

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ANDREA LEONICE PEREIRA DOS SANTOS

***Atraindo *Aedes aegypti* com smartphones
através de sua frequência sonora***

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. Weverton Cordeiro
Co-orientador: Profa. Dra. Onilda Santos da Silva

Porto Alegre
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Prof^a. Patricia Helena Lucas Pranke

Pró-Reitora de Ensino (Graduação e Pós-Graduação): Prof^a. Cíntia Inês Boll

Diretora do Instituto de Informática: Prof^a. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Diretora da Escola de Engenharia: Prof^a. Carla Schwengber Ten Caten

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: Prof. Cláudio Machado Diniz

Bibliotecário-Chefe do Instituto de Informática: Alexsander Borges Ribeiro

Bibliotecária-Chefe da Escola de Engenharia: Rosane Beatriz Allegretti Borges

RESUMO

Com o passar dos anos do *Aedes aegypti*, tornou-se uma das maiores preocupações da saúde pública, já que é responsável por transmitir arboviroses como a dengue, febre amarela, Chikungunya e Zika. O desenvolvimento de metodologias para atrair e combater essa espécie de mosquito é explorado em diversas modalidades como sonoras, olfativas e visuais. Porém, podem demandar gastos em recursos financeiros ou limitações logísticas. Por isso, nesta pesquisa foi desenvolvida uma aplicação para *smartphones* capaz de atrair o mosquito da dengue (*Ae. aegypti*) sonoramente, através da reprodução das frequências do bater de suas asas. A metodologia, implicou em diversos testes em laboratório em que se avaliou a eficácia da aplicação. A solução deste problema contribui para o aumento da eficiência de armadilhas desenvolvidas para conter o mosquito. Também pode ser um avanço tecnológico para os agentes de saúde responsáveis por realizar o combate ao mosquito. A aplicação não utilizará recursos extras além do próprio *smartphone* do usuário e poderá ser utilizada em conjunto com outra aplicação para identificar o mosquito. Da mesma, o usuário deverá ter conhecimento e cuidados ao utilizar o aplicativo, considerando que poderá estar se expondo a picadas dos mosquitos.

Palavras-chave:

aedes aegypti. atração. celulares. frequência. aplicativo.

ABSTRACT

Over the years, *Aedes aegypti* has become one of the greatest public health concerns, as it is responsible for transmitting arboviruses such as dengue, yellow fever, Chikungunya and Zika. The development of methodologies to attract and combat this species of mosquito is explored in different ways, such as sound, smell and visual. However, they may require expenditures on financial resources or logistical limitations. Therefore, in this research an application was developed for *smartphones* capable of attracting the dengue mosquito (*Ae. aegypti*) by sound, by reproducing the frequencies of the beating of its wings. The methodology involved several tests in the laboratory in which the effectiveness of the application was evaluated. The solution to this problem contributes to increasing the efficiency of traps developed to contain the mosquito. It can also be a technological advance for the health agents responsible for combating the mosquito. The application will not use extra resources beyond the user's own *smartphone* and can be used in conjunction with another application to identify the mosquito. Likewise, the user must be aware and careful when using the application, considering that he may be exposed to mosquito bites.

Keywords: *aedes aegypti*. attraction. smartphone. frequency. application.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ae. *Aedes*

OMS Organização Mundial da Saúde

GAT Gravid Aedes Trap

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva epidêmica dos casos prováveis de dengue, por semanas epidemiológicas de início de sintomas, Brasil, 2019 a 2022	9
Figura 2.1 Novas tecnologias aplicadas como estratégia de controle	14
Figura 2.2 Estrutura auditiva de <i>Ae. aegypti</i> macho	15
Figura 2.3 Médias das frequências do bater de asas(Hz) de mosquitos <i>Ae.aegypti</i> encontradas em cada grupo de teste.	18
Figura 3.1 Percentual de mosquitos atraídos e não responsivos em bioensaios competitivos com estímulos naturais e químicos. As médias dos tratamentos foram comparadas por testes t pareados ($P < 0,05$).....	20
Figura 4.1 Esquemático das camadas de reprodução de áudio no <i>Android</i>	25
Figura 4.2 Visão Geral da Aplicação	28
Figura 5.1 Diagrama descrevendo a sequência de etapas para teste.	31
Figura 6.1 Gaiolas de <i>Ae. aegypti</i> , utilizadas no experimento (n=30 p/ gaiola)	33
Figura 6.2 Resultados utilizando o display desligado.	35
Figura 6.3 Resultados utilizando o display ligado	36
Figura 6.4 Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display desligado	36
Figura 6.5 Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display ligado	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Aplicativos Geradores de Frequência disponíveis para <i>Android</i>	27
Tabela 6.1	Parâmetro utilizados e resultados obtidos durante o teste inicial.	33
Tabela 6.2	Resultados encontrados durante os testes da reprodução da frequência sonora do mosquito fêmea, utilizando o <i>display</i> do aparelho desligado.....	34
Tabela 6.3	Resultados encontrados durante os testes da reprodução da frequência sonora do mosquito fêmea, utilizando o <i>display</i> do aparelho ligado.....	35
Tabela 6.4	Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o <i>display</i> desligado	37
Tabela 6.5	Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o <i>display</i> ligado	38

SUMÁRIO

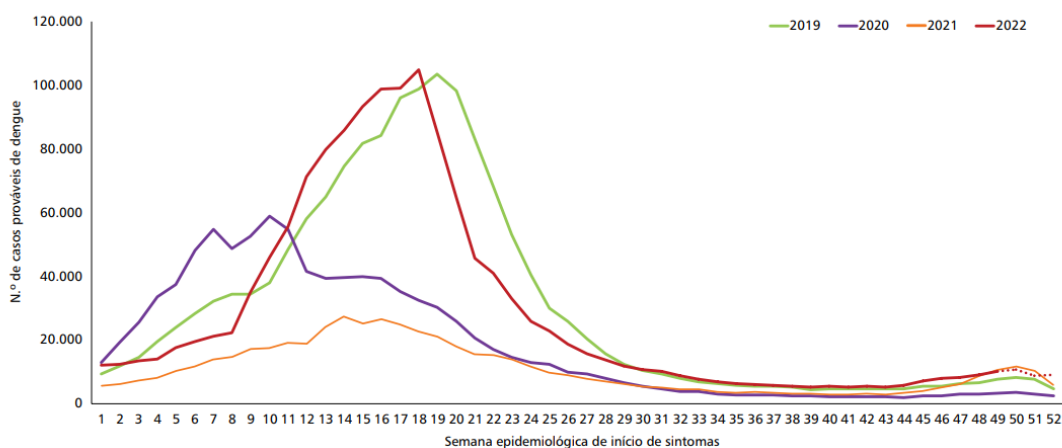
1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Estratégias de controle de <i>Ae. aegypti</i>	12
2.2 Audição e Frequência Sonora do Mosquito	15
2.2.1 Capacidade Auditiva dos Mosquitos	15
2.2.2 Frequências	16
2.2.2.1 Fatores Ambientais e Biológicos	17
3 TRABALHOS RELACIONADOS	19
3.1 Estímulos olfativos	19
3.2 Estímulos visuais	20
3.3 Estímulos sonoros	21
3.4 Identificação e Monitoramento	22
3.4.1 O uso da Inteligência Artificial	23
3.4.1.1 Pontos em desenvolvimento	23
4 DESENVOLVIMENTO	24
4.1 A Acústica dos <i>smartphones Android</i>	24
4.2 <i>AudioTrack</i>	25
4.2.1 Parâmetros	25
4.3 Gerador de Frequência	26
4.4 Implementação	27
4.4.1 Frequência	28
4.4.1.1 Valores dos parâmetros utilizados no <i>AudioTrack</i>	29
5 MATERIAIS E MÉTODOS	30
6 RESULTADOS	32
6.1 Testes Iniciais	32
6.2 Testes utilizando parâmetros pré-definidos	33
6.2.1 Atraindo <i>Ae. aegypti</i> Macho	34
6.2.2 Atraindo <i>Ae. aegypti</i> Fêmea	36
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
7.1 Limitações	39
7.2 Trabalhos Futuros	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Ae. aegypti é o mosquito responsável por transmitir arbovírus como dengue, febre amarela, Chikungunya e Zika (LIMA; SILVA; SOUZA, 2021). Apesar de tanto machos como fêmeas poderem ter contato com o vírus, a transmissão para os humanos se dá através da picada da fêmea de *Ae. Aegypti* que, de acordo com (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994, p. 113) somente a fêmea precisa se alimentar de sangue para a produção e desenvolvimento de seus ovos. Para o metabolismo básico ambos se alimentam de sucos vegetais, de onde retiram a energia para a vida.

A dengue é uma doença que está presente em mais de 128 países, causando cerca de 390 milhões de infecções em todo o mundo a cada ano (OMS, 2023). O aumento das epidemias de dengue no mundo, nas últimas décadas, fez com que em 2019 a OMS incluisse o vírus da dengue como uma das 10 principais ameaças para a saúde pública do mundo (OMS, 2020). Somente no ano de 2022, no Brasil foram registrados 1.450.270 casos prováveis de dengue. Uma redução de 6,2% em relação a 2019, porém, um aumento de 162,5% em relação a 2021 [Figura 1.1], conforme o boletim epidemiológico v.54 emitido pelo Ministério da Saúde (SAUDE, 2023).

Figura 1.1: Curva epidêmica dos casos prováveis de dengue, por semanas epidemiológicas de início de sintomas, Brasil, 2019 a 2022



Fonte: Sinan Online (banco de dados atualizado em 2/1/2023). Dados sujeitos a alteração.

*Dados referentes a SE 52.

Fonte: Ministério da Saúde

A redução da infestação de *Ae. aegypti* é uma das principais medidas de prevenção e controle da dengue (ZARA et al., 2016). Controle este, que com o avanço da tecnologia ao longo dos anos, as armadilhas e o trabalho dos agentes comunitários de saúde podem se

tornar cada vez mais eficientes ao garantir a identificação correta de *Ae. aegypti*. Por isso, a utilização de inteligência artificial na identificação de mosquitos tem sido uma área de pesquisa promissora nos últimos anos. Diversos métodos de detecção, que utilizam visão computacional (ONG et al., 2021) e aprendizado de máquina (KISKIN, 2020), têm sido desenvolvidos para detectar os mosquitos da dengue de forma mais rápida e precisa. Porém, a eficácia destes métodos dependem diretamente do sucesso de atrair o mosquito. Dentre as estratégias conhecidas, estão a atração sonora (JOHNSON; RITCHIE, 2015), visual (DIABATE; TRIPET, 2015) e por feromônios (FAWAZ et al., 2014).

A fim de promover acessibilidade e um baixo custo a este tipo de tecnologia, existem estudos que buscam implementar em aparelhos celulares as metodologias que recorrem à inteligência artificial (FERNANDES; CORDEIRO; RECAMONDE-MENDOZA, 2021; HASHAM et al., 2022), sem que demande recursos extras. Contudo, a atração do mosquito para este tipo de aparelho ainda é uma problemática, uma vez que o equipamento precisa estar muito próximo ao mosquito para poder ser feita uma identificação correta (HASHAM et al., 2022). Sabe-se que os mosquitos são sensíveis a diferentes cores, odores e frequências sonoras, e a exposição a estes estímulos pode afetar seu comportamento (WISHART; SICKLE; RIORDAN, 1962). Alguns estudos indicam que determinadas frequências sonoras podem atrair mosquitos. Por exemplo, em 2013, (STONE; TUTEN; DOBSON, 2013) realizou um estudo onde demonstrou que uma armadilha luminosa em miniatura do Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) modificada para produzir um tom de 465 Hz capturou 76,2% dos machos de *Ae. Aegypti* em gaiolas de laboratório e 49,7% dos machos em uma estufa. Considerando estudos similares ao estudo de (STONE; TUTEN; DOBSON, 2013), o desenvolvimento de aplicações que geram frequências utilizando um celular, pode ser uma alternativa para solucionar este problema, uma vez que permite a produção de frequências sonoras específicas, como a do bater de asas do mosquito.

No entanto, a efetividade do uso de geradores de frequência por meio de telefones celulares na atração do mosquito *Ae. aegypti* ainda é pouco conhecida e pode depender de diversos fatores, como as características do ambiente e as condições climáticas. Nesse sentido, esta pesquisa investigará a atração do mosquito da dengue utilizando-se um *smartphone* para reproduzir a frequência do bater das asas do mosquito, identificando as frequências mais atraentes e avaliando a eficácia dessa estratégia.

Este texto está dividido em mais 6 capítulos além da introdução. O segundo capítulo apresentará os conceitos, teorias e pesquisas relevantes. O terceiro capítulo tratará do

estado da arte, trazendo as principais pesquisas que abordam o tema e suas contribuições na área de combate ao mosquito. O quarto, citará os detalhes sobre o desenvolvimento da solução proposta. O quinto, trará mais informações sobre os materiais utilizados e as etapas executadas durante os testes. O sexto, abordará os testes realizados em laboratório assim como a discussão de seus resultados. Por fim, o último capítulo abordará as considerações finais do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estratégias de controle de *Ae. aegypti*

Nesta seção serão discutidas as estratégias de controle de *Ae. Aegypti*. Existem várias tecnologias sendo desenvolvidas como opções para controlar o mosquito. Essas tecnologias (ver tabela da Figura 2.1) usam diferentes métodos, como monitoramento seletivo da infestação, medidas sociais, uso de inseticidas, novos métodos de controle biológico e técnicas moleculares para diminuir a população de mosquitos. As opções são analisadas em conjunto e precisam ser avaliadas para determinar a eficácia, viabilidade e custos, para serem usadas como complementos às estratégias já existentes de controle da dengue.(ZARA et al., 2016).

No Brasil, o Ministério da Saúde estabeleceu alguns controles rotineiros que podem ser feitos pela população, com o apoio dos Agentes Comunitários de Saúde (ACS) e Agentes de Combate a Endemias (ACE). Estes controles são detalhados nas Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue disponibilizadas pelo governo. A seguir uma breve descrição dos mecanismos de controle retirado de (Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, 2009):

- **Controle Mecânico:** Consiste em práticas para impedir a reprodução do mosquito, como proteção, destruição ou destinação correta de criadouros, que devem ser realizadas pelos próprios moradores ou sob a supervisão de profissionais de saúde. As autoridades municipais podem adotar medidas em larga escala, como coleta de resíduos sólidos, destinação correta de pneus e vedação de depósitos de água, por meio de ecopontos.
- **Controle Químico:** Usa inseticidas para controlar o vetor em sua fase larvária e adulta, porém, é necessário seguir normas técnicas e recomendações de especialistas da OMS, evitando causar impactos ambientais e aumento da resistência dos vetores. Os inseticidas indicados para uso em água de consumo humano passam por avaliação adicional do Programa Internacional de Segurança Química (IPCS). A aquisição de inseticidas para uso em saúde pública é responsabilidade do Ministério da Saúde, sendo vedada aos municípios a sua aquisição.
- **Controle Biológico:** O aumento da resistência do mosquito a inseticidas químicos e os danos ambientais levaram à busca por novas alternativas de controle, como o uso de agentes biológicos. O Ministério da Saúde adotou o uso do larvicida bi-

ológico *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*) devido à sua eficácia comprovada no controle de *Ae. Aegypti*. Este bacilo produz endotoxinas proteicas que quando ingeridas matam as larvas. O Ministério da Saúde monitora a resistência do mosquito a inseticidas e substitui o uso de organofosforados pelo *Bti* quando detecta resistência.

- Controle Legal: O controle da dengue pode ser regulamentado por leis municipais que responsabilizam proprietários pela limpeza de terrenos baldios e regulamentam atividades comerciais consideradas críticas para a saúde. O Ministério da Saúde criou uma publicação para orientar o trabalho dos agentes de saúde em imóveis fechados ou onde a visita é recusada. Além disso, há uma portaria específica que direciona as atividades da vigilância sanitária em ações de prevenção e controle da dengue em ferros-velhos e similares.

Figura 2.1: Novas tecnologias aplicadas como estratégia de controle

Tecnologia	Mecanismo de controle vetorial	Principais vantagens e benefícios	Principais desvantagens e limitações
Abordagem eco-bio-social	Participação social no controle vetorial por meio do uso de ferramentas mecânicas	É compatível com outras tecnologias, faz uso de ferramentas mecânicas, dispensa uso de inseticidas.	Depende do envolvimento de vários setores da sociedade; demanda recursos humanos; trata-se de processo educativo com resultados em médio e longo prazos; e necessita de ações recorrentes para garantir a sustentabilidade do método.
Mapeamento de risco	Ações específicas de controle vetorial em áreas de risco	É compatível com outras tecnologias; permite análises mais precisas de situações de risco; auxilia na otimização de recursos.	É indicador de situação crítica, porém necessita de outras tecnologias para alcançar resultados satisfatórios; depende de várias fontes de dados e da qualidade dos dados secundários.
Compostos naturais	Atividade larvicida	Constitui-se em alternativa para o controle químico; utiliza inseticidas mais seguros.	Há necessidade de estudos de eficácia e custo-efetividade em comparação ao controle químico.
<i>Wolbachia</i>	Bactéria que, ao colonizar os mosquitos, provoca esterilidade e redução da transmissão de arbovírus	Faz uso de microrganismo natural; é autossustentável; dispensa sexagem dos mosquitos; não utiliza inseticidas e radiação.	As diferenças climáticas, protocolos de liberação de mosquitos, nível de urbanização e densidade humana podem limitar o potencial invasivo dos insetos nos locais de soltura.
Mosquitos dispersores de inseticida	Soltura de mosquitos impregnados com larvicida, que dispersam o produto em possíveis criadouros onde vão depositar seus ovos	Favorece a otimização do uso recursos humanos; é compatível com outras tecnologias; faz uso do larvicida já disponibilizado pelo Ministério da Saúde; os agentes estão familiarizados com o tipo de armadilha utilizada; os mosquitos levam larvicidas para criadouros não visíveis ou inacessíveis, que somente eles encontram.	Pode promover seleção de populações de mosquitos resistentes ao inseticida, requer uma formulação de inseticidas com concentração ideal em pequenas partículas.
Nebulização espacial intradomiciliar residual	Aplicação de inseticida residual em pontos específicos dentro dos domicílios	Possui abrangência espacial e reduz a transmissão de doenças no momento do surto.	Pode promover seleção de populações resistentes ao inseticida; pode ser influenciada pela regulação da máquina; demanda agentes aplicadores treinados; existem apenas dois adulticidas disponíveis (piretroides e organosfosforados).
Dispositivos com inseticidas	Ação adulticida por meio de dispositivos intradomiciliares de liberação lenta	Mostra ação efetiva em 80% a 90% dos mosquitos adultos no ambiente. ⁶⁷	Pode promover seleção de populações resistentes ao inseticida; ocorre limitação do efeito em ambientes amplos; exige substituição do dispositivo após perda do efeito do inseticida.
Mosquitos transgênicos	Produção de genes letais, esterilização de mosquitos ou introdução de gene que reduza ou bloqueie a transmissão de doenças	Leva à redução do tempo de vida dos mosquitos; diminui a infestação de mosquitos; e dispensa uso de radiação.	Há necessidade de uso de tecnologias de sexagem dos mosquitos; depende do protocolo de soltura; requer produção e liberação constante de mosquitos no meio ambiente.
Irradiação	Esterilização de insetos por irradiação	Reduz a infestação de mosquitos; dispensa o processo de sexagem dos mosquitos; e pode utilizar os equipamentos radiológicos já disponíveis no sistema de saúde.	Pode ocorrer substituição por população de mosquitos selvagens ao longo do tempo.
<i>Wolbachia</i> + irradiação	Esterilização de mosquitos e redução ou bloqueio de transmissão de patógenos	Reduz o risco de substituição por mosquitos selvagens e reduz o risco de transmissão de patógenos; dispensa processo de sexagem.	As diferenças climáticas, protocolos de liberação de mosquitos, nível de urbanização e densidade humana podem limitar o potencial invasivo dos insetos nos locais de soltura; requer produção de mosquitos com <i>Wolbachia</i> e irradiados e constante liberação no meio ambiente.
Roupas impregnadas com inseticidas	Ação repelente e inseticida	Trata-se de proteção individual; dispensa a reaplicação constante de repelentes e inseticidas; e pode ser utilizada por gestantes para tentar evitar casos de Zika e consequentes complicações neurológicas.	Seleção de populações resistentes ao inseticida, contato dermatológico frequente com a substância química, produção e durabilidade da roupa, uso por crianças somente no horário de aula e nos dias letivos
Telas impregnadas com inseticidas	Proteção mecânica, repelente e inseticida	Combina controle mecânico e químico, e é compatível com outras tecnologias.	Pode promover a seleção de populações resistentes ao inseticida, requer instalação e manutenção das telas, há dificuldade de implantação em larga escala, dificuldade de fabricação, e apresentou pouca efetividade em locais com baixa infestação de mosquitos.

Fonte: (ZARA et al., 2016)

2.2 Audição e Frequência Sonora do Mosquito

Desvendar o comportamento dos mosquitos e como eles reagem a sinais sonoros pode resultar em estratégias mais eficientes para monitoramento e uso de armadilhas sonoras em campo. Nesta seção, será explorada a anatomia do sistema auditivo tanto dos mosquitos machos quanto das fêmeas, além de analisar como eles conseguem detectar e responder reciprocamente durante o voo.

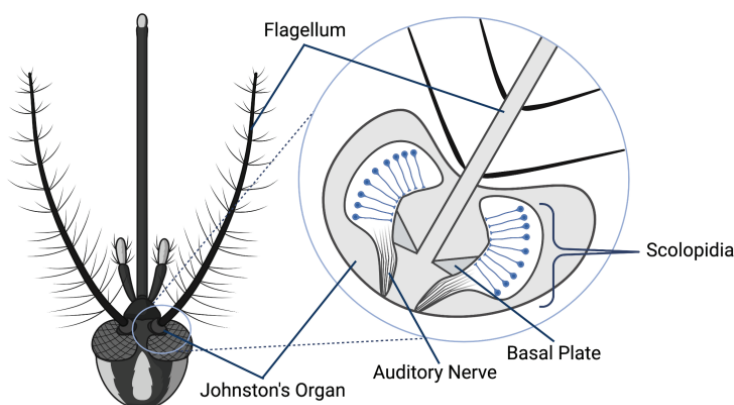
2.2.1 Capacidade Auditiva dos Mosquitos

Tanto os machos quanto as fêmeas de *Ae. aegypti* possuem estruturas auditivas semelhantes, mas há algumas diferenças na anatomia entre os sexos. Em geral, os órgãos auditivos dos mosquitos estão localizados nas antenas, a qual são os apêndices sensoriais que se projetam da cabeça do mosquito.

Os mosquitos machos têm antenas mais desenvolvidas do que as fêmeas, o que lhes permite detectar sons de frequências mais altas. As vibrações sonoras geradas pelo flagelo viajam para baixo em direção ao órgão de *Johnston*, localizado no segundo segmento (pedicelo) da antena do mosquito. Milhares de células sensoriais no órgão de *Johnston*, conhecidas como escolópodos, recebem esses sinais vibracionais e os transmitem ao sistema nervoso central. [Fig. 2.2].

Já as antenas das fêmeas são semelhantes às dos machos, mas geralmente são menores e menos desenvolvidas. As fêmeas também têm um tímpano no pedicelo da antena, mas seu tamanho e sensibilidade são geralmente menores do que os dos machos.

Figura 2.2: Estrutura auditiva de *Ae. aegypti* macho



Fonte: (STEELE; MCDERMOTT, 2022)

Um estudo (MENDA et al., 2019) demonstrou através de testes de sensibilidade auditiva que mosquitos machos de *Ae. aegypti* podem ouvir o som do voo de uma fêmea em até 10 metros de distância, e que os machos mesmo em repouso, sem restrições, alçam voo quando escutam o voo da fêmea. O alcance efetivo de audição depende da sensibilidade do órgão de audição, que neste caso é sensível a níveis de som de até 31 dB de pressão sonora (SPL). Além disso, foi observado que a faixa ótima de audição dos mosquitos coincide com a faixa de energia das vogais do espectro de fala humana.

2.2.2 Frequências

Um dos fatores que influenciam o comportamento dos mosquitos é a frequência de batimento de suas asas. A frequência do bater das asas de *Ae. aegypti* é uma característica sexualmente dimórfica, o que significa que machos e fêmeas têm frequências de batimento de asas diferentes.

Um estudo registrou o som do bater de asas de 31 mosquitos machos e 28 fêmeas, em diferentes direções e distâncias. Foi observado que os sons de ambos os sexos apresentavam uma frequência fundamental e sobretons modulados de forma síncrona. Os resultados mostraram que a frequência média de batimentos de asas dos machos variou de 571 a 832 Hz, com média geral e desvio padrão de 711 ± 78 Hz ($n = 10$), enquanto a frequência das fêmeas variou de 421 a 578 Hz, com média geral de 511 ± 46 Hz ($n = 11$). (ARTHUR et al., 2014).

Em 2019, pesquisadores analisaram o comportamento de acasalamento do mosquito *Ae. aegypti*. Além de constatar que os insetos utilizam sinais sonoros para se comunicarem durante o acasalamento, o estudo sugere que, o acasalamento não ocorre na frequência fundamental do macho e da fêmea. Surpreendentemente, ambos os sexos ajustam suas frequências de batimento de asas para combinar o ajuste de frequências, que ocorre em um harmônico compartilhado de 1200 Hz. (CATOR et al., 2009) Os pesquisadores também realizaram gravações fisiológicas do órgão auditivo do mosquito, conhecido como “órgão de Johnston”, e perceberam que ele é sensível a frequências de até 2000 Hz. (CATOR et al., 2009)

2.2.2.1 Fatores Ambientais e Biológicos

À medida que essas armadilhas estão sendo desenvolvidas, há uma forte necessidade de entender melhor os fatores ambientais e biológicos que interferem nas frequências do bater de asas dos mosquitos. O bater de asas de *Ae. aegypti* é influenciado por vários fatores, incluindo a temperatura, umidade, idade, sexo e tamanho. Esses fatores são importantes para o comportamento de voo do mosquito, incluindo a busca por alimentos, parceiros sexuais e locais de oviposição. A temperatura é um dos fatores mais importantes que influenciam o bater de asas do *Ae. aegypti*. Estudos mostram que a frequência fundamental do bater de asas da fêmea aumenta com a temperatura ambiente, um aumento de ~8–13Hz para cada aumento de 1° Celsius na temperatura (VILLARREAL; WINOKUR; HARRINGTON, 2017). A umidade também é um fator importante, com um aumento na umidade relativa resultando em uma diminuição da frequência do bater de asas.

Outro estudo desenvolvido por (STAUNTON et al., 2019), analisou influências como tamanho e idade dos insetos e temperatura. Os pesquisadores observaram que mosquitos de diferentes tamanhos corporais apresentaram comprimentos de asas e frequências de batimento de asas significativamente diferentes. As fêmeas de tamanho maior e os machos de tamanho maior tiveram asas maiores e conseqüentemente frequências de batimento de asas mais altas. Em relação à idade, as fêmeas com uma semana de idade apresentaram frequências de batimento de asas significativamente mais baixas do que fêmeas com três semanas. Todavia, machos com uma semana apresentaram frequências de batimento de asas significativamente mais baixas do que machos com duas ou três semanas de idade. [Fig. 2.3]

Figura 2.3: Médias das frequências do bater de asas(Hz) de mosquitos *Ae.aegypti* encontradas em cada grupo de teste.

Factor	$n (\pm SE)$
Temperature	
24°C	
Female	515 (± 6.4)
Male	740 (± 8.3)
28°C	
Female	562 (± 4.7)
Male	786 (± 9)
32°C	
Female	580 (± 5.1)
Male	878 (± 6.7)
Size	
Small	
Female	502 (± 9.78)
Male	782 (± 6.48)
Large	
Female	540 (± 12.35)
Male	828 (± 9.13)
Age	
1 wk	
Female	503 (± 7.51)
Male	783 (± 7.21)
2 wk	
Female	524 (± 4.76)
Male	807 (± 5)
3 wk	
Female	531 (± 6.39)
Male	806 (± 7.01)

Fonte: (STAUNTON et al., 2019)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Pesquisadores em todo o mundo têm trabalhado no estudo do comportamento, ecologia e biologia de *Ae. aegypti*, a fim de desenvolver estratégias eficazes de controle. Neste capítulo, analisaremos os avanços de alguns estudos.

3.1 Estímulos olfativos

Um estudo (BERNIER et al., 2007), analisaram a resposta dos mosquitos a odores sintéticos e naturais. Neste, foram utilizadas armadilhas de sucção de mosquito para avaliar a atração de *Ae. aegypti*. As armadilhas foram colocadas em uma sala climatizada, e os experimentos foram realizados em três noites consecutivas. As armadilhas foram preparadas com diferentes misturas de compostos sintéticos de odores humanos. Foram usados também odores humanos naturais, e, como controle, o ar ambiente. Os odores utilizados no estudo foram dióxido de carbono (CO₂), dissulfeto de dimetila (DMDS), acetona (ACE), ácido L-lático (LA) e odores das mãos de 3 voluntários (*subjects* A, C e F).

Cada armadilha continha uma fonte de calor para simular a presença de um ser humano, as quais foram colocadas em diferentes locais de uma sala de acordo com um plano experimental pré-determinado. As combinações de odores comparadas nos testes competitivos foram LA+DMDS vs. DMDS, LA+DMDS vs. LA, LA+ACE vs. ACE, LA+ACE vs. LA, LA+ACE vs. LA+CO₂, LA+ACE+DMDS vs. LA+CO₂, LA+ACE+DMDS vs. LA+ACE, LA+ACE+DMDS vs. LA+DMDS e odores de cada um dos 3 voluntários vs. LA+ACE+DMDS. Os mosquitos capturados nas armadilhas foram contados e registrados. Os resultados [Figura 3.1] foram analisados estatisticamente para avaliar a atração do mosquito pelos diferentes odores.

O estudo mostrou que o estímulo químico ainda não é mais competitivo comparado aos odores humanos, e produzem altos níveis de atração sem o uso de dióxido de carbono. Além disso, a mistura ternária é mais atraente para esses mosquitos do que as misturas binárias.

Figura 3.1: Percentual de mosquitos atraídos e não responsivos em bioensaios competitivos com estímulos naturais e químicos. As médias dos tratamentos foram comparadas por testes t pareados ($P < 0,05$).

Compared treatments ¹	Attraction (% ± SE)	t^2	Nonresponding (% ± SE)
Subject A	70.7 ± 8.1	6.35**	15.0 ± 5.7
LA+ACE+DMDS	14.3 ± 3.4		
Subject C	60.0 ± 10.0	2.84*	16.3 ± 4.7
LA+ACE+DMDS	23.7 ± 7.7		
Subject F	45.4 ± 4.1	1.93*	24.9 ± 4.1
LA+ACE+DMDS	29.7 ± 6.7		
LA+ACE+DMDS	53.1 ± 10.0	3.29**	27.3 ± 11.9
LA+ACE	19.6 ± 4.5		
LA+ACE+DMDS	45.9 ± 6.3	1.87*	27.0 ± 6.9
LA+CO ₂	27.1 ± 8.3		
LA+ACE+DMDS	42.0 ± 7.5	1.50ns	29.1 ± 8.0
LA+DMDS	28.9 ± 4.1		
LA+ACE	62.7 ± 9.7	5.46**	30.4 ± 7.1
LA+CO ₂	6.9 ± 4.1		
LA+ACE	56.6 ± 11.3	2.12*	38.6 ± 11.7
LA	4.8 ± 2.1		
LA+ACE	53.9 ± 7.3	6.23**	29.8 ± 6.4
ACE	16.2 ± 3.4		
LA+DMDS	56.0 ± 12.1	3.21*	28.9 ± 12.7
LA	15.1 ± 5.0		
LA+DMDS	53.9 ± 6.7	6.23**	34.2 ± 6.6
DMDS	11.9 ± 2.5		

* 0.001 < P < 0.05.

** P < 0.001.

¹ LA, L-lactic acid; ACE, acetone; DMDS, dimethyl disulfide.

² ns, no significant difference.

Fonte: (BERNIER et al., 2007)

3.2 Estímulos visuais

Em um estudo realizado por (MUIR; KAY; THORNE, 1992), foi observado que *Ae. aegypti* é atraído igualmente pelas cores vermelho e o preto, em comparação a cores mais claras, como branco e amarelo. Os pesquisadores perceberam que a característica que diferenciou os alvos mais atraentes dos menos atraentes não foi a sua cor, mas a sua refletância de 500-560 nm. Além disso, a refletância luminosa do alvo influenciou o número de mosquitos que pousavam nele, sendo que a menor intensidade foi a mais atraente para ambos os sexos.

Estudos recentes investigam o uso de tecnologias de iluminação para atrair e capturar mosquitos, como o *Ae. aegypti*. Em um estudo realizado por (SALLES et al., 2021), os pesquisadores utilizaram LEDs emitindo cores Verde, Azul e Amarelo em diferentes intensidades para atrair mosquitos em uma armadilha. Eles concluíram que a armadilha pode ser considerada uma tecnologia verde segura e eficaz na captura de fêmeas de mosquitos, baseando-se na especificidade dos comprimentos de onda atrativos.

3.3 Estímulos sonoros

Em 2018, (JOHNSON et al., 2018) desenvolveram uma nova versão das GATs, armadilhas para *Aedes* grávidas, utilizando uma isca sonora, conhecida por *Sound-GATs*. O dispositivo foi feito com um microcontrolador (Arduino Pró Mini), programado para emitir um pulso imitando uma onda senoidal de 484Hz. A onda é alimentada por um capacitor de bloqueio DC para um alto-falante magnético. Para analisar a eficácia do dispositivo (JOHNSON et al., 2018) fizeram testes comparando com outras duas armadilhas do mercado, uma GAT comum e uma Biogents Sentinel (BGS), a qual tem uma maior eficácia, porém, um alto custo, além de necessitar de energia elétrica. Em seus resultados, as taxas de captura de mosquitos machos de *Ae. aegypti* nas *Sound-GATs* nos testes de campo, foram comparáveis às da BGS, sem efeitos inibitórios da reprodução sonora na captura de fêmeas. O estudo concluiu que a *Sound-GAT* é uma substituição eficaz da BGS para vigilância de mosquitos machos *Ae. aegypti*.

Em 2019, uma pesquisa trouxe uma nova abordagem para as armadilhas que utilizam o estímulo acústico para atrair *Ae. aegypti* (PANTOJA-SÁNCHEZ et al., 2019). Os pesquisadores desenvolveram sinais acústicos complexos que simulam sinais de acasalamento do mosquito para atrair machos. Também foram sintetizados tons puros a partir da frequência fundamental dos sons produzidos pelas fêmeas variando entre 450 e 550Hz, reproduzidos em períodos de 10s alternando entre dois alto-falantes, com uma intensidade de cerca de 10dB. Os sinais complexos foram sintetizados a partir de trechos de gravações, que duraram de 10 a 30s, de sons produzidos pelos mosquitos voando sozinhos ou em pares. Estes, foram agrupados um após o outro para evitar padrões periódicos, fazendo com que o mosquito não se habitue aos sinais. Os sinais complexos foram transmitidos por um minuto a uma alta intensidade sonora (~10 dB), seguido por 9 minutos de baixa intensidade (~2 dB). O protótipo foi projetado para ser usado em ambientes internos. Ele era composto por uma estrutura de acrílico que mantinha um sistema estéreo acústico para transmitir o som e um ventilador de vácuo que capturava mosquitos em uma sacola de coleta. Para reproduzir os sinais de atração, utilizou-se um módulo reprodutor SOMO II (4D systems) e dois pequenos alto-falantes (*Grove-speaker*, Seeed), o que demandou uma fonte de alimentação recarregável de 3,7V. Foram utilizados 40 mosquitos machos virgens, soltos em uma sala e a análise da captura foi feita a cada 30 minutos durante 2 horas. A taxa de captura das armadilhas foram comparadas entre as que não emitiram som, as de tons puros e as de sinais complexos. Após os mosquitos serem liberados na

sala, as armadilhas que emitiam tons puros ($69,2 \pm 2,1\%$ [Média \pm SEM]) e sinais complexos ($77,7 \pm 2,9\%$) recapturaram um número significativamente maior de indivíduos do que o controle ($52,1 \pm 3,1\%$) ($P < 0,01$). No entanto, não houve diferença significativa no desempenho das armadilhas que tocavam os dois tipos de sinais acústicos ($P = 0,064$). As armadilhas acústicas recapturaram a maioria dos mosquitos ($>60\%$) durante a primeira hora, e, após esse período, a taxa de recaptura diminuiu consideravelmente. Os pesquisadores concluíram que transmitir apenas um minuto de sinais complexos de alta intensidade a cada dez minutos foi suficiente para capturar cerca de 80% dos mosquitos liberados na sala. O uso de baixas intensidades e a exploração da síntese de sinais visando minimizar o desconforto humano são críticos, devido à necessidade de usar armadilhas para *Ae. Aegypti* em casas.

Em 2021, (STAUNTON et al., 2021) desenvolveu uma armadilha sonora completamente nova, chamada de MAST, *Male Aedes Sound Trap*. Esta armadilha consiste em um recipiente plástico transparente para a captura, que contém a isca sonora dentro, e esta estrutura fica sob uma base preta. A isca de som utiliza um alto-falante de 8 ohms e 0,5 watts que produz um som sinusoidal, montado em uma placa de circuito impresso que inclui um detector de luz e botões que permitam ajustar o volume, frequência e o período de reprodução do som produzido. Por padrão, a isca foi ajustada para 500Hz a 63dB e reproduzido intermitentemente em períodos de 30s. Todos os alto-falantes foram cobertos por cartões adesivos. A isca foi projetada para abrigar sensores que registram as capturas e notificavam as equipes de saúde. O MAST capturou machos de *Ae. Aegypti* usando requisitos mínimos de energia e um sistema de armadilha passiva. Como a entrada é pequena e a lateral, oferece proteção para os componentes elétricos internos, como a isca sonora e o potencial equipamento de sensor e comunicação. O design do MAST alcançou padrões adequados de aceitabilidade do usuário em relação à facilidade de uso e à irritação causada pela emissão de ruído e odor, por ser leve, pode ser empilhado e o atrativo sonoro atrai machos em baixos decibéis.

3.4 Identificação e Monitoramento

Com o avanço tecnológico o monitoramento remoto de mosquitos vem se tornando cada vez mais foco de estudos. Com a ajuda de inteligências artificiais, já é possível fazer a identificação automática de *Ae. aegypti*. Porém, por ser um tema de pesquisa recente, serão necessários mais estudos para avaliar a eficácia dessa nova estratégia.

3.4.1 O uso da Inteligência Artificial

Alguns estudos recentes mostram o desenvolvimento de aplicações utilizando Redes Neurais Convolucionais, capazes de identificar *Ae. aegypti* automaticamente através da frequência de seu bater de asas (FUAD et al., 2018; FANIOUDAKIS; GEISMAR; POTAMITIS, 2018; FERNANDES; CORDEIRO; RECAMONDE-MENDOZA, 2021; ARPITHA; RANI; LAVANYA, 2021; KHALIGHIFAR et al., 2022). Os estudos consistem em gravar ou utilizar banco de dados existentes, com áudios do *Ae. aegypti* e outros mosquitos, esses áudios são utilizados para treinar um modelo de aprendizagem de máquina e após o treinamento esse modelo deve ser capaz de diferenciar a frequência sonora desta espécie de mosquito de outra. Com a percentagem de acurácia chegando a em torno de 95% (ARPITHA; RANI; LAVANYA, 2021), começaram-se a desenvolver novos estudos (STEPIEN, 2021; HASHAM et al., 2022) para tornar o uso destas metodologias uma solução de fácil uso, que possa ser amplamente distribuída e utilizada para o monitoramento remoto.

3.4.1.1 Pontos em desenvolvimento

Como visto nas seções anteriores, grande parte dos estudos que tratam sobre os estímulos de *Aedes* requer recursos extra para atrair o mosquito. Com a acessibilidade promovida por estas novas pesquisas vistas na subseção anterior, que possibilitam o uso dessas metodologias em celulares, surgem novas necessidades, como o desenvolvimento de novas estratégias para atrair o mosquito. Conforme mencionado no estudo de (HASHAM et al., 2022), para uma identificação correta do vetor, é necessário que o mesmo esteja próximo ao microfone do celular, cerca de 50 mm.

4 DESENVOLVIMENTO

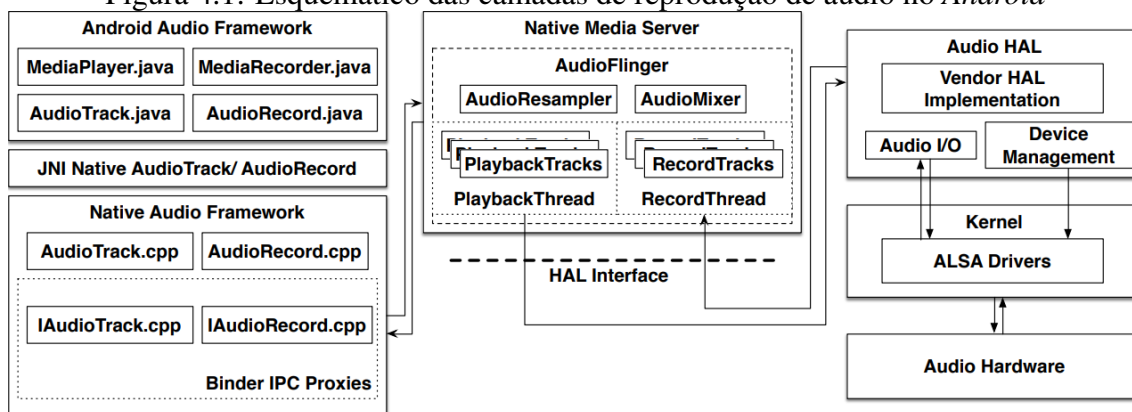
No desenvolvimento deste estudo, pretende-se desenvolver um aplicativo para celulares, capaz de atrair *Ae. aegypti*, através de um gerador de frequência que reproduzirá o bater das asas do mosquito. O aplicativo foi desenvolvido especificamente para aparelhos *Android*, utilizando o ambiente de desenvolvimento do *Android Studio*, que através da biblioteca *AudioTrack*, gera e reproduz a frequência desejada pelo usuário, assim como o tempo desejado de duração do áudio.

4.1 A Acústica dos *smartphones Android*

O *Android* suporta uma ampla variedade de formatos de áudio e oferece recursos para os desenvolvedores de aplicativos personalizarem a saída de áudio conforme as necessidades do aplicativo. A seguir as camadas que envolvem a reprodução de áudio no *Android* [Fig. 4.2]:

- *Framework* de Áudio: a escrita dos dados para as APIs de áudio, emprega uma operação baseada em *push* para reprodução, onde os dados de áudio são empurrados e armazenados em *buffer* na camada nativa, em vez do *driver* de áudio puxar dados de áudio quando estiver pronto para reproduzir mais dados.
- *AudioFlinger*: É o mecanismo de mixagem de áudio do *Android* que controla o fluxo de áudio do aplicativo para o *hardware* de áudio do dispositivo. Ele gerencia a alocação de recursos de áudio do dispositivo para garantir que vários aplicativos possam reproduzir áudio simultaneamente.
- *Audio HAL (Hardware Abstraction Layer)*: É uma camada de abstração de *hardware* que permite que o *Android* se comunique com o *hardware* de áudio do dispositivo, como alto-falantes, microfones, *codecs* e outros componentes.
- *Driver* de Áudio: A última camada de processamento de áudio no *Android* é o *ALSA (Advanced Linux Sound Architecture)*, que fornece um mecanismo impulsionado por interrupção para reproduzir ou consumir dados do *hardware* de áudio. O tamanho do período é um fator importante no desempenho e latência do áudio, e a imprevisibilidade na programação pode afetar a qualidade do áudio para o usuário final.

Figura 4.1: Esquemático das camadas de reprodução de áudio no *Android*



Fonte: (GOKUL et al., 2016)

4.2 AudioTrack

O *AudioTrack* é uma API que permite a reprodução de áudio em baixo nível em aplicativos desenvolvidos para a plataforma *Android*. Essa classe é parte do pacote *android.media* e oferece aos desenvolvedores maior controle sobre a reprodução de áudio, incluindo controle de volume, taxa de amostragem, formato de codificação de áudio e canais de saída.

Diferentemente de outras classes de reprodução de áudio do *Android*, como o *MediaPlayer*, voltadas para a reprodução de arquivos de áudio pré-gravados, o *AudioTrack* permite que os desenvolvedores gerem e reproduzam áudio em tempo real, manipulando *buffers* de áudio diretamente. Isso torna o *AudioTrack* útil em casos onde a geração ou processamento de áudio em tempo real é necessário, como na síntese de som, efeitos sonoros, processamento de efeitos em tempo real, aplicações de áudio interativas ou jogos.

4.2.1 Parâmetros

Abaixo a definição dos parâmetros do construtor (Android Developers, acessado em 18 de março de 2023):

- *streamType*. Especifica o tipo de fluxo de áudio (por exemplo, *STREAM_MUSIC*, *STREAM_ALARM*, etc.).
- *sampleRateInHz*. Especifica a taxa de amostragem (*sample rate*) em Hz. Uma taxa de amostragem muito baixa pode resultar em distorção e perda de informações,

enquanto uma taxa muito alta pode levar a um uso desnecessário de recursos do dispositivo.

- *channelConfig*. Especifica o layout do canal de áudio (por exemplo, MONO, STEREO, etc.).
- *audioFormat*. Especifica o formato de codificação de áudio (por exemplo, ENCODING_PCM_16BIT, ENCODING_PCM_8BIT, etc.).
- *bufferSizeInBytes*. Especifica o tamanho do buffer de áudio em bytes.
- *mode*. Especifica o modo de operação do *AudioTrack* (por exemplo, *MODE_STREAM*, *MODE_STATIC*, etc.).

4.3 Gerador de Frequência

Os geradores de frequências são aplicações desenvolvidas para gerar e controlar sinais de áudio de diferentes formas de onda e frequências (SMITH, 2007) Eles são comumente usados para uma variedade de propósitos, como teste de equipamentos de áudio, calibração, experimentos científicos, terapia de som, mascaramento de ruído e geração de tons para fins musicais ou de comunicação.

Esses aplicativos geralmente oferecem uma interface gráfica simples para ajustar a frequência e a amplitude do sinal, bem como selecionar a forma de onda desejada (PUCKETTE, 2007). As formas de onda mais comuns utilizadas incluem:

- Onda senoidal: A onda senoidal é a forma de onda mais básica e pura. É uma representação matemática de uma oscilação simples e suave, como as vibrações de uma corda ou uma coluna de ar em um instrumento musical (ROADS, 1996). As ondas senoidais são usadas para testar equipamentos de áudio e em aplicações onde se deseja uma única frequência pura.
- Onda quadrada: A onda quadrada é uma forma de onda periódica que alterna abruptamente entre dois níveis de amplitude. Ela contém uma série de harmônicos ímpares, o que a torna útil para testar e analisar a resposta de frequência de sistemas de áudio e para criar sons eletrônicos com um timbre distinto (SMITH, 2007).
- Onda triangular: A onda triangular tem uma forma de onda contínua com inclinações lineares. Assim como a onda quadrada, ela contém principalmente harmônicos ímpares, mas com uma intensidade menor. A onda triangular é usada em testes de áudio, síntese de som e em aplicações que requerem uma forma de onda com menor

conteúdo harmônico do que a onda quadrada (ROADS, 1996).

- Onda dente de serra: A onda dente de serra tem uma forma de onda com uma subida linear e uma queda abrupta. Ela contém uma série completa de harmônicos (ímpares e pares) e é usada em síntese de som para criar timbres ricos e em testes de áudio para analisar a resposta de sistemas de áudio a uma ampla gama de frequências (PUCKETTE, 2007).

Atualmente, pode-se encontrar alguns aplicativos geradores de frequência já disponíveis para *download* nos celulares. Ver a tabela 6.1.

Tabela 4.1: Aplicativos Geradores de Frequência disponíveis para *Android*

Aplicativo	Faixa de Frequencia	Modulação de Amplitude	Modulação de frequência	Duração Ajustável	Senoidal	Quadrada	Triangular	Dente de Serra	Ruido Branco
Tone Generator	20Hz a 22kHz	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Function Generator:	1mHz a 20kHz	Sim	Sim	Nao	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Frequency Sound Generator	1Hz a 22kHz	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Nao

Na aplicação desenvolvida neste trabalho, para o gerar a frequência desejada foi utilizada uma onda senoidal, expressa matematicamente como: $y(t) = A \times \sin(2\pi ft + \phi)$. Onde A é a amplitude, correspondendo à altura da onda, marcada pela distância entre o ponto de equilíbrio (repouso) da onda até a crista, ϕ é a fase da onda, representando o deslocamento horizontal da onda em relação à origem, f é a frequência da onda e t, o tempo medido em segundos.

4.4 Implementação

Em um primeiro momento, a aplicação foi desenvolvida visando reproduzir o bater das asas do *Ae. aegypti* de duas formas diferentes, uma forma: gerando a frequência sonora do bater de asas do mosquito; e outra: utilizando um áudio gravado do voo de um *Aedes* fêmea.

Após alguns testes, que serão discutidos no próximo capítulo, viu-se que não se fez necessário o uso do áudio gravado. Logo, uma nova versão do aplicativo foi implementada, visando somente o uso do gerador de frequência, e permitindo que a entrada dos valores de frequência e duração do áudio desejados sejam inseridos pelo usuário e removendo a funcionalidade que visava reproduzir o áudio gravado.

Figura 4.2: Visão Geral da Aplicação



Fonte: O Autor

4.4.1 Frequência

No código implementado, um *buffer* de amostras é introduzido, tendo o seu tamanho definido pelo valor do *bufferSize* dividido por 2. Este buffer é percorrido iterativamente, e a cada iteração um vetor tem uma posição preenchida com amostras de uma onda senoidal na frequência especificada, utilizando a amplitude máxima da onda senoidal em um dado instante. Por fim, este buffer é reproduzido através do *AudioTrack*.

```

1 for (int i = 0; i < buffer.length; ++i) {
2     samples += 2 * Math.PI * freq / sampleRate;
3     buffer[i] = (short) (Math.sin(samples) * Short.MAX_VALUE); }

```

Listing 4.1 – Implementação do *buffer* de amostras

Para uma onda senoidal gerada digitalmente é necessário garantir que a frequência

da onda gerada seja a mesma desejada no domínio contínuo. Neste caso, a taxa de amostragem (*sample rate*) determina quantas amostras por segundo são usadas para representar um sinal contínuo no domínio digital.

4.4.1.1 Valores dos parâmetros utilizados no AudioTrack

Para gerar as frequências desejadas, os valores utilizados foram definidos da seguinte forma:

- *streamType*: *STREAM_MUSIC*, permitindo que o gerador de frequências seja controlado pelas configurações de volume do dispositivo, tornando-o mais fácil de usar e integrar com outras aplicações de áudio no dispositivo.
- *sampleRateInHz*: *44.100 Hz* (PURWACANDRA; WIBOWO, 2012), um valor comumente usado, e garante o funcionamento em qualquer aparelho celular.
- *channelConfig*: *MONO*, um gerador de frequências, utiliza geralmente saída MONO para simplificar a geração e reprodução de sinais de áudio. Como o objetivo principal é gerar frequências específicas, a reprodução em estéreo geralmente não é necessária.
- *audioFormat*: *ENCODING_PCM_16BIT*, a codificação PCM de 16 bits é utilizada para fornecer uma resolução suficiente para representar as frequências geradas com precisão. O uso de uma codificação de menor resolução, como PCM de 8 bits, pode resultar em distorção e menor qualidade de áudio.
- *bufferSizeInBytes*: $(sampleRate \times 1 \times 16 \times duration) / 8$, o valor é calculado baseado no valor da taxa de amostragem, multiplicada pela saída definida, MONO (1), multiplicado pela codificação PCM (16), multiplicada pela duração do áudio escolhida pelo usuário e dividido por 8 para transformar em bytes.
- *mode*: *MODE_STREAM*, usado para permitir a geração e reprodução contínua de áudio. Isso possibilita a criação e reprodução de sinais de áudio em tempo real, permitindo que o gerador de frequências seja flexível e responsivo às necessidades do usuário.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão discutidos os materiais usados nesta pesquisa, bem como o processo utilizado para realizar os testes.

Para estes experimentos, foram utilizados 2 telefones celulares: Xiaomi Redmi 5 Plus, Android versão 8.1 e Huawei P30 Pro, EMUI 12.0.0. E para as gravações, uma filmadora Sony HDR-CX190, com resolução de 1920x1080 a 60i.

A escolha dos telefones celulares Xiaomi Redmi 5 Plus e Huawei P30 Pro se deu pelo fato de serem modelos populares e bem-sucedidos no mercado, além de apresentarem diferenças em seus alto-falantes, o que poderia influenciar na eficácia dos testes. Os aparelhos celulares foram controlados remotamente, através da aplicação de código aberto *SCRCPY*, que permite espelhamento de tela e o controle de um dispositivo *Android* a partir de um computador Windows, macOS ou Linux (*SCRCPY*, 2023).

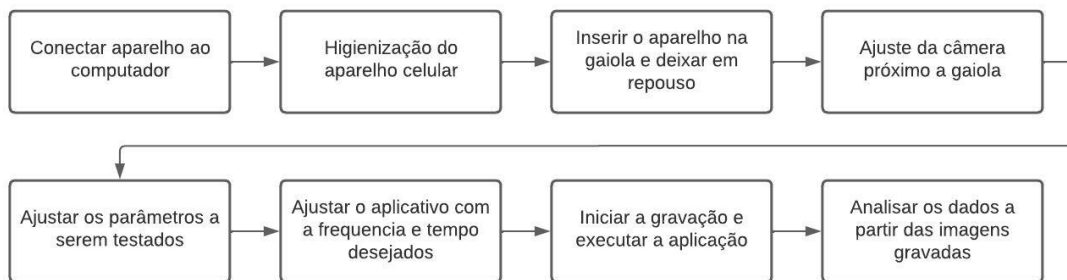
Também foram usadas duas gaiolas com 30 mosquitos cada uma, sendo uma delas composta apenas por *Ae. aegypti* fêmea e outra com os machos. Os mosquitos nasceram em laboratório e desenvolveram-se com sua colônia, sendo separados somente durante o experimento. A dieta foi feita com substâncias açucaradas com mel e, no caso das fêmeas, também foram realizados repastos de sangue.

O experimento consiste em expor os mosquitos a diferentes frequências sonoras, considerando também os diferentes fatores que podem interferir em sua frequência, como o ambiente, horário e *display* do aparelho. Os testes foram realizados conforme as seguintes etapas (Ver Figura 5.1):

1. O smartphone foi conectado à aplicação *SCRCPY* por meio da rede Wi-Fi. O dispositivo e o computador devem usar a mesma rede para que a conexão remota entre os dois possa ser estabelecida.
2. O telefone celular teve sua capa protetora removida (em casos em que possuía a mesma), higienizado com álcool e, então, manipulado somente com luvas.
3. Após a higienização, o aparelho foi colocado dentro da gaiola e deixado em repouso por cerca de 10 minutos, para que os mosquitos se ambientassem com o objeto na gaiola.
4. Uma câmera ficou posicionada próxima à gaiola, focando na saída de áudio do telefone.
5. A frequência e a quantidade de tempo desejadas foram inseridas de forma remota.

6. Em situações em que houve necessidade, foram feitos ajustes de outros parâmetros, como a cor do *display*.
7. Deu-se início a gravação e reprodução da frequência sonora
8. As imagens gravadas foram, então, analisadas para determinar a quantidade de mosquitos atraídos.

Figura 5.1: Diagrama descrevendo a sequência de etapas para teste.



Fonte: O Autor

A contagem dos mosquitos foi feita com base na quantidade de mosquitos que se moveram para perto do celular no momento em que a frequência foi reproduzida. A estimativa é baseada no vídeo que foi gravado durante os testes, reproduzindo-o em câmera lenta para que se pudesse ver a movimentação de forma mais clara.

6 RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos permitiu verificar a eficácia das frequências sonoras na atração dos mosquitos e identificar possíveis diferenças entre os aparelhos testados.

6.1 Testes Iniciais

Em um primeiro momento, os testes foram feitos utilizando as duas formas diferentes de reprodução do bater das asas de *Ae. aegypti*, uma forma reproduzindo a frequência sonora do bater de asas do mosquito e outra utilizando um áudio gravado do voo de um *Aedes* fêmea.

A gaiola continha mosquitos machos e fêmeas, ou seja, uma gaiola mista, sendo a maioria fêmeas. O celular foi inserido na gaiola e deixado em repouso por alguns minutos, observando que os mosquitos permaneceram dispersos. A motivação inicial foi averiguar se haveria algum estímulo e identificar possíveis vieses para o experimento, por esse motivo, não foi registrado um número amostral e o resultado foi avaliado com base na tentativa de maior resposta, neste caso a tentativa de número 1, que será descrita abaixo.

Durante a reprodução do áudio gravado do mosquito fêmea, não houve resposta dos insetos. A resposta foi melhor observada quando se utilizou a frequência gerada.

- *Tentativa 1.* O celular foi colocado na gaiola sem nenhuma higienização e configurado para emitir uma frequência de 430Hz por 100 segundos com o *display* do aparelho desligado. Observou-se uma grande resposta dos mosquitos pousando sob a tela do celular, alguns se posicionaram muito próximo ao alto-falante do telefone.
- *Tentativa 2.* O celular foi higienizado antes de ser colocado na gaiola, a frequência foi alterada para 460 Hz por 200 segundos e o *display* permaneceu desligado. A resposta foi menor que a tentativa anterior, os mosquitos permaneceram próximos do celular, porém, em menor quantidade e por um período menor.
- *Tentativa 3.* O celular foi colocado na gaiola após ser higienizado e os parâmetros de teste da Tentativa 1 foram repetidos, de modo a observar se houve ou não um estímulo olfativo devido o contato direto do celular com a pele humana. Comparado à primeira tentativa, a resposta dos mosquitos foi ligeiramente menor.

Outras tentativas foram realizadas, variando a frequência e o display do aparelho, porém, a melhor resposta foi obtida na primeira tentativa. Ver tabela 6.1.

Tabela 6.1: Parâmetro utilizados e resultados obtidos durante o teste inicial.

Frequência(Hz)	Gaiola	Ambiente	Display	Higienização	Tempo(s)	Resposta
425	Mista	Pessoas Próximas	Desligado	Não	100	Muito Boa
460	Mista	Pessoas Próximas	Desligado	Não	200	Ruim
425	Mista	Pessoas Próximas	Desligado	Sim	200	Boa
425	Mista	Pessoas Próximas	Ligado	Sim	200	Boa
450	Mista	Pessoas Próximas	Ligado	Sim	200	Ruim

Fonte: O Autor

6.2 Testes utilizando parâmetros pré-definidos

Os experimentos foram realizados durante o período da tarde de um único dia, com a temperatura variando entre 29°C a 32°C e umidade de 53%. Utilizou-se uma amostra de 30 *Ae. aegypti* macho e 30 *Ae. aegypti* fêmea, em gaiolas separadas. Ver figura 6.1.

Figura 6.1: Gaiolas de *Ae. aegypti*, utilizadas no experimento (n=30 p/ gaiola)

Fonte: O Autor

Após os testes descritos na seção anterior, foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- Ambiente: Totalmente isolado ou pessoas próximas à gaiola;
- *Display* do celular: desligado, somente ligado, emitindo cores branco, vermelho ou preto;
- Gaiolas: Contendo somente *Ae. aegypti* macho ou fêmea;
- Frequências: A faixa de frequência estabelecida teve como base os estudos citados

nas seções anteriores.

Antes de iniciar o experimento, o celular foi devidamente higienizado com álcool para evitar um estímulo olfativo e com o uso luvas colocado na gaiola.

6.2.1 Atraindo *Ae. aegypti* Macho

Neste experimento, reproduziu-se a frequência do bater das asas somente de *Ae. aegypti* fêmea, todos os testes foram realizados reproduzindo a frequência gerada por um período de 30s. Durante os testes observou-se que a mudança da cor do display, para cores que atraem o mosquito, não teve nenhum impacto nos resultados do teste. Assim, os resultados encontrados na Tabela 6.2 e Tabela 6.3, referem-se aos testes feitos com o *display* desligado e na cor branca.

Tabela 6.2: Resultados encontrados durante os testes da reprodução da frequência sonora do mosquito fêmea, utilizando o *display* do aparelho desligado.

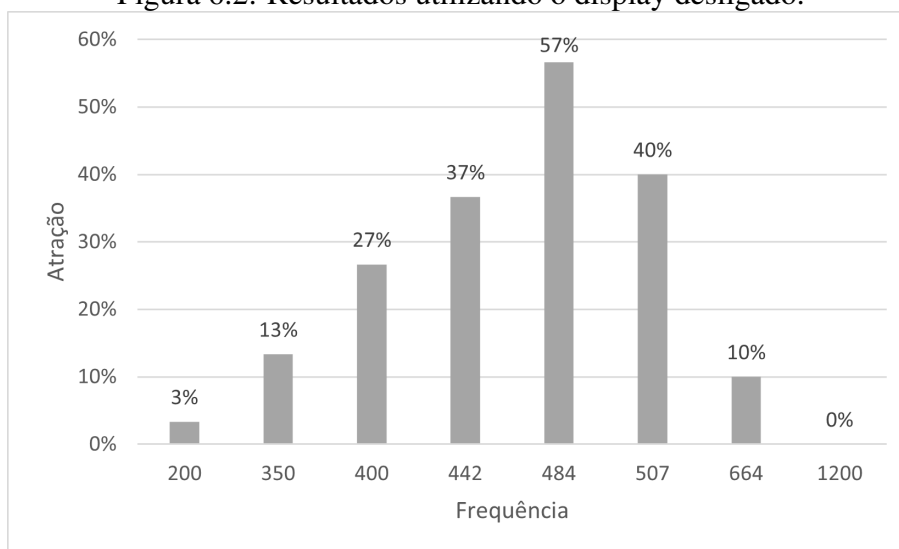
Frequência (Hz)	Resultados utilizando o display desligado
200	3%
350	13%
400	27%
442	37%
484	57%
507	40%
664	10%
1200	0%

Fonte: O Autor

Pode-se observar que a frequência que obteve melhores resultados, foi a de 484Hz, que vai de encontro com o mesmo valor citado no estudo (JOHNSON et al., 2018). É possível observar, também, que os valores crescem e decrescem constantemente.

Outras frequências também apresentaram resultados expressivos, como a de 442 Hz, que alcançou 37% de eficácia, e a de 507 Hz, com 40%. No entanto, frequências mais baixas, como 200 Hz e 350 Hz, mostraram-se menos eficientes, com 3% e 13% de atração, respectivamente. Além disso, a frequência de 1200 Hz não obteve sucesso na atração do mosquito, registrando 0% de eficácia.

Figura 6.2: Resultados utilizando o display desligado.



Fonte: O Autor

No primeiro cenário, o *display* do dispositivo estava desligado, enquanto no segundo, o *display* estava ligado. Os resultados do segundo cenário são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Resultados encontrados durante os testes da reprodução da frequência sonora do mosquito fêmea, utilizando o *display* do aparelho ligado.

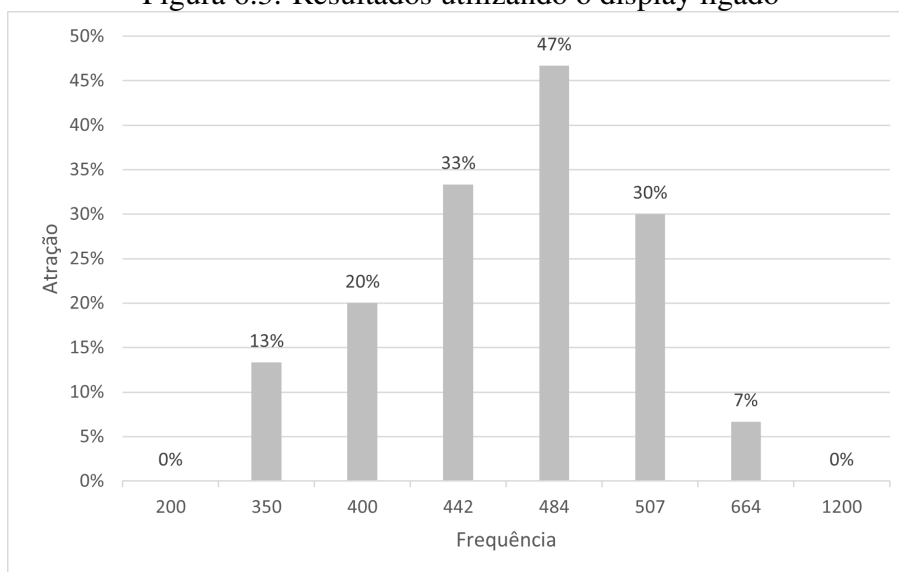
Frequência (Hz)	Resultados utilizando o display ligado.
200	0%
350	13%
400	20%
442	33%
484	47%
507	30%
664	7%
1200	0%

Fonte: O Autor

A frequência de 484 Hz, que apresentou o melhor desempenho no cenário com o display desligado (57%), também obteve o maior índice de atração no cenário com o display ligado (47%). No entanto, houve uma redução de 10 pontos percentuais na eficácia. De maneira semelhante, as frequências de 400 Hz e 507 Hz tiveram uma redução de 7 e 10 pontos percentuais, respectivamente, quando comparadas aos resultados com o display desligado.

Ao comparar os resultados dos dois cenários, observa-se que a eficácia na atração do mosquito *Aedes aegypti* foi afetada pela mudança no estado do display. Em geral, os resultados indicam que a atração do mosquito foi menor quando o display estava ligado.

Figura 6.3: Resultados utilizando o display ligado

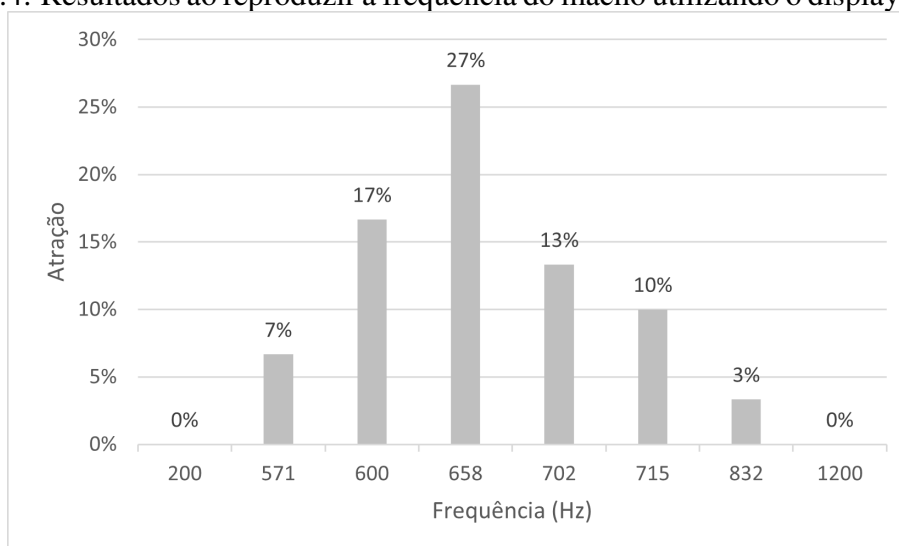


Fonte: O Autor

6.2.2 Atraindo *Ae. aegypti* Fêmea

A análise dos resultados encontrados considera a reprodução da frequência com o *display* desligado. A tabela 6.4 apresenta resultados obtidos em diferentes frequências (Hz) e a porcentagem de atração dos mosquitos.

Figura 6.4: Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display desligado



Fonte: O Autor

A frequência de 658 Hz obteve a maior taxa de atração, com 27%. Em seguida, as frequências de 600 Hz e 702 Hz apresentaram resultados de 17% e 13% de atração, respectivamente. As demais frequências testadas obtiveram resultados abaixo de 10

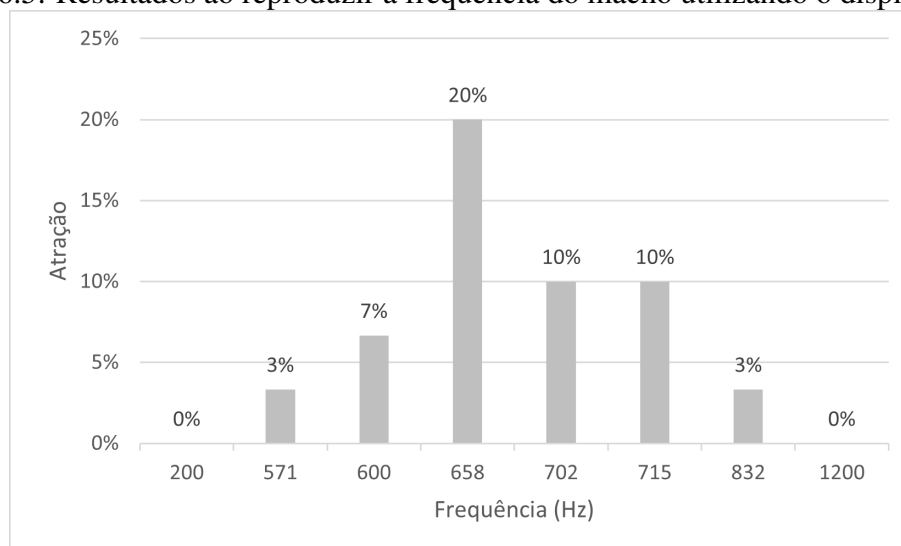
Tabela 6.4: Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display desligado

Frequência (Hz)	Resultado
200	0%
571	7%
600	17%
658	27%
702	13%
715	10%
832	3%
1200	0%

Fonte: O Autor.

Pode-se observar que a presença do display ligado parece ter reduzido a eficácia da atração sonora em algumas frequências. As frequências 571 Hz, 600 Hz, 658 Hz, e 702 Hz tiveram uma taxa de atração menor quando comparadas aos resultados sem o display. Entretanto, a frequência de 715 Hz manteve-se constante em 10%.

Figura 6.5: Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display ligado



Fonte: O Autor

Na Tabela 6.5, observou-se os resultados utilizando o *display* ligado

Tabela 6.5: Resultados ao reproduzir a frequência do macho utilizando o display ligado

Frequência (Hz)	Resultado
200	0%
571	3%
600	7%
658	20%
702	10%
715	10%
832	3%
1200	0%

Fonte: O Autor.

Apesar de alguns resultados promissores, ainda não é possível avaliar a eficácia da aplicação ao tentar atrair o *Aedes aegypti* fêmea. Considerando que a frequência que obteve o maior resultado de atração, tem uma eficácia de 27%.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o presente trabalho investigou a viabilidade de utilizar frequências sonoras emitidas pelo celular para atrair o mosquito *Aedes aegypti*, vetor de doenças como dengue, zika e chikungunya. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram que, de fato, foi possível atrair o mosquito macho utilizando um *smartphone* e a frequência que obteve melhores resultados, com 57% de atração, foi a frequência de 484Hz, indicando que esta estratégia tem potencial para ser aplicada em futuros métodos de controle e prevenção dessas doenças. Já para as fêmeas, não foi possível obter uma resposta maior que 30% no estudo. Pode-se concluir também que o *display* do celular pode impactar negativamente na atração do mosquito quando ligado.

É importante salientar que, apesar dos resultados promissores, o estudo enfrentou limitações amostrais, o que restringiu a análise de outros parâmetros que poderiam ter sido explorados. Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos futuros com amostras mais amplas e diversificadas, bem como a investigação de outras frequências e variáveis, a fim de se obter uma compreensão mais abrangente sobre o comportamento do *Ae. aegypti* frente a estímulos sonoros.

Por fim, a aplicação prática dos resultados deste estudo pode trazer avanços significativos para o desenvolvimento de tecnologias e abordagens inovadoras no combate ao mosquito e às doenças por ele transmitidas. A utilização de dispositivos eletrônicos, como celulares, para atrair e capturar mosquitos pode se tornar uma ferramenta eficiente e acessível para a prevenção e controle dessas enfermidades em diferentes contextos e regiões.

7.1 Limitações

Limitações amostrais: Durante os experimentos, houve limitações em relação à quantidade de insetos, o que inviabilizou os testes da aplicação. A inviabilidade foi causada pela redução da colônia de *Ae. aegypti* do Laboratório, levando a uma quantidade muito pequena de espécimes disponíveis para uso durante os testes.

Limitações do ambiente: Todos os testes foram realizados em um ambiente como iluminação artificial. Onde se observou que a mudança das cores do *display* do celular não interferiu nos resultados, por se tratar de um ambiente com ausência de luz natural.

Limitações de hardware: O hardware de *smartphones* é geralmente projetado para

ser eficiente em termos de energia e compacto, o que pode impor restrições de desempenho (LEE; JEONG; YOON, 2012). Podendo afetar a qualidade e a precisão da reprodução de frequências geradas pela aplicação. Além disso, a qualidade do alto-falante e do amplificador nos aparelhos pode não ser ideal para reproduzir certas frequências.

Latência: A latência refere-se ao atraso na transmissão de sinais de áudio devido ao processamento e conversão de sinais. Podendo causar problemas de sincronização e imprecisões temporais nos sinais gerados (MÜLLER, 2015).

Restrições do sistema operacional: A implementação de recursos de áudio no *Android* pode variar dependendo da versão do sistema operacional e do fabricante do dispositivo. Isso pode resultar em inconsistências no desempenho do gerador de frequências em diferentes dispositivos.

Limitação de amostragem e resolução de bits: A taxa de amostragem e a resolução de bits disponíveis nos dispositivos móveis podem ser limitadas, afetando a qualidade e a precisão das frequências geradas (LEE; JEONG; YOON, 2012).

7.2 Trabalhos Futuros

Um estudo futuro pode investigar a eficácia da reprodução de frequências sonoras em celulares em diferentes momentos do dia. É possível que os mosquitos sejam mais atraídos por determinadas frequências em horários específicos, o que pode ter implicações importantes para o controle populacional.

Investigar uma nova abordagem para contabilizar os mosquitos, como, por exemplo, o uso de um alvo e realizar testes mais complexos com base no isolamento total do ambiente. Além de, também, ser possível avaliar a eficácia em diferentes ambientes, considerando novos parâmetros para teste. Outra sugestão seria investigar novas frequências que atraíam os mosquitos, assim como frequências inaudíveis.

Por fim, um estudo que visa integrar a solução deste trabalho com uma aplicação que identifique o mosquito. Este tipo de estudo, pode trazer avanços em termos de aumento da eficácia do controle dos focos do mosquito.

REFERÊNCIAS

- Android Developers. **AudioTrack**. acessado em 18 de março de 2023. <<https://developer.android.com/reference/android/media/AudioTrack>>.
- ARPITHA, M.; RANI, S. K.; LAVANYA, M. Cnn based framework for classification of mosquitoes based on its wingbeats. In: IEEE. **2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)**. [S.l.], 2021. p. 1–5.
- ARTHUR, B. J. et al. Mosquito (*aedes aegypti*) flight tones: Frequency, harmonicity, spherical spreading, and phase relationships. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Acoustical Society of America, v. 135, n. 2, p. 933–941, 2014.
- BERNIER, U. R. et al. Laboratory comparison of *aedes aegypti* attraction to human odors and to synthetic human odor compounds and blends¹. **Journal of the American Mosquito Control Association**, BioOne, v. 23, n. 3, p. 288–293, 2007.
- CATOR, L. J. et al. Harmonic convergence in the love songs of the dengue vector mosquito. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 323, n. 5917, p. 1077–1079, 2009.
- CONSOLI, R. A.; OLIVEIRA, R. L. d. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. [S.l.]: Editora Fiocruz, 1994.
- DIABATE, A.; TRIPET, F. Targeting male mosquito mating behaviour for malaria control. **Parasites Vectors**, Springer, v. 8, n. 1, p. 347, 2015.
- FANIOUDAKIS, E.; GEISMAR, M.; POTAMITIS, I. Mosquito wingbeat analysis and classification using deep learning. In: IEEE. **2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)**. [S.l.], 2018. p. 2410–2414.
- FAWAZ, E. Y. et al. Swarming mechanisms in the yellow fever mosquito: aggregation pheromones are involved in the mating behavior of *aedes aegypti*. **Journal of Vector Ecology**, v. 39, n. 2, p. 347–354, 2014. Available from Internet: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jvec.12110>>.
- FERNANDES, M. S.; CORDEIRO, W.; RECAMONDE-MENDOZA, M. Detecting *aedes aegypti* mosquitoes through audio classification with convolutional neural networks. **Computers in Biology and Medicine**, v. 129, p. 104152, 2021. ISSN 0010-4825. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482520304832>>.
- FUAD, M. A. M. et al. Training of convolutional neural network using transfer learning for *aedes aegypti* larvae. **TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)**, v. 16, n. 4, p. 1894–1900, 2018.
- GOKUL, G. et al. Real time sound processing on android. In: **Proceedings of the 14th International Workshop on Java Technologies for Real-Time and Embedded Systems**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–10.

HASHAM, A. et al. Dengue vector surveillance using acoustic signals through sequential model of convolutional neural networks. **Sukkur IBA Journal of Computing and Mathematical Sciences**, v. 6, n. 1, p. 42–48, 2022.

JOHNSON, B. J.; RITCHIE, S. A. The Siren's Song: Exploitation of Female Flight Tones to Passively Capture Male *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) . **Journal of Medical Entomology**, v. 53, n. 1, p. 245–248, 10 2015. ISSN 0022-2585. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1093/jme/tjv165>>.

JOHNSON, B. J. et al. A low-cost, battery-powered acoustic trap for surveilling male *aedes aegypti* during rear-and-release operations. **PLOS ONE**, Public Library of Science, v. 13, n. 8, p. 1–10, 08 2018. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201709>>.

KHALIGHIFAR, A. et al. Application of deep learning to community-science-based mosquito monitoring and detection of novel species. **Journal of Medical Entomology**, Oxford University Press US, v. 59, n. 1, p. 355–362, 2022.

KISKIN, I. **Machine learning for acoustic mosquito detection**. Thesis (PhD) — University of Oxford, 2020.

LEE, Y.-G.; JEONG, W. S.; YOON, G. Smartphone-based mobile health monitoring. **Telemedicine and e-Health**, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 18, n. 8, p. 585–590, 2012.

LIMA, L. P. de; SILVA, E. M. D.; SOUZA, A. S. B. de. *Aedes aegypti*: doenças relacionadas: uma revisão histórica e biológica. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 3, p. 3429–3448, 2021.

MENDA, G. et al. The long and short of hearing in the mosquito *aedes aegypti*. **Current Biology**, v. 29, n. 4, p. 709–714.e4, 2019. ISSN 0960-9822. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982219300284>>.

Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, D. **Diretrizes nacionais para a prevenção e controle de epidemias de dengue**. 2009. (Série A. Normas e manuais técnicos). Available from Internet: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue.pdf>.

MUIR, L. E.; KAY, B. H.; THORNE, M. J. *Aedes aegypti* (diptera: Culicidae) vision: response to stimuli from the optical environment. **Journal of Medical Entomology**, Oxford University Press Oxford, UK, v. 29, n. 3, p. 445–450, 1992.

MÜLLER, M. **Fundamentals of music processing: Audio, analysis, algorithms, applications**. [S.l.]: Springer, 2015.

OMS. **WHO scales up response to world-wide surge in dengue 2019**. 2020.

OMS. **Dengue and severe dengue**. 2023. Available from Internet: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>>.

ONG, S.-Q. et al. Implementation of a deep learning model for automated classification of *aedes aegypti* (linnaeus) and *aedes albopictus* (skuse) in real time. **Scientific reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 11, n. 1, p. 9908, 2021.

PANTOJA-SÁNCHEZ, H. et al. A new approach to improve acoustic trapping effectiveness for *aedes aegypti* (diptera: Culicidae). **Journal of Vector Ecology**, v. 44, n. 2, p. 216–222, 2019. Available from Internet: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jvec.12352>>.

PUCKETTE, M. **The Theory and Techniques of Electronic Music**. [S.l.]: World Scientific Publishing Company, 2007.

PURWACANDRA, P. P.; WIBOWO, F. W. An android-based uncertainty digital audio representation for frequency analyzer. In: IEEE. **2012 2nd International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering**. [S.l.], 2012. p. 95–98.

ROADS, C. **The computer music tutorial**. [S.l.]: MIT press, 1996.

SALLES, T. et al. Led colour trap for *aedes aegypti* control. **Recent Patents on Biotechnology**, Bentham Science Publishers, v. 15, n. 3, p. 227–331, 2021.

SAUDE, M. da. **Monitoramento dos casos de arboviroses até a semana epidemiológica 52 de 2022**. v. 54, n. 01, 2023. Available from Internet: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/dicoes/2023/boletim-epidemiologico-volume-54-no-01/view>>.

SCRCPY. 2023.

SMITH, J. O. **Introduction to digital filters: with audio applications**. [S.l.]: Julius Smith, 2007.

STAUNTON, K. M. et al. Designing *aedes* (diptera: Culicidae) mosquito traps: the evolution of the male *aedes* sound trap by iterative evaluation. **Insects**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 5, p. 388, 2021.

STAUNTON, K. M. et al. A novel methodology for recording wing beat frequencies of untethered male and female *aedes aegypti*. **Journal of the American Mosquito Control Association**, American Mosquito Control Association, Inc., v. 35, n. 3, p. 169–177, 2019.

STEELE, C. H.; MCDERMOTT, E. G. Male and female mosquito (diptera: Culicidae) attraction to sound and its relevance to potential applications in vector surveillance. **Annals of the Entomological Society of America**, Oxford University Press US, v. 115, n. 1, p. 113–126, 2022.

STEPIEN, G. H. d. S. Uma aplicação para o monitoramento da disseminação do mosquito *aedes aegypti*. 2021.

STONE, C. M.; TUTEN, H. C.; DOBSON, S. L. Determinants of Male *Aedes aegypti* and *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) Response to Sound: Efficacy and Considerations for Use of Sound Traps in the Field. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 723–730, 07 2013. ISSN 0022-2585. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1603/ME13023>>.

VILLARREAL, S. M.; WINOKUR, O.; HARRINGTON, L. The impact of temperature and body size on fundamental flight tone variation in the mosquito vector *aedes aegypti* (diptera: Culicidae): implications for acoustic lures. **Journal of medical entomology**, Oxford University Press, v. 54, n. 5, p. 1116–1121, 2017.

WISHART, G.; SICKLE, G. V.; RIORDAN, D. Orientation of the males of *Aedes aegypti* (L.)(diptera: Culicidae) to sound. **The Canadian Entomologist**, Cambridge University Press, v. 94, n. 6, p. 613–626, 1962.

ZARA, A. L. d. S. A. et al. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Secretaria de Vigilância em Saúde - Ministério da Saúde do Brasil, v. 25, n. Epidemiol. Serv. Saúde, 2016 25(2), p. 391–404, Apr 2016. ISSN 2237-9622. Available from Internet: <<https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>>.