadilhas Silva de Sucção (SS) com LED verde e branco apresentaram desempenho semelhante a armadilha CDC com lâmpada LED branca na captura de indivíduos.	SILVA et al., submetido para publicação
	CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e Flebocollect (Fc)	Sucção	Incandescente e LEDs verde, azul, vermelho e amarelo	Não foram observadas diferenças entre as fontes luminosas avaliadas. Os machos da espécie <i>Sergentomyia minuta</i> apresentaram preferência pelo LED verde e vermelho.	FELIPE et al., 2022
	HP (Hoover Pugedo)	Sucção	Incandescente e LEDs verde,	Não houve diferenças entre as fontes luminosas avaliadas. Os LEDs verde e azul	SILVA et al., 2022

		azul, vermelho e UV	podem ser usados como fonte de luz alternativa para atração.	
CDC (Center for Diseases Control and Prevention) Mosquito Magnet-x (MM-X), BG-s Sentinel e shannon	Sucção e passiva	Incandescente e luz fluorescente (UV) e LEDs azul, verde e vermelho	As armadilhas com luz UV e LED azul foram eficientes na atração de flebotomíneos em comparação as outras fontes luminosas.	ZORRILLA et al., 2021
HP (Hoover Pugedo)	Sucção	Incandescente e LEDs verde e azul	A influência lunar diminui a eficiência das armadilhas luminosas nas capturas. Ressalta-se que os LEDs foram menos afetados do que a lâmpada incandescente.	Da SILVA et al., 2020
CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente e LEDs azul e vermelho	O comprimento de azul foi mais eficiente na atração das espécies.	SILVA et al., 2020
HP (Hoover Pugedo) e cairomônios: ácido láctico e octenol	Sucção	Incandescente e LED verde	O uso de LED verde associado a cairomônio ou isoladamente apresentou resultados significativo em comparação à luz incandescente.	Da SILVA et al., 2019

HP (Hoover Pugedo)	Sucção	LEDs verde e azul e intensidades diferentes	Intensidade maiores dos LEDs aumentou a eficiência da armadilha na captura de flebotomíneos. Houve diferenças entre as intensidades dos LEDs verdes.	LIMA-NETO et al., 2018
CLT (Classical light trap) e Laika 4.0	Sucção	Incandescente e LEDs azul, branco, vermelho, verde e UV	O LED UV na armadilha Laika foi eficiente em comparação as outras fontes luminosas, principalmente para a espécie vetor <i>Phlebotomus perniciosus</i> .	GAGLIO et al., 2018
		Incandescente e LEDs UV e branco	Não houve diferenças entre as fontes luminosas avaliada nas armadilhas.	GAGLIO et al., 2017
CDC (Center for Diseases Control and Prevention), Armadilha Disney, Armadilha tipo delta e painéis adesivos	Sucção e passiva	Incandescente e LEDs azul, branco, verde e vermelho	A armadilha CDC com luz incandescente foi mais eficiente, seguida pela armadilha CDC com LED branco em comparação aos demais tratamentos.	RODRÍGUEZ-ROJAS et al., 2016
HP (Hoover Pugedo)	Sucção	Incandescente e LEDs verde e azul	O LED verde foi significativo em comparação à luz incandescente na captura de espécies.	SILVA et al., 2016

CDC (Center for Diseases Control and Prevention) e Armadilha Redila	Sucção	Incandescente e LEDs branco e UV	Com o uso de seis LEDs em cada armadilha Redila, não teve diferença no número de flebotomíneos capturado em relação à luz incandescente na CDC.	FERNÁNDEZ et al., 2015
HP (Hoover Pugedo)	Sucção	Incandescente e LEDs verde e azul	Não houve diferença entre as fontes luminosas avaliadas. No entanto, os LEDs atraíram maior número de indivíduos.	SILVA et al., 2015b
Mosquito Magnet-X (MM-X) e CO ₂ .	Sucção	LEDs azul, verde, vermelho e azul-verde-vermelho (BGR)	O LED vermelho foi a fonte luminosa que mais atraiu a espécie <i>Lutzomyia shannoni</i> em relação aos comprimentos de onda. Cabe mencionar que são avaliações iniciais, sendo necessários mais estudos.	MANN et al., 2009
CDC (Center for Diseases Control and Prevention)	Sucção	Incandescente, luz fluorescente UV e LED UV	Os LEDs foram eficientes na atração. Outro dado importante é o baixo consumo de energia dos LEDs.	COHNSTAEDT et al., 2008
		Incandescente e LEDs vermelho, azul, verde	O LED vermelho foi eficiente na atração de flebotomíneos em comparação demais fontes luminosas, principalmente para a espécie <i>Phlebotomus papatasi</i> . Ressalta-se que são necessários mais estudos.	HOEL et al., 2007

REFERÊNCIAS

- ALLAN, S. A.; DAY, J. F.; EDMAN, J. D. Visual ecology of biting flies. **Annual review of entomology**, v. 32, p. 297–316, 1987.
- ARAÚJO, E. C. et al. Effect of ultraviolet LED and trap height on catches of host-seeking anopheline mosquitoes by using a low-cost passive light trap in northeast Brazil. **Parasitology Research**, v. 122, n. 6, p. 1343-1349, 2023.
- BAIK, L. S. et al. Circadian regulation of light-evoked attraction and avoidance behaviors in daytime-versus nighttime-biting mosquitoes. **Current Biology**, v. 30, n. 16, p. 3252-3259. e3, 2020.
- BEER, C. J.; BOIKANYO, S. N. B.; VENTER, G. J. Evaluation of light emitting diode suction traps for the collection of livestock-associated *Culicoides* species in South Africa. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 35, n. 3, p. 408-416, 2021.
- BENTLEY, M. T. et al. Response of adult mosquitoes to light-emitting diodes placed in resting boxes and in the field. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 25, n. 3, p. 285-291, 2009.
- BERNÁTH, B. ANSTETT, V. GUERIN, P. M. *Anopheles gambiae* females readily learn to associate complex visual cues with the quality of sugar sources. **Journal of Insect Physiology**, v. 95, p. 8–16, 2016.
- BISHOP, A. L. et al. Improving light-trap efficiency for *Culicoides* spp. with light-emitting diodes. **Veterinaria Italiana**, v. 40, n. 3, p. 266-9, 2004b.
- BISHOP, A. L. et al. Light trapping of biting midges *Culicoides* spp.(Diptera: Ceratopogonidae) with green light-emitting diodes. **Australian Journal of Entomology**, v. 45, n. 3, p. 202-205, 2006.
- BISHOP, A. L. et al. Response of *Culicoides* spp. (Diptera: Ceratopogonidae) to light-emitting diodes. **Australian Journal of Entomology**, v. 43, n. 2, p. 184-188, 2004a.
- BOURGET, C. M. An Introduction to Light-emitting Diodes. **HortScience**, v.43, n.7, 2008.

- BOUWKNEGT, A. Compact Fluorescent Lamps. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v.11, n. 4, p. 204-212, 1982.
- BRISCOE, A. D.; CHITTKA, L. The evolution of color vision in insects. **Annual Review of Entomology**, v. 46, p. 471–510, 2001.
- BURKETT, D. A.; BUTLER, J. F.; KLINE, D. L. Field evaluation of colored light-emitting diodes as attractants for woodland mosquitoes and other Diptera in north central Florida. **Journal of the American Mosquito Control Association-Mosquito News**, v. 14, n. 2, p. 186-195, 1998.
- CHILAKA, N.; PERKINS, E. TRIPET, F. Visual and olfactory associative learning in the malaria vector *Anopheles gambiae sensu stricto*. **Malaria Journal**, v.11, n.27, 2012.
- CHO, J. et al. White light-emitting diodes: History, progress, and future. **Laser Photonics Reviews**, v.11, n.2, 2017 e 0.1002/lpor.201600147.
- CHOOCHERD, S. et al. Preliminary Study on Comparative Efficacy of Four Light Sources for Trapping *Culicoides spp.* (Diptera: Ceratopogonidae) in Prachuap Khiri Khan Province, Thailand. **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 5, p. 1719-1723, 2022.
- COHNSTAEDT, L. E. E.; GILLEN, J. I.; MUNSTERMANN, L. E. Light-emitting diode technology improves insect trapping. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 24, n. 2, p. 331, 2008.
- COSTA-NETA, B. M. et al. Centers for Disease Control-type light traps equipped with high-intensity light-emitting diodes as light sources for monitoring *Anopheles* mosquitoes. **Acta tropica**, v. 183, p. 61-63, 2018.
- COSTA-NETA, B. M. et al. Light-emitting diode (LED) traps improve the light-trapping of anopheline mosquitoes. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, n. 6, p. 1699-1703, 2017.
- COSTA-NETA, B. M. et al. The evening crepuscular host-seeking activity of *Anopheles* mosquitoes in northeast Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.60, n.5, p.1008-1015, 2023.
- DA SILVA, A. A. et al. Exploiting the synergistic effect of kairomones and light-emitting diodes on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps in Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v. 56, n. 5, p. 1441-1445, 2019.

DA SILVA, A. A.; COSTA-NETA, B. M.; SILVA, F. S. Influence of moonlight on light-emitting diode trap catches of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) 1. **Entomological News**, v. 129, n. 1, p. 35-42, 2020.

DA SILVA, M. S. et al. Use of light emitting diodes (LEDs) are effective and useful for sand fly ecoepidemiology studies in an Amazonian environment. **Acta Tropica**, v. 233, p. 106550, 2022.

DE FELIPE, M. L.; PÉREZ, E.; GÁLVEZ, R. Color preference of *Sergentomyia minuta* (Diptera: Phlebotominae) determined using *Flebocollect* Do It Yourself light traps based on LED technology. **Parasitology Research**, v. 122, n. 1, p. 217-226, 2022.

DUPUIS, R. D. et al. History, Development, and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes. **Journal of Lightwave Technology**, v.26, n.09, 2008.

ECODESIGN REGULATORY COMMITTEE. Member states approve the phasing-out of incandescent bulbs by 2012. European Commission. 2008.

ELSTON, R.; APPERSON, C. Light-activated light-trap switch. **Journal of Medical Entomology**, v.14, n.2, p.254-255. 1977.

FERNÁNDEZ, M. S. et al. Performance of light-emitting diode traps for collecting sand flies in entomological surveys in Argentina. **Journal of Vector Ecology**, v. 40, n. 2, p. 373-378, 2015.

FUJISAWA, Y. et al. Field evaluation of newly developed 3D-printed ultraviolet and green light-emitting diode traps for the collection of *Culicoides* species in Thailand. **Plos One**, v. 18, n. 1, p. e0280673, 2023.

GAGLIO, G. et al. Do different LED colours influence sand fly collection by light trap in the Mediterranean?. **BioMed Research International**, v. 2018, 2018.

GAGLIO, G. et al. Field evaluation of a new light trap for phlebotomine sand flies. **Acta Tropica**, v. 174, p. 114-117, 2017.

GONZÁLEZ, M. et al. Comparison of different light sources for trapping *Culicoides* biting midges, mosquitoes and other dipterans. **Veterinary Parasitology**, v. 226, p. 44-49, 2016.

- HARRUP, L. E. et al. DNA barcoding and surveillance sampling strategies for *Culicoides* biting midges (Diptera: Ceratopogonidae) in southern India. **Parasites & Vectors**, v. 9, p. 1-20, 2016.
- HOEL, D. F. et al. Response of phlebotomine sand flies to light-emitting diode-modified light traps in southern Egypt. **Journal of Vector Ecology**, v. 32, n. 2, p. 302-308, 2007.
- HOPE, A. et al. A comparison of commercial light-emitting diode baited suction traps for surveillance of *Culicoides* in northern Europe. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2015.
- INFUSINO, M. et al. Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera). **European Journal of Entomology**, v.114, n. 25-33, 2017 e 10.14411/eje.2017.004.
- JAYAKRISHNAN, L. SUDHIKUMAR, A. V. ANEESH, E. M. Role of gut inhabitants on vectorial capacity of mosquitoes. **Journal of Vector Borne Diseases**, v.55, p. 69–78, 2018.
- JAYAKRISHNAN, L. SUDHIKUMAR, A. V. ANEESH, E. M. Role of gut inhabitants on vectorial capacity of mosquitoes. **Journal of Vector Borne Diseases**, v.55, p. 69–78, 2018.
- JENKINS, A. B.; YOUNG, M. B. Investigation of *Culicoides* spp. preference for light colour and source using light emitting diodes and fluorescent light. **South African Journal of Animal Science**, v. 40, n. 5, p. 514-518, 2010.
- JENKINS, A. M.; MUSKAVITCH, M. A. T. Crepuscular behavioral variation and profiling of opsin genes in *Anopheles gambiae* and *Anopheles stephensi* (diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 52, n. 3, p. 296–307, 2015.
- JHAIAUN, P. et al. Comparing Light-Emitting-Diodes light traps for catching *Anopheles* mosquitoes in a forest setting, Western Thailand. **Insects**, v. 12, n. 12, p. 1076, 2021.
- KIM, H. C. et al. Comparison of adult mosquito black-light and light-emitting diode traps at three cowsheds located in malaria-endemic areas of the Republic of Korea. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, n. 1, p. 221-228, 2016.
- KIM, K. N. et al. Effect of several factors on the phototactic response of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v.21, p.952–957, 2018.
- KIM, K. N.; HUANG, Q. Y.; LEI, C. L. Advances in insect phototaxis and application to pest

management: a review. **Pest Management Science**, v. 75, n. 12, p. 3135–3143, 2019.

KIM, M. G.; YANG, J. Y.; LEE, H. S. Phototactic behavior: Repellent effects of cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae), to light-emitting diodes. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 56, n. 3, p. 331–333, 2013.

KRAMES, M. R. et al. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. **Journal of display technology**, v. 3, n. 2, p. 160-175, 2007.

LAND, M. F. Visual acuity in insects. **Annual review of entomology**, v. 42, n. 46, p. 147–177, 1997.

LIMA-NETO, A. R. et al. The effect of luminous intensity on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 55, n. 3, p. 731-734, 2018.

MANN, R. S.; KAUFMAN, P. E.; BUTLER, J. F. *Lutzomyia* spp. (Diptera: Psychodidae) response to olfactory attractant-and light emitting diode-modified Mosquito Magnet X (MM-X) traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 46, n. 5, p. 1052-1061, 2009.

MAZUMDAR, S. M.; MAZUMDAR, A. Preferential attraction of different colours of light emitting diodes for *Culicoides* species in West Bengal, India. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 34, n. 4, p. 411-419, 2020.

MCDERMOTT, E. G.; MULLEN, B. A. The dark side of light traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 55, n. 2, p. 251–261, 2018.

MORDECAI, A. E. et al. Thermal biology of mosquito-borne disease. **Ecology Letters**, 2009 e 10.1111/ele.13335

MWANGA, E. P. et al. Evaluation of an ultraviolet LED trap for catching *Anopheles* and *Culex* mosquitoes in south-eastern Tanzania. **Parasites & Vectors**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2019.

NARENDHAN, N. et al. What is Useful Life for White Light LEDs? **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v.30, n.1, p.57-67.

NISSINEN, A.; KRISTOFFERSEN, L. ANDERBRANT, O. Physiological state of female and light intensity affect the host-plant selection of carrot psyllid, *Trioza apicalis* (Hemiptera: Triozidae). **European Journal of Entomology**, v.105, p.227–232, 2008.

OBENAUER, P. J. et al. Field responses of *Anopheles gambiae* complex (Diptera: Culicidae) in Liberia using yeast-generated carbon dioxide and synthetic lure-baited light traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 863-870, 2013.

PARK, J. H.; LEE, H. S. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). **Applied Biological Chemistry**, v. 60, n. 2, p. 137–144, 2017.

PONLAWAT, A. et al. Field evaluation of two commercial mosquito traps baited with different attractants and colored lights for malaria vector surveillance in Thailand. **Parasites & Vectors**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2017.

PUGEDO, H. et al. Um modelo aprimorado de armadilha luminosa de sucção para a captura de pequenos insetos. **Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 38, n.1, p.70-72, 2005.

RODRÍGUEZ-ROJAS, J. J. et al. Comparative field evaluation of different traps for collecting adult phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) in an endemic area of cutaneous leishmaniasis in Quintana Roo, Mexico. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 32, n. 2, p. 103-116, 2016.

SAMBARAJU, K. R.; PHILLIPS, T. Responses of Adult *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to Light and Combinations of Attractants and Light. **Journal of Insect Behavior**, v. 21, p.422–439, 2009.

SHEIKH, A. et al. Light trap and insect sampling: an overview. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 11, p. 40868–40873, 2016.

SHIMODA, M.; HONDA, K. ICHIRO. Insect reactions to light and its applications to pest management. **Applied Entomology and Zoology**, v. 48, n. 4, p. 413–421, 2013.

SILVA et al. Field comparison of broad-spectrum white LED-baited traps with narrow-spectrum green LED-baited traps in the capture of *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). Submetido para publicação na revista **Parasitology Research**.

SILVA et al. Field evaluation of a new suction light trap for the capture of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vectors of leishmaniasis. Artigo aceito na revista **Parasitology Research**.

- SILVA, F. S. et al. Evaluation of light-emitting diodes as attractant for sandflies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in northeastern Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, p. 801-803, 2015b.
- SILVA, F. S. et al. Field performance of a low cost, simple-to-build, non-motorized light-emitting diode (LED) trap for capturing adult *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). **Acta Tropica**, v. 190, p. 9-12, 2019.
- SILVA, F. S.; BRITO, J. M.; COSTA-NETA, B. M. Field evaluation of light-emitting diode as attractant for blood-sucking midges of the genus *Culicoides* Latreille (Diptera: Culicomorpha, Ceratopogonidae) in the Brazilian savanna. **Entomological News**, v. 125, n. 1, p. 1-6, 2015a.
- SILVA, F. S.; DA SILVA, A. A.; REBÊLO, J. M. M. An evaluation of light-emitting diode (LED) traps at capturing phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) in a livestock area in Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v. 53, n. 3, p. 634-638, 2016.
- SILVA, J. D. S. et al. Mosquito fauna of the Guapiaçu Ecological Reserve, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brazil, collected under the influence of different color CDC light traps. **Journal of Vector Ecology**, v. 39, n. 2, p. 384-394, 2014.
- SILVA, M. M. M. et al. Phlebotomines (Diptera: Psychodidae) and mosquitoes (Diptera: Culicidae) surrounding an environmental protection zone in the metropolitan region of Natal: use of light-emitting diode (LED) bulbs in entomological surveillance. **Neotropical Entomology**, v. 49, p. 768-779, 2020.
- SLOYER, K. E.; WISELY, S. M.; BURKETT-CADENA, N. D. Effects of ultraviolet LED versus incandescent bulb and carbon dioxide for sampling abundance and diversity of *Culicoides* in Florida. **Journal of Medical Entomology**, v. 56, n. 2, p. 353-361, 2019.
- SNYDER, D.; CERNICCHIARO, N.; COHNSTAEDT, L. W. Sugar-feeding status alters biting midge photoattraction. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 30, n. 1, p. 31-38, 2016.
- STEWART, W.W.A. A modified CDC light trap. **Mosquito News**, v.30, n.2, p. 188-191, 1970.
- SUDIA, W. D. This Week's Citation Classic: Battery-operated light trap, an improved model, n.37, p. 265, 1981.
- SUDIA, W. D.; CHAMBERLAIN, R. W. Battery-operated light trap, an improved model. **Mosquito News**, v. 22, p.126-9, 1962.

- TCHOUASSI, D. P. et al. Trapping of Rift Valley Fever (RVF) vectors using Light Emitting Diode (LED) CDC traps in two arboviral disease hot spots in Kenya. **Parasites & Vectors**, v. 5, p. 1-7, 2012.
- VENTER, G. J.; BOIKANYO, S. N.; DE BEER, C. J. The efficiency of light-emitting diode suction traps for the collection of South African livestock-associated *Culicoides* species. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 32, n. 4, p. 509-514, 2018.
- WAIDE, P. PHASE OUT OF INCANDESCENT LAMPS: Implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. **International energy agency**, p. 7-81, 2010.
- WARRANT, E.; DACHE, M. Vision and visual navigation in nocturnal insects. **Annual Review of Entomology**, v. 56, p. 239–254, 2011.
- WILKE, A. B. B. et al. Evaluation of the effectiveness of BG-Sentinel and CDC light traps in assessing the abundance, richness, and community composition of mosquitoes in rural and natural areas. **Parasites & Vectors**, v.15, n.51, 2022 e 10.1186/s13071-022-05172-3.
- WILKINSON, R. S. “Townsend Glover (1813-83) and the First Entomological Light Trap” The Great Lakes Entomologist. **ValpoScholar**, v.2, n.2, 2017 e 10.22543/0090-0222.1100.
- WILSON, R. et al. Artificial light and biting flies: the parallel development of attractive light traps and unattractive domestic lights. **Parasites and Vectors**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2021.
- YANG, E. C.; WEILEE, D.; YENWU, W. Action spectra of phototactic responses of the flea beetle, *Phyllotreta striolata*. **Physiological Entomology**, v. 28, p. 362–367, 2003.
- YEH, N.; CHUNG, J. P. High-brightness LEDs-Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, p. 2175–2180,2009.
- ZORRILLA, V. O. et al. Comparison of sand fly trapping approaches for vector surveillance of *Leishmania* and *Bartonella* species in ecologically distinct, endemic regions of Peru. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 15, n. 7, 2021 e 0009517.

4.2 Capítulo 2 – Artigo publicado na revista *Journal of Medical Entomology*- Qualis A1/Medicina I

Influência crepuscular na atividade de busca por hospedeiros de mosquitos *Anopheles* no Nordeste do Brasil

Resumo

Conhecer os fatores que influenciam no comportamento de busca por hospedeiros de mosquitos anofelinos é de suma importância para o desenvolvimento de medidas e ferramentas para o controle de espécies vetores em áreas endêmicas. O estudo teve como objetivo avaliar a influência do período crepuscular e lunar na atividade de voo de mosquitos anofelinos na busca por hospedeiros. Os anofelinos foram coletados com armadilhas luminosas em uma área de abrigos de animais domésticos na região do Cerrado brasileiro. As armadilhas Silva foram instaladas próximos dos abrigos dos animais a 1,5 m do solo. A pesquisa foi dividida em dois experimentos: o primeiro experimento com 12 noites de coleta e composto por dois períodos de coletas. O primeiro das 18:00 às 19:00 horas e o segundo das 19:00 às 06:00 horas da manhã. No segundo experimento foram realizadas 16 coletas e divididos em três intervalos de 20 minutos com base nos três períodos crepusculares (civil 18h00-18h:20; náutico-18h:20-18h:40; e astronômico 18h:40 -19h:00). No total, foram capturados 2.815 mosquitos anofelinos, distribuídos em 9 espécies. As principais espécies foram *Anopheles triannulatus* s.l., *An. argyritarsis*, *An. goeldii* e *An. evanse*. Os mosquitos estavam mais ativos durante a primeira hora após o pôr do sol durante o crepúsculo, apresentando significância na captura dos insetos no segundo intervalo (20min) em comparação aos outros intervalos. Observou-se uma diminuição no número de mosquitos a partir do crepúsculo astronômico. A lua não influenciou na atividade de voo dos anofelinos. Desta forma, conhecer o comportamento e o padrão da atividade de voo dos mosquitos anofelinos na busca por hospedeiros nos locais de alimentação pode ser a forma de desenvolver estratégias e medidas de controle de espécies vetores em áreas endêmicas.

Palavras-chave: Culicidae; armadilha luminosa; iluminação lunar; atividade de voo; crepúsculo.

Introdução

Os mosquitos do gênero *Anopheles* são insetos de importância médica, pois as fêmeas de algumas espécies são vetores do protozoário que causa a malária. As fêmeas realizam a hematofagia em uma diversidade de hospedeiros vertebrados, inclusive o humano, momento em que ocorre a transmissão (Phillips et al. 2017, Carlos et al. 2019). Os mosquitos anofelinos são crepusculares ou noturnos, com o início do período crepuscular, as fêmeas saem de seus abrigos em buscar de fontes sanguínea para atividade hematofágica. Logo, o pico de alimentação ocorre nas primeiras horas da noite (Tadei, 1983, Oliveira-Pereira e Rebêlo, 2000, Silva-Vasconcelos et al. 2002, Resende et al. 2009, Reddy et al. 2011, Ferreira et al. 2013, Zimmerman et al. 2013).

Em razão da implantação de mosquiteiros impregnados com inseticidas e pulverização residual em ambiente fechados, foram observadas mudanças no comportamento de algumas espécies de *Anopheles* durante a atividade hematofágica de noturno para diurno (Moiroux et al. 2012, Sangbakembi-Ngounou et al. 2022). Os mosquitos respondem a estímulos externos para a orientação durante a atividade de voos para a localizar seus hospedeiros, como substâncias químicas que formam a pluma de odores liberados pelos hospedeiros, além da temperatura, umidade, vento e as condições de iluminação do ambiente. As pistas olfativas são essenciais para as fêmeas encontrarem a fonte sanguínea, açúcares, parceiro para o acasalamento e sítios de oviposição (Rowland, 1989, Takken, 1991, Takken e Knols, 1999, Zwiebel e Takken, 2004, Verhulst et al. 2011). Conhecer as etapas que envolve a atividade hematofágica das espécies vetores, tais como o horário da busca de hospedeiro, a preferência pela fonte sanguínea, locais de alimentação e descanso, são fundamentais para entender a ecologia e o comportamento dos mosquitos no momento da transmissão de doenças.

Ao longo dos anos, várias pesquisas foram realizadas para investigar a influência da lua na atividade de mosquito. Alguns estudos relataram o aumento da abundância nas capturas de mosquitos no período lunar (Ribbands, 1946, Bidlingmayer, 1964, Charlwood et al. 1986, Kampango et al. 2011) e outros observaram que na fase de lua cheia ocorreu a redução na quantidade de indivíduos capturados (Horsfall, 1943, Bowden, 1973, Rubio-Palis, 1992). Os fatores como a iluminação ambiental e período lunar podem afetar na eficiência da armadilha com lâmpada incandescente, não se sabe ainda se as armadilhas perdem a eficiência ou a luz

incandescente influência na atividade de voo dos insetos (Bowden, 1973, Bowden e Church, 1973, Nowinszki, 2004).

Outro método muito utilizado na captura de vetores da malária é o atrativo humano, que consiste no uso de seres humanos como atrativos para os mosquitos. Uma técnica trabalhosa e de difícil manuseio, e os resultados podem ser alterados dependendo da atratividade e da habilidade de cada coletor (Lima et al. 2014, Burkot et al. 2019). Além disso, por meio desta técnica não é possível conhecer as possíveis variações comportamentais dos anofelinos em relação aos fatores ambientais, mudança na atividade de voo durante as fases da lua e do crepúsculo.

Como observamos, as técnicas utilizadas na captura dos anofelinos apresentam falhas nos resultados, uma vez que, não é possível determinar o horário exato da chegada aos locais de repasto sanguíneo, como exemplos em áreas peridomiciliares, fazendas entre outras. É importante conhecer o momento de chegada dos insetos aos locais de repasto sanguíneo, os horários de atividade hematofágica para que seja possível desenvolver estratégias e medidas de controle, além disso, vários fatores como a época do ano e condições climáticas e outros fatores (endógenos) são importantes na busca por hospedeiros (Chow et al. 2023). Neste sentido, deve-se levar em consideração todos os fatores ambientais que influenciam no comportamento durante a busca por hospedeiro. A ativação do voo, a formação de enxames e o acasalamento que ocorre com início do período crepuscular (Jones et al. 1967, Charwood e Jones, 1980, Yuval et al. 1993, Sawadogo et al. 2013, Baeshen, 2022).

Diante desta problemática, o uso de LEDs (diodos emissores de luz) com fonte de luz em armadilhas de luz passiva foi utilizado para a atração e captura de anofelinos durante o período noturno. A utilização de LEDs como fonte de luz alternativa tem apresentado bons resultados na captura de insetos de importância médica (Silva et al. 2015, 2016, Costa-Neta et al. 2017, Silva et al. 2019, Da Silva et al. 2020). Outros trabalhos observaram que, as armadilhas com o uso de LEDs não são prejudicadas nas fases lunares em comparação as lâmpadas incandescentes (Costa-Neta et al. 2017, Da Silva et al. 2020). Neste contexto, a armadilha Silva foi proposta com o intuito de interceptar os mosquitos no período de forrageamento e na chegada aos locais de alimentação sanguínea. Esta armadilha de luz passiva à base de LEDs é eficiente para a captura de mosquitos anofelinos em busca de hospedeiro (Silva et al. 2019).

Portanto, o estudo teve como objetivo investigar a influência da luz crepuscular e lunar na atividade de voo de mosquitos anofelinos em busca por hospedeiros.

Material e Método

Área de estudo

O estudo foi realizado em uma fazenda nos pontos georreferenciais $3^{\circ}44'2.70''S$, $43^{\circ}17'16.20''W$, situada no estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. A área é composta por uma vegetação típica de savana, conhecida como Cerrado. A pesquisa de campo foi desenvolvida em uma fazenda conhecida como Cantinho, que fica localizada aproximadamente 8km do centro da cidade do município de Chapadinha, estado do Maranhão, Brasil. A área de floresta é composta por algumas plantações de eucaliptos que fica a aproximadamente 120 m dos abrigos de animais e as coleções de água naturais encontra-se cerca de 100 m do local de estudo (Figura 1). Na fazenda tinham alguns animais domésticos como galinhas, porcos, gado, cavalos, a maioria do gado era mantido preso em currais, os porcos em chiqueiros e as galinhas ficavam sobre as árvores próximas ao peridomicílio, durante todas as noites de coleta.



Figura 1. Imagem de satélite Maxar obtida no dia 20 de junho de 2022.

Notação científica geográfica: dia Juniano = 171, órbita 220. res. 30/30.

Fazenda Cantinho, local das coletas. Áreas de coleta de anofelinos é localizado à 8 km do Município de Chapadinha-MA, Brasil. Delimitação em azul mostra a floresta de eucalipto, os círculos em vermelho mostram as coleções de água e o retângulo verde mostra o local de coleta. Fonte: Google Maps.

De acordo com a classificação climática de Koppen a região apresenta clima tropical quente e úmido, com dois períodos bem definidos, um seco de julho a dezembro e um chuvoso de janeiro a junho, com precipitação média anual de 1.500-1.800 mm, com precipitação média de 288 mm no mês mais chuvoso (março) e inferior a 10 mm no mês mais seco (agosto). A velocidade média do vento varia entre 3 km/h (abril) e 6 km/h no mês mais ventoso (outubro). A temperatura média varia em torno de 27 a 30°C com pouca variação sazonal, os meses de outubro e novembro apresentam temperaturas elevadas, em média de 36°C, os meses de março e abril apresentam temperaturas mais baixa, em torno de 31°C (Passos et al. 2016, Brito et al. 2020, Araújo et al. 2023).

Delineamento experimental

Experimento I

No primeiro experimento, as coletas foram realizadas nos meses de agosto e setembro de 2020, no período de 12 noites. O experimento foi dividido em dois períodos, o primeiro (PC1) das 18:00 às 19:00 horas e o segundo (PC2) das 19:00 às 06:00 horas da manhã. No início do estudo, as armadilhas foram instaladas no período das 17:30 às 18:00 horas para observar a presença de mosquito antes das 18:00 horas.

Para a realização das capturas de mosquitos anofelinos foi utilizada a armadilha Silva (Horst Armadilhas Ltd-me, São Paulo, Brazil). Neste experimento foram usadas seis armadilhas Silva, três com LED azul (470nm, 15,000mCD, 20-30°, 20mA, 72 mW) e três com LED verde (520nm, 20,000mCD, 20-30°, 20mA, 72mW) de 5 milímetro de alto brilho (Figura 2). Foram instaladas próximas dos abrigos dos animais, a 1,5 m acima do solo e afastadas uma da outra por 25 metros, foi feito o rodízio das armadilhas em todos os pontos de coleta. As câmaras coletoras das armadilhas Silva foram substituídas após o primeiro período (18:00 às 19:00).



Figura 2. Armadilhas Silva. (A) armadilha Silva com LED verde A (20,000mCD) e (B) azul (15,000mCD) utilizada na coleta de anofelinos na fazenda Cantinho, município de Chapadinhama, Brasil.

Fonte: COSTA-NETA, BM, 2022.

Experimento II

No segundo experimento, as coletas foram realizadas nos meses de setembro a dezembro de 2020, durante 16 noites. Este experimento foi dividido em três intervalos de minutos (In1) das 18h:00min às 18h:20min, (In2) das 18h:20min às 18h:40min, (In3) das 18h:40min às 19h:00min. O esforço amostral foi 160 horas. Os intervalos de vinte minutos foram selecionados baseados nas três fases do período crepuscular: civil, náutico e astronômico (Tabela 1).

Foram utilizadas quatro armadilhas Silva, duas com LED azul (470nm, 15,000mCD, 20-30°, 20mA, 72 mW) e duas com LED verde (520nm, 15,000mCD, 20-30°, 20mA, 72mW) (Figura 2). O número de armadilhas foi reduzido no segundo experimento para obter um resultado confiável, pois as câmaras coletoras tiveram que ser trocadas em um curto espaço de tempo (a cada 20 minutos) com menos influência possível. Neste experimento, utilizou-se o LED verde de 15,000mCD para padronizar as intensidades luminosa entre os dois experimentos. Os coletores com os anofelinos foram substituídos em todos os intervalos. Durante o estudo foi calculado a média da temperatura $30.62 \pm 0,2312$ (média $\pm$ SE) e a umidade $62,53 \pm 1,007$. A temperatura e umidade relativas foram medidas com um termo-higrômetro (Icel, WM-1850).

Influência das fases da lua

Para avaliar a influência da lua nas capturas foram consideradas presença e ausência de lua, de acordo com os critérios estabelecidos na tabela (Tabela 1). Seis noites (duas no primeiro experimento e quatro no segundo) foram excluídas por causa da dificuldade de determinar a presença ou ausência da iluminação da lua no local de estudo. Não foi possível avaliar as noites com iluminação (>90%), por causa do período de pandemia da COVID-19, tornando impossível a realização de coletas nestas noites. Os dados sobre os parâmetros da lua foram obtidos de Thorsen (2020).

Identificação dos anofelinos

Após as coletas, os insetos foram transportados até o Laboratório de Entomologia Médica (LEME) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), para serem mortos em freezer (-20°C), em seguida realizada a triagem. Logo em seguida, os espécimes foram armazenados em potes de plásticos e etiquetados. Para a identificação dos espécimes utilizou-se as características morfológicas e taxinômicas a nível de espécie de acordo com as chaves dicotômicas de Consoli e Oliveira (1994) e Sallum et al. (2020).

Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o software GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software Inc.®). Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov. Os dados foram transformados em Log_{10} e realizadas as análises utilizando os testes ANOVA e o *t* de *student* (*t*, *df* e *P*). O nível de significância foi estabelecido em $P < 0,05$.

Tabela 1. Datas das observações de horários do nascer e pôr da lua nas fases crepusculares na região Nordeste do Brasil, nos meses de agosto a dezembro de 2020.

Data ^a	Nascer da lua	Pôr da lua	Pôr do sol	Civil ^b	Náutico ^c	Astro ^d	Lua ^e
Experimento I							
17/08	04:31	16:48	17:58	18:19	18:44	19:09	A
18/08	05:25	17:44	17:58	18:19	18:44	19:09	A
20/08	07:09	19:32	17:58	18:19	18:43	19:08	A
24/08	10:30	23:06	17:57	18:18	18:43	19:07	P-35 ^f
26/08	12:19	00:04	17:57	18:18	18:42	19:07	P-58 ^f
28/08	14:15	02:02	17:56	18:17	18:42	19:06	P-79 ^f
29/08	15:12	03:00	17:56	18:17	18:41	19:06	P-87 ^f
01/09	17:46	05:32	17:55	18:16	18:41	19:05	P-99 ^f
07/09	22:01	09:34	17:54	18:15	18:39	19:03	A
14/09	03:15	15:33	17:52	18:13	18:37	19:01	A
Experimento II							
15/09	04:12	16:33	17:58	18:19	18:43	19:07	A
16/09	05:07	17:29	17:58	18:18	18:42	19:06	A
24/09	12:21	-	17:55	18:16	18:40	19:04	P-54 ^f
25/09	13:16	00:55	17:55	18:16	18:40	19:04	P-65 ^f
27/09	15:00	02:41	17:54	18:15	18:39	19:03	P-83 ^f
08/10	23:16	10:41	17:52	18:12	18:37	19:01	A
09/10	-	11:33	17:51	18:12	18:36	19:01	A
10/10	00:09	12:27	17:51	18:12	18:36	19:01	A
13/10	02:51	15:12	17:51	18:12	18:36	19:00	A
26/10	14:31	02:13	17:49	18:10	18:35	19:00	P-78 ^f
28/10	15:56	03:36	17:49	18:10	18:35	19:00	P-91 ^f
21/12	11:41	-	18:06	18:28	18:55	19:21	P-45 ^f

Fonte: www.timeanddate.com.

^a 2020

^b Fim do crepúsculo civil.

^c Fim do crepúsculo náutico.

^d Fim do crepúsculo astronômico.

^e Presença (P) ou ausência (A) da lua no local de estudo durante o período do crepúsculo.

^f Porcentagem de iluminação da lua.

Resultados

No estudo foram capturados 1442 espécimes de mosquitos anofelinos no primeiro experimento (tabela 2) e 1373 no segundo (tabela 3), distribuídos em nove espécies e dois subgêneros *Nyssorhynchus* (sete espécies) e *Anopheles* (duas espécies). As espécies mais frequentes em ambos os experimentos foram *Anopheles triannulatus* s.l., (Neiva e Pinto, 1922) (I= 986, 68,4%; II= 913, 66,5%) e *An. argyritarsis* (Robineau Desvoidy, 1827) (I=124, 8,6%; II= 212, 15,4%). As duas espécies juntas somaram um total de 79,3% dos 2.815 de anofelinos coletados. A menos frequente foi *An. neomaculipalpus* (Curry, 1931) (I=03, 0,2%; II= 02, 0,2%). Os exemplares danificados representaram 3,7% do total da amostra de ambos os experimentos.

Os comprimentos de ondas (verde e azul) utilizados nos dois experimentos não apresentaram diferenças ($t= 0.91$, $df=54$, $P=0.36$) em relação a quantidade de mosquitos anofelinos capturados (Figura 3). Apesar da substituição dos LEDs de 20.000mcd-verde por 15.000mcd-verde-LEDs realizada no segundo experimento para a padronização da pesquisa.

Em ambos experimentos, nenhum mosquito anofelino foi capturado antes das 18 horas. O primeiro experimento foi dividido em dois períodos, das 18h00min às 19h00min e das 19h00min às 06h00min. No primeiro período (18:00-19:00), foram coletados 758 indivíduos (408/verde e 350/azul) e no segundo período 684 (367/verde e 317/azul), como apresentado na tabela 2. Observou-se que, não houve diferença ($t=0.62$, $df=22$, $P=0.53$) entre os dois períodos de captura, no crepúsculo foram coletados 52,5% dos mosquitos em comparação a 47,3% do período noturno (Figura 3).

A média de mosquitos capturados por hora no primeiro período de coleta (1 hora) foi de 63,5, enquanto que, no segundo período de captura (11 horas) correspondeu apenas 5,1 (Figura 4). Em relação as cinco espécies mais abundantes no experimento, somente a espécie *An. goeldii* (Rozeboom e Gabaldón) apresentou maior abundância no segundo período de coleta (67,5%). No geral, os mosquitos anofelinos não apresentaram preferência pelo comprimento de onda verde e azul ($t= 0.91$, $df=54$, $P=0.36$).

Tabela 2. Espécies de mosquitos anofelinos coletados com armadilha Silva com LED verde/Azul em dois períodos de captura por noite, no Nordeste do Brasil.

Espécies de <i>Anopheles</i>	Comprimento de onda do LED						Total	%
	Verde ^b			Azul ^c				
	PC1	PC2	N	PC1	PC2	N		
(<i>Nys.</i>) <i>triannulatus</i> s.l. (Neiva & Pinto, 1922)	321	246	567	228	191	419	986	68,4
(<i>Nys.</i>) <i>argyritarsis</i> (Robineau Desvoidy, 1827)	20	25	45	47	32	79	124	8,6
(<i>Nys.</i>) <i>goeldii</i> (Rozeboom e Gabaldón, 1941)	22	37	59	15	40	55	114	7,9
(<i>Nys.</i>) <i>evansae</i> (Brethés, 1926)	15	20	35	24	17	41	76	5,3
(<i>Nys.</i>) <i>rangeli</i> (Gabaldón, Cova-Garcia e Lopez, 1940)	11	5	16	15	4	19	35	2,4
(<i>Ano.</i>) <i>mediopunctatus</i> (Lutz, 1903)	2	8	10	6	8	14	24	1,7
(<i>Nys.</i>) <i>galvaoi</i> (Causey, Deane e Deane, 1943)	5	4	9	6	5	11	20	1,4
(<i>Nys.</i>) <i>darlingi</i> (Root, 1926)	3	0	3	3	3	6	9	0,6
(<i>Ano.</i>) <i>neomaculipalpus</i> (Curry,1931)	0	0	0	0	3	3	3	0,2
<i>Anopheles</i> spp. ^a	9	22	31	6	14	20	51	3,5
Total	408	367	775	350	317	667	1442	
%	28,2	25,4	100	24,2	21,9	100		100

PC1 (Período de Captura) – (18:00-19:00); PC2 – (19:00-06:00); N=número total de indivíduos coletados por comprimento de onda.

^aDanificado.

^b20.000mcd.

^c15.000mcd.

No segundo experimento, o período do crepúsculo foi dividido em três intervalos, cada intervalo com duração de 20 minutos, respeitando as fases do crepúsculo. No total foram coletados de 1.373 indivíduos em 1 hora de coleta por noite. O intervalo (In2) entre 18h:20min às 18h:40min, foi o que apresentou maior captura de indivíduos, resultando em 56,16% do total da coleta no crepúsculo (Tabela 3).

A média de mosquitos coletados por cada intervalo, verificou-se que o segundo intervalo apresentou a maior média 47.62 de indivíduos, seguido do primeiro 24,43 e o por último o terceiro com 13.75 (Figura 3). Levando em consideração as 11 horas de coletas, no segundo período do primeiro experimento, a média de indivíduos foi de 5,1 (Figura 4). A espécie *An. goeldii* foi a única que não apresentou o mesmo padrão de distribuição em comparação as demais, sendo mais abundante nos intervalos segundo e terceiro, correspondendo à 45,8% e 48,6% dos mosquitos coletados, respectivamente (Tabela 3).

Comparando os intervalos no segundo experimento, verificou-se que houve diferença entre In2 e In1 ($F_{2\ 45}=13.84$, $P=0.01$) e entre In2 e In3 ($F_{2\ 45}=13.84$, $P<0.01$), entretanto, os intervalos In1 e In3 não apresentaram diferença ($F_{2\ 45}=13.84$, $P=0.30$), como apresentado na figura 3. Neste experimento, nenhuma espécie exibiu preferência por um determinado comprimento de onda. Levando em consideração as espécies mais coletadas (*An. triannulatus* s.l, $t=1.11$, $df=54$, $P=0.26$; *An. argyritarsis*, $t=0.04$, $df=54$, $P=0.96$).

Foi investigado a influência da lua no crepúsculo nas capturas de anofelinos. Foram avaliadas no total de 22 noites, incluindo os dois experimentos (Tabela 1). Verificou-se que, as noites com e sem lua não apresentaram diferença estatística ($t=1.02$, $df=20$, $P=0.31$) ($P=0,2633$), como apresentado na figura 3. Apesar das noites com lua resultarem em médias maiores (14.7%) de mosquitos (Tabela 4).

Analizando os dados apresentados na tabela 4, em relação aos períodos e intervalos na presença da lua, observa-se que os valores maiores encontrados foram em PC1 (55,7%) e no In2 (61,6%). Em contraste, os valores mais baixos foi observado em PC2 (44,2%) e no In3 (15,7%), o que evidência a influência da lua na abundância de mosquitos durante os experimentos.

Os dados da lua confirmam os resultados dos experimentos I e II quanto à abundância de mosquitos coletados no primeiro período e no intervalo In2 (Tabela 4). Não foi observado nenhuma diferença entre os dois comprimentos de ondas em relação a influência da lua.

Tabela 3. Espécies de anofelinos coletados com armadilha Silva com LED Verde/Azul em três intervalos durante o período crepuscular (18:00 às 19:00h), no Nordeste do Brasil.

Anopheles	Comprimento de onda do LED								Total	%
	Verde ^b				Azul ^c					
	In1	In2	In3	N	In1	In2	In3	N		
(Nys.) triannulatus s.l.	118	274	80	472	132	249	60	441	913	66,5
(Nys.) argyritarsis	37	67	15	119	40	47	6	93	212	15,4
(Nys.) evansae	7	20	10	37	6	26	6	38	75	5,5
(Nys.) goeldii	4	14	15	33	10	19	10	39	72	5,2
(Nys.) rangeli	5	6	1	12	5	8	0	13	25	1,8
(Nys.) galvaoi	3	2	1	6	3	0	0	3	9	0,7
(Nys.) darlingi	3	2	0	5	0	1	0	1	6	0,4
(An.) mediopunctatus	0	1	0	1	1	0	2	3	4	0,3
(An.) neomaculipalpus	0	1	0	1	1	0	0	1	2	0,2
Anopheles spp. ^a	11	15	11	37	5	10	3	18	55	4,0
Total	188	402	133	723	203	360	87	650	1373	
%	26,0	55,6	18,4	100	31,2	55,4	13,4	100		100

In1 (Intervalo1) – 18:00-18:20; In2 – 18:20-18:40; In3 – 18:40-19:00; N= número total de indivíduos coletados por comprimento de onda.

^aDanificado.

^b15.000mcd.

^c15.000mcd.

Tabela 4. Mosquitos anofelinos capturados em diferentes fases lunares com armadilha Silva à base de LED (Light-Emitting Diode) no Nordeste do Brasil. O primeiro Período de Captura (PC1) ocorreu das 18:00 às 19:00 horas e o segundo Período de Captura (PC2) das 19:00 às 06:00 horas.

Experimento	Lua	Período de estudo					
I		PC1 (18-19h)		PC2 (19-06h)			
		N	%	N		%	
	Sem lua	58.0	53.3	51.4		46.9	
	Com lua	72.8	55.7	57.8		44.2	
II		In1		In2		In3	
		N	%	N	%	N	%
	Sem lua	24.0	32.5	41.5	49.9	12.6	17.6
	Com lua	27.1	22.7	59.1	61.6	14.8	15.7

PC1, PC2 – período de captura 1 e 2; In1, In2, In3 – intervalos de 20 minutos 1, 2 e 3; N- média de indivíduos por noite.

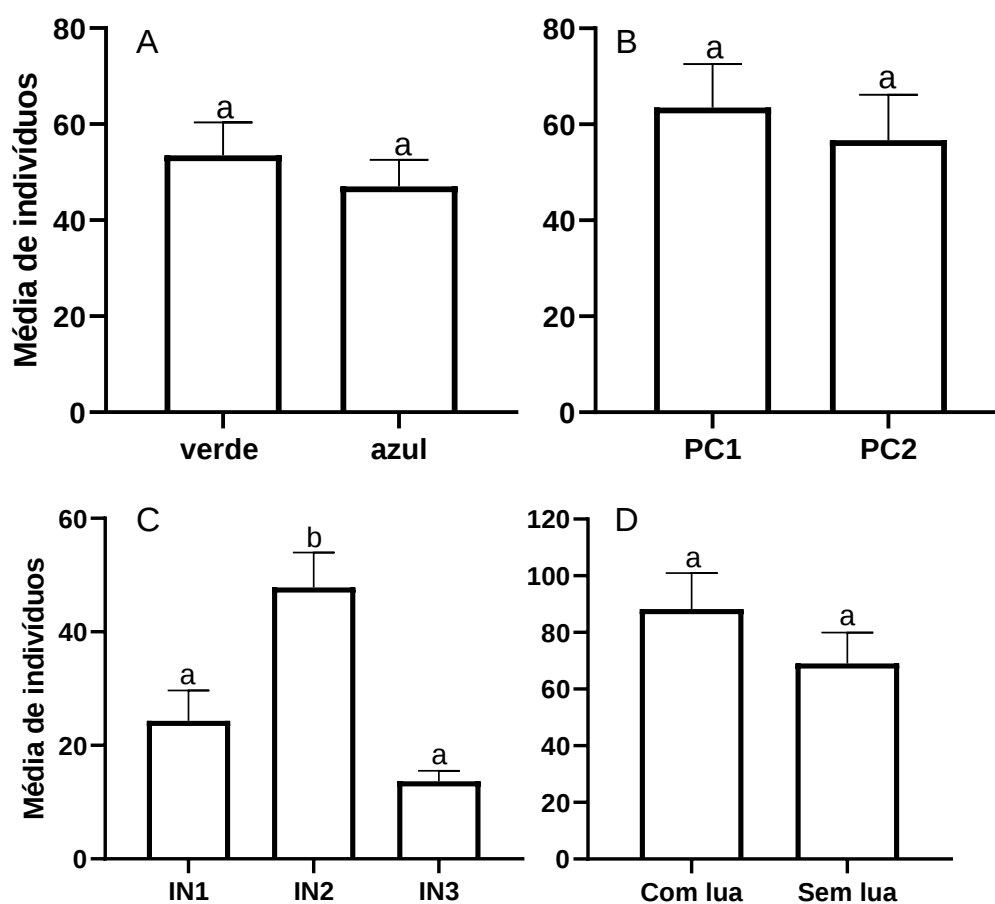


Figura 3. Média de mosquitos anofelinos capturados no Nordeste do Brasil. A. Capturas de mosquitos pelas fontes luminosas. B. Média de indivíduos em dois períodos de captura (PC) no primeiro experimento. C. Média de indivíduos coletados em três intervalos de 20 minutos (IN1, IN2, IN3) durante o crepúsculo, no segundo experimento. D. Capturas de indivíduos em relação a lua. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$).

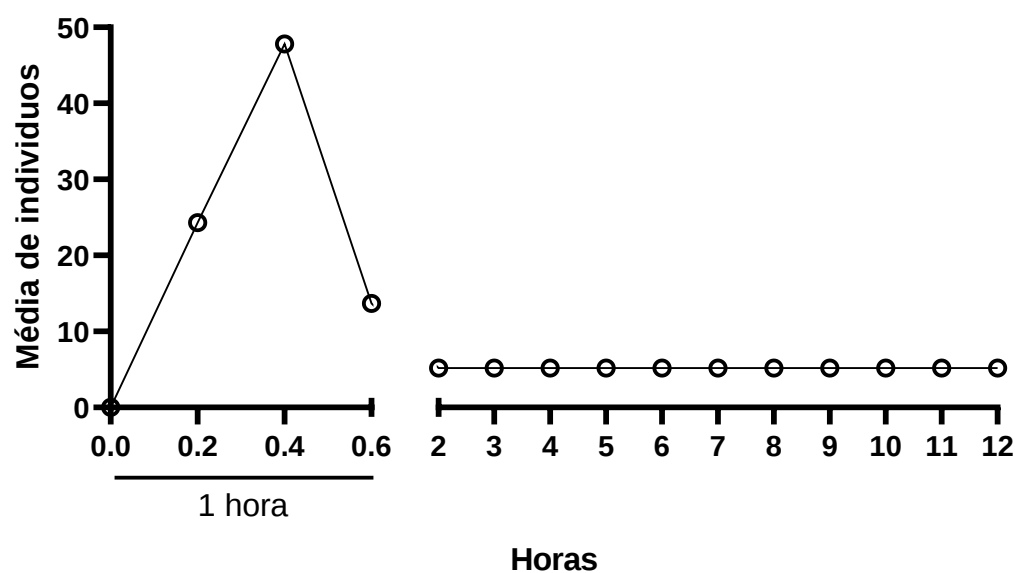


Figura 4. Média de anofelinos coletados por hora no nordeste do Brasil. Estimativa de anofelinos coletados por hora durante a coleta noturna. A primeira hora de coleta foi dividida em três intervalos de (20 minutos) para verificar a influência do crepúsculo (civil, náutico, astronômico) na atividade de voo do mosquito.

Discussão

As espécies de anofelinos descrita no estudo já foram registradas em outros trabalhos no estado do Maranhão (Rebêlo et al. 2007, Costa-Neta et al. 2017, 2018, Silva et al. 2019). Exceto *An. neomaculipalpus*, que não foi relatado anteriormente. *An. triannulatus* s.l. foi a espécie mais abundante no estudo, apesar de ser um vetor secundário é incapaz de causar surtos endêmicos, é necessário a presença de *An. darlingi* (Root) principal vetor da região amazônica brasileira (Tadei e Dutary-Thatcher, 2000, Zimmerman et al. 2013).

A espécie *An. darlingi*, o principal vetor da malária no Brasil, apresentou baixa abundância 0,53% do total de anofelinos. O achado corrobora com o resultado encontrado no trabalho de Costa-Neta et al. (2017), em que a espécie *An. darlingi* apresentou 2,4% dos anofelinos. É importante ressaltar que, é a primeira ocorrência da espécie *An. neomaculipalpus* no Maranhão, ainda que coletada em baixa quantidade (0,17%) no estudo. Pesquisas realizadas em alguns países da América do Sul, observaram que a espécie *An. neomaculipalpus* está envolvida na transmissão da malária, o que mostra sua relevância epidemiológica nas implicações desta doença, mas ainda há poucos estudos sobre esta espécie (Moreno et al. 2005, 2009, Dantur Juri et al. 2011). Este é o primeiro registro desta espécie no estado do Maranhão, nordeste do Brasil.

Quanto a avaliação dos dois comprimentos de onda utilizados, os achados mostram que as duas fontes luminosas verde e azul podem ser usadas como fonte de atração dos mosquitos anofelinos em armadilhas luminosas. Os resultados corroboram com os estudos anteriores utilizando armadilhas luminosas a base de LED (Silva et al. 2015, 2016, Costa-Neta et al. 2017, 2018, Da Silva et al. 2020). Os trabalhos realizados com o uso de LED verde e azul na captura de insetos vetores, relatam que existem alguns fatores que podem influenciar na resposta dos insetos ao comprimento de onda, por exemplo, a intensidade luminosa, o tipo da armadilha, a espécie alvo e os fatores ambientais. O que implica na escolha do comprimento mais eficiente.

Os achados deste trabalho mostram que, a maioria dos mosquitos que buscavam hospedeiros estavam mais ativos durante a primeira hora após o pôr do sol, mais precisamente no segundo intervalo de 20 minutos (18h20min – 18h40min). Neste intervalo, equivalente ao crepúsculo náutico ocorreu o pico máximo de atividade dos anofelinos em busca de fonte sanguínea. No terceiro intervalo houve uma redução nos mosquitos capturados. Pesquisas realizadas em laboratórios observaram o comportamento de espécies de *Anopheles* semelhante

aos descritos nesta pesquisa, uma vez que, a atividade de voo está relacionada com padrão de atividade circadiana (Jones et al. 1974, Rowland, 1989, Rund et al. 2012, Duffield et al. 2019). De acordo com as observações em ambiente laboratorial, o pico máximo de atividade dos mosquitos ocorre no período das 18:00 e 19:00 horas, na ausência de luz, após o pico de atividade, a quantidade de insetos segue moderada durante o período noturno, que simula a noite depois do período crepuscular. Ativação do voo na natureza é desencadeada por sinais endógenos, por exemplo, (ciclo circadiano), pistas ambientais (intensidade da luz), além disso, os mosquitos respondem aos estímulos liberados pelo hospedeiro para começar a procurar por fonte sanguínea (Gibson e Torr, 1999).

Acredita-se que o pico de atividade dos anofelinos observado nas noites de coletas, representa o tempo de chegada das fêmeas em busca por hospedeiros em locais com fonte sanguínea próximas aos criadouros. Cabe ressaltar que no crepúsculo astronômico (terceiro intervalo de coleta) ocorreu a redução do número de anofelinos coletados, possivelmente em resposta a dispersão dos mosquitos em busca por hospedeiros, resultando em uma baixa abundância (5,1) de indivíduos capturados por hora durante a noite. Nossos achados corroboram com as observações realizadas por Bidlingmayer (1985), verificou que as fêmeas estão mais ativas na primeira parte do crepúsculo, após este período ocorre a diminuição da atividade de voo. Talvez, o restante da noite é utilizado para o descanso, após a realização da atividade hematofágica.

O comportamento das espécies de *Anopheles* podem variar em relação a busca por hospedeiros e horários de atividade hematofágica durante a noite. As variações comportamentais estão relacionadas com alterações genéticas intraespecíficas das espécies de anofelinos (Maliti et al. 2016) ou o estado fisiológico (Klowden 1996, Takken et al. 2001). O uso de seres humanos (atrativo humano) ou animais, como método de captura de espécies vetores da malária pode alterar os resultados dos experimentos (Tadei et al. 2000, Muenworn et al. 2009, Zimmerman et al. 2013, Laurent et al. 2017, Doucoure et al. 2020, Barbosa e Scarpassa, 2021, Nguyen et al. 2021). As alterações resultantes do método atrativo humano podem influenciar nos resultados, o que impossibilita conhecer o comportamento dos mosquitos na busca por hospedeiros e o horário de atividade de voo.

O desempenho de armadilha luminosa com lâmpada incandescente pode ser prejudicado nas fases lunares e no período crepuscular (Bidlingmayer, 1974, Davies, 1975). O uso de

armadilhas luminosa com a luz incandescente foram avaliadas em ambientes internos e externos na captura de *Anopheles*, observou-se uma variação no comportamento para cada espécie, com picos de atividade ocorrendo ao anoitecer (Yohannes et al. 2005, Yohannes e Boelee, 2012, Cooke et al. al. 2015, Sande et al. 2016, Taye et al. 2016). Uso de armadilhas à base de LED podem superar as limitações citadas. Os achados apresentados confirmam que a atividade de voo e a busca por hospedeiro pelas espécies de anofelinos segue um ritmo circadiano. No entanto, são necessários mais estudos em outras áreas para confirmar esta hipótese.

Os achados nesta pesquisa mostram que os anofelinos chegam ao local das armadilhas no início do crepúsculo e a sua atividade aumenta por volta de 20 a 40 minutos após o pôr do sol. Observações em ambiente experimental confirmam que o horário do início de busca por hospedeiros é desencadeado por estímulos endógeno e exógeno. A intensidade da luz, um estímulo exógeno, é um dos principais fatores ambientais que interfere no comportamento das espécies de anofelinos (Sawadogo et al. 2013), a distância do criadouro até a fonte sanguínea é outro fator a ser considerado, o que pode resultar no atraso da fêmea ao determinado local do hospedeiro (Reisen et al.1997).

Foi observado em um estudo recente em uma área de mata e com a ausência de hospedeiros próximos, o mesmo comportamento das espécies de anofelinos. Cabe ressaltar que, talvez a concentração de hospedeiros próximos aos criadouros não seja um elemento determinante. Deste modo, é importante conhecer os elementos que influenciam o pico da atividade de voo dos mosquitos na busca por hospedeiros, tais como: alterações ambientais, horário do pôr do sol e a distância entre os criadouros e a fonte sanguínea. Portanto, conhecer o comportamento e o padrão de atividade dos anofelinos pode ser o caminho para o desenvolvimento de estratégias e medidas de controle de acordo com as particularidades das espécies vetores em áreas endêmicas, por exemplo, as intervenções com uso de pulverização durante os picos esperados.

Na avaliação de ambos os experimentos, em relação a influência da luz lunar no comportamento de busca de hospedeiro dos mosquitos anofelinos durante o período crepuscular, observou-se que não houve diferenças entre as noites com e sem lua, no entanto, há uma tendência no aumento do número de indivíduos coletado em noite com lua, apesar da lua não ter influenciado na atividade de voo dos anofelinos. A ausência de significância dos resultados deve-se ao baixo número de noites de coletas na presença de lua cheia (>90%). De

acordo com Bowden (1973), o tempo de atividade do mosquito não pode ser estendida pela presença da lua, ou seja, a luz lunar tem menos influencia na atividade de voo do inseto do que o período crepuscular. Ainda com baixa iluminação, a redução de indivíduos foi observada no crepúsculo astronômico.

O comportamento dos mosquitos em busca de hospedeiros é estimulado pela mudança de iluminação do ambiente de claro para escuro. O período lunar não influenciou no comportamento de voo dos anofelinos. Para localizar os hospedeiros, os mosquitos utilizam as pistas visuais e as plumas de odores (caïromônios) durante o período do crepúsculo (Cardé e Gibson, 2010). Os mosquitos podem estar usando o padrão de polarização solar que consiste no período até o fim do crepúsculo astronômico (Cronin et al. 2006), independentemente do início da iluminação lunar, porém merece mais investigações.

Conclusão

O pico populacional de anofelinos ocorreu ao pôr do sol e no final do crepúsculo astronômico. A maior concentração de atividade de voo dos mosquitos foi no período de 20-40 minutos após pôr do sol, durante o crepúsculo náutico. A presença e ausência da lua não influenciam no comportamento de atividade de voo dos mosquitos.

Conhecer as características comportamentais e o padrão de atividade de voo de mosquitos anofelinos na busca por hospedeiro pode ser uma forma para o desenvolvimento de medidas de controle das espécies vetores em áreas malarígenas.

REFERÊNCIAS

- Araújo, E. C., B. M. Costa-Neta, J. M. Brito, F. S. Silva. 2023.** Effect of ultraviolet LED and trap height of host-seeking anopheline mosquitoes by using a low-cost passive light trap in northeast Brazil. *Parasitol. Res.* 2023: 122: 1343 –1349 e 10.1007/s00436-023-07834-2.
- Baeshen, R. 2022.** Swarming Behavior in *Anopheles gambiae* (sensu lato): Current Knowledge and Future Outlook. *J. Med. Entomol.* 59: 56–66 e 10.1093/jme/tjab157.
- Barbosa, L. M. C., and V. M. Scarpassa. 2021.** Blood-feeding behavior of *Anopheles* species (Diptera: Culicidae) in the district of Ilha de Santana, state of Amapá, eastern Brazilian Amazon. *Rev. Bras. Entomol.* 65: e 20200048.
- Bidlingmayer, W. L. 1964.** The Effect of moonlight on the flight activity of mosquitoes. *Ecology.* 45: 87-94.
- Bidlingmayer, W. L. 1974.** The influence of environmental factors and physiological stage on flight patterns of mosquitoes taken in the vehicle aspirator and truck, suction, bait and new Jersey light traps. *J. Med. Entomol.* 11:119-146.
- Bidlingmayer, W. L. 1985.** The measurement of adult mosquito population changes-some Considerations. *J. Am. Mosq. Control. Assoc.* 1:328-348.
- Bowden, J. 1973.** The significance of moonlight in photoperiodic responses of insects. *Bull. Ent. Res.* 62:605-612.
- Bowden, J., and B. M. Church. 1973.** The influence of moonlight on catches of insects in light- traps in Africa: Part II. The effect of moon phase on light-trap catches. *Bull. Ent. Res.* 63:129-142.
- Brito, G. S., J. V. C. Aguiar, M. S. Almeida, I. S. Ponte, B. M. Costa-Neta and F. S. Silva. 2020.** Influence of Moonlight on Male Mating Aggregations of *Nyssomyia whitmani*, a Vector of American Cutaneous Leishmaniasis in Brazil. *J. Med. Entomol.* 57: 1648–1652 e 10.1093/jme/tjaa048.
- Burkot, T. R., R. Farlow, M. Min, E. Espino, A. Mnzava, and T. L. Russell. 2019.** A global analysis of National Malaria Control Programme vector surveillance by elimination and control status in 2018. *Malar J.* 18:399 e 12936-019-3041-2.

Cardé, R.T. and G. Gibson. 2010. Host finding by female mosquitoes: mechanisms of orientation to host odours and other cues. pp. 116-141. In W. Takken and B. G. J. Knols (eds.), *Olfaction in Vector-Host Interactions*, vol. 2. Editora Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Holanda.

Carlos, B.C., L. D. P. Rona, G. K. Christophides, and J. A. Souza-Neto. 2019. A comprehensive analysis of malaria transmission in Brazil. *Pathog. Glob. Health.* 113:1–13 e 10.1080/20477724.2019.1581463.

Charlwood, J. D., and M. D. R. Jones. 1980. Mating in the mosquito, *Anopheles gambiae* s. l. II. Swarming behaviour. *Physiol. Entomol.* 5:315-320.

Charlwood, J. D., R. Paru, H. Dagoro, and M. Lagog. 1986. Influence of moonlight and gonotrophic age on biting activity of *Anopheles farauti* (Diptera: Culicidae) from papua new Guinea. *J. Med. Entomol.* 23:132-135.

Chow, W.K., N. W. Beeb, L. Ambrose, P. Pickering, and R. D. Copper. 2023. Seasonal assessment on the effects of time of night, temperature and humidity on the biting profile of *Anopheles farauti* in north Queensland, Australia using a population naïve to malaria vector control pressures. *Malaria J.* 22:85 e 10.1186/s12936-023-04495-5.

CONSOLI, Rotraut A. G. B.; OLIVEIRA, Ricardo Lourenço de. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1994. 228p.

Cooke, M. K., S. C. Kahindi, R. M. Oriango, C. Owaga, E. Ayoma, D. Mabuka, D. Nyangau, L. Abel, E. Atieno, S. Awuor, C. Drakeley, J. Cox, and J. Stevenson. 2015. ‘A bite before bed’: exposure to malaria vectors outside the times of net use in the highlands of western Kenya. *Malar J.* 14:259 e 10.1186/s12936-015-0766-4.

Costa-Neta, B. M., A. A. Da Silva, J. M. Brito, J. L. P. Moraes, J. M. M. Rebêlo, and F. S. Silva. 2017. Light-Emitting Diode (LED) Traps Improve the Light-Trapping of Anopheline Mosquitoes. *J. Med. Entomol.* 54:1699–1703 e 10.1093/jme/tjx148.

Costa-Neta, B.M., A. R. Lima-Neto, A. A. Da Silva, J. M. Brito, J. V.C. Aguiar, I. S. Pontes, and F. S. Silva. 2018. Centers for Disease Control-type light traps equipped with high-intensity light-emitting diodes as light sources for monitoring *Anopheles* mosquitoes. *Acta. Trop.* 183:61–63 e10.1016/j.actatropica.2018.04.013.

- Cronin, T.W., E. J. Warrant, and B. Greiner. 2006.** Celestial polarization patterns during twilight. *Appl. Opt.* 45:22.
- Da Silva, A. A., F. S. Silva, and B. M. Costa-Neta. 2020.** Influence of Moonlight On Light-Emitting Diode Trap Catches of Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae). *Entomol. News.* 129:35-42 e 10.3157/021.129.0105.
- Dantur-Juri, M. J., M. Stein, and M.A.M. Sallum, 2011.** Occurrence of *Anopheles* (*Anopheles*) *neomaculipalpus* Curry in north-western Argentina. *J. Vector. Borne. Dis.* 48:64–66.
- Davies, J. B. 1975.** Moonlight and the biting activity of *Culex* (*Melanoconion*) *portesi* Senevet & Abonnenc and *C. (M.) taeniopus* D. & K. (Diptera, Culicidae) in Trinidad forests. *Bull. Enf. Res.* 65:81-96.
- Doucoure, S., O. Thiaw, N. A. Wotodjo, C. Bouganali, N. Diagne, P. Parola, and P. Sokhna. 2020.** *Anopheles arabiensis* and *Anopheles funestus* biting patterns in Dielmo, an area of low level exposure to malaria vectors. *Malar. J.* 19:230 e 10.1186/s12936-020-03302-9.
- Duffield, G. E., D. J. Acri, G. F. Geoge, A. D. Sheppard, N.W. Beebe, S. A. Ritchie, and T. R. Burkot. 2019.** Diel flight activity of wild-caught *Anopheles farauti* (s.s.) and *An. hinesorum* malaria mosquitoes from northern Queensland, Australia. *Parasit. Vectors.* 12:48 e 10.1186/s13071-018-3271-0.
- Ferreira, R.M.A., A. C. Cunha, and R. N. P. Souto. 2013.** Distribuição mensal e atividade horária de *Anopheles* (Diptera: Culicidae) em uma área rural da Amazônia Oriental. *Biota. Amazôn.* 3:64-75.
- Gibson, G., and S. J. Torr. 1999.** Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host stimuli. *Med. Vet. Entomol.* 13:2-23.
- Horsfall, W. 1943.** Some responses of the malaria mosquito to light. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 36:41-54.
- Jones, M. D. R., M. Hill, and A. M. Hope. 1967.** The circadian flight activity of the mosquito, *Anopheles gambiae*: Phase setting by the light regime. *J. Exp. Biol.* 47:503-511.

- Jones, M. D. R., S. J. Gubbins, and C. M. Cubbin. 1974.** Orcadian flight activity in four sibling species of the *Anopheles gambiae* complex (Diptera, Culicidae). *Bull. Ent. Res.* 164:241-246.
- Kampango, A., N. Cuamba, and J. D. Charlwood. 2011.** Does moonlight influence the biting behaviour of *Anopheles funestus*? *Med. Vet. Entomol.* 25:240–246 e 10.1111/j.1365-2915.2010.00917.x.
- Klowden, M. J. 1996.** Endogenous factors regulating mosquito host-seeking behaviour. *Ciba. Novartis. Found. Symp.* 200:212-225.
- Laurent, B. St., T. A. Burton, S. Zubaidah, H. C. Miller, P. B. Asih, A. Baharuddin, S. Kosasih, S. Shinta, S. Firman, W. A. Hawley, T. R. Burkot, D. Safruddin, S. Sukowati, F. H. Collins, and N. F. Lobo. 2017.** Host attraction and biting behaviour of *Anopheles* mosquitoes in South Halmahera, Indonesia. *Malar J.* 16:310 e 10.1186/s12936-017-1950-5.
- Lima, J. B. P., M. G. Rosa-Freitas, C.M. Rodovalho, F. Santos, and R. Lourenço-de-Oliveira, R. 2014.** Is there an efficient trap or collection method for sampling *Anopheles darlingi* and other malaria vectors that can describe the essential parameters affecting transmission dynamics as effectively as human landing catches? - A Review. *Mem. Inst. Oswaldo.* 109:685-705.
- Maliti, D.V., C.D. Marsden, B. J. Main, G. Y. Yamasaki, T. C. Collier, K. Kreppel, J. C. Chiu, G. C. Lanzaro, H. M. Ferguson, and Y. Lee. 2016.** Investigating associations between biting time in the malaria vector *Anopheles arabiensis* Patton and single nucleotide polymorphisms in circadian clock genes: support for sub-structure among *An. arabiensis* in the Kilombero valley of Tanzania. *Parasit. Vectors.* 9:109 e 10.1186/s13071-016-1394-8.
- Moiroux, N., M. B. Gomez, C. Pennetier, E. Elanga, A. Djènontin, F. Chandre, I. Djègbé, H. Guis and V. Corbel. 2012.** Changes in *Anopheles funestus* Biting Behavior Following Universal Coverage of Long-Lasting Insecticidal Nets in Benin. *J. Infect. Dis.* 206: 1622–1629.
- Moreno, J. E., Y. Rubio-Palis, E. Páez, E. Pérez, V. Sánchez, and E. Vaccari. 2005.** *Anopheles (Anopheles) neomaculipalpus*: a new malaria vector in the Amazon basin? *Med. Vet. Entomol.* 19:329–332.

- Moreno, J. E., Y. Rubio-Palis, E. Páez, E. Pérez, V. Sánchez, and E. Vaccari. 2009.** Malaria entomological inoculation rates in gold mining áreas of Southern Venezuela. *Mem. Inst. Oswaldo. Cruz.* 104:764-768.
- Muenworn, V., S. Sungvornyothin, M. Kongmee, S. Polsomboon, M. Bangs, P. Akkrathanakul, S. Tanasinchayakul, A. Prabaripai, and T. Chareonviriyaphap. 2009.** Biting activity and host preference of the malaria vectors *Anopheles maculatus* and *Anopheles sawadwongporni* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *J. Vector. Ecol.* 34:62-69.
- Nguyen, T. Q., M. D. Nguyen, V. X. Pham, H. M. Ro, M.D. Edstein, W. K. Chow, N. J. Martin, J. C. Hertz, and M. T. Motoki. 2021.** Entomological survey in two communes with residual malaria transmission in Gia Lai Province in the central highlands of Vietnam. *Malar. J.* 20:403 e 10.1186/s12936-021-03941-6.
- Nowinszky, L. 2004.** Nocturnal illumination and night flying insects. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2:17–52.
- Oliveira-Pereira, Y. N., and J. M. M. Rebêlo. 2000.** Espécies de *Anopheles* no município de Pinheiro (Maranhão), área endêmica de malária. *Rev. Soc. Bras. Med.* 33:443-450.
- Passos, M. L. V., G. C. Zambrzycki, and R. S. Pereira. 2016.** Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. *Rev. Bras. Agric. Irrig.* 10: 758-766.
- Phillips, M. A., J. N. Burrows, C. Manyando, R. H. V. Huijsduijnen, W. C. V. Voorhis, and N. C. W. Timothy. 2017.** Malaria. *Nat. Rev. Dis. Primers.* 3:14.
- Rebêlo, J. M. M., J. L. P. Moraes, G. A. Alves, F. S. Leonardo, R. V. Rocha, W. A. Mendes, E. Costa, L. E. M. B. Câmara, M. J. A. Silva, Y. N. O. Pereira, and J. A. C. Mendonça. 2007.** Distribution of species from genus *Anopheles* (Diptera, Culicidae) in the State of Maranhão, Brazil. *Cad. Saúde. Pública.* 23: 2959-2971.
- Rebêlo, J. M. M., J. L. P. Moraes, G. A. Alves, F. S. Leonardo, R. V. Rocha, W. A. Mendes, E. Costa, L. E. M. B. Câmara, M. J. A. Silva, Y. N. O. Pereira, and J. A. C. Mendonça. 2007.** Distribution of species from genus *Anopheles* (Diptera, Culicidae) in the State of Maranhão, Brazil. *Cad. Saúde. Pública.* 23:2959-2971.
- Reddy, M.R., H. J. Overgaard, S. Abaga, V. P. Reddy, A., Caccone, A. Kiszewski, and M. A. Slotman. 2011.** Outdoor host seeking behaviour of *Anopheles gambiae* mosquitoes

following initiation of malaria vector control on Bioko Island, Equatorial Guinea. *Malar. J.* 10:184.

Reisen, W.K., H. D. Lothrop, and R. P. Meyer. 1997. Time of Host-Seeking by *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) in California. *J. Med. Entomol.* 34: 430-437.

Rezende, H. E., R. M. Soares, J. R. C. Cerutti I. C. Alves, D. Natal, P. R. Urbinatti, P. R. Yamasaki, T. Yamasaki, A. Falqueto, and R. S. Malafronte. 2009. Entomological characterization and natural infection of Anophelines in an area of the Atlantic Forest with autochthonous malaria Cases in Mountainous region of Espírito Santo state, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 38:272-28.

Ribbands, G. R. 1946. Moonlight and house-haunting habits of female Anophelines in West Africa. *Bull. Entomol. Res.* 36:395–415.

Rowland, M. 1989. Changes in the circadian flight activity of the mosquito *Anopheles stephensi* associated with insemination, blood-feeding, oviposition and nocturnal light intensity. *Physiol. Entomol.* 14:77-84.

Rubio-Palis, Y. 1992. Influence of moonlight on light trap catches of the malaria vector *Anopheles nuneztovari* in Venezuela. *J. Am. Mosq. Control.* 8:178-180.

Rund, S. S. C., S. J. Lee, B. R. Bush, and G. E. Duffield. 2012. Strain- and sex-specific differences in daily flight activity and the circadian clock of *Anopheles gambiae* mosquitoes. *J. Insect. Physiol.* 58:1609–1619 e 10.1016/j.jinsphys.2012.09.016.

Sallum, M. A. M., R. G. Obando, N. Carrejo, and R. C. Wilkerson. 2020. Identification keys to the *Anopheles* mosquitoes of South America (Diptera: Culicidae). IV. Adult females. *Parasit. Vectors.* 13:584 e 10.1186/s13071-020-04301-0.

Sande, S., M. Zimba, P. Chinwada, H. T. Masendu, and A. Makuwaza. 2016. Biting behaviour of *Anopheles funestus* populations in Mutare and Mutasa districts, Manicaland province, Zimbabwe: Implications for the malaria control programme. *J. Vector. Borne. Dis.* 53:118–126.

Sangbakembi-Ngounou, C., C. Costantini, N. M. Longo-Pendy, C. Ngoagouni, O. Akone-Ella, N. Rahola, S. Cornelie, P. Kengne, E. R. Nakouné, N. P. Komas, and D. Ayala. 2022. Diurnal biting of malaria mosquitoes in the Central African Republic indicates residual transmission may be “out of control. *PNAS.* 119: e 2104282119.

- Sawadogo, S. P., C. Costantini, C. Pennetier, A. Diabaté, G. Gibson, and R. K. Dabiré. 2013.** Differences in timing of mating swarms in sympatric populations of *Anopheles coluzzii* and *Anopheles gambiae* s.s. (formerly *An. gambiae* M and S molecular forms) in Burkina Faso, West Africa. *Parasit. Vectors.* 6:275 e 10.1186/1756-3305-6-275.
- Silva, F. S., J. M. Brito, B. C. Costa-Neta, and S. M. P. D. Lobo. 2015.** Evaluation of light-emitting diodes as attractant for sandflies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in northeastern Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo. Cruz.* 110:801–803 e 10.1590/0074-02760150132.
- Silva, F.S., A. A. Da Silva, and J. M. M. Rebêlo. 2016.** An evaluation of light-emitting diode (LED) traps at capturing phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) in a livestock area in Brazil. *J. Med. Entomol.* 53:634–638 e10.1093/jme/tjw016.
- Silva, F.S., B. M. Costa-Neta, M. S. Almeida, E. C. Araújo, and J. V. C. Aguiar. 2019.** Field performance of a low cost, simple-to-build, non-motorized light emitting diode (LED) trap for capturing adult *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Acta. Trop.* 190:9–12 e 10.1016/j.actatropica.2018.10.014.
- Silva-Vasconcelos, A., M.Y. N. Kató, E. N. Mourão, R. T. L. Souza, R. N. L. Lacerda, A. Sibajev, P. Tsouris, M. M. Póvoa, H. Momen, and M. G. Rosa-Freitas. 2002.** Biting Indices, Host-seeking Activity and Natural Infection Rates of Anopheline Species in Boa Vista, Roraima, Brazil from 1996 to 1998. *Mem. Inst. Oswaldo. Cruz.* 97:151-161 e 10.1590/s0074-02762002000200002.
- Tadei, W.P., and B. Dutary-Thatcher. 2000.** Malaria vectors in the Brazilian Amazon: *Anopheles* of the Subgenus *Nyssorhynchus*. *Rev. Inst. Med. Trop. S. Paulo.* 42:87-94 e 10.1590/s0036-46652000000200005.
- Tadei, W.P., B. M. Mascarenhas, and M. G. Podestá. 1983.** Biologia de anofelinos amazônicos. VIII. Conhecimento sobre a distribuição de espécies de *Anopheles* na região de Tucuruí-Marabá (Pará). *Acta. Amaz.* 13:103-140 e 10.1590/1809-43921990201117.
- Takken, W., and B. G. J. Knols. 1999.** Odor-mediated behavior of Afrotropical malaria mosquitoes. *Annu. Rev. Entomol.* 44:131–57 e 10.1146/annurev.ento.44.1.131.
- Takken, W., J. J. A. Van Loon and W. Adam. 2001.** Inhibition of host-seeking response and olfactory responsiveness in *Anopheles gambiae* following blood feeding. *J. Insect. Physiol.* 47:303-310.

- Takken, W., J. J. A. Van Loon, and W. Adam. 2001.** Inhibition of host-seeking response and olfactory responsiveness in *Anopheles gambiae* following blood feeding. *J. Insect. Physiol.* 47:303–310 e 10.1016/s0022-1910(00)00107-4.
- Taye, B., K. Lelisa, D. Emana, A. Asale, and D. Yewhalaw. 2016.** Seasonal Dynamics, Longevity, and Biting Activity of Anopheline Mosquitoes in Southwestern Ethiopia. *J. Insect. Sci.* 16:1–7 e 10.1093/jisesa/iev150.
- Thorsen S. Time and date AS; 2020. [accessed 2020 Aug 08]. Complete URL (<https://www.timeanddate.com/moon/@6319008>).
- Verhulst, N. O., Y. T. Qiu, H. Beijleveld, C. Maliepaard, D. Knights, S. Schulz, D. Berg-Lyons, C. L. Lauber, W. Verduijn, G. W. Haasnoot, R. Mumm, H. J. Bouwmeester, F. H. J. Claas, M. Dicke, J. J. A. Van Loon, W. Takken, R. Knight, and R. C. Smallegange. 2011.** Composition of human skin microbiota affects attractiveness to malaria mosquitoes. *PloS One.* 6: e28991.
- Yohannes, M., and E. Boelee. 2012.** Early biting rhythm in the afro-tropical vector of malaria, *Anopheles arabiensis*, and challenges for its control in Ethiopia. *Med. Vet. Entomol.* 26:103–105 e 10.1111/j.1365-2915.2011.00955. x.
- Yohannes, M., M. Haile, T. A. Ghebreyesus, K. H. Witten, A. Getachew, P. Byass, S. W. Lindsay. 2005.** Can source reduction of mosquito larval habitat reduce malaria transmission in Tigray, Ethiopia? *Trop. Med. Int. Health.* 10:1274-1285 e 10.1111/j. 1365-3113.2005.01512. x.
- Yuval, B., Wekesa, J.W. Washino, R. K. 1993.** Effect of Body Size on Swarming Behavior and Mating Success of Male *Anopheles freeborni* (Diptera: Culicidae). *J. Insect. Behav.* 6.
- Zimmerman, R. H., L. P. Lounibos, N. Nishimura, A. K. R. Galardo, C. D. Galardo, and M. E. Arruda. 2013.** Nightly biting cycles of malaria vectors in a heterogeneous transmission area of Eastern Amazonian Brazil. *Malar. J.* 12:262.
- Zwiebel, L. J., Takken, W. 2004.** Olfactory regulation of mosquito–host interactions. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 34:645–652.

4.3 CAPÍTULO 3 - Comparação de armadilhas nas capturas de espécies de anofelinos em área de mata município de Chapadinha-MA

RESUMO

A malária é uma doença negligenciada causada pelo protozoário do gênero *Plasmodium* (Apicomplexa: Haemosporidae), transmitida pela fêmea de algumas espécies de mosquitos do gênero *Anopheles* (Diptera: Culicidae). O monitoramento vetorial constitui uma das principais ferramentas avaliativas das ações preventivas utilizadas em inquéritos entomológicos em áreas endêmicas. A utilização da armadilha Silva apresenta-se com uma nova alternativa na captura de insetos vetores, incluindo os anofelinos. O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da armadilha Silva em comparação à armadilha CDC e BG-pro na captura de vetores da malária em área de mata. A pesquisa foi realizada em uma área de mata no município de Chapadinha-MA, em agosto de 2023, as armadilhas foram dispostas à 1,5m do solo com uma distância de 20m entre os pontos de coletas. Foram capturados 1459 mosquitos anofelinos, distribuídos em cinco espécies. As duas espécies mais frequentes foram *An. triannulatus* s.l. 95% e *An. goeldii* 2,7%. As armadilhas Silva ($P < 0,0001$) e CDC ($P < 0,0008$) apresentaram diferenças significantes em comparação a BG-Pro na quantidade de mosquitos capturados. A média de densidade de captura por armadilha foi 79,5 na armadilha Silva, 41,9 CDC e 0,16 na BG-Pro. Portanto, a armadilha Silva foi eficiente na captura de mosquitos do gênero *Anopheles* em área de mata e apresenta inúmeras vantagens em comparação a CDC.

Palavras-chave: armadilha luminosa; vetor da malária; técnicas de captura, armadilha Silva.

INTRODUÇÃO

A malária é uma doença negligenciada causada pelo protozoário do gênero *Plasmodium* (Apicomplexa: Haemosporidae). A transmissão do parasito ocorre durante a atividade hematofágica realizada pela fêmea infectada do mosquito do gênero *Anopheles* (Diptera: Culicidae), apenas algumas espécies são vetores. Este gênero apresenta aproximadamente 70 espécies capazes de transmitir o agente etiológico da malária (CARLOS et al., 2019; MS, 2022).

No Brasil, a região amazônica apresenta os maiores índices de transmissão de casos da malária no país (FERREIRA; CASTRO, 2016; BUERY et al., 2021). Neste contexto, para reduzir o número de casos e prevenir novas infecções em áreas malarígenas, o controle vetorial é de extrema importância. É importante ressaltar que um dos maiores desafios das campanhas antimaláricas é o desenvolvimento de ferramentas eficazes, de baixo custo e disponíveis para o monitoramento e controle vetorial, principalmente nas áreas mais afetada pelo aumento da doença e pela constante variação de resistência das espécies vetores aos químicos utilizados (WANJALA et al., 2015).

Encontram-se disponíveis no mercado várias técnicas de captura baseadas em propriedades biológicas, químicas e físicas, que são empregadas nos inquéritos entomológicos (KWEKA et al., 2009; KWEKA et al., 2013; GAMA et al., 2013; LIMA et al., 2014). Dentre as ferramentas disponíveis estão: BG-Sentinel, BG-Malária, BG-Pro entre outras (GAMA et al., 2013; MBURU et al., 2017; BATISTA et al., 2018; DEGENER et al., 2021). Estas armadilhas são usadas em combinação com atrativos químicos, a exemplo do dióxido de carbono (CO₂), o que potencializa a atratividade e as capturas dos insetos pelas armadilhas. Entretanto, este químico é de difícil obtenção e alto de custo, o que impossibilita seu uso em grande escala (MCPHATTER; GERRY, 2017; MBURU et al., 2017).

O atrativo humano, considerado o “padrão-ouro” nas coletas de anofelinos, é um dos métodos utilizado no monitoramento de espécies vetores em áreas malarígenas. Os coletores são usados como fonte atrativa para os mosquitos. Contudo, é uma técnica complicada e os resultados podem variar dependendo do coletor. Por questões de segurança e ética não é aconselhável seu uso na captura de mosquitos anofelinos (LIMA et al., 2014; ACHEE et al., 2015).

Uma das principais ferramentas empregadas no monitoramento de populações de dípteros é armadilha luminosa do tipo CDC, que reduz o contato do homem com as espécies

vetores no momento dos inquéritos entomológicos (SUDIA; CHAMBERLAIN, 1962; DAVIS et al., 1995; MAGBITY et al., 2002). No entanto, esta armadilha possui hélices movimentadas por um motor para a sucção dos insetos, o que danifica os caracteres morfológicos dos espécimes usado na identificação taxonômica. Além disso, os gastos com baterias e alto consumo de energia utilizado pela lâmpada incandescente são problemas enfrentados nas coletas (GAMA et al., 2007; COSTA-NETA et al., 2017; SILVA et al., 2019).

Na tentativa de melhorar os problemas apresentados e propor uma técnica mais aprimorada para novas pesquisas. O uso de diodos emissores de luz (LED) em armadilhas luminosas tem apresentado bons resultados em estudos de vigilância entomológica de insetos vetores, principalmente mosquitos anofelinos (BURKETT et al., 1998; BISHOP et al., 2004; MANN et al., 2009; SILVA et al., 2015 ab; 2016, KIM et al., 2016; COSTA-NETA et al., 2017; 2018). Os LEDs apresentam várias vantagens em comparação à lâmpada incandescente como relatos em vários estudos (COHNSTAEDT et al., 2008; SILVA et al., 2015b; COSTA-NETA et al., 2017; 2018; ARAÚJO et al., 2023).

A armadilha Silva foi desenvolvida com o intuito de sanar os problemas apresentados por outras armadilhas. Uma ferramenta à base de LEDs que apresenta uma grande economia de energia visa facilitar as capturas de mosquitos anofelinos, principalmente em áreas endêmicas. Apresenta diversas vantagens frente as outras armadilhas luminosas, como a preservação dos caracteres morfológicos essenciais na identificação, além de manter os insetos vivos em um coletor rígido, que favorece o transporte e possibilita outros estudos com os animais vivos (SILVA et al., 2019; COSTA-NETA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2023). Desta forma, o presente estudo tem como proposta avaliar diferentes formas de captura de espécies vetores da malária em área de mata.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A amostragem foi realizada no município de Chapadinha-MA, nos pontos georreferenciais $3^{\circ} 44' 26''$ S, $43^{\circ} 21' 33''$ O, localizado na mesorregião do leste maranhense. A vegetação é típica de cerrado. A região apresenta clima tropical quente e úmido, com dois períodos bem definidos, um seco de julho a dezembro e um chuvoso de janeiro à junho. A temperatura média varia em torno de 27 a 30°C com pouca variação sazonal (PASSOS et al., 2016; ARAÚJO et al. 2023).

As coletas dos anofelinos foram realizadas em uma área florestal da Reserva Ambiental do Itamacaoca ($03^{\circ}44'22.56''$ S, $43^{\circ}19'40.93''$ W), localizada no município de Chapadinha-MA. A área de estudo possui aproximadamente de 460 hectares, caracterizada como mata de galeria e a vegetação é do tipo cerrado (SILVA et al., 2008) (Figura 1).



Figura 1- Imagem de satélite Landsat 8 obtida no dia 28 julho de 2023.

Notação científica geográfica: dia Juliano= 209, órbita 220. a res. 30/30

Reserva Ambiental da Itamacaoca, local das coletas. Áreas de coleta de anofelinos é localizado 810 metros da BR 222 do Município de Chapadinha, Maranhão.

Fonte: GOOGLE EARTH

Para a realização das coletas, foram utilizadas três armadilhas: uma armadilha Silva equipada com três LEDs verdes, uma armadilha do tipo CDC com lâmpada branca LED BA9S DIP (amplo espectro, 6V, 9mm, redondo) e uma BG-Pro (Figura 2). As coletas foram realizadas

no mês de agosto de 2023, totalizando 12 coletas. A distribuição dos tratamentos foi realizada de acordo com delineamento quadrado latino (BATISTA et al., 2019). Foram selecionados três pontos para a distribuição das armadilhas, instaladas às 18:00 horas e retiradas às 06:00 da manhã, foram posicionadas 1,5 m acima do solo e separadas por uma distância de 20 metros uma da outra.



Figura 2. Armadilhas utilizadas na coleta de anofelinos em mata de galeria. (A) Armadilha Silva com LED verde (15,000mCD), (B) CDC, (C) BG-Pro.

Fonte: COSTA-NETA, BM, 2023.

Identificação dos anofelinos

Os insetos foram mortos em freezer (-20°C), em seguida triados e transferidos para potes de plásticos devidamente etiquetados, e posteriormente as espécies foram identificadas. Para a identificação dos espécimes, utilizou-se as características morfológicas e taxinômicas à nível de espécie de acordo com as chaves dicotômicas de Consoli e Oliveira (1994) e Sallum et al. (2020).

Análise estatística

Os dados foram analisados pelo software GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software Inc.®). Para avaliar a normalidade dos dados foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov. Foram utilizados o modelo não-paramétrico Kruskal-Wallis. O nível de significância foi estabelecido em $P < 0,05$. Para calcular a densidade de mosquito por armadilha foi definida a seguinte fórmula: o número total de anofelino coletado, dividido pela quantidade de coletas realizadas e o método utilizado.

RESULTADOS

Na pesquisa, foram capturados 1459 espécimes de mosquitos anofelinos, distribuídos em cinco espécies e dois subgêneros: *Nyssorhynchus* (quatro espécies) e *Anopheles* (uma espécie). A espécie mais abundante foi a *Anopheles triannulatus* s.l. (Neiva and Pinto, 1922) com 95%. A espécie menos frequente 0,2% *An. argyritarsis* (Robineau Desvoidy, 1827), os espécimes danificados representaram 1,0% dos indivíduos coletados (Tabela 1).

Em relação a eficiência das armadilhas nas capturas, a armadilha Silva 65,4% e CDC 34,5% capturam mais anofelinos em comparação com a armadilha BG-Pro 0,1% (Tabela 1). A média da densidade de mosquito por armadilha foram maiores na armadilha Silva 79,5 e na CDC 41,9 em comparação a BG-Pro 0,16 (Tabela 2). As armadilhas Silva ($P < 0,0001$) e CDC ($P < 0,0008$) apresentaram diferenças significantes em comparação a BG-Pro em relação a quantidade de mosquitos capturados (Tabela 3).

A armadilha Silva capturou todas as espécies encontrada no estudo, principalmente a espécie *An. triannulatus* s.l. que representou mais de 95% da amostra do estudo, enquanto a armadilha BG-Pro coletou apenas a espécie mais frequentes. Em estudo recente realizado uma área endêmica peridomiciliar na cidade de Macapá-AP, a armadilha Silva capturou aproximadamente 72,9% dos mosquitos, seguindo da CDC com 25,9% e a BG-Pro apenas 1,2% do total da amostra dos indivíduos capturados. Nesta área endêmica a espécie mais frequente foi *An. triannulatus* s.l. com 67,2% dos mosquitos anofelinos capturados.

O aumento na quantidade de LEDs na armadilha Silva potencializou as capturas de anofelinos (954=65,4%). A armadilha Silva apresentou bom desempenho na captura de mosquitos tanto em área de mata como no ambiente peridomiciliar realizado em área endêmica da malária. Por outro, a armadilha CDC apresentou menor quantidade de mosquitos em área de mata em comparação com o ambiente peridomiciliar. É importante ressaltar que os esforços de captura entomológicas foram maiores em área de mata.

Tabela 1. Espécies de anofelinos capturadas com uso de armadilhas Silva, CDC e BG-Pro em mata de galeria no município de Chapadinha- MA, região Nordeste do Brasil.

Espécies de <i>Anopheles</i>	Armadilhas			
	SILVA	CDC	BG-PRO	Total (%)
(Nys.) <i>triannulatus</i> s.l. (Neiva e Pinto, 1922)	909	475	02	1386 (95)
(Nys.) <i>goeldii</i> (Rozeboom e Gabaldón, 1941)	24	15	0	39 (2,7)
(Nys.) <i>evansae</i> (Brethés, 1926)	7	4	0	11 (0,8)
(Ano.) <i>mediopunctatus</i> (Lutz, 1903)	5	0	0	5 (0,3)
(Nys.) <i>argyritarsis</i> (Robineau Desvoidy, 1827)	1	2	0	3 (0,2)
<i>Anopheles</i> spp*.	8	7	0	15 (1,0)
Total	954	503	02	1459
(%)	65,4	34,5	0,1	100

*Espécimes danificado

Tabela 2. Mosquitos anofelinos capturados com uso de armadilhas Silva, CDC e BG-Pro em área de mata de galeria na cidade de Chapadinha-MA, região Nordeste do Brasil.

SILVA			CDC			BG-Pro		
N	%	D	N	%	D	N	%	D
954	65,4	79,5	503	34,5	41,9	02	0,1	0,16

N- Número total de indivíduos; D- densidade de mosquitos por método utilizado

Tabela 3. Média do número de espécies de mosquitos anofelinos ($\pm$ SEM) coletados no município de Chapadinha-MA.

AMOSTRAGEM	ARMADILHAS		
	SILVA	CDC	BG-PRO
II	79,50 $\pm$ 30,91	41,92 $\pm$ 22,92	0,1667 $\pm$ 0,1667*

*P < 0,05 em relação à armadilha SILVA

DISCUSSÃO

Todas as espécies encontradas no estudo já foram descritas no Nordeste do Brasil (COSTA-NETA et al., 2023; ARAUJO et al., 2023). A espécie mais abundante encontrada foi *Anopheles triannulatus* s.l., considerada um vetor secundário da malária na Amazônia brasileira, sendo encontrado com frequência em áreas de florestas (TADEI; DUTARY-THATCHER, 2000; ZIMMERMAN et al., 2013; CARLOS et al., 2019).

Em ambiente de mata, foi observado a baixa ocorrência das espécies *An. goeldii*, *An. evansae* e *An. argyritarsis*. Entretanto, na mesma região em ambiente de peridomicílio as espécies citadas foram mais frequentes em relação ao ambiente de mata, acredita-se que o período de coleta pode ter influenciado na abundância das espécies na área de estudo (COSTA-NETA et al., 2017;2018; 2023; SILVA et al., 2019).

A armadilha Silva teve um bom desempenho na captura dos mosquitos anofelinos em área de mata, os achados confirmam com estudos anteriores realizados no estado do Maranhão (COSTA-NETA et al., 2017; 2018; SILVA et al., 2019; COSTA-NETA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2023). Foi observado em estudo recente realizado em área endêmica que a armadilha Silva capturou a maioria das espécies catalogadas, principalmente a espécie vetor *An. darlingi*. Além dos vetores secundários como: *An. marajoara*, *An. albitarsis* s.l., *An. brasiliensis* e *An. triannulatus* s.l., mostrando o potencial da armadilha para o monitoramento de espécies de anofelinos. É importante ressaltar que a armadilha Silva não possui aparato elétrico para sucção dos insetos e nem adição de químico para atração dos mosquitos.

A armadilha BG-Pro apresentou baixo desempenho nas capturas de mosquitos em comparação as armadilhas CDC e Silva, visto que o atrativo químico (*BG-Lure Biogents*) utilizado não foi eficiente para atrair as espécies dos anofelinos. Em estudo realizado por Degener et al. (2021), observaram um aumento na captura de algumas espécies de mosquitos, incluindo espécies de anofelinos com uso dióxido de carbono (CO₂).

Na armadilha CDC foi feita a substituição da lâmpada incandescente por lâmpada de LED branca, por causa da indisponibilidade no mercado. Talvez seja o fator que tenha influenciado na diminuição de mosquitos capturados pela armadilha. Resultado semelhante foi observado em outro trabalho realizado na mesma área com uso desta lâmpada LED branca na atração de mosquitos anofelinos (SILVA et al., submetido).

REFERÊNCIAS

- ACHEE, N. L. et al. Considerations for the Use of Human Participants in Vector Biology Research: A Tool for Investigators and Regulators. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v.15, p. 89-102. 2015.
- ARAÚJO, E. C. et al. Effect of ultraviolet LED and trap height of host-seeking anopheline mosquitoes by using a low-cost passive light trap in northeast Brazil. **Parasitology Research**, v. 122, p. 1343–1349, 2023 e 10.1007/s00436-023-07834-2.
- BATISTA, E. P. A. et al. Field evaluation of the BG-Malaria trap for monitoring malaria vectors in rural Tanzanian villages. **PloS One**, v. 13, n. 10, p. 1-18, e0205358, 2018.
- BATISTA, E. P. A. et al. Videographic analysis of flight behaviours of host-seeking *Anopheles arabiensis* towards BG-Malaria trap. **PLoS One**, v. 14, n. 7, p. e0220563, 2019.
- BISHOP, A. L. et al. Improving light-trap efficiency for *Culicoides* spp. With light-emitting diodes. **Veterinaria Italiana**, v.40, n.3, p. 266-269, 2004b.
- BUERY, J. C. et al. Atlantic Forest malaria: a review of more than 20 years of epidemiological investigation. **Microorganisms**, v. 9, n. 1, p. 132, 2021.
- BURKETT, D. A.; BUTLER, J.; KLINE, D. L. Field evaluation of colored Light: Emitting Diodes as attractants for woodland mosquitoes and other Diptera in north central Florida. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 14, n. 2, p. 186- 195, 1998.
- CARLOS, B. C. et al. A comprehensive analysis of malaria transmission in Brazil. **Pathogens and Global Health**, v. 113, n. 1, p. 1-13, 2019.
- CONSOLI, R. A. G. B. OLIVEIRA, R. L. Principais Mosquitos de Importância Sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: **Editora Fiocruz**, p.1-224,1994.
- COSTA-NETA, B. M et al. The evening crepuscular host-seeking activity of *Anopheles* mosquitoes in northeast Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.20, n.20, p. 1-8, 2023.
- COSTA-NETA, B. M. et al. Centers for Disease Control-type light traps equipped with high-intensity light-emitting diodes as light sources for monitoring *Anopheles* mosquitoes. **Acta Tropica**, v. 61, p. 61–63, 2018.

COSTA-NETA, B. M. et al. Light-Emitting Diode (LED) Traps Improve the Light-Trapping of Anopheline Mosquitoes. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, p.1699–1703, 2017.

DAVIS, J. R. et al. Comparison of sampling anopheline mosquitoes by light-trap and human-bait collections indoors at Bagamoyo, Tanzania. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 9, p. 249-255, 1995.

DEGENER, C. M. et al. Evaluation of the new modular Biogents BG-Pro mosquito trap in comparison to CDC, EVS, BG-Sentinel, and BG-Mosquitaire traps. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 37, n. 4, p.224–241, 2021.

FERREIRA, M. U.; CASTRO, M. C. Challenges for malaria elimination in Brazil. **Malaria Journal**, v.13, p. 2-14, 2016.

GAMA, R. A. et al. Development of the BG-malaria trap as an alternative to human landing catches for the capture of *Anopheles darlingi*. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, v. 108 n.6, p. 763-771, 2013.

KIM, H. C. et al. Comparison of Adult Mosquito Black-Light and Light-Emitting Diode Traps at Three Cowsheds Located in Malaria-Endemic Areas of the Republic of Korea. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, n. 1, p. 221–228, 2016.

KWEKA, E. J. Efficacy of resting boxes baited with carbon dioxide versus CDC light trap for sampling mosquito vectors: A comparative study. *Global Health Perspectives*, v.1, p.11-18. 2013.

KWEKA, E. J. et al. A resting box for outdoor sampling of adult *Anopheles arabiensis* in rice irrigation schemes of lower Moshi, northern Tanzania. **Malaria Journal**, v. 8, n. 82, 2009.

LIMA, J. B. P. et al. Is there an efficient trap or collection method for sampling *Anopheles darling* and other malaria vectors that can describe the essential parameters affecting transmission dynamics as effectively as human landing catches? – A review. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 109, n. 5, p. 685-705, 2014.

MAGBITY, E. B. et al. How reliable are light traps in estimating biting rates of adult *Anopheles gambiae* s.l. (Diptera: Culicidae) in the presence of treated bed nets? **Bulletin of Entomological Research**, v.92, p. 71-76, 2002.

- MANN, R. S.; KAUMAN, P. E.; BUTLER, J. F. *Lutzomyia* spp. (Diptera, Psychodidae) response to olfactory attractant- and light emitting diodemodified mosquito Magnet X (MM-X) traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 46, p.1052-1061, 2009.
- MBURU, M. M. et al. Butanone as a carbon dioxide mimic in attractant blends for the Afrotropical malaria mosquitoes *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*. **Malaria Journal**, v. 16, n. 351, 2017.
- MCPHATTER, L.; GERRY, A. C. Effect of CO₂ concentration on mosquito collection rate using odor-baited suction traps. **Journal of Vector Ecology**, v.42, n. 1, p. 44-50, 2017.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Panorama epidemiológico da malária em 2021: buscando o caminho para a eliminação da malária no Brasil. **Secretaria de Vigilância em Saúde**. 2022.
- PASSOS, M.L.V. et al. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.4, p.758-766, 2016.
- SALLUM, M. A. M. et al. Identification keys to the *Anopheles* mosquitoes of South America (Diptera: Culicidae). II. Fourth-instar larvae. **Parasites & vectors**, v. 13, n. 1, p. 1-25, 2020.
- SILVA, A. L. G. et al. Conservação da Reserva da Itamacaoca de Chapadinha/MA. Meio Ambiente no Baixo Parnaíba: olhos no mundo, pés na região. **EDUFMA**, p. 97-104, 2008.
- SILVA, F. S. et al. Evaluation of light-emitting diode as attractant for sand flies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in northeastern Brazil. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, v.110, n. 6, p. 801- 803, 2015b.
- SILVA, F. S. et al. Field comparison of broad-spectrum white LED-baited traps with narrow-spectrum green LED-baited traps in the capture of *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). Enviado para publicação na revista Parasitology Research.
- SILVA, F. S. et al. Field performance of an efficient, low cost, simple-to-build, non motorized Light-Emitting Diode (LED) trap for capturing adult *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). **Acta Tropica**, v.190, p. 9-12, 2019.
- SILVA, F. S.; BRITO, J. M.; COSTA-NETA, B. M. Field Evaluation of Light-Emitting Diode as Attractant for Blood-Sucking Midges of the Genus *Culicoides* Latreille (Diptera: Culicomorpha, Ceratopogonidae) in the Brazilian Savanna. **Entomological News**. 2015a; 125(1): 1-6.

SUDIA, W. D.; CHAMBERLAIN, R. W. Battery-operated light trap, an improved model. **Mosquito News**, v. 22 p. 126-9, 1962.

TADEI, W. P.; DUTARY-THATCHER, B. Malaria vectors in the Brazilian Amazon: *Anopheles* of the subgenus *Nyssorhynchus*. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 42, p. 87-94, 2000.

WANJALA, C. L. et al. Insecticidal decay effects of long-lasting insecticide nets and indoor residual spraying on *Anopheles gambiae* and *Anopheles arabiensis* in Western Kenya. **Parasites & vectors**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2015.

ZIMMERMAN, R. H. et al. Nightly biting cycles of malaria vectors in a heterogeneous transmission area of eastern Amazonian Brazil. **Malaria Journal**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 2013.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo a armadilha Silva provou ser uma ferramenta eficiente para o uso em inquéritos entomológicos e monitoramento de espécies vetores da malária. É importante ressaltar que a armadilha é de fácil manuseio e baixo custo em comparação as demais armadilhas. além de preservar os caracteres morfológicos dos insetos capturados, essenciais para identificação das espécies. Com base nos achados, acredita-se que é possível desenvolver estratégias e medidas de controle baseado no comportamento do vetor, por exemplo, a pulverização de inseticidas nas áreas no momento de pico dos mosquitos.

Ademais, o uso de LEDs em armadilhas luminosas, principalmente o comprimento de onda verde são importantes atrativos luminosos na vigilância de espécies vetores.

REFERÊNCIAS

- ACHEE, N. L. et al. Considerations for the Use of Human Participants in Vector Biology Research: A Tool for Investigators and Regulators. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v.15, n. 2, 2015.
- ARAÚJO, E. C. et al. Effect of ultraviolet LED and trap height of host-seeking anopheline mosquitoes by using a low-cost passive light trap in northeast Brazil. *Parasitology Research*, v. 122, p. 1343–1349, 2023 e 10.1007/s00436-023-07834-2.
- ARCOS, A. N. et al. Characterization of artificial larval habitats of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) in the Brazilian Central Amazon. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, p. 267-274, 2018.
- BAIA-DA-SILVA, D. C. et al. Current vector control challenges in the fight Against malaria in Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 52, 2019.
- BARR, A. R.; SMITH, T. A.; BOREHAM, M. M. Light intensity and the attraction of mosquitoes to light traps. **Journal of Economic Entomology**, v. 53, n. 5, p.876-880, 1960.
- BARREAUX, P. et al. Priorities for broadening the malaria vector control tool kit. **Trends in Parasitology**, v. 33, n. 10, p. 763-774, 2017.
- BARROS, S. M.; HONÓRIO, N. A. Deforestation and Malaria on the Amazon Frontier: Larval Clustering of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) Determines Focal Distribution of Malaria. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 93, n.5, p. 939–953, 2015.
- BARROS, V. L. L. et al. Study of behavioral patterns and infection analyses in anopheline species involved in the transmission of malaria in Buriticupu and São José de Ribamar municipality, Maranhão State, Brazil. **EntomoBrasilis**, v.13, p.1-13, 2020.
- BATISTA, E. P. A. et al. Field evaluation of the BG-Malaria trap for monitoring malaria vectors in rural Tanzanian villages. **PloS One**, v. 13, n. 10, p. 1-18, e0205358, 2018.
- BECK-JOHNSON, L. M. et al. The Effect of Temperature on *Anopheles* Mosquito Population Dynamics and the Potential for Malaria Transmission. **Plos One**, v.8, n.11, p. 1-12, 2013 e79276.

- BENELLI, G.; BEIER, J. C. Current vector control challenges in the fight Against malaria. **Acta Tropica**, v. 174, p. 91-96, 2017.
- BENTLEY, M. T. et al. Response of adult mosquitoes to light-emitting diodes placed in resting boxes and in the field. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 25, n. 3, p. 285-291, 2009.
- BERNIER, U. R. et al. Synergistic Attraction of *Aedes aegypti* (L.) to Binary Blends of L-Lactic Acid and Acetone, Dichloromethane, or Dimethyl Disulfide. **Journal of Medical Entomology**, v. 40, n. 5, p. 653-656, 2003.
- BISHOP, A. L. et al. Improving light-trap efficiency for *Culicoides* spp. with light-emitting diodes. **Veterinaria Italiana**, v. 40, n. 3, p. 266-9, 2004.
- BRAKS, M. A. H.; MEIJERINK, J.; TAKKEN, W. The response of the malaria mosquito, *Anopheles gambiae*, to two components of human sweat, ammonia and L-lactic acid, in an olfactometer. **Physiological Entomology**, v. 26, p. 142-148, 2001.
- BRISCOE, A. D.; CHITTKA, L. The evolution of color vision in insects. **Annual Review of Entomology**, v. 46, p. 471–510, 2001.
- BUERY, J. C. et al. Atlantic Forest malaria: a review of more than 20 years of epidemiological investigation. **Microorganisms**, v. 9, n. 1, p. 132, 2021.
- BURKETT, D. A.; BUTLER, J.; KLINE, D. L. Field evaluation of colored light: emitting diodes as attractants for woodland mosquitoes and other Diptera in north central Florida. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 14, n. 2, p.186- 195, 1998.
- BURKOT, T. R. et al. A global analysis of National Malaria Control Programme vector surveillance by elimination and control status in 2018. **Malaria Journal**, v.18, n.399, 2019.
- CARLOS, B. C. et al. A comprehensive analysis of malaria transmission in Brazil. **Pathogens and Global Health**, v. 113, n. 1, p. 1-13, 2019.
- CHARLWOOD, J. D. et al. The swarming and mating behaviour of *Anopheles gambiae* s.s (Diptera: Culicidae) from Sao Tome Island. **Journal of Vector Ecology**, v. 27, p. 178-183, 2002.

CHAVES, L. S. M. et al. Global consumption and international trade in deforestation-associated commodities could influence malaria risk. **Nature Communications**, v.11, n. 1258, 2020 e 10.1038/s41467-020-14954-1.

CHAVES, L. S. M. et al. *Kerteszia* Theobald (Diptera: Culicidae) mosquitoes and bromeliads: a landscape ecology approach regarding two species in the Atlantic rainforest. **Acta tropica**, v. 164, p. 303-313, 2016.

COHNSTAEDT, L.; GILLEN, J. I.; MUNSTERMANN, L. E. Light-Emitting Diode technology improves insect trapping. **Journal American Mosquito Association**, v. 24, n.2, p. 331-334, 2008.

CONN, J. E. et al. Emergence of a new neotropical malaria vector facilitated by human migration and changes in land use. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**

CONN, J. E.; RIBOLLA, P. E. Ecology of *Anopheles darlingi*, the Primary Malaria Vector in the Americas and Current Nongenetic Methods of Vector Control. **Genetic control of malaria and dengue**, p. 81-102, 2016 e10.1016/B978-0-12-800246-9.00005-3.

CONSOLI, R. A. G. B. OLIVEIRA, R. L. Principais Mosquitos de Importância Sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: **Editora Fiocruz**, p.1-224,1994.

COSTA-NETA, B. M et al. The evening crepuscular host-seeking activity of *Anopheles* mosquitoes in northeast Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.20, n.20, p. 1-8, 2023.

COSTA-NETA, B. M. et al. Centers for Disease Control-type light traps equipped with high-intensity light-emitting diodes as light sources for monitoring *Anopheles* mosquitoes. **Acta Tropica**, v.18, p.61–63, 2018.

COSTA-NETA, B. M. et al. Light-Emitting Diode (LED) Traps Improve the Light-Trapping of Anopheline Mosquitoes. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, p.1699–1703, 2017.

COSTANTINI, C. et al. Mosquito responses to carbon dioxide in a West African savanna village. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 10, p. 220-27, 1996.

COSTANTINI, C. et al. Odor-mediated host preferences of West African mosquitoes, with particular reference to malaria vectors. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, v. 58, n. 1, p. 56-63, 1998.

- DA SILVA, A. A. et al. Exploiting the Synergistic Effect of Kairomones and Light-Emitting Diodes on the Attraction of Phlebotomine Sand Flies to Light Traps in Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.56, n.5, p.1441-1445, 2019.
- DA SILVA, A. A. et al. Influence of moonlight on light-emitting diode trap catches of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae). **Entomological News**, v. 129, n.1, 2020.
- DAVIS, J. R. et al. Comparison of sampling anopheline mosquitoes by light-trap and human-bait collections indoors at Bagamoyo, Tanzania. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 9, n. 3, p. 249-255, 1995.
- DEANE, L. M. Malaria vectors in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 81, p. 5-14, 1986.
- DEANE, L. M.; CAUSEY, O. R., DEANE, M. P. Notas sobre a distribuição e a biologia dos Anofelinos das regiões Nordeste e Amazônica do Brasil. **Revista do Serviço Especial de Saúde Pública**, v. 1, n. 4, p. 827 - 965, 1948.
- DEGENER, C. M. et al. Evaluation of the new modular Biogents BG-pro mosquito trap in comparison to CDC, EVS, BG-Sentinel, and BG- Mosquitare traps. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v.37, n.4, p. 224–241, 2021.
- DEPINAY, J. O. et al. A simulation model of African Anopheles ecology and population dynamics for the analysis of malaria transmission. **Malaria Journal**, v.3, n.29, 2004 e 10.1186/1475-2875-3-29.
- DOS REIS, I. et al. Contribution of fish farming ponds to the production of immature *Anopheles* spp. in a malaria-endemic Amazonian town. **Malaria Journal**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2015.
- FERREIRA, M. U.; CASTRO, M. C. Challenges for malaria elimination in Brazil. **Malaria Journal**, v.13, p. 2-14, 2016.
- FERREIRA, S. R.; LUZ, E. Malária no Estado do Paraná Aspectos históricos e prognose. **Acta Biológica Paranaense**, v. 32, 2003.
- FIGUEIREDO, M. A. P. et al. Molecular identification of Plasmodium spp. and blood meal sources of anophelines in environmental reserves on São Luís Island, state of Maranhão, Brazil. **Parasites & Vectors**, v.10, n.203, p. 1-9, 2017.

- FLORES-MENDOZA, C. F.; LOURENÇO DE OLIVEIRA, R. Bionomics of *Anopheles aquasalis* Curry 1932, in Guaraí, State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. I. Distribution and Parity rates. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, v. 91, n. 3, p. 265-270, 1996.
- FORNACE, K. M. et al. No evidence of sustained nonzoonotic *Plasmodium knowlesi* transmission in Malaysia from modelling malaria case data. **Nature Communications**, v.14, n.2945, 2023 e 10.1038/s41467-023-38476-8.
- FOSTER, W. A. Mosquito sugar feeding and reproductive energetics. **Annual Review of Entomology**, v. 40, n. 1, p. 443-474, 1995.
- GALANTE, G. R. et al. Survival of the Immature Stages of the Malaria Vectors *Anopheles pseudopunctipennis* and *Anopheles argyritarsis* (Diptera: Culicidae) in Northwestern Argentina. **Florida Entomologist**, v.97, n.1, p. 191-202, 2014.
- GAMA, R. A. et al. Avaliação da armadilha HP iscada com diferentes taxas de liberação de octenol na captura de anofelinos (Diptera: Culicidae) em Brejo do Mutambal, Município de Varzelândia, Estado de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 40, n. 4, p. 408-410, 2007.
- GAMA, R. A. et al. Development of the BG-malaria trap as an alternative to human landing catches for the capture of *anopheles darlingi*. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, v. 108 n.6, p. 763-771, 2013.
- GATTON, M. L. et al. The importance of mosquito behavioural adaptations to malaria control in Africa. **Evolution: International Journal of Organic Evolution**, v. 67, n. 4, p. 1218-1230, 2013.
- GODFRAY, H. C. J. Mosquito ecology and control of malaria. **Journal of Animal Ecology**, v. 82, p. 15- 25, 2013.
- GUEYE, C. S. et al. Strategies and approaches to vector control in nine malaria-eliminating countries: a cross-case study analysis. **Malaria Journal**, v. 15, n. 1, p. 1-14, 2016.
- HARBACH, R. E. An *Anopheles* by Any Other Name ...?. **Journal of Medical Entomology**, v.55, p.1069-1070, 2018.
- HARBACH, R. E. **Mosquito Taxonomic Inventory. 2023. Disponível em:** <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/simpletaxonomy/term/6045/>

- HARBACH, R. E.; HOWARD, T. M. Review of the genus *Chagasia* (Diptera: Culicidae: Anophelinae). **Zootaxa**, v. 2210, n. 1, p. 1–25–1–25, 2009.
- HARBACH, R. E.; KITCHING, I J. The phylogeny of Anophelinae revisited: inferences about the origin and classification of *Anopheles* (Diptera: Culicidae). **Zoologica Scripta**, v. 45, n. 1, p. 34-47, 2016.
- HISCOX, A. et al. Development and optimization of the Suna trap as a tool for mosquito monitoring and control. **Malaria Journal**, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2014.
- HIWAT, H. BRETAS, G. Ecology of *Anopheles darlingi* Root with respectto vector importance: a review. **Parasites Vectors**, v.4, p. 2-13, 2011.
- KESSLER, S.; VLIANT, M.; GUERIN, P. M. Sugar-sensitive neurone responses and sugar feeding preferences influence lifespan and biting behaviours of the Afrotropical malaria mosquito, *Anopheles gambiae*. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 201, n. 3, p. 317-329, 2015.
- KILLEEN, G. F. Control of malaria vectors and management of insecticide resistance through universal coverage with next-generation insecticide-treated nets. **Lancet**, v. 395, p.1394–40, 2020.
- KIM, K. N.; HUANG, Q. Y.; LEI, C. L. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. **Pest Management Science**, v. 75, n. 12, p. 3135-3143, 2019.
- KIM, M. G.; YANG, J. Y.; LEE, H. S. Phototactic behavior: Repellent effects of cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), to light-emitting diodes. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 56, n. 3, p. 331-333, 2013.
- KISINZA, W. N. et al. Multiple insecticide resistance in *Anopheles gambiae* from Tanzania: a major concern for malaria vector control. **Malaria Journal**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.
- KNOLS, B. G. J. et al. Eave tubes for malaria control in Africa: an introduction. **Malaria Journal**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2016
- LALLOO, D. G. et al. UK malaria treatment guidelines 2016. **Journal of Infection**, v. 72, n. 6, p. 635-649, 2016.
- LAPORTA, G. Z. et al. Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2015.

- LIMA, J. B. P. et al. Is there an efficient trap or collection method for sampling *Anopheles darlingi* and other malaria vectors that can describe the essential parameters affecting transmission dynamics as effectively as human landing catches? – A review. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 109, n. 5, p. 685-705, 2014.
- LIMA-NETO, A. R. et al. The effect of luminous intensity on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps. **Journal of Medical Entomology**, v.55, p.731-734, 2018.
- LYIMO, I. N.; FERGUSON, H. M. Ecological and evolutionary determinants of host species choice in mosquito vectors. **Trends in Parasitology**, v. 25, n. 4, p. 189-196, 2009.
- MACDONALD, A. J.; MORDECAI, E. A. Amazon deforestation drives malaria transmission, and malaria burden reduces forest clearing. **PNAS**, v. 116, n. 44, p. 22212–22218, 2019.
- MAGBITY, E. B. et al. How reliable are light traps in estimating biting rates of adult *Anopheles gambiae* sl (Diptera: Culicidae) in the presence of treated bed nets?. **Bulletin of Entomological Research**, v. 92, n. 1, p. 71-76, 2002.
- MANN, R. S.; KAUFMAN, P. E.; BUTLER, J. F. *Lutzomyia* spp. (Diptera: Psychodidae) response to olfactory attractant-and light emitting diode-modified Mosquito Magnet X (MM-X) traps. **Journal of Medical Entomology**, v. 46, n. 5, p. 1052-1061, 2009.
- MARRELLI, M. T. et al. Transgenic malaria-resistant mosquitoes have a fitness advantage when feeding on Plasmodium-infected blood. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 13, p. 5580-5583, 2007.
- MBURU, M. M. et al. Assessment of the Suna trap for sampling mosquitoes indoors and outdoors. **Malaria journal**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 2019.
- MBURU, M. M. et al. 2-Butanone as a carbon dioxide mimic in attractant blends for the Afrotropical malaria mosquitoes *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*. **Malaria Journal**, v.16, p. 2-9, 2017.
- MCPHATTER, L.; GERRY, A. C. Effect of CO₂ concentration on mosquito collection rate using odor-baited suction traps. **Journal of Vector Ecology**, v. 42, n. 1, p. 44-50, 2017.
- MEIJERINK, J. et al. Identification of olfactory stimulants for *Anopheles gambiae* from human sweat samples. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, n. 6, p. 1367-1382, 2000.

- MESSENGER, L. A. et al. Effects of next-generation, dual-active-ingredient, longlasting insecticidal net deployment on insecticide resistance in malaria vectors in Tanzania: an analysis of a 3-year, cluster-randomised controlled trial. **Lancet Planet Health**, v. 7, p.673-683, 2023.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, SECRETARIA DE V. EM SAÚDE. **Dia mundial da luta contra a malária**. Boletim Epidemiológico, v. 52, n. 15, p. 3-27, 2021a.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, SECRETARIA DE V. EM SAÚDE. **Guia de tratamento da malária no Brasil**. Boletim Epidemiológico, p. 76, 2020.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, SECRETARIA DE V. EM SAÚDE. **Malária 2021**. Boletim Epidemiológico, p. 11-98, 2021b.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Panorama epidemiológico da malária em 2021: buscando o caminho para a eliminação da malária no Brasil. **Secretaria de Vigilância em Saúde**. 2022
- MORDECAI, E. A. et al. Thermal biology of mosquito-borne disease. **Ecology Letters**, 2017 e 10.1111/ele.13335.
- MWANGA, E. P. et al. Evaluation of an ultraviolet LED trap for catching *Anopheles* and *Culex* mosquitoes in south-eastern Tanzania. **Parasites & Vectors**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2019.
- OLIVEIRA-PEREIRA, Y. N.; REBÊLO, J. M. M. Espécies de *Anopheles* no município de Pinheiro (Maranhão), área endêmica de malária. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 33, p. 443-450, 2000.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Estratégia Técnica Mundial para o Paludismo 2016–2030. P. 1-30, 2015. Acessado em: 22/02/2022. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/176712/9789248564994_por.pdf&ua=1&ua=1?sequence
- PARK, J. H.; LEE, H. S. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). **Applied Biological Chemistry**, v. 60, n. 2, p. 137-144, 2017.
- PHILLIPS, M. A. et al. Malaria. **Nature Reviews Disease Primers**, v.3, p.1-24, 2017.
- PONLAWAT, A. et. Field evaluation of two commercial mosquito traps baited with different attractants and colored lights for malaria vector surveillance in Thailand. **Parasites Vectors**, v.10, p.2-9, 2017.

- PUGEDO, H. et al. HP: um modelo aprimorado de armadilha luminosa de sucção para a captura de pequenos insetos. **Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 38, n.1, p.70-72, 2005.
- REBÊLO, J. M. M. et al. Distribuição das espécies do gênero *Anopheles* (Diptera, Culicidae) no Estado do Maranhão, Brasil. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.23, n.12, p. 2959-2971, 2007.
- RECHT, Judith et al. Malaria in Brazil, Colombia, Peru and Venezuela: current challenges in malaria control and elimination. **Malaria Journal**, v. 16, n. 1, p. 1-18, 2017.
- REDDY, M. R. et al. Outdoor host seeking behaviour of *Anopheles gambiae* mosquitoes following initiation of malaria vector control on Bioko Island, Equatorial Guinea. **Malaria Journal**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2011.
- REINER JR, et al. A systematic review of mathematical models of mosquito-borne pathogen transmission: 1970–2010. **Journal of the Royal Society Interface**, v.10, n.81, 2013 e 2012.0921.
- REZENDE, H. R. et al. Entomological Characterization and Natural Infection of Anophelines in an Area of the Atlantic Forest with Autochthonous Malaria Cases in Mountainous Region of Espírito Santo State, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 2, p. 272-280, 2009.
- ROSSATI, A. et al. Climate, environment and transmission of malaria. **Le Infezioni in Medicina**, n.2, p.93-104, 2016.
- RUBIO-PALIS, Y. et al. Can Mosquito Magnet® substitute for human-landing catches to sample anopheline populations?. **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 107, p. 546-549, 2012.
- RUFALCO-MOUTINHO, P. et al. Ecology and larval population dynamics of the primary malaria vector *Nyssorhynchus darlingi* in a high transmission setting dominated by fish farming in western Amazonian Brazil. **Plos One**, v.16, n.4, p. 1-22, 2021 e0246215.
- SALLUM, M. A. M. et al. Vector competence, vectorial capacity of *Nyssorhynchus darlingi* and the basic reproduction number of *Plasmodium vivax* in agricultural settlements in the Amazonian Region of Brazil. **Malaria Journal**, v. 18, n. 117, 2019 e 10.1186/s12936-019-2753-7.

SÁNCHEZ-RIBAS, J. et al. Environmental variables associated with anopheline larvae distribution and abundance in Yanomami villages within unaltered areas of the Brazilian Amazon. **Parasites & Vectors**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2017.

SHAPIRO, L. L. M.; WHITEHEAD, S. A.; THOMAS, M. B. Quantifying the effects of temperature on mosquito and parasite traits that determine the transmission potential of human malaria. **PLOS Biology**, v.15, v. 10, 2017 e 2003489.

SHARP, P. M.; PLENDERLEITH, L. J.; HAHN, B. H. Ape Origins of Human Malaria. **Annual Review of Microbiology**, v.74, p. 39–63, 2020 e 020518-115628.

SHIMODA, M.; HONDA, K. Insect reactions to light and its applications to pest management. **Applied Entomology and Zoology**, v. 48, n. 4, p. 413-421, 2013.

SILVA, F. S. et al. Evaluation of light-emitting diode as attractant for sand flies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in northeastern Brazil. **Memória Instituto Oswaldo Cruz**, v.110, n. 6, p. 801- 803, 2015b.

SILVA, F. S. et al. Field performance of an efficient, low cost, simple-to-build, non motorized Light-Emitting Diode (LED) trap for capturing adult *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae). **Acta Tropica**, v.190, p. 9-12, 2019.

SILVA, F. S.; BRITO, J. M.; COSTA-NETA, B. M. Field Evaluation of Light-Emitting Diode as Attractant for Blood-Sucking Midges of the Genus *Culicoides* Latreille (Diptera: Culicomorpha, Ceratopogonidae) in the Brazilian Savanna. **Entomological News**. 2015a; 125(1): 1-6.

SILVA, F. S.; DA SILVA, A. A.; REBÊLO, J. M. M. An Evaluation of Light-Emitting Diode (LED) Traps at Capturing Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in a Livestock Area in Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.53, n. 3, p. 1-5, 2016.

SILVA, J. S. et al. Mosquito fauna of the Guapiaçu Ecological Reserve, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brazil, collected under the influence of different color CDC light traps. **Journal of Vector Ecology**, v. 39, n. 2, p. 384-394, 2014.

SILVA-VASCONCELOS, A. D. et al. Biting indices, host-seeking activity and natural infection rates of anopheline species in Boa Vista, Roraima, Brazil from 1996 to 1998. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 97, p. 151-161, 2002.

SINGH, B. DANESHVAR, C. Human Infections and Detection of Plasmodium knowlesi. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 26, n. 2, p. 165–184, 2013.

SINKA, M. E. et al. A global map of dominant malaria vectors. **Parasites Vectors**, v.5, p.3-11, 2012.

SMITH, D. L. et al. Recasting the theory of mosquito-borne pathogen transmission dynamics and control. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v.108, p. 185-197, 2014.

SMITH, D. L. et al. Ross, Macdonald, and a Theory for the Dynamics and Control of Mosquito-Transmitted Pathogens. **PLoS Pathogens**, v.8, n.4, 2012 e1002588.

SUDIA, W. D. CHAMBERLAIN, R. W. Battery-operated light trap, an improved model. **Mosquito News**, v. 22 p. 126-9, 1962.

TADEI, W. P et al. Biologia de anofelinos amazônicos. XII Ocorrência de espécies de *Anopheles*, dinâmica da transmissão e controle da malária na zona urbana de Ariquemes (Rondônia). **Revista Instituto Medicina Tropical**, v. 30, p. 221-251, 1988.

TADEI, W. P. et al. Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian Amazon. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 59, n. 2, p. 325-335, 1998.

TADEI, W. P.; DUTARY THATCHER, B. Malaria vectors in the Brazilian Amazon: *Anopheles* of the subgenus Nyssorhynchus. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 42, p. 87-94, 2000.

TADEI, W. P.; MASCARENHAS, B. M.; PODESTÁ, M. G. Biologia de anofelinos amazônicos. VIII. Conhecimentos sobre a distribuição de espécies de *Anopheles* na região de Tucuruí-Marabá (Pará). **Acta Amazonica**, v. 13, p. 103-140, 1983.

TAKKEN, W. The role of olfaction in host-seeking of mosquitoes: a review. **Insect Science and its Application**, v. 12, n. 3, p. 287-295, 1991.

TAKKEN, W.; KNOLS, B. G. J. Odor-mediated behavior of Afrotropical malaria mosquitoes. **Annual Review of Entomology**, v. 44, n. 1, p. 131-157, 1999.

v.66, n.1, p. 18-22, 2002

VERHULST, N. O. et al. Composition of human skin microbiota affects attractiveness to malaria mosquitoes. **PloS One**, v. 6, n. 12, p. e28991, 2011.

VITTOR, A. Y. et al. Linking deforestation to malaria in the Amazon: characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi*. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 81, n. 1, p. 5, 2009.

WANJALA, C. L. et al. Insecticidal decay effects of long-lasting insecticide nets and indoor residual spraying on *Anopheles gambiae* and *Anopheles arabiensis* in Western Kenya. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2015.

WILLIAMS, C. R. et al. Adult mosquito trap sensitivity for detecting exotic mosquito incursions and eradication: a study using EVS traps and the Australian southern saltmarsh mosquito, *Aedes camptorhynchus*. **Journal of Vector Ecology**, v. 37, n. 1, p. 110-116, 2012.

WILTON, D. P.; FAY, R. W. Responses of adult *Anopheles stephens* to light of various wavelengths. **Journal of Medical Entomology**, v. 9, p. 301-304, 1972.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Recommends groundbreaking malaria vaccine for children at risk**. Acessado em: 06/09/2023. Disponível em: 28/09/2023. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/06-10-2021-who-recommends-groundbreaking-malaria-vaccine-for-children-at-risk>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Word Guidelines for malaria**. Acessado em : 20/09/2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/guidelines-for-malaria>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Malaria 2020. Acessado em: 21/01/2022. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2020>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2017**. Acessado em: 16/01/2022. Disponível em: https://reliefweb.int/report/world/world-malaria-report-2017?gclid=EAIaIQobChMIy9yV3p6cwIVwhXUAR20lAFnEAAYAiAAEgK76_DwE

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2019**. Acessado em: 19/01/2022. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2019>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2021**. Acessado em: 29/02/2022. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2021>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2022**. Acessado em: 06/09/2023. Disponível em: <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2022>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO recommends R21/Matrix-M vaccine for malaria prevention in updated advice on immunization**. Acessado em: 04/10/2023. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/02-10-2023-who-recommends-r21-matrix-m-vaccine-for-malaria-prevention-in-updated-advice-on-immunization>

YERLIKAYA, S.; CAMPILLO, A.; GONZALEZ, I. J. A systematic review: performance of rapid diagnostic tests for the detection of *Plasmodium knowlesi*, *Plasmodium malariae*, and *Plasmodium ovale* mono infections in human blood. **The Journal of Infectious Diseases**, v. 218, n. 2, p. 265-276, 2018.

YUVAL, B.; WEKESA, J. W.; WASHINO, R. K. Effect of body size on swarming behavior and mating success of male *Anopheles freeborni* (Diptera: Culicidae). **Journal of Insect Behavior**, v. 6, n. 3, p. 333-342, 1993.

ZAW, M. T.; LIN, Z. Human *Plasmodium knowlesi* infections in South-East Asian countries. **Journal of Microbiology, Immunology and Infection**, v. 52, n. 5, p. 679-684, 2019.

ZHOU, R. et al. Characterization of *Plasmodium ovale* spp. imported from Africa to Henan Province, China. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.

ZIMMERMAN, R. H. et al. Nightly biting cycles of malaria vectors in a heterogeneous transmission area of eastern Amazonian Brazil. **Malaria Journal**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 2013.

ZWIEBEL, L. J.; TAKKEN, W. Olfactory regulation of mosquito–host interactions. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 34, n.7, p. 645–652, 2004.

ANEXOS

ARTIGO PUBLICADO DA TESE E DURANTE O DOUTORADO

Journal of Medical Entomology, XX(XX), 2023, 1–8
<https://doi.org/10.1093/jme/tjad071>
 Research



ENTOMOLOGICAL
 SOCIETY OF AMERICA
 SHARING INSECT SCIENCE GLOBALLY

OXFORD

Vector Control, Pest Management, Resistance, Repellents

The evening crepuscular host-seeking activity of *Anopheles* mosquitoes in northeast Brazil

Benedita Maria Costa-Neta^{1,2,*}, Francisca Claudia da Silva de Sousa³,
 Eudimara Carvalho de Araújo¹, Joany da Costa Viana¹, Jefferson Mesquita Brito^{1,*},
 Francinaldo Soares Silva^{1,2,4,5}

¹Laboratório de Entomologia Médica, Centro de Ciências de Chapadinda, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinda, MA 65500-000, Brazil, ²Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, Maranhão, Brazil, ³Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Centro de Ciências de Chapadinda, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65500-000, Chapadinda, MA, Brazil ⁴Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Ciências de Chapadinda, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65500-000, Chapadinda, MA, Brazil, ⁵Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, MA, Brazil, *Corresponding author, mail: beneditabio@hotmail.com

Subject Editor: Maria Anice Sallum

Received on 18 January 2023; revised on 10 May 2023; accepted on 9 June 2023

Studies on the timing of anopheline host-seeking are important for understanding mosquito ecology, behaviors, and possible role in disease transmission. To study the evening crepuscular host-seeking activity of anophelines and the effects of moonlight, anopheline mosquitoes were collected with light traps settled in a livestock area in the Brazilian Cerrado region. Traps (Silva traps) were placed next to animal enclosures at 1.5 m asl. The research was divided in 2 experiments: the first experiment (12 nights) comprised 2 trapping periods, one from 6 PM to 7 PM and one from 7 PM to 6 AM, and the second experiment (16 evenings) divided in three 20-min intervals based on the 3 twilight phases (civil: 6–6:20 PM; nautical: 6:20–6:40 PM; and astronomical: 6:40–7 PM). A total of 2,815 anopheline mosquitoes and 9 species were found. The main species were *Anopheles triannulatus* s.l., *An. argyritarsis*, *An. goeldii*, and *An. evanse*. Host-seeking mosquitoes were more frequently active during the first hour after sunset, with a significant peak in the second 20-min interval. After that, a decrease in the number of individuals was observed from the astronomical twilight onwards. Moonlight did not affect the evening flight activity of anophelines. By using LED-based passive light traps, the evening arrival time of anophelines at blood-feeding sites was demonstrated, and it may be a key time window for malaria vector control interventions.

Key words: Culicidae, light traps, lunar illumination, flight activity, twilight

RESEARCH



Effect of ultraviolet LED and trap height on catches of host-seeking anopheline mosquitoes by using a low-cost passive light trap in northeast Brazil

Eudimara Carvalho de Araújo^{1,2} · Benedita Maria Costa Neta^{1,2} · Jefferson Mesquita Brito¹ · Francinaldo Soares Silva^{1,2,3,4}

Received: 27 November 2022 / Accepted: 28 March 2023
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2023

Abstract

Light traps have been widely used for monitoring malaria vectors, although drawbacks remain. In this context, new tools and attractants are always becoming available to perform monitoring tasks, like the Silva trap, a passive and low-cost LED-light trap for host-seeking anopheline mosquitoes. In this work, the effectiveness of the Silva trap by using UV-LED and at different heights as well as a comparison with the conventional CDC-type (HP) light trap was studied. A total of 9009 mosquitoes and nine species were caught, *Anopheles triannulatus*, *An. argyritarsis*, and *An. goeldii* being the most frequent species. The green (520 nm) and blue (470 nm) LEDs attracted almost equal numbers of anopheline mosquitoes, but UV LEDs (395 nm) attracted a significantly lower number of individuals (Kruskal–Wallis = 19.68, $P = 0.0001$). Even with the predominance of mosquitoes trapped at the height of 1.5 m, no significant statistical difference was found among the four heights tested (0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m). Green-baited Silva traps collected significantly more individuals than incandescent-baited CDC-type traps ($U = 60.5$; $P = 0.0303$). LEDs have been useful as light sources for attracting insect vectors and together with a low-cost trap, as the Silva trap, a feasible alternative to conventional trap-based monitoring *Anopheles* mosquitoes that can be implemented in the field.

Keywords Light traps · Flight activity · Vector ecology · Wavelength

Acta Tropica 190 (2019) 9–12



Contents lists available at ScienceDirect

Acta Tropica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/actatropica



Field performance of a low cost, simple-to-build, non-motorized light-emitting diode (LED) trap for capturing adult *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae)



Francinaldo Soares Silva^{a,b,c,*}, Benedita Maria Costa-Neta^{a,b}, Mayara de Sousa de Almeida^a, Eudimara Carvalho de Araújo^a, João Vitor Castro Aguiar^a

^aLaboratory of Medical Entomology, Center for Agrarian and Environmental Sciences, Federal University of Maranhão, Chapadão, MA, 65500-000, Brazil

^bPrograma de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, Maranhão, Brazil

^cPrograma de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, Maranhão, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords
Sampling methods
Anopheline mosquitoes
Malaria surveillance
Silva trap

ABSTRACT

In this paper, a non-powered trap equipped with light-emitting diodes (LEDs) designed for capturing small night-flying insects was field-evaluated for sampling anopheline mosquitoes. This new light trap, referred to as the Silva trap, was compared with the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) miniature light trap in a livestock area in northeastern Brazil. Light traps were operated from 18:00 to 06:00 between July and August 2018, over a 12-night period. A total of 3124 specimens and eight species were collected. *Anopheles (Nyssorhynchus) argyritarsis* was the prevalent species, followed by *A. (Nys) triannulatus* s.l., *A. (Nys) goeldii*, *A. (Nys) evansae*, *A. (Nys) rangeli*, *A. (Nys) galvaoi*, *A. (Nys) darlingi* and *A. (Nys) albipennis* s.l. The total number of anopheline mosquitoes captured with the Silva trap was higher than the number of individuals captured with the CDC light trap, but no significant difference between the two trapping methods was found. Concerning the damaged specimens, the Silva trap damaged significantly less mosquitoes than the CDC light trap. According to these results, the Silva trap has acceptable performance in being an efficient tool for sampling anopheline mosquitoes, mainly in comparison with the CDC light trap. The Silva trap has a number of advantages over other trapping devices that collect questing mosquitoes and these advantages are pointed out and discussed.

Influence of Moonlight on Male Mating Aggregations of *Nyssomyia whitmani*, a Vector of American Cutaneous Leishmaniasis in Brazil

Gildene Silva Brito,^{1,2} João Vitor Castro Aguiar,¹ Mayara de Sousa de Almeida,¹ Islana Silva Ponte,¹ Benedita Maria Costa Neta,^{1,3} and Francinaldo Soares Silva^{1,2,3,4,5,6}

¹Laboratory of Medical Entomology, Center for Agrarian and Environmental Sciences, Federal University of Maranhão, CEP: 65500-000, Chapadinha, MA, Brazil, ²Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, MA, Brazil, ³Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, CEP: 65080-805, São Luís, MA, Brazil, ⁴Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Center for Agrarian and Environmental Sciences, Federal University of Maranhão, CEP: 65500-000, Chapadinha, MA, Brazil, and ⁵Corresponding author, e-mail: francinaldo.silva@ufma.br

Subject Editor: Richard Johnson

Received 19 December 2019; Editorial decision 16 February 2020

Abstract

Nyssomyia whitmani (Antunes & Coutinho) is the sandfly vector of causative agents of American cutaneous leishmaniasis in South and Central America. It is widely spread throughout Brazil, in a close association with domestic animals. Almost nothing is known about male mating aggregations in *N. whitmani*, let alone the influence of moonlight on this behavior. Thus, the influence of moonlight on male *N. whitmani* aggregations was investigated by using non-attractant suction traps deployed in chicken cages under full moon and new moon nights. In this 18-night study, 2,160 specimens and seven species were collected. The most frequent species was *N. whitmani* accounting for 91.48% of the total sample. The abundance of males of *N. whitmani* was significantly higher in the presence than in the absence of moon. The sex ratio on new moon nights was 1:1 (M:F) and on full moon nights was male-biased (1.7:1). Based on this study, an influence of moonlight on male mating aggregations of *N. whitmani* was verified. The extent of this influence on increasing sandfly aggregation at hosts, the moonlight influence on the early flight activity of male sandflies and the use of chickens as aggregation sites for males of *N. whitmani*, are all discussed.

Key words: *Nyssomyia*, leishmaniasis, sandfly, sex ratio, vector control

INFLUENCE OF MOONLIGHT ON LIGHT-EMITTING DIODE TRAP CATCHES OF PHLEBOTOMINE SAND FLIES (DIPTERA: PSYCHODIDAE)¹

Apoliana Araújo da Silva,^{2,3} Benedita Maria Costa-Neta,^{2,3} and Francinaldo Soares Silva^{2,3,4}

ABSTRACT: The influence of moonlight on light-emitting diode (LED) trap catches of sand flies was evaluated compared with incandescent lamps used in standard CDC-type light traps. A total of six Hoover Pugedo (HP) CDC-type light traps were used for sampling sand flies in a randomized 3x3 Latin Square design. Light traps were set during full and new moon periods from July to September, 2015 and from February to March, 2016. Four of the six light traps had their incandescent lamps replaced by LEDs. The green (520 nm) and the blue LEDs (470 nm) were the 5 mm LED lamps used in the experiments. The two remaining HP light traps without modifications were used as controls. A total of 2,968 specimens representing 13 species were analyzed. The most frequently-encountered species were: *Evandromyia evandroi* Costa Lima & Antunes, *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva) and *Nyssomyia whitmani* (Antunes & Coutinho). Generally, catch declined with increasing moonlight. The number of specimens was greater on new moon nights, whatever the light source used. Even with the decrease of the attractiveness of light traps under the full moon, LEDs are less affected than incandescent lights by the competitive effect of moonlight.

KEY WORDS: light trapping, moonlight, *Nyssomyia whitmani*, vector control

ARTIGOS ACEITO

Field evaluation of a new suction light trap for the capture of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vectors of leishmaniasis.

Revista: Parasitology Research

ARTIGO SUBMETIDO

Field comparison of broad-spectrum white LED-baited traps with narrow-spectrum green LED-baited traps in the capture of *Anopheles* mosquitoes (Diptera: Culicidae).

Revista: Parasitology Research