

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RENAN MAGAGNIN DA SILVA

**Identificação acústica e atração de *Aedes aegypti* através de aplicativo móvel de uso geral**

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

Orientador: Prof. Dr. Weverton Cordeiro  
Co-orientador: Profa. Dra. Luciana Dalla Rosa

Porto Alegre  
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Prof<sup>ª</sup>. Patricia Helena Lucas Pranke

Pró-Reitora de Ensino (Graduação e Pós-Graduação): Prof<sup>ª</sup>. Cíntia Inês Boll

Diretora do Instituto de Informática: Prof<sup>ª</sup>. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Ciência de Computação: Prof. Rodrigo Machado

Bibliotecário-Chefe do Instituto de Informática: Alexsander Borges Ribeiro

## RESUMO

Arboviroses são um grande problema de saúde pública, especialmente em regiões endêmicas como o Brasil. Desenvolver alternativas para prevenir a transmissão de tais patologias é de suma importância, tanto para evitar desfechos negativos na saúde da população quanto para reduzir gastos no sistema de saúde. Esse trabalho descreve o desenvolvimento de um aplicativo para *smartphones Android* de fácil utilização, capaz de emitir a frequência sonora das asas de mosquitos fêmeas *Aedes aegypti*, atraindo os mosquitos machos; além disso, o aplicativo é capaz de identificar o som das batidas das asas dos mosquitos e determinar se o mosquito testado é de fato da espécie. Utilizamos técnicas de trabalhos prévios para a identificação acústica e atração de mosquitos e testamos a eficácia com mosquitos reais em laboratório. Acreditamos que essa seja uma alternativa viável para aumentar a conscientização da população sobre a proliferação de *Ae. aegypti*, além de possivelmente ser um instrumento útil no controle populacional e na notificação dos mesmos aos órgãos públicos.

### **Palavras-chave:**

*Aedes aegypti*. identificação acústica. atração. celulares. frequência. aplicativo. *Android*.

## ABSTRACT

Arboviruses are a major public health problem, especially in endemic regions such as Brazil. Developing alternatives to prevent the transmission of such pathologies is extremely important, both to avoid negative outcomes in the population's health and to reduce costs in the health system. This work describes the development of an easy-to-use application for *Android smartphones*, capable of emitting the sound frequency of the wings of female *Aedes aegypti* mosquitoes, attracting male mosquitoes. Furthermore, the application is capable of identifying the sound of mosquito wingbeats and determining whether the mosquito tested is indeed of the species. We utilized techniques from previous work for acoustic identification and attraction of mosquitoes and tested their effectiveness with real mosquitoes in the laboratory. We believe that this is a viable alternative to increase the population's awareness about the protection of *Ae. aegypti* mosquitoes, in addition to possibly being a useful tool in population control and in notifying public bodies.

**Keywords:** *Aedes aegypti*. acoustic identification. attraction. smartphones. frequency. application. *Android*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Telas do aplicativo na ordem em que se apresentam na experiência do usuário.....	18
Figura 5.1 Laboratório em que todos experimentos foram realizados.....	24
Figura 5.2 Gaiolas com as duas populações utilizadas nos experimentos de atração.....	25
Figura 5.3 Gaiola e população utilizadas nos experimentos de identificação acústica...	27
Figura 5.4 Gaiola e população utilizadas nos experimentos de identificação acústica...	28
Figura 5.5 Celular dentro da gaiola durante experimento de detecção .....	29
Figura 6.1 Histograma de durações dos experimentos de identificação acústica .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 Número máximo de mosquitos simultaneamente em contato com o celular para cada rodada do experimento. ....	31
Tabela 6.2 Duração do processo de detecção (em segundos) de cada ciclo dos experimentos. Detecção sem êxito destacada com asterisco.....	32
Tabela 6.3 Duração média de detecção para cada experimento. ....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ae. *Aedes*

IDE Integrated Development Environment

UI User Interface

MVC Model-View-Controller

MVVM Model-View-ViewModel

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TECNOLÓGICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4 PROPOSTA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Usuários e Caso de Uso.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Descrição das Telas do Aplicativo.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Implementação .....</b>	<b>19</b>
4.3.1 Arquitetura .....	19
4.3.1.1 Views.....	19
4.3.1.2 ViewModels .....	20
4.3.2 Atração sonora .....	20
4.3.3 Identificação acústica .....	21
<b>5 ANÁLISE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Materiais e Ambiente.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Experimentos de Atração .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3 Experimentos de Identificação Acústica .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4 Experimentos de Detecção: Identificação Acústica com Auxílio de Atração ....</b>	<b>28</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
<b>6.1 Experimentos de Atração .....</b>	<b>31</b>
<b>6.2 Experimentos de Identificação Acústica .....</b>	<b>32</b>
<b>6.3 Experimentos de Detecção: Identificação Acústica com Auxílio de Atração ....</b>	<b>33</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As doenças transmitidas por mosquitos continuam sendo um dos problemas de saúde mais significativos em todo o mundo, com estimativas de 700 milhões de pessoas contraindo essas doenças anualmente e mais de um milhão de mortos por ano (QURESHI, 2018). Em termos econômicos, essas doenças geram prejuízos severos à economia global, estimados em bilhões de dólares a cada ano (BRADSHAW et al., 2016; DIAGNE et al., 2021; AHMED et al., 2022). No Brasil há um sério problema com arboviroses endêmicas; no ano de 2022 o Centro Estadual de Vigilância em Saúde do Rio Grande do Sul reportou 66.888 casos confirmados e 66 óbitos por tais doenças no estado (Governo do Rio Grande do Sul, 2023). Dentre elas, a dengue tem o maior número de casos, sendo considerada a doença viral transmitida por mosquitos de propagação mais rápida no mundo (SAÚDE, 2023a), e seu principal transmissor é o *Aedes aegypti*. A prevenção e controle dessas enfermidades dependem da redução da população de mosquitos (LEANDRO et al., 2022; FORSYTH et al., 2020), além da notificação aos órgãos de vigilância sanitária. Entretanto, o controle dos vetores não é uma tarefa fácil, já que a espécie é extremamente adaptada a ambientes urbanos e possui vantagens evolutivas que promovem a transmissão da doença em zonas de alta densidade populacional.

Ao contrário de muitos outros mosquitos, o *Ae. aegypti* é diurno, o que significa que é mais ativo durante o dia, especialmente durante as primeiras horas da manhã e o final da tarde (CRUZ, 2008). A reprodução do mosquito ocorre por meio do acasalamento entre machos e fêmeas. Após o acasalamento, a fêmea procura locais adequados para depositar seus ovos. Ela prefere recipientes de água parada, como vasos, pneus, recipientes de lixo, caixas d'água e ralos. Os ovos de *Ae. aegypti* são resistentes e podem sobreviver em ambiente seco por meses. Quando entram em contato com água, eles eclodem em larvas. As larvas do são aquáticas e se alimentam de pequenas partículas orgânicas presentes na água. O ciclo de vida de *Ae. aegypti*, desde o ovo até o adulto, varia de acordo com a temperatura e as condições ambientais, mas geralmente leva de 7 a 14 dias. O conhecimento detalhado do ciclo de vida e dos hábitos de reprodução de *Ae. aegypti* é fundamental para o controle eficaz desses mosquitos e a prevenção de doenças transmitidas por eles (SAÚDE, 2023b). A eliminação de criadouros de água parada e a conscientização pública desempenham papéis cruciais no combate a esses vetores.

As fêmeas de *Ae. aegypti* são os principais vetores de arboviroses devido ao seu comportamento alimentar específico, a hematofagia, pois necessitam de uma refeição de

sangue para desenvolver seus ovos (CRUZ, 2008). Elas possuem peças bucais especializadas para penetrar a pele de seus hospedeiros; durante a picada, podem ingerir sangue de um indivíduo infectado e, subsequentemente, transmitir patógenos para um novo hospedeiro sadio. Os patógenos responsáveis pelas doenças são multiplicados dentro do corpo do mosquito e depois passados para humanos. Devido a sua capacidade de se alimentar de múltiplos indivíduos durante sua vida as fêmeas são capazes de espalhar rapidamente doenças e causar epidemias. O controle efetivo dessas doenças frequentemente se concentra em medidas de prevenção que visam interromper o ciclo de vida das fêmeas, como a eliminação de criadouros de água parada e a proteção pessoal contra picadas de mosquitos; porém, outro foco extremamente importante é a conscientização e preparo da população.

Existem diversas iniciativas que visam aumentar a consciência da população sobre a proliferação de *Ae. aegypti* em uma determinada região. Por exemplo, projetos como o Onde Está o Aedes?<sup>1</sup>, mantido pela Prefeitura de Porto Alegre, visa oferecer à população um mapa reportando a quantidade de mosquitos capturadas semanalmente usando armadilhas instaladas em diversas regiões. Um dos desafios dessa abordagem é a necessidade de inspeção presencial a cada uma das armadilhas espalhadas pela cidade. Visando superar esse desafio, diversas pesquisas tem investido em formas de automatizar o mapeamento de mosquitos usando inteligência artificial, com resultados preliminares promissores. Por exemplo, diversas investigações têm focado em aplicar redes neurais convolucionais para identificar *Ae. aegypti* via análise do ruído do bater de asas (MUKUNDARAJAN et al., 2017) (FERNANDES; CORDEIRO; RECAMONDE-MENDOZA, 2021).

As pesquisas acima permitiram, pela primeira vez, pensar em smartphones como uma ferramenta para ajudar a aumentar a consciência da população sobre a existência de mosquitos em uma dada região e, por consequência, avançar o estado da arte em novas frentes. Uma dessas frentes visa integrar tais técnicas de aprendizado de máquina em aplicativos de smartphone para detectar mosquitos usando o próprio celular (NUNES, 2020). Uma limitação dessa abordagem é que o mosquito precisa estar a no máximo 10 centímetros do celular para que o ruído do bater de asas emitido pelo mosquito possa ser capturado com efetividade (MUKUNDARAJAN et al., 2017). Considerando essa limitação, outra frente de pesquisa tem se concentrado na viabilidade de atração de mosquitos com base em estímulos sonoros emitidos por smartphones (PEREIRA, 2023). Nesse contexto, a seguinte pergunta de pesquisa permanece: “É possível identificar *Ae. aegypti* por meio de um aplicativo de smartphone que esteja, concorrentemente, emitindo estímulos

---

<sup>1</sup>Website Onde Está o Aedes?: <https://prefeitura.poa.br/sms/onde-esta-o-aedes>

sonoros para atrair os mosquitos para perto do celular?”.

Com base nas investigações anteriores e considerando a pergunta de pesquisa mencionada acima, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo de *smartphone* de uso geral capaz realizar concorrentemente atração e identificação acústica de *Ae. aegypti* sem perdas na eficácia da identificação. Essa pode ser uma maneira de envolver o público e incentivá-lo a tomar medidas preventivas, além do potencial de apoiar programas públicos de controle de vetores. A tecnologia aqui desenvolvida e empregada baseia-se no fato de que mosquitos machos, que não são transmissores de doenças, tem uma capacidade de dispersão inferior a 100 metros, portanto encontrar mosquitos machos em um determinado local é um forte indicativo da presença de fêmeas e ovos de *Ae. aegypti* na área. Como o aplicativo é capaz de emitir a frequência de som do bater de asas das fêmeas para atrair os mosquitos machos, o usuário pode atrair os mosquitos sem a preocupação imediata de contrair as doenças citadas, pois o macho não é transmissor.

O restante do documento está organizado como segue. No Capítulo 2 apresentamos os principais fundamentos tecnológicos que apoiam o desenvolvimento da presente pesquisa. No Capítulo 3 discutimos alguns dos principais trabalhos relacionados. No Capítulo 4 apresentamos a proposta de protótipo para detecção de mosquitos com o uso concorrente de mecanismos de atração de mosquitos via estímulos sonoros. O Capítulo 5 descreve a metodologia de experimentação prática em laboratório, enquanto que o Capítulo 6 apresenta os principais resultados. Por fim, o Capítulo 7 encerra o documento com considerações finais e perspectivas para pesquisas futuras na área.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TECNOLÓGICA

**Plataforma *Android*.** O sistema operacional *Android*, desenvolvido pela *Google*, é notável por sua ampla adoção em dispositivos móveis em todo o mundo. Atualmente, os dispositivos *Android* são amplamente utilizados e estão disponíveis em uma variedade de marcas e modelos. Essa diversidade e acessibilidade tornam o *Android* a escolha predominante para consumidores em busca de dispositivos móveis. A plataforma *Android* oferece uma série de ferramentas e recursos poderosos para os desenvolvedores, tornando-a uma escolha atraente para criar aplicativos que atendam às necessidades de um público global.

O *Android Studio* é o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) oficial para a plataforma *Android*. Ele fornece uma ampla gama de recursos e ferramentas que simplificam o processo de criação, teste e implantação de aplicativos *Android*.

A linguagem de programação *Kotlin* emergiu como a linguagem preferida para o desenvolvimento de aplicativos *Android*. *Kotlin* oferece uma sintaxe concisa e expressiva, juntamente com recursos avançados de segurança e interoperabilidade com o *Java*. A sua adoção crescente na comunidade de desenvolvedores *Android* é impulsionada pela sua capacidade de aumentar a produtividade e tornar o código mais legível e robusto.

**Jetpack Compose.** Trata-se de um kit de ferramentas moderno e inovador para a criação de interfaces de usuário nativas no *Android* (Android Developers, 2023b; MARCHENKO, 2023). Ele adota uma abordagem declarativa para a construção de interfaces de usuário, permitindo que os desenvolvedores descrevam a aparência e o comportamento das telas de maneira mais intuitiva e eficiente. *Compose* simplifica a criação de interfaces de usuário dinâmicas e altamente personalizáveis, acelerando o processo de desenvolvimento.

**TensorFlow Lite.** Trata-se de uma biblioteca de aprendizado de máquina desenvolvida pela *Google* para dispositivos móveis e embarcados (Tensorflow, 2023). Ela permite a integração de modelos de aprendizado de máquina em aplicativos *Android*, possibilitando funcionalidades avançadas, como reconhecimento de imagem, processamento de linguagem natural e muito mais. *TensorFlow Lite* é especialmente relevante para aplicativos que exigem inferência de modelos de aprendizado de máquina em tempo real em dispositivos móveis (ABADI et al., 2016).

**AudioTrack.** Trata-se de uma *API* de mídia que permite a reprodução de áudio em baixo nível em aplicativos desenvolvidos para a plataforma *Android* (Android Developers, 2023a). 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.

**Model-View-ViewModel (MVVM).** O *MVVM* é um padrão de arquitetura amplamente adotado no desenvolvimento de aplicativos *Android* (LOU et al., 2016). Ele oferece uma estrutura organizada e eficiente para projetar e gerenciar a lógica de interface do usuário (UI) e a manipulação de dados em aplicativos *Android*. O *MVVM* foi introduzido como uma evolução do padrão anterior, o *MVC (Model-View-Controller)* (MITCHELL, 2014), com o objetivo de fornecer uma separação mais clara de responsabilidades entre os componentes do aplicativo.

No padrão *MVC*, o *Model* representa a camada de dados do aplicativo, o *View* cuida da camada de interface do usuário (UI) e o *Controller* atua como um intermediário que controla a interação entre o *Model* e a *View*. No entanto, o *MVC* muitas vezes resulta em uma interconexão complexa entre o *Controller* e a *View*, tornando a manutenção e a escalabilidade do código desafiadoras.

Em contraste, o *MVVM* aborda esses desafios ao introduzir o componente *ViewModel*, que age como um intermediário entre a *Model* e a *View*. O *ViewModel* contém a lógica de apresentação e processamento de dados, permitindo que a *View* seja mantida de forma mais simples e independente. Isso facilita a reutilização de código e torna a estrutura mais testável e de fácil manutenção.

O *MVVM* promove uma separação clara de preocupações, o que torna o código mais modular, testável e de fácil manutenção. Além disso, ele se integra perfeitamente com outras tecnologias *Android* modernas, como o *Android Jetpack*, tornando-o uma escolha popular para o desenvolvimento de aplicativos *Android* robustos e escaláveis.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Esse trabalho baseou-se principalmente em trabalhos prévios para a identificação acústica (PAIM et al., 2023) e atração de *Ae. aegypti* (PEREIRA, 2023). Esse capítulo descreve esses trabalhos, destaca limitações e como eles se complementam.

Em (PEREIRA, 2023), a pesquisa se concentra na atração de *Ae. aegypti* por meio de frequências sonoras do batimento das asas de mosquitos fêmeas reproduzidas pelos *smartphones*. A metodologia envolveu testes em laboratório para avaliar a eficácia da aplicação. Os resultados obtidos demonstraram que foi possível atrair o mosquito macho utilizando um *smartphone* e a frequência que obteve melhores resultados, com 57% de atração, foi a de 484Hz, indicando que esta estratégia tem potencial para ser aplicada em futuros métodos de controle e prevenção dessas doenças. 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. Já para as fêmeas, não foi possível obter uma resposta maior que 30% no estudo. Observou-se também que a presença de luz do *display* do celular pode afetar negativamente a atração dos mosquitos.

É importante mencionar que esse estudo teve algumas limitações, incluindo uma quantidade restrita de mosquitos disponíveis para os testes, a realização dos experimentos em um ambiente com iluminação artificial, limitações relacionadas ao hardware dos *smartphones*, como a qualidade dos alto-falantes, latência na transmissão de áudio, restrições do sistema operacional e limitações na taxa de amostragem e resolução de bits nos dispositivos móveis. Apesar dessas limitações, os resultados promissores deste estudo têm o potencial de contribuir para o desenvolvimento de abordagens inovadoras no combate ao mosquito *Ae. aegypti* e às doenças transmitidas por ele. A utilização de dispositivos eletrônicos, como *smartphones*, pode se tornar uma ferramenta eficaz e acessível na prevenção e controle dessas doenças em diversas regiões. A autora recomenda a realização de estudos futuros com amostras mais amplas e a exploração de outras frequências e variáveis para uma compreensão mais completa do comportamento dos mosquitos em resposta a estímulos sonoros.

De forma complementar, em (PAIM et al., 2023), os autores propõem o uso de aplicativos de *smartphones* e redes neurais convolucionais residuais para identificar *Ae.*

*aegypti* com base em gravações de áudio do batimento das asas de mosquitos fêmeas. A partir dos testes realizados, o aplicativo demonstrou atender aos requisitos de desempenho necessários para smartphones populares disponíveis no mercado, uma vez que não exige grande poder de processamento e possui um requisito mínimo de sistema operacional do *Android Oreo 8.1*. A interface do aplicativo é composta por três componentes: (1) um quadro que exibe o espectrograma (STFT) resultante da decomposição do áudio gravado; (2) um quadro identificador de intensidade sonora; e (3) um número em uma escala de porcentagem que identifica a probabilidade de que a amostra contenha sinais de *Ae. aegypti*. O aplicativo foi desenvolvido em Java (v8.0) e C++ (v11), e a interface do usuário foi construída com base nas bibliotecas padrão do *Android*. As operações matemáticas da transformada de Fourier foram implementadas em C++ e compiladas para a arquitetura *ARM x64*. A rede neural foi treinada usando computação em nuvem e executada no smartphone por meio da biblioteca *TensorFlow Lite* (v2.1.0), que implementa funções de baixo nível. O aplicativo foi executado em um *Asus Zenfone Max M3* Qualcomm Snapdragon 430 64-bit Octa core 4G RAM *Android 8.1* e em um *Motorola Moto E6 Play* Cortex-A53 1.5 GHz Quad Core 2 GB RAM *Android 9.0*, ambos modelos de entrada no Brasil na época do lançamento. O tempo médio para cada inferência foi de aproximadamente 320 ms. Nesse trabalho, apresenta-se um novo conjunto de dados, uma topologia de rede neural proposta e um método de treinamento desenvolvido como etapas em direção à implementação de aplicativos de monitoramento de *Ae. aegypti* em dispositivos móveis de baixo custo. Os resultados de uma avaliação com conjuntos de dados reais inéditos e preexistentes mostraram o avanço proporcionado pela proposta em relação ao "estado da arte" prévio ao estudo. Em comparação a trabalhos prévios, a rede neural proposta é 18,5% menor em termos do número de parâmetros, que é o principal fator de eficiência computacional da técnica. A rede neural combinada com a técnica de treinamento aprimorada, pode gerar resultados equivalentes ou ligeiramente superiores ao estado da arte em termos de precisão, precisão, *recall* e *F1* em todos os cenários considerados. Além disso, a implementação de um protótipo funcional demonstra a viabilidade de executar (sem falhas e travamentos) a solução proposta em smartphones populares. Considerou-se que em um ambiente com ruído semi-controlado (um laboratório de biologia sem isolamento acústico), o modelo apresentou alta estabilidade na identificação efetiva da presença de *Ae. aegypti*. Os autores citam como limitações a falta de conjuntos de dados prévios para estudo comparativo e as restrições computacionais dos dispositivos utilizados pelo público-alvo.

## 4 PROPOSTA

A seguir descrevemos o processo de desenvolvimento do projeto, iniciando pelo projeto do aplicativo de smartphone e finalizando com a implementação. Em relação ao projeto do aplicativo móvel e pesquisas que inspiraram esse processo. Iniciando com uma descrição dos usuários e o caso de uso identificado, seguida das referências utilizadas e, por fim, a descrição das telas presentes no aplicativo.

### 4.1 Usuários e Caso de Uso

Existem aplicativos com uma experiência de usuário similar à busca nesse trabalho e o principal entre esses é o *Shazam*, aplicativo que identifica músicas baseado em uma pequena amostra através do microfone do celular. Esse têm sido referência dentre aplicativos com o mesmo objetivo desde seu lançamento em 2006 e apresenta um design e experiência de usuário moderno e amplamente testado e validado. Portanto, *Shazam* se mostrou uma ótima inspiração, especialmente junto de outros aplicativos similares como *SoundHound*.

Considerando a aplicação de referência para o projeto, pressupomos que o público alvo da aplicação divide-se em dois perfis distintos. O primeiro grupo trata-se de agentes treinados de organizações que têm como objetivo monitorar a população de *Ae. aegypti* para fins de vigilância. O segundo grupo trata-se do público geral, ou seja, indivíduos que não são parte de órgãos de saúde mas que querem contribuir com o esforço de prevenção das arboviroses em alguma capacidade. Portanto, ao idealizar o design e interface do aplicativo, levamos em consideração que o mesmo deve ser confiável e consistente o suficiente para ser utilizado pelo primeiro grupo, bem como intuitivo e acessível para o público geral sem treinamento na área.

Existem iniciativas para monitoramento em vigência na data de elaboração desse trabalho, como por exemplo o projeto o "MI-Aedes"(Monitoramento Integrado do Aedes), por meio do qual a Prefeitura de Porto Alegre mantém monitoramento de *Ae. aegypti* desde 2012 (Prefeitura de Porto Alegre, 2023). Áreas de monitoramento foram estabelecidas pela prefeitura, onde cidadãos responsáveis por imóveis tornam-se parceiros do poder público ao aceitar a instalação de uma armadilha em sua residência ou comércio. Essas armadilhas são vistoriadas semanalmente por agentes treinados e os dados populacionais de *Ae. aegypti* são coletados. Em comparação às armadilhas fixas utilizadas,

um aplicativo intuitivo capaz de realizar detecções de *Ae. aegypti* seria uma alternativa escalável para ampliação desse tipo de projeto, tendo em vista a facilidade de acesso à smartphones. Isso reforça a importância da usabilidade do aplicativo e, portanto, é essencial que a utilização do aplicativo seja intuitiva e que não requeira nenhum conhecimento ou treinamento prévio.

Apesar da detecção ser uma parte essencial do monitoramento populacional dos mosquitos a coleta e centralização desses dados é o fator determinante para elaboração de políticas e direcionamento dos recursos públicos, bem como para estabelecer parâmetros comparativos que possam ser indicadores de efetividade das políticas vigentes. Portanto, apesar do foco principal do presente trabalho ser a detecção precisa dos mosquitos, julgamos que a extensibilidade do aplicativo também deve ser prioridade processo de design.

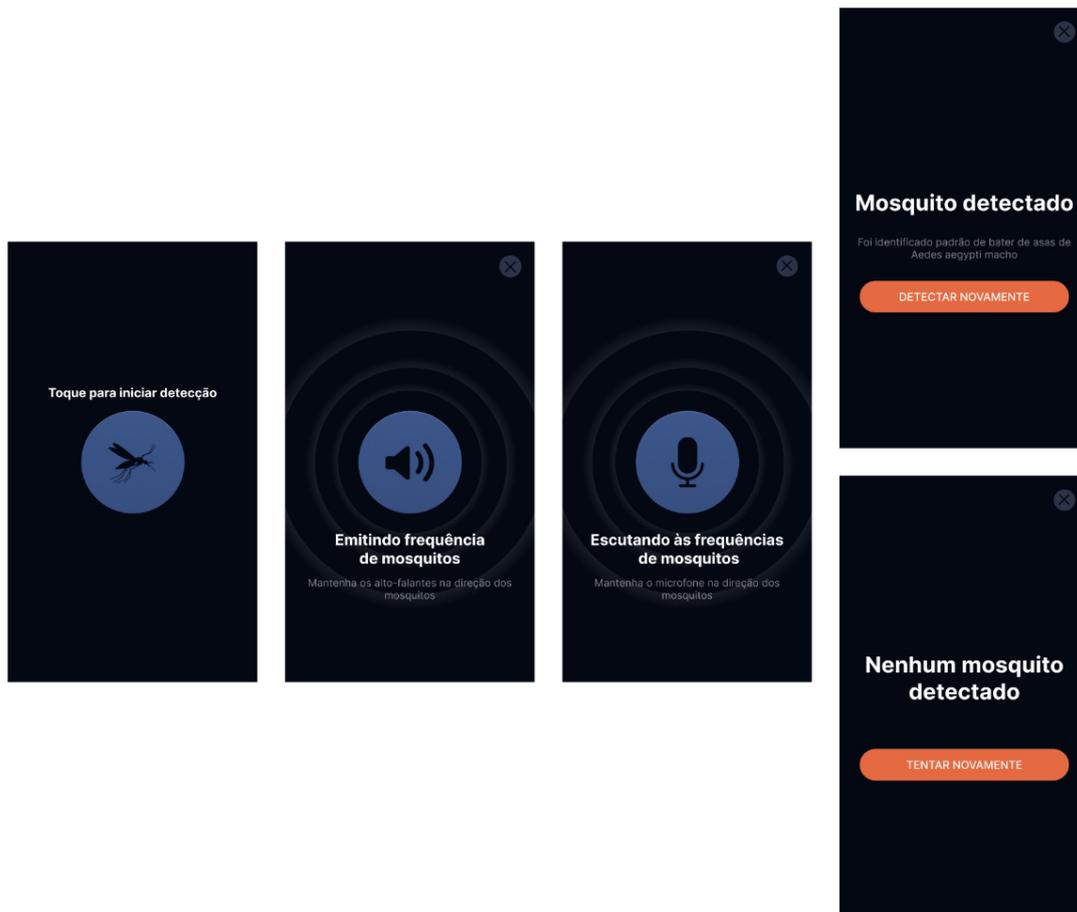
#### 4.2 Descrição das Telas do Aplicativo

A abordagem de design objetiva o minimalismo, expondo ao usuário apenas os componentes essenciais para utilização do aplicativo e para a experiência do usuário. A paleta de cores foi escolhida com dois objetivos principais: o primeiro é estabelecer uma hierarquia visual clara e acessível; o segundo, priorizar tons escuros para minimizar possíveis efeitos da luz da tela nos mosquitos, já que o trabalho prévio (PEREIRA, 2023) identificou que a tela clara ou com brilho excessivo pode afetar a atração dos mosquitos. Os parágrafos seguintes descrevem as telas que compõem o aplicativo detalhando suas funcionalidades e o racional de design envolvido.

**Tela de Início:** Tela apresentada quando o aplicativo é aberto. A única interação possível é a iniciação do processo de detecção através do botão no centro da tela, que por essa razão é destacado através de seu posicionamento, tamanho e contraste com o plano de fundo.

**Tela de Detecção:** Ao início do processo de detecção, o botão central deixa de ser interativo. Isso é comunicado visualmente através de uma mudança na cor (menor contraste com o plano de fundo) e animações radiais que visam comunicar que o processo está em andamento. Durante o processo de atração, as ondas se afastam do centro e durante a identificação, as ondas se movem em direção ao centro. O ícone do botão, juntamente da descrição primária (em branco e tamanho significativo) descrevem o processo atualmente em andamento: atração e identificação acústica. Essa descrição é feita com uma linguagem mais acessível para melhor entendimento sem necessidade de conheci-

Figura 4.1: Telas do aplicativo na ordem em que se apresentam na experiência do usuário



Fonte: O Autor

mento prévio. A descrição secundária (em cinza e menor tamanho) tem como objetivo fornecer mais contexto com informações não essenciais mas ainda úteis. Finalmente, o botão no topo direito da tela oferece a funcionalidade de cancelar o processo de detecção mas essa alternativa é pouco destacada por representar uma interação que não faz parte do fluxo desejado.

**Telas de Resultado:** O resultado é comunicado de maneira direta, fornecendo detalhes adicionais na medida do possível (dado que o modelo de aprendizado de máquina não fornece muitos detalhes sobre identificações) e o destaque é focado na próxima ação disponível: uma nova detecção.

## 4.3 Implementação

A seguir apresentamos detalhes sobre a implementação do aplicativo, destacando a arquitetura e os componentes principais: atração através da reprodução de frequências sonoras e identificação acústica. O aplicativo foi desenvolvido com *Android Studio* principalmente em *Kotlin* com *Jetpack Compose* e algumas classes foram escritas em *Java*. Além disso, a biblioteca *TensorFlowLite* foi usada para executar modelos de aprendizado de máquina e a API *AudioTrack* para reprodução de áudio em baixo nível.

### 4.3.1 Arquitetura

Seguindo padrões moderno de desenvolvimento *Android* com *Jetpack Compose*, o padrão de arquitetura utilizado foi MVVM, separando responsabilidade entre *Models*, *ViewModels* e *Views*.

#### 4.3.1.1 Views

São principalmente responsáveis por estruturar e mostrar a interface para o usuário, também atuam como mediadores entre os inputs através da tela, como botões, e as *ViewModels*. Exemplo das principais *Views* utilizadas nesse projeto são brevemente descritas abaixo:

**MainActivity:** Desempenha o papel de principal *View*, tendo uma conexão direta com *AedesDetectorViewModel* e orquestrando as outras *Views*, que possuem responsabilidades mais específicas.

**StartScreen:** Exibe a tela de início, em que o usuário pode iniciar o processo de detecção de mosquitos, transacionando para a tela *DetectingScreen*.

**DetectingScreen:** Exibe a tela de detecção de mosquitos, processo durante o qual o aplicativo alterna entre dois estados, em ordem: (1) atração (emissão de frequências de mosquitos) e (2) identificação acústica de mosquitos a partir do áudio capturado pelo microfone do celular. O usuário pode cancelar o processo de detecção a qualquer momento através de um botão no topo direito da tela.

**DetectionSuccessScreen e DetectionFailureScreen:** Exibem as telas de resultado do processo de detecção. Essas sinalizam se o aplicativo conseguiu ou não detectar *Ae. aegypti* a partir do áudio capturado pelo microfone do celular. Em ambas, o usuário é

oferecido a alternativa de realizar uma nova detecção.

#### 4.3.1.2 *ViewModels*

Fazem a conexão das *views* e *models*, dando estrutura e funcionamento para a aplicação. Os principais *ViewModels* utilizados nesse projeto são brevemente descritos abaixo:

**AedesDetectorViewModel:** Desempenha o papel de principal *ViewModel*, tendo uma conexão direta com *MainActivity* e orquestrando os outros *ViewModels*, que possuem responsabilidades mais específicas. Possui como propriedades uma instancia de cada: *PermissionsViewModel*, *RecordingViewModel*, *AttractionViewModel* e *DetectionViewModel*. Além disso, define e impõe o número máximo de 15 ciclos de detecção.

**AttractionViewModel:** Controla a execução da atração de mosquitos, através da funcionalidade de reprodução de frequências sonoras ao longo de um tempo estipulado, em uma *thread* de execução dedicada.

**RecordingViewModel:** Controla os ciclos de gravações realizadas a partir do microfone do celular. Gerencia uma instância de *ContinuousRecorder* que, em uma *thread* de execução dedicada, executa a gravação em nível de *buffers*. A cada ciclo de gravação completo, uma notificação é gerada com o áudio gravado em formato de *buffer*. Depende fortemente de *PermissionsViewModel*.

**DetectionViewModel:** Controla a identificação acústica de mosquitos através da aplicação do modelo de aprendizado de máquina a *buffers* de áudio. Utiliza a classe de mais baixo nível *Frequency* que encapsula a dependência à biblioteca *TensorFlowLite*. Quando a identificação é completa, uma notificação é gerada com o resultado da predição resultante do modelo.

**PermissionsViewModel:** Administra a coleta de permissões do usuário. Essas são necessárias para o acesso do microfone para gravações, das quais a identificação sonora depende completamente. Possui e controla uma fila de caixas de diálogo que são exibidas para o usuário.

#### 4.3.2 Atração sonora

Nesta seção, será detalhada a implementação da funcionalidade de atração de mosquitos através da reprodução de frequências sonoras similares ao bater de asas de mosqui-

tos. Começando pela orquestração em *AedesDetectorViewModel*, seguida da reprodução da frequência e transição para um ciclo de identificação.

**AedesDetectorViewModel.** No momento que o botão de iniciar detecção é pressionado, é chamado o método *startAttracting*, que delega a atração para *AttractionViewModel* através do método *attract*, aguarda pela duração de atração e, na sequência, com uma chamada do seu próprio método *startDetecting* inicia o processo de identificação acústica de mosquitos.

**AttractionViewModel.** A implementação a reprodução de frequências sonoras está contida no método *attract*, que têm como parâmetros a duração da atração e frequência a ser reproduzida. Os valores usados são 2 segundos e 484Hz. Iniciando pela instanciamento de um objeto do tipo *AudioTrack* que, em uma *thread* de execução dedicada, calcula o número de iterações necessárias e as executa preenchendo o *buffer* utilizado na chamada *audioTrack.write()*. O laço de iterações implementa também uma diminuição gradativa no volume do áudio reproduzido brevemente antes do final da reprodução, evitando um encerramento súbito.

Como descrito em (PEREIRA, 2023), o *buffer* é preenchido com amostras de uma onda senoidal na frequência especificada, utilizando a amplitude máxima da onda em um dado instante. Nota-se que é necessário garantir que a frequência da onda senoidal gerada digitalmente seja a mesma 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.

### 4.3.3 Identificação acústica

Nesta seção, será detalhada a implementação da funcionalidade de identificação acústica de mosquitos, começando pela orquestração em *AedesDetectorViewModel*, seguida da captura do áudio do microfone do celular e da predição através do modelo de aprendizado de máquina.

**AedesDetectorViewModel.** A inicialização de *recordingViewModel* inclui a passagem de um *callback* que será chamado quando um ciclo de gravação for concluído. Para isso, definiu-se o método *onRecordingCompletion* que recebe o *buffer* de áudio e realiza a chamada *detectionViewModel.detect()* repassando esse *buffer*.

A inicialização de *detectionViewModel* também inclui a passagem de um *callback* que, nesse caso, será chamado quando um ciclo de identificação for concluído. Para isso,

definiu-se o método *onDetectionCompletion* que recebe o resultado da identificação e, baseado nesse:

- Determina se houve identificação de mosquitos, alterando o estado para detecção bem-sucedida em caso positivo. Senão, inicia um novo ciclo de atração (respeitando o número máximo de detecções).
- Incrementa o número de detecções e, caso o número máximo tenha sido excedido, altera o estado para falha de detecção.
- Encerra o ciclo de gravação através da chamada *recordingViewModel.stopRecording()*.

No momento que o ciclo de atração é completo, o método *startDetecting* é chamado. Esse delega a captura do áudio do microfone ao *RecordingViewModel*.

**RecordingViewModel.** Possui e controla uma instancia de *ContinuousRecorder* para realizar gravações e manter, através de um *callback*, *fftBuffer* (sua principal propriedade) atualizada com o mais recente *buffer* de áudio gravado. *ContinuousRecorder* encapsula o trabalho em mais baixo nível, que utiliza uma instância de *AudioRecord* realizar as gravações a partir de taxa de amostragem, ganho de som e uma *thread* de execução dedicada.

**DetectionViewModel.** Recebe em sua inicialização um *callback* a ser executado quando a identificação for concluída (*onDetectionCompletion*). Possui e controla uma instância do tipo *Frequency*, que encapsula a lógica propriamente dita da execução do modelo, que classifica o *buffer* de áudio. Dentro do método *detect*:

1. O *buffer* de entrada é preparado e repassado através da chamada *frequency.setBuffer()*
2. A chamada *frequency.classify()* executa a classificação
3. O resultado da classificação pelo modelo é retornado através do *callback onDetectionCompletion*

## 5 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Esse capítulo descreve a metodologia de experimentação prática em laboratório. A primeira seção descreve os materiais utilizados e ambiente dos experimentos; na segunda, terceira e quarta sessões descrevemos os parâmetros e procedimentos utilizados para avaliar tanto atração e identificação acústica isoladamente quanto as duas funcionalidades combinadas.

### 5.1 Materiais e Ambiente

Para os experimentos descritos nesse capítulo, foi utilizado um celular Galaxy S20 FE 5G com Android versão 13 para rodar o aplicativo desenvolvido no trabalho e para gravações, um celular iPhone 14 Pro e uma GoPro Hero 10 Black.

Os experimentos foram realizados nos laboratórios do departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia do Instituto de Ciências Básicas da Saúde (ICBS), unidade da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), responsável pelo curso de Graduação em Biomedicina da Instituição e por seis Programas de Pós-Graduação. Nos laboratórios, várias populações de mosquitos são mantidas em gaiolas e são realizados diversos tipos de experimentos. Além disso, a iluminação (foto períodos de 12 horas), umidade e temperatura são controladas nos laboratórios.

Para os experimentos de atração isolada, foram utilizadas duas gaiolas com cerca de 25 mosquitos em cada uma, sendo uma delas composta apenas por *Ae. aegypti* fêmeas e outra com os machos. Em laboratório, os mosquitos nasceram, foram separados pelo sexo e desenvolveram-se isoladamente até participarem desse experimento em específico com idade de 4 dias. Para os experimentos de identificação acústica isolada, foi usada uma gaiola média, com cerca de 100 mosquitos. Essa população, também criada em laboratório, é composta por machos e fêmeas de idades variadas (de 2 a 30 dias). Para os experimentos de identificação acústica combinada com atração, foi usada uma gaiola maior, com exatamente 15 mosquitos machos.

Os mosquitos nasceram em laboratório e desenvolveram-se com sua colônia, sendo separados somente durante o experimento. A dieta recebida consiste de substâncias açucaradas com mel e, no caso das fêmeas, repastos de sangue também.

A preparação realizada antes do início de todos os experimentos consistiu em higienização do celular com álcool e utilização de luvas descartáveis. Também se teve o

cuidado de manter todas as pessoas presentes a uma certa distância das gaiolas, a fim de minimizar qualquer possível efeito no comportamento dos mosquitos. Finalmente, os experimentos foram gravados do início ao fim para de permitir a análise dos resultados.

Figura 5.1: Laboratório em que todos experimentos foram realizados



Fonte: O Autor

## 5.2 Experimentos de Atração

A seguir apresentamos os parâmetros que definem as análises realizadas para a atração de mosquitos:

- Data: 6 de setembro de 2023, às 10:30 da manhã
- Temperatura ambiente: 26°C
- Umidade do ar: 24%
- População de cerca de 25 mosquitos machos
- População de cerca de 25 mosquitos fêmeas
- Características de ambas populações
  - Idades: cerca de 4 dias
  - Atividade reprodutiva: nenhuma, sexos isolados desde o nascimento

- Nível aparente de energia: baixo, quase toda população em repouso nas paredes da gaiola (principalmente os machos)
- Dimensões das gaiolas: 20cm x 20cm x 20cm

Figura 5.2: Gaiolas com as duas populações utilizadas nos experimentos de atração



Fonte: O Autor

**Procedimento.** A fim de avaliar a eficácia da atração com intervalos e de forma isolada, o experimento foi conduzido sem aplicação de identificação acústica. Durante os períodos de atração, a frequência emitida foi de 484Hz (similar ao bater de asas de *Ae. aegypti* fêmea) por 2 segundos. Para cada uma das duas populações, foram efetuadas (separadamente) 5 rodadas do experimento como descrito a seguir:

1. O celular foi posicionado dentro da gaiola, com os alto-falantes o mais perto possível do centro da gaiola.
2. O celular foi mantido inativo por 1 minuto e 30 segundos, com o aplicativo aberto na tela de início mas sem efetuar identificação acústica ou atração.
3. Ainda dentro da gaiola, por mais 1 minuto e 30 segundos, o celular passou a efetuar atração normalmente com intervalos de 4 segundos (sem execução de identificação acústica).
4. O intervalo entre as rodadas foi de 1 minuto.

Na concepção do experimento, o momento inativo descrito no item 2 serve como controle e permite que a avaliação do momento de atração (descrita no item 3) seja realizada em relação ao controle. Assim, isola-se a atração pela emissão de frequência de outros motivos pelos quais os mosquitos possam vir a aproximarem-se do celular.

### 5.3 Experimentos de Identificação Acústica

A seguir apresentamos os parâmetros que definem as análises realizadas para a identificação acústica dos mosquitos:

- Data: 6 de setembro de 2023, às 15:30 da tarde
- Temperatura ambiente: 25°C
- Umidade do ar: 24%
- População de cerca de 100 mosquitos (machos e fêmeas)
  - Idades: entre 2 e 30 dias
  - Atividade reprodutiva: presente, recente
  - Nível aparente de energia: significativo, sempre uma parcela voando na gaiola
- Dimensões da gaiola: 30cm x 30cm x 30cm

**Procedimento.** A fim de avaliar a eficácia da identificação acústica com intervalos e de forma isolada, foram conduzidos os seguintes dois tipos de experimentos (cada um duas vezes):

#### 1. Identificação acústica sem atração

- Celular posicionado dentro da gaiola, com os alto-falantes exatamente no centro da base da gaiola.
- 10 ciclos de detecção (identificação acústica e atração de mosquitos) em sequência, com intervalos de poucos segundos (cerca de 5 segundos).
- As iterações de identificação acústica de mosquitos ocorrem normalmente. Sendo interrompidas imediatamente em caso de identificação bem-sucedida ou continuando por no máximo 15 ciclos de detecção e concluindo insucesso.
- As iterações de atração ocorrem, mas com o volume do celular desligado. Assim, funcionalmente representam apenas intervalos em que o aplicativo não está executando identificação acústica de mosquitos.

Figura 5.3: Gaiola e população utilizadas nos experimentos de identificação acústica



Fonte: O Autor

## 2. Identificação acústica com atração

- Celular posicionado dentro da gaiola, com os alto-falantes exatamente no centro da base da gaiola.
- 10 ciclos de detecção (identificação acústica e atração de mosquitos) em sequência, com intervalos de poucos segundos (cerca de 5 segundos).
- As iterações de identificação acústica de mosquitos ocorrem normalmente. Sendo interrompidas imediatamente em caso de identificação bem-sucedida ou continuando por no máximo 15 ciclos de detecção e concluindo insucesso.
- As iterações de atração de mosquitos ocorrem normalmente, emitindo por 2 segundos a frequência sonora de 484Hz (na faixa do bater de asas de mosquitos fêmea).

A ordem dos experimentos, detalhada abaixo, foi determinada com a intenção de minimizar a influência da fadiga dos mosquitos nos resultados obtidos:

1. Identificação acústica sem atração (1° vez)
2. Identificação acústica com atração (1° vez)
3. Identificação acústica com atração (2° vez)

#### 4. Identificação acústica sem atração (2º vez)

### 5.4 Experimentos de Detecção: Identificação Acústica com Auxílio de Atração

A seguir apresentamos os parâmetros que definem as análises realizadas para a identificação acústica dos mosquitos com o auxílio de atração via estímulos sonoros:

- Data: 11 de setembro de 2023, às 15:30 da tarde
- Temperatura ambiente: 26°C
- Umidade do ar: 30%
- População de exatamente 15 mosquitos machos
  - Idades: 5 dias
  - Atividade reprodutiva: tiveram contato com fêmeas
  - Nível aparente de energia: baixo, quase toda população em repouso nas paredes da gaiola
- Dimensões da gaiola: 60cm x 39cm x 39cm

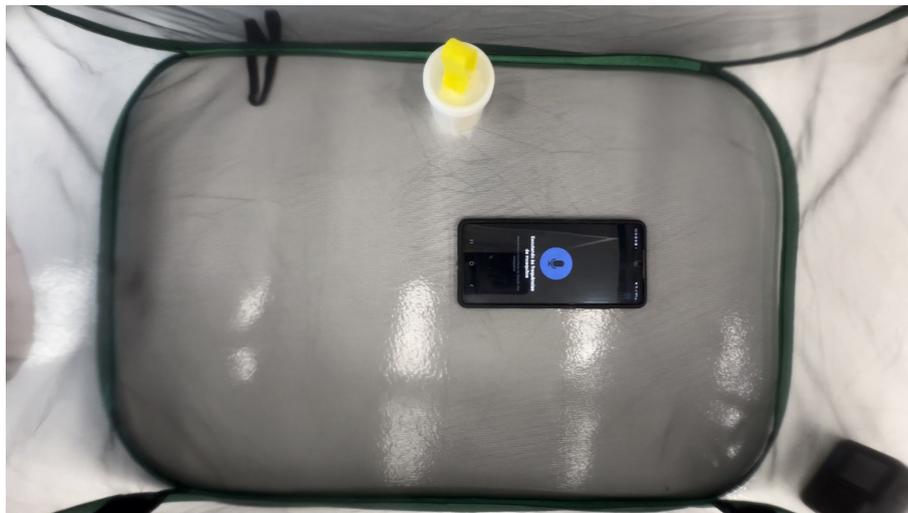
Figura 5.4: Gaiola e população utilizadas nos experimentos de identificação acústica



Fonte: O Autor

**Procedimento.** A fim de avaliar o efeito da atração na eficácia da identificação

Figura 5.5: Celular dentro da gaiola durante experimento de detecção



Fonte: O Autor

acústica, foram conduzidos os seguintes dois tipos de experimentos (cada um duas vezes):

#### 1. Identificação acústica sem atração

- Celular posicionado dentro da gaiola, com os alto-falantes exatamente no centro da base da gaiola.
- 5 ciclos de detecção (identificação acústica e atração de mosquitos) em sequência, com intervalos de poucos segundos (cerca de 10 segundos).
- Cada processo de detecção teve sua duração limitada em no máximo 1 minuto.
- As iterações de identificação acústica de mosquitos ocorrem normalmente. Sendo interrompidas imediatamente em caso de identificação bem-sucedida ou continuando por no máximo 15 ciclos de detecção e concluindo insucesso.
- As iterações de atração ocorrem, mas com o volume do celular desligado. Assim, funcionalmente representam apenas intervalos em que o aplicativo não está executando identificação acústica de mosquitos.

#### 2. Identificação acústica com atração

- Celular posicionado dentro da gaiola, com os alto-falantes exatamente no centro da base da gaiola.
- 5 ciclos de detecção (identificação acústica e atração de mosquitos) em sequência, com intervalos de poucos segundos (cerca de 10 segundos).
- Cada processo de detecção teve sua duração limitada em no máximo 1 minuto.

- As iterações de identificação acústica de mosquitos ocorrem normalmente. Sendo interrompidas imediatamente em caso de identificação bem-sucedida ou continuando por no máximo 15 ciclos de detecção e concluindo insucesso.
- As iterações de atração de mosquitos ocorrem normalmente, emitindo por 2 segundos a frequência sonora de 484Hz (na faixa do bater de asas de mosquitos fêmea). A intensidade do som, segundo medidas antes do experimento, varia (conforme a distância do celular) entre 60 e 80 decibéis dentro da gaiola.

A ordem dos experimentos, detalhada abaixo, foi determinada com a intenção de minimizar a influência da fadiga dos mosquitos nos resultados obtidos:

1. Identificação acústica sem atração (1° vez)
2. Identificação acústica com atração (1° vez)
3. Identificação acústica com atração (2° vez)
4. Identificação acústica sem atração (2° vez)

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Experimentos de Atração

Os resultados desse experimento apresentaram uma equivalência entre os momentos de controle, em que o celular está inativo, e os momentos em que a atração estava sendo executada. Considerações sobre possíveis motivos para isso ter acontecido também são abordadas neste capítulo.

**Resultados.** A atração foi avaliada através do número máximo de mosquitos que, ao mesmo tempo, estavam em contato com o celular durante o tempo do experimento. O mesmo critério foi aplicado para os momentos de controle e os momentos de atração (frequência de mosquitos estava sendo emitida).

Tabela 6.1: Número máximo de mosquitos simultaneamente em contato com o celular para cada rodada do experimento.

Experimento de atração	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$
População de fêmeas (controle)	5	9	7	8	6
População de fêmeas (atração)	7	8	8	9	5
População de machos (controle)	2	2	2	2	4
População de machos (atração)	2	2	2	4	4

Fonte: O Autor

**Interpretação dos resultados.** Dado que a frequência emitida (484Hz) está no intervalo do bater de asas de mosquitos fêmea, o esperado era que os machos fossem atraídos e as fêmeas fossem indiferentes à atração. Entretanto, nota-se que tanto para as fêmeas quanto os machos não houve diferença evidente entre os momentos de controle e os momentos de atração. Esse resultado diverge do que se foi encontrado na literatura sobre atração de mosquitos. Dentre as possíveis explicações para isso: destacamos aqui a limitação em relação à significância estatística e a aparente inatividade das populações de mosquitos antes e durante os experimentos (especialmente os machos). Identificamos também que esse comportamento dos mosquitos pode ter sido causado por estresse ou possíveis lesões relacionadas ao processo de seleção e transporte desses de uma gaiola para outra (durante o qual são sugados por um instrumento com um recipiente bem pequeno).

## 6.2 Experimentos de Identificação Acústica.

Apesar da limitação em relação à significância estatística, os resultados parecem demonstrar que a atração não apresenta um afeto negativo na eficácia da identificação acústica. Ou seja, os intervalos de 2 segundos entre cada iteração de identificação acústica não apresentaram um problema. Isso é reforçado pelo fato de que em apenas um dos 40 casos o processo de detecção falhou, executando o número máximo de 15 ciclos sem detectar mosquitos.

**Resultados.** O principal critério de avaliação utilizado para esse experimento foi a eficácia do modelo em identificar os mosquitos na gaiola, tendo em vista os intervalos em que a detecção não foi realizada. Além disso, foi observado o possível efeito que a atração pode ter causado na eficácia da identificação acústica.

Tabela 6.2: Duração do processo de detecção (em segundos) de cada ciclo dos experimentos. Detecção sem êxito destacada com asterisco.

Exp. de identificação acústica	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$	$d_{10}$
Sem atração (1)	15	8	15	9	37	73	8	29	15	29
Com atração (1)	15	14	71	114*	15	8	44	81	37	91
Com atração (2)	30	14	81	30	7	15	112	22	22	69
Sem atração (2)	37	44	98	74	22	7	88	44	68	110

Fonte: O Autor

Tabela 6.3: Duração média de detecção para cada experimento.

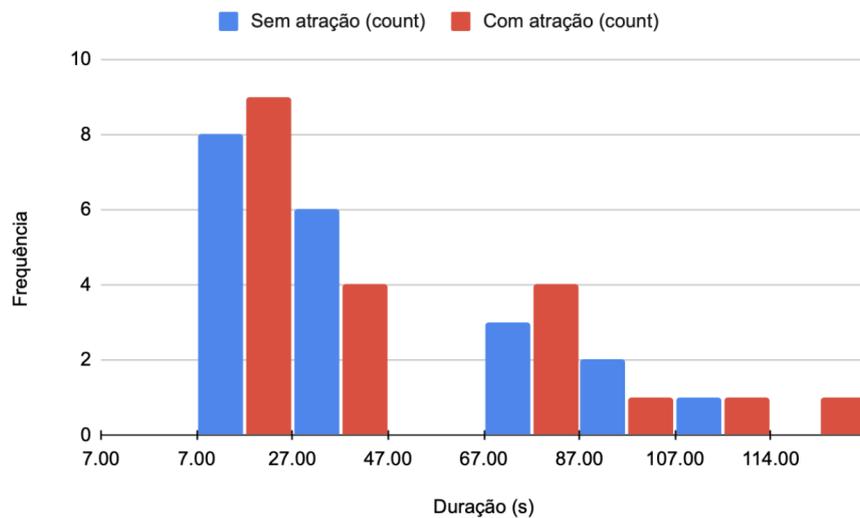
Experimento de identificação acústica	Duração média (s)
Identificação acústica sem atração (1)	23,8
Identificação acústica com atração (1)	49
Identificação acústica com atração (2)	40,2
Identificação acústica sem atração (2)	59,2

Fonte: O Autor

**Interpretação dos resultados.** Os resultados mostram que a eficácia do processo de identificação acústica foi excelente para esse cenário de teste, dado que praticamente não houve falhas de detecção. Também identifica-se que os intervalos entre os processos de identificação acústica não prejudicaram a duração da detecção a ponto de inviabilizar a experiência dos usuários.

Em relação ao efeito da atração na eficácia da identificação acústica, os resultados são inconclusivos tendo em vista que a identificação acústica não foi levada ao seu limite a

Figura 6.1: Histograma de durações dos experimentos de identificação acústica



Fonte: O Autor

ponto de evidenciar alguma possível ajuda da atração. Assim, podemos apenas identificar que a atração não prejudica na identificação acústica.

### 6.3 Experimentos de Detecção: Identificação Acústica com Auxílio de Atração

**Resultados.** O principal critério de avaliação utilizado para esse experimento foi a eficácia do processo de detecção em identificar os mosquitos na gaiola dentro do tempo limite estipulado de 1 minuto e a relação dessa eficácia com a presença ou não do processo de atração.

Entretanto, todos os 20 processos de detecção realizados não houveram sucesso na detecção dos mosquitos dentro do tempo limite de 1 minuto.

**Interpretação dos resultados.** Os resultados mostraram que o contexto definido pelos parâmetros usados nos experimentos estão além da capacidade da funcionalidade de detecção do aplicativo, mais especificamente, da identificação acústica de mosquitos. Por causa disso, os resultados foram inconclusivos em relação ao efeito da atração na eficácia da processo de detecção.

Em suma, a conclusão é de que os parâmetros definidos para esse experimento servem de liminar superior para novos parâmetros que possam encontrar o ponto específico de limite da eficácia do modelo de identificação acústica, já que esse seria o cenário ideal para a avaliação do efeito da atração na eficácia da processo de detecção.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou o desenvolvimento completo de um aplicativo para *smartphones Android* que pode ser usado para detectar *Ae. aegypti* através da (1) identificação acústica do bater de asas de mosquitos machos e fêmeas e (2) a atração sonora de mosquitos machos. As técnicas empregadas para identificação e atração no aplicativo são baseadas em dois trabalhos prévios (PAIM et al., 2023) (PEREIRA, 2023).

Para realização desse trabalho, aprofundamentos técnicos foram necessários em diversos temas. Criação de aplicativos móvel, design, desenvolvimento *Android*, captura e tratamento de som, execução de métodos de aprendizado de máquina, *Kotlin*, *Jetpack Compose* e *MVVM*. Para sua idealização, pesquisas sobre o contexto do controle populacional de *Ae. aegypti* foram necessárias para que a proposta pudesse contribuir ao esforço e servir de base para trabalhos futuros.

O trabalho representa um avanço significativo na busca por soluções inovadoras para o controle de *Ae. aegypti*, um dos principais vetores de arboviroses, em especial a dengue, zika e chikungunya, que representam uma grande ameaça à saúde pública, especialmente em regiões endêmicas como o Brasil. A abordagem proposta é pioneira ao utilizar a identificação acústica e a atração de mosquitos como uma estratégia potencialmente eficaz de controle populacional.

Os experimentos realizados em laboratório mostraram resultados promissores na identificação acústica e explorou experimentos que servirão de base para futuros avanços, especialmente na atração dos mosquitos através do aplicativo. Esses resultados indicam um potencial considerável para o uso do aplicativo como uma ferramenta útil no controle da população de *Ae. aegypti*.

No entanto, é necessário reconhecer que este é um primeiro passo em direção a uma solução abrangente. Mais pesquisas e testes são necessários para validar a eficácia do aplicativo em condições do mundo real e para aprimorar sua usabilidade e precisão.

Em suma, este projeto destaca o potencial da tecnologia móvel e da ciência da computação em enfrentar desafios de saúde pública. Acreditamos que soluções inovadoras como essa têm o poder de melhorar a qualidade de vida das pessoas e contribuir significativamente para a prevenção de doenças transmitidas por mosquitos. À medida que avançamos, esperamos que esta pesquisa inspire e motive esforços adicionais para abordar problemas de saúde pública por meio da tecnologia e da colaboração interdisciplinar nas áreas de computação e biologia.

## REFERÊNCIAS

- ABADI, M. et al. Tensorflow: a system for large-scale machine learning. In: **12th USENIX symposium on operating systems design and implementation (OSDI 16)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 265–283.
- AHMED, D. A. et al. Managing biological invasions: the cost of inaction. **Biological Invasions**, Springer, v. 24, n. 7, p. 1927–1946, 2022.
- Android Developers. **AudioTrack**. 2023. <<https://developer.android.com/reference/android/media/AudioTrack>>.
- Android Developers. **Jetpack Compose**. 2023. <<https://developer.android.com/jetpack/compose>>.
- BRADSHAW, C. J. et al. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. **Nature communications**, Nature Publishing Group UK London, v. 7, n. 1, p. 12986, 2016.
- CRUZ, I. O. **Comportamento do mosquito Aedes aegypti**. 2008. [Http://www.fiocruz.br/ioc/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=571sid=32](http://www.fiocruz.br/ioc/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=571sid=32).
- DIAGNE, C. et al. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. **Nature**, Nature Publishing Group UK London, v. 592, n. 7855, p. 571–576, 2021.
- FERNANDES, M. S.; CORDEIRO, W.; RECAMONDE-MENDOZA, M. Detecting aedes aegypti mosquitoes through audio classification with convolutional neural networks. **Computers in Biology and Medicine**, Elsevier, v. 129, p. 104152, 2021. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482520304832>>.
- FORSYTH, J. E. et al. Source reduction with a purpose: Mosquito ecology and community perspectives offer insights for improving household mosquito management in coastal kenya. **PLoS neglected tropical diseases**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 14, n. 5, p. e0008239, 2020.
- Governo do Rio Grande do Sul. **Saúde alerta para número de casos de dengue acima da média em janeiro**. 2023. <https://saude.rs.gov.br/saude-alerta-para-numero-de-casos-de-dengue-acima-da-media-em-janeiro>: :text=No
- LEANDRO, A. S. et al. Citywide integrated aedes aegypti mosquito surveillance as early warning system for arbovirus transmission, brazil. **Emerging Infectious Diseases**, Centers for Disease Control and Prevention, v. 28, n. 4, p. 707, 2022.
- LOU, T. et al. A comparison of android native app architecture mvc, mvp and mvvm. **Eindhoven University of Technology**, 2016.
- MARCHENKO, S. Jetpack compose: New approaches to android ui development. **Publishing House “Baltija Publishing”**, 2023.
- MITCHELL. **The Model View Controller History**. 2014. <<https://wiki.c2.com/?ModelViewControllerHistory>>.

MUKUNDARAJAN, H. et al. Using mobile phones as acoustic sensors for high-throughput mosquito surveillance. **elife**, eLife Sciences Publications, Ltd, v. 6, p. e27854, 2017.

NUNES, L. R. Aplicativo móvel para mapeamento colaborativo de focos de aedes aegypti utilizando técnicas de machine learning. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

PAIM, K. O. et al. Acoustic identification of ae. aegypti mosquitoes using smartphone apps and residual convolutional neural networks. **arXiv preprint arXiv:2306.10091**, 2023.

PEREIRA, A. Atraindo aedes aegypti com smartphones através de sua frequência sonora. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

Prefeitura de Porto Alegre. **Monitoramento Integrado do Aedes (MI-Aedes)**. 2023. <https://prefeitura.poa.br/sms/onde-esta-o-aedes/mi-aedes>.

QURESHI, A. I. Chapter 2 - mosquito-borne diseases. In: QURESHI, A. I. (Ed.). **Zika Virus Disease**. Academic Press, 2018. p. 27–45. ISBN 978-0-12-812365-2. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128123652000032>>.

SAÚDE, M. da. **Diretrizes para a organização dos serviços de atenção à saúde em situação de aumento de casos ou de epidemia por arboviroses**. 2023. [Http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/publicacoes/diretrizes\\_arboviroses.pdf](http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/publicacoes/diretrizes_arboviroses.pdf).

SAÚDE, S. D. **Arboviroses Ciclo de Vida**. 2023. <https://saude.rs.gov.br/arboviroses-ciclo-de-vida>.

Tensorflow. **TensorFlowLite**. 2023. <[https://www.tensorflow.org/lite/api\\_docs/java/org/tensorflow/lite/package-summary](https://www.tensorflow.org/lite/api_docs/java/org/tensorflow/lite/package-summary)>.