



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE TECNOLOGIA



GABRIELA SOUZA MELO

PEDRO AMADO ALVES MARTINS

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ARMADILHA  
INTELIGENTE PARA ORGANISMOS BIOLÓGICOS**

LIMEIRA

JANEIRO/2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA



Gabriela Souza Melo

Pedro Amado Alves Martins

## **Estudo e Implementação de Uma Armadilha Inteligente Para Organismos Biológicos**

Trabalho de Curso submetido à  
Universidade Estadual de Campinas como  
parte dos requisitos necessários para a obtenção  
do Grau de Bacharel em Engenharia de  
Telecomunicações. Sob a orientação da  
Professora Talía Simões dos Santos Ximenes.

Limeira

Janeiro/2021

Dedicamos este trabalho a todos que  
contribuíram direta ou indiretamente em nossa  
formação acadêmica e aos nossos pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que contribuíram no decorrer desta jornada, em especial: A Deus. A nossa família que sempre nos apoiou nos estudos e nas escolhas. A orientadora Profa. Talía Simões dos Santos Ximenes que teve papel fundamental na elaboração deste trabalho e também em nossa formação acadêmica. Aos nossos colegas Matheus Lemes, Raíssa Passos e Vitória Barbosa pelo companheirismo e disponibilidade para nos auxiliar em vários momentos. Por fim, a todos da banca avaliadora e professores que nos passaram ensinamentos que levaremos por toda vida.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*

José de Alencar

## RESUMO

As moscas-da-fruta presentes nas lavouras causam perdas significativas financeiramente para os produtores e para isso são utilizadas armadilhas na tentativa de minimizar os insetos nas frutas como a McPhail que capturam as moscas. A armadilha McPhail é utilizada atraindo as moscas para seu interior onde assim o trabalhador consegue fazer a contagem e análise das mesmas. Unindo a tecnologia a esse tipo de armadilha é possível elaborar um estudo completo dos tipos de moscas que são coletadas pelas armadilhas em uma plantação, evitando a utilização de agrotóxicos que contaminam os nossos alimentos. O projeto tem como objetivo automatizar o uso da armadilha já existente para que o trabalho de contagem e detalhamento da espécie seja feito com ajuda da tecnologia. O projeto consiste no uso de um arduino e dois sensores piezoelétricos capazes de diagnosticar as moscas-da-fruta pela frequência em que suas asas batem, facilitando a identificação em uma plantação, minimizando a probabilidade de erro humano e ajudando os produtores com dados precisos e instantâneos e com baixo custo de implementação.

**Palavras-chave:** tecnologia; armadilha; agricultura; moscas; insetos; praga; McPhail; Arduino; piezoelétrico.

## ABSTRACT

The fruit flies present in the crops cause significant financial losses for producers and for that, tattoos are used in an attempt to minimize insects in fruits such as the McPhail that catch the flies. The McPhail trap is considered as flies into the interior where the worker can count and analyze them. Combining technology with this type of trap, it is possible to elaborate a complete study of the types of flies that are collected by traps in a plantation, avoiding the use of pesticides that contaminate our food. The project aims to automate the use of the existing trap so that the work of counting and detailing the species is done with the help of technology. The project consists of using an arduino and two piezoelectric sensors capable of diagnosing fruit flies by the frequency at which their wings flap, facilitating identification in a plantation, minimizing the likelihood of human error and helping producers with accurate and accurate data. instant and low cost of implementation.

**Keywords:** technology; trap; agriculture; flies; insects; Prague; McPhail; Arduino; piezoeletric.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Moscas-das-frutas                     | 14 |
| Figura 2 - Armadilha do tipo McPhail             | 15 |
| Figura 3 - Arduino UNO                           | 17 |
| Figura 4 - Piezoelétrico para baixas frequências | 18 |
| Figura 5 - Display LCD                           | 20 |
| Figura 6 – LED                                   | 21 |
| Figura 7 - Push Button                           | 22 |
| Figura 8 - Ambiente Tinkercad                    | 23 |
| Figura 9 - LED com contagem                      | 27 |
| Figura 10 - Fluxograma do funcionamento          | 30 |
| Figura 11 - Disposição dos sensores              | 31 |
| Figura 12 - Fonte DC Chaveada                    | 33 |
| Figura 13 - Pilhas Alcalinas                     | 34 |
| Figura 14 - Paine Solar Fotovoltaico             | 35 |
| Figura 15 - Módulo Wi-Fi                         | 36 |



## SUMÁRIO

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. Introdução                     | 10 |
| 1.1. Motivação                    | 11 |
| 1.2. Objetivos                    | 12 |
| 2. Fundamentos Teóricos           | 12 |
| 2.1. Moscas-das-frutas            | 13 |
| 2.2. Armadilhas McPhail           | 14 |
| 3. Materiais e Métodos            | 16 |
| 3.1. Materiais                    | 16 |
| 3.1.1. Arduino                    | 16 |
| 3.1.2. Piezoelétrico              | 18 |
| 3.1.3. Display                    | 19 |
| 3.1.4. LED - Diodo Emissor de Luz | 20 |
| 3.1.3. Push Button                | 22 |
| 3.1.6. Software                   | 22 |
| 3.2. Métodos                      | 23 |
| 3.2.1. Linguagem de programação   | 24 |
| 3.2.2. Visão computacional        | 29 |
| 4. Resultados                     | 30 |
| 5. Considerações Finais           | 31 |
| 5.1. Alimentação                  | 32 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
|                              | 9  |
| 5.2. Monitoramento           | 35 |
| 6. Conclusão                 | 36 |
| 6.1 Trabalhos Futuros        | 37 |
| 7.Referências                | 37 |
| ANEXO A – Código do Programa | 41 |
| ANEXO B – Circuito Simulado  | 46 |

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das primeiras ferramentas tecnológicas incorporadas à agricultura foi o uso do sistema de posicionamento global conhecido por GPS (em inglês, *Global Positioning System*), softwares de localização que dão coordenadas de determinados lugares na Terra por meio de receptores de sinais emitidos por satélites, possibilitando a implementação de outras tecnologias [1].

Recentemente, aplicativos estão sendo utilizados para monitorar plantações remotamente, além disso, sensores espalhados pela propriedade e conectados à internet são capazes de gerar dados que podem ser analisados e utilizados para melhorar os processos.

É preciso um determinado conhecimento para que o uso da tecnologia na agricultura cause impactos relevantes na quantidade e qualidade do produto oferecido. Sendo assim, as ferramentas tecnológicas podem contribuir para que se tenha mais dados no mesmo período de tempo, abrindo caminho para o combate aos desperdícios e uso de fertilizantes, por exemplo. Existem tecnologias específicas para cada momento, desde a genética do produto até os consumidores finais [1].

Na tentativa de minimizar a quantidade desses insetos, são utilizadas armadilhas de monitoramento na forma de isca tóxica sem conhecimento das espécies infectantes, níveis de infestação e distribuição dos hospedeiros. Esse tipo de controle tem várias consequências indesejáveis, como impacto ambiental, redução na qualidade das frutas, restrições à exportação devido à presença de resíduos químicos e aumento no custo de produção [2].

Nos últimos anos testemunhamos muitos esforços de pesquisa na área da tecnologia e a possibilidade de usar a eletrônica com baixo custo para classificar com precisão os insetos voadores, ajudando na pesquisa e permitindo o desenvolvimento de muitas aplicações úteis na agricultura.

Desse modo, surgiu a proposta do desenvolvimento de um sistema de monitoramento inteligente onde as moscas serão identificadas e contadas, não sendo necessária a presença do técnico em seu monitoramento.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido com base em uma pesquisa por meio do desenvolvimento de um protótipo a partir de bases textuais.

No trabalho de Moraes et al (2019) os experimentos realizados foram gravados em cerca de dezessete horas de sinal. Em relação aos experimentos com mosca-das-frutas, a caracterização do sinal de batimento de asa gerado foi realizada utilizando o sensor optoeletrônico desenvolvido. Para a mosca *A. fraterculus*, a frequência fundamental do sinal de wing beat foi determinada com  $113,75 \pm 2,04$  Hz com nível de confiança de 95%, com dispersão dada pelo desvio padrão de 7,97 Hz. A mosca *C. capitata* apresenta uma frequência fundamental do sinal wing beat gerado com o valor de  $160,81 \pm 2,02$  Hz com um nível de confiança de 95%, com uma dispersão dada pelo desvio padrão de 10,71 Hz. Ambos os resultados foram obtidos com o algoritmo CAEA (método de autocorrelação), que foi considerado o método mais eficaz para a extração de características.

Segundo o trabalho de NAVA, D. E. (2010), há carência de mão de obra nessa prática, ampliando-se os focos de infestação, portanto existem pomares abandonados por motivos diversos como baixo preço da fruta, falta de mão de obra para a colheita, alto índice de doenças causando perdas significativas. Deve ser analisada pelos produtores alternativas para a eliminação desses entraves, incluindo uma parceria com o poder público municipal para realizar tal atividade.

No trabalho de Batista et al. (2011), desenvolveu-se um sensor optoeletrônico de baixo custo onde foi criada uma barreira de luz com o uso de um laser de baixa potência. O funcionamento do sensor ocorria assim que o inseto atravessava a barreira de luz, que era ocluída pelo batimento das asas do mesmo.

Portanto, para realização do nosso projeto foi importante equilibrar a necessidade de precisão com outras prioridades como custo, desempenho em tempo real e suficiência de energia, além disso, o equipamento eletrônico deve ser simples e robusto. A eficiência do sensor também é de extrema importância, mas isso deve ser obtido com baixo consumo de energia e usando sensores de baixo custo. Por isso, com a ajuda do software online e gratuito Tinkercad

foi possível a simulação do nosso projeto seguindo nossas expectativas de uso dos componentes com melhor desempenho e baixo custo. Considerando que o número de armadilhas eletrônicas a serem implantadas para monitoramento é pequeno, o custo adicional da armadilha se justifica em relação às possíveis vantagens da mesma.

## **1.2 OBJETIVOS**

Esse trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de sistema eletrônico de baixo custo para ser acoplado em uma armadilha McPhail e fazer a detecção e discriminação das moscas presas na armadilha em tempo real, que podem ser integradas a um sistema de gerenciamento automatizado, para informar os agricultores sobre o status das pragas em todas as armadilhas McPhail dentro de uma plantação. Uma característica desejável do sistema é usar componentes prontamente disponíveis e com baixo custo.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

O monitoramento é o ponto inicial e imprescindível para detectar o nível de infestação, os focos e os pontos de entrada das moscas-das-frutas na plantação. Portanto, para monitorar as espécies se usa armadilhas do tipo McPhail com atrativo alimentar a base de uma solução de proteína hidrolisada de milho, água e conservantes. Moscas-das-frutas de vários gêneros e espécies são atraídos para essa armadilha, elas entram, não conseguem sair e morrem dentro da solução. Esses insetos devem ser retirados semanalmente, lavados e conservados em solução de álcool a 70%, para posterior identificação [2].

Para o uso de um sistema de monitoramento inteligente que conte e identifique automaticamente as moscas da fruta, a substituição do uso de um técnico especializado para essa tarefa minimizará os erros humanos na identificação e contagem de moscas e reduzirá o custo do programa de monitoramento. O sistema pode ser usado como meio auxiliar para

corroborar a pesquisa realizada pelo técnico, pois pode ser o meio útil em situações em que há dificuldades para a presença do técnico.

Modificamos uma armadilha do tipo McPhail adicionando a parte eletrônica. As asas dos insetos batendo, enquanto passam pela armadilha, são interceptadas pelo sensor. Os componentes eletrônicos são selecionados e colocados como um kit externo adicional, sem alterar o espaço interno da armadilha.

## 2.1 MOSCAS-DAS-FRUTAS

Os insetos têm uma relação com a humanidade tanto de forma positiva quanto negativa.

Diversas espécies de mosca-das-frutas assumiram o status de praga primária na indústria frutícola nacional, causando danos diretos às frutas e reduzindo a produção. Além disso, a consequente quebra de barreiras fitossanitárias impede a exportação de frutas frescas. As estimativas de perdas causadas pelas moscas-das-frutas chegam a um valor anual de cerca de 120 milhões de dólares [3].

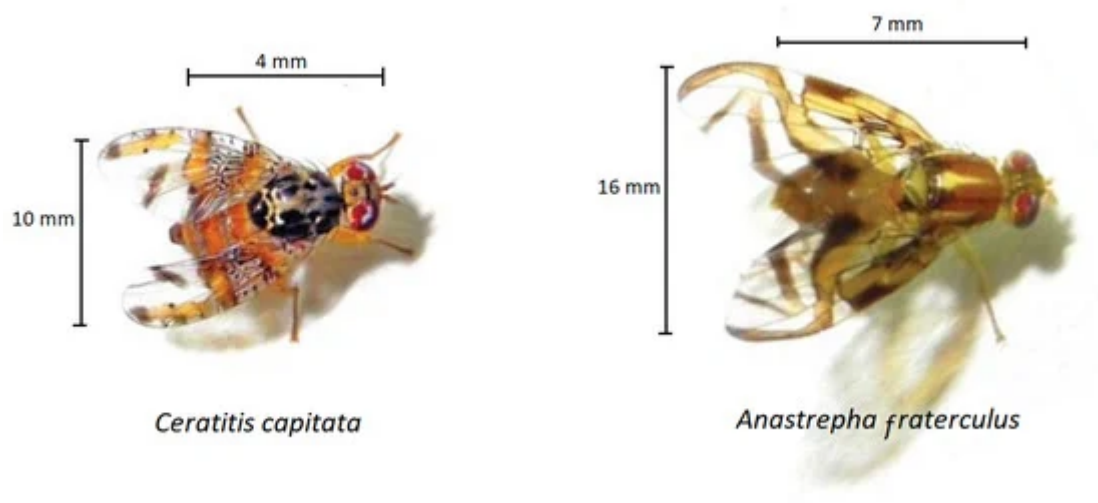
São consideradas pragas quarentenárias na fruticultura do Brasil, as seguintes espécies de mosca-das-frutas, *Anastrepha ludens* (mosca-das-frutas mexicana), *Anastrepha suspensa* (mosca-das-frutas do Caribe), *Ceratitidis rosa* (mosca-das-frutas-de-natal), *Bactrocera* (*Dacus*) *cucurbitae* (mosca-do-melão), *D. tryoni* (mosca-de-Queensland), *Toxotrypana curvicauda* (mosca-do-mamão) e *Bactrocera carambolae* (mosca-da carambola). Todas elas não estão presentes no Brasil, exceto a mosca-da-carambola que é considerada praga quarentenária A2, ou seja, com distribuição limitada no território brasileiro e oficialmente controlada [2].

Segundo o pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Dori Edson Nava, as moscas são consideradas pragas chaves da fruticultura: “Os danos decorrem em função da oviposição nos frutos, e posterior eclosão das larvas, levando ao seu apodrecimento. Além disso, as fêmeas, durante a oviposição, abrem entrada para microrganismos que causam perdas na pré e pós-colheita, como ocorre com a podridão parda” [4].

Para o manejo de moscas da fruta, o monitoramento é essencial por meio do uso de armadilhas atraentes para a isca. Quando as armadilhas são usadas para monitoramento, o técnico deve realizar a inspeção das armadilhas classificando e contando as moscas capturadas [2].

Nesse projeto focamos em duas espécies de mosca-da-fruta, a *Ceratitis capitata* e *Anastrepha fraterculus*, que são ligeiramente diferentes na aparência e no tamanho, dentre tantas outras características. A Figura 1 mostra essas duas espécies de moscas-das-frutas.

Figura 1 - Moscas-das-frutas



Fonte: Moraes (2019)

## 2.2 ARMADILHAS MCPHAIL

As pragas podem ser controladas com pulverizações de pesticidas no solo, cuja eficiência depende do conhecimento da hora, localização e extensão das infestações o mais cedo possível. A inspeção da armadilha é realizada manualmente, usando a armadilha McPhail, e a pulverização em massa é decidida com base em um protocolo de decisão [6].

A Figura 2 mostra a armadilha do tipo McPhail, que foi a armadilha escolhida para a implementação eletrônica desse trabalho.

Figura 2 - Armadilha do tipo McPhail



Fonte: Diário da Manhã [16]

A mosca-das-frutas entra nos pomares em busca de fonte de proteína e é atraída pelo odor de atrativos alimentares, ao entrar pelo funil da armadilha, tenta fugir pela transparência do policarbonato, mas acaba morrendo por exaustão [4].

As armadilhas devem ser instaladas a uma altura média de 1,7 metros do solo. Deve-se inspecionar as armadilhas ao menos a cada 7 dias. Os dados coletados devem ser anotados em uma planilha apropriada. A periodicidade da inspeção e da anotação dão base para análise de flutuação populacional e tomada de decisão de controle [7].

O McPhail padrão é feito de vidro, pesado, frágil e muito caro se comparado aos plásticos. Eles são usados porque foram feitas experiências ao longo de décadas em seu uso, ou seja, os entomologistas têm observado os pomares de oliveiras por muitos anos usando armadilhas McPhail padrão [8].



Dentre as vantagens do uso dessa prática destacam-se: aplicação em menor área, controle da população no início da infestação, redução de dano por evitar as posturas das fêmeas e menor risco de contaminação dos frutos por resíduos, visto que o jato é dirigido ao tronco e folhas das plantas. A aplicação por cobertura deve ser realizada quando forem capturados mais de 0,5 adultos/armadilha/dia visando ao controle de larvas no interior dos frutos e dos adultos durante a oviposição. Mesmo com a aplicação em cobertura, o emprego da isca tóxica não deve ser abandonado [9].

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

A armadilha inteligente desenvolvida nesse projeto é composta da armadilha já existente como a McPhail e da parte eletrônica com o Arduino, o piezoelétrico e o display que exhibe os resultados. Um resumo do circuito montado pode ser visto no Anexo B.

#### **3.1 MATERIAIS**

Para o desenvolvimento do projeto foram escolhidos materiais que têm alta resistência, precisão, baixo custo e de fácil acoplamento e gerenciamento visando a praticidade para os agricultores.

##### **3.1.1 ARDUINO**

O Arduino foi criado em 2005 com objetivo de elaborar um dispositivo barato, funcional e fácil de programar, sendo acessível a estudantes e projetistas amadores, com o conceito de

hardware livre, qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico [10].

Uma das principais utilidades do Arduino é seu uso em projetos de eletrônica. Sua portabilidade e seu custo fazem com que sua escolha para esses tipos de projetos seja a mais viável [11].

Depois de programado, o microcontrolador pode ser usado de forma independente, para controlar um robô, uma lixeira, um ventilador, as luzes da sua casa, a temperatura do ar condicionado, aparelho de medição, entre outras coisas [10].

A Figura 3 mostra o Arduino UNO que será utilizado nesse projeto.

Figura 3 - Arduino UNO



Fonte: [12]

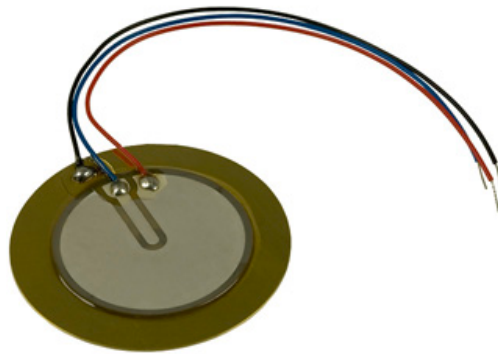
O principal componente de uma placa Arduino é seu microcontrolador, um pequeno processador de computador montado em uma placa com diversos outros componentes que manipulam sua entrada e saída, e o propósito para isso é tornar mais fácil para você conectar o mundo físico com o mundo digital [11].

Existem várias plataformas de simulação online com Arduino para teste e comprovação do funcionamento do projeto, sem a necessidade de uma placa física.

### 3.1.2 PIEZOELÉTRICO

O fenômeno piezoelétrico é encontrado em aplicações úteis, como a produção e detecção de som, por exemplo, captadores piezoelétricos que funcionam pelo mesmo princípio em guitarras electro-acústicas. Sensores piezoelétricos mais precisos são utilizados com som de alta frequência em transdutores de ultrassom para imagens médicas [13]. A Figura 4 ilustra um sensor piezoelétrico para baixas frequências.

Figura 4 - Piezoelétrico compatível com baixas frequências



Fonte: Dongguan Kesen Electronic LTDA

Para diferenciar as moscas específicas das outras, existem duas formas mais simples: identificando o tamanho das moscas ou analisando a frequência em que elas batem as asas.

A forma mais simples de identificar o tamanho das moscas seria emitindo uma luz para um receptor muito preciso que, quando deixa de receber luz, indica que algo passou pela luz. Com isso, bastaria identificar o tamanho da mosca baseado na quantidade de feixes de luz que foram interrompidos. Nós não optamos por essa metodologia já que é mais complexa, tem um custo mais alto e pode estar mais suscetível a erros.

Para o nosso projeto foi escolhida a análise das moscas a partir da frequência em que batem as asas, nesse caso, foram utilizados dois piezoelétricos, sendo um na parte inferior da entrada do tubo e outro na parte superior.

Os dois tipos de moscas que podem ser identificadas na armadilha batem as asas em frequências diferentes. A *Ceratitis capitata* bate as asas em uma frequência entre 94 Hz e 132 Hz e *Anastrepha fraterculus* bate as asas em uma frequência entre 134 Hz e 201 Hz. Dessa forma o piezoelétrico pode diferenciar ambas as moscas.

O piezoelétrico é composto por um disco com dois aros de um material cristalino que geram uma tensão elétrica como resposta a uma pressão mecânica, ou seja, convertem as vibrações em tensão elétrica que pode ser lida no Arduino. O piezoelétrico também é capaz de produzir vibrações se for submetido a uma tensão elétrica. Essas vibrações podem ser mais ou menos intensas dependendo linearmente da tensão elétrica aplicada. Cada piezoelétrico pode trabalhar em uma faixa de frequências diferentes de acordo com seu material e fabricação [14]. Nesse caso precisamos de um piezoelétrico que trabalhe com frequências mais baixas para a detecção das moscas.

### 3.1.3 DISPLAY

Foi inserido no projeto um display como uma forma de facilitar a informação em tempo real, pois nele será informada a quantidade de moscas-da-fruta que entrou e quantidade que

saiu, em um determinado período de tempo. A Figura 5 mostra o display LCD utilizado nesse trabalho.

Figura 5 - Display LCD



Fonte: Piscaled [15]

O display utilizado tem 16 colunas e 2 linhas, com *backlight* (luz de fundo) azul e letras na cor branca, que se adapta aos mais diversos projetos, podendo ser usado com vários modelos de placas e microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, PIC, entre outros [16].

As informações a serem exibidas no display devem ser enviadas como uma matriz, ou seja, linhas e colunas, sendo que a primeira linha do display é a linha zero e a primeira posição do display é a posição zero, da mesma forma a última posição do display é a posição 15 e a segunda linha do display é a linha 1.

### 3.1.4 LED – DIODO EMISSOR DE LUZ

O LED é um tipo de diodo com uma junção PN semicondutora, que é um material capaz de conduzir corrente elétrica que conduz corrente em uma direção. Normalmente os LEDs são feitos de um material condutor chamado Arseneto de Alumínio e Gálio (AlGaAs). O diodo se torna condutivo quando atinge uma tensão limite necessária para forçar os elétrons na região

tipo N a se combinarem com as lacunas da região tipo P. Quando isso acontece a energia é liberada, criando um fóton [5].

A energia liberada depende da banda proibida e determina o comprimento de onda, ou seja, a cor da luz emitida. Isso varia com a propriedade do material semiconductor utilizado.

Figura 6 - LED Vermelho



Fonte: Diodo LED difuso [17]

Já que o display LCD tem uma capacidade limitada de exibição, definimos um limite máximo razoável para a contagem das moscas de 999. Esse é um limite alto dada a capacidade dentro da armadilha McPhail. É um limite alto devido ao espaço físico da armadilha.

A função do LED nesse projeto é indicar quando esse limite é atingido e consequentemente mostrar que o display LCD não está exibindo um resultado confiável, já que está oculto o quarto dígito do contador.

### 3.1.5 PUSH BUTTON

Um botão funciona como um contato que abre e fecha, ou seja, dois estados (0 ou 1). Quando o contato é fechado a corrente elétrica passa pela placa e sabe-se que o botão foi pressionado. O botão conectado a uma porta lógica cria a possibilidade de tomar uma ação cada vez que o botão muda de estado.

Figura 7 - Push Button



Fonte: Push Botton [18]

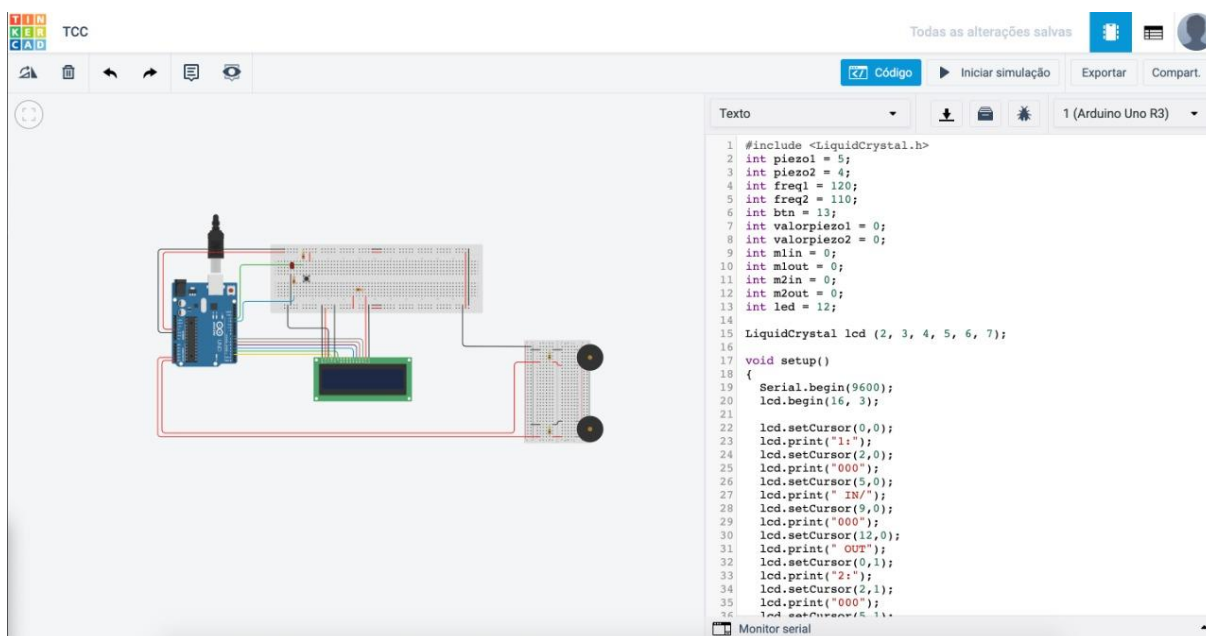
Para resolver o problema descrito no tópico anterior, o botão foi implementado para reiniciar a contagem e atualizar no display LCD. Na programação, quando esse botão é acionado todas as variáveis de contagem são zeradas e o valor “000” é exibido.

### 3.1.6 SOFTWARE

Para a simulação do projeto usamos a ferramenta online Tinkercad. É gratuito e fácil de usar, contém vários dos componentes que fazem parte da simulação, e utiliza a linguagem de programação C++ no Arduino. A Figura 6 mostra o ambiente de programação utilizado para o desenvolvimento do sistema. Devido às limitações do Tinkercad não foi possível fazer a

simulação completa do projeto, faltando as opções de alimentação e comunicação central entre as armadilhas.

Figura 8 - Ambiente Tinkercad



Fonte: Autores

## 3.2 MÉTODOS

Para início do funcionamento é necessário que seja conectados os componentes no Protoboard como mostra a Figura 8, verificando com cuidado os cabos de ligação antes de ligar seu Arduino. É importante verificar que o Arduino esteja totalmente desconectado de energia enquanto produz o circuito.



### 3.2.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A programação foi baseada em C++, linguagem do Arduino. O código completo desenvolvido pode ser visto em Anexo A.

```
#include <LiquidCrystal.h>

int piezo1 = 5;

int piezo2 = 4;

int freq1min = 94;

int freq1max = 132;

int freq2min = 134;

int freq2max = 201;

int btn = 13;

int valorpiezo1 = 0;

int valorpiezo2 = 0;

int m1in = 0;

int m1out = 0;

int m2in = 0;

int m2out = 0;

int led = 12;

LiquidCrystal lcd (2, 3, 4, 5, 6, 7);
```

O código começa incluindo a biblioteca necessária para utilizar o display LCD no Arduino. Na sequência são associadas as portas analógicas 5 e 4 aos piezoelétricos 1 e 2, respectivamente. Depois são declaradas as frequências mínimas e máximas das asas das duas moscas que podem ser identificadas nesse programa. Esse é o intervalo de frequências que as asas de cada mosca podem atingir.

Na sequência é declarado um botão para reiniciar a contagem das moscas, caso ela atinja o limite de três casas que podem ser exibidas no display LCD de 16 segmentos e, caso a

contagem alcance esse limite o LED que foi declarado na linha 15, será ligado. Ainda nessa parte inicial são declaradas as variáveis que fazem a contagem das moscas e para guardar os valores obtidos na leitura analógica dos piezoelétricos, além de associar os pinos de dados que estão ligados ao display LCD.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 3);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("1:");
  lcd.setCursor(2,0);
  lcd.print("000");
  lcd.setCursor(5,0);
  lcd.print(" IN/");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print("000");
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print(" OUT");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("2:");
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("000");
  lcd.setCursor(5,1);
  lcd.print(" IN/");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("000");
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print(" OUT");
```

```
}
```

Na função "void setup" o Arduino começa inicializando o display e mostrando os valores iniciais zero em todas as variáveis, ou seja, a quantidade de moscas do tipo um que entrou, a quantidade de moscas do tipo um que saiu, a quantidade de moscas do tipo dois que entrou e a quantidade de moscas do tipo dois que saiu.

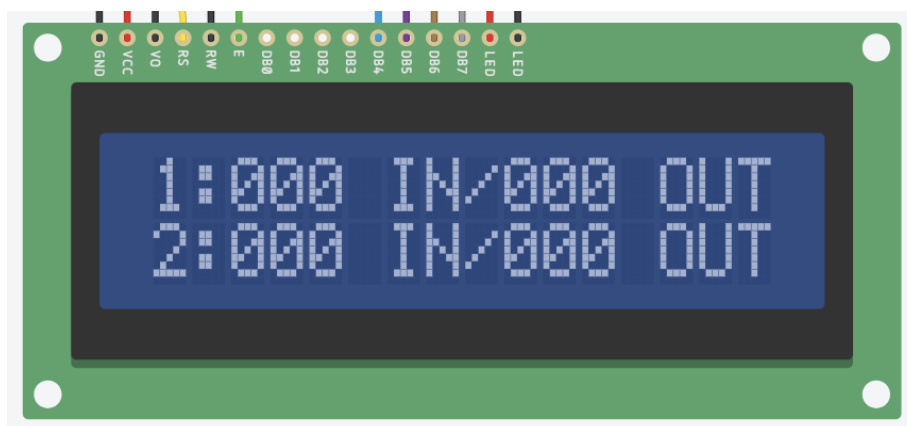
```
void loop(){

    if(digitalRead(btn) == HIGH)
    {
        delay(100);
        m1in = 0;
        m1out = 0;
        m2in = 0;
        m2out = 0;
    }
}
```

Na função "void loop" ficam os comandos que serão realizados infinitamente enquanto o Arduino estiver alimentado. A primeira estrutura "if" verifica se o botão implementado foi pressionado. Caso esse botão seja pressionado, todas as variáveis são definidas como zero (reiniciam), assim como a contagem no display.

É possível observar o funcionamento da estrutura de exibição do display entre as linhas 24 e 43 que se repetem nas linhas 55 a 74, onde primeiro é necessário informar em qual posição da matriz o conteúdo será exibido (com linha e coluna, sendo que as linhas vão de zero até um e as colunas vão de zero até quinze) e na sequência o que deve ser exibido nessa posição, podendo ser um texto fixo ou um valor de uma variável. Nesse caso a mensagem que será exibida na primeira linha é "1: 000 IN/000 OUT" e na segunda linha é "2: 000 IN/0000 OUT" (vide Figura 8). 1 e 2 indicam o tipo da mosca onde o número 1 quer dizer que se trata da mosca que corresponde a faixa de frequência das asas entre 94Hz e 132Hz (*Ceratitis capitata*) e o número 2 quer dizer que se trata da mosca que corresponde a faixa de frequência das asas entre 134Hz e 201Hz (*Anastrepha fraterculus*).

Figura 9 - LED com contagem



Fonte: Autores

As quatro estruturas "if" seguidas são utilizadas para detectar qual o tipo da mosca e determinar se ela está entrando ou saindo da armadilha. Mesmo a armadilha sendo extremamente efetiva, não é impossível que uma mosca consiga sair de dentro da armadilha. Isso fez com que fosse necessária a utilização de dois piezoelétricos para identificar se uma mosca conseguia sair, mesmo que seja muito improvável, para garantir resultados mais precisos.

```

valorpiezo1 = analogRead(piezo1);
valorpiezo2 = analogRead(piezo2);
if (valorpiezo1>freq1min && valorpiezo1<freq1max){
    delay(100);
    if (valorpiezo2>freq1min && valorpiezo2<freq1max){
        m1in = m1in + 1;
    }
}
if (valorpiezo2>freq1min && valorpiezo2<freq1max){
    delay(100);
    if (valorpiezo1>freq1min && valorpiezo1<freq1max){

```

```

    m1out = m1out + 1;
}
}
if (valorpiezo1>freq2min && valorpiezo1<freq2max){
    delay(100);
    if (valorpiezo2>freq2min && valorpiezo2<freq2max){
        m2in = m2in + 1;
    }
}
if (valorpiezo2>freq2min && valorpiezo2<freq2max){
    delay(100);
    if (valorpiezo1>freq2min && valorpiezo1<freq2max){
        m2out = m2out + 1;
    }
}

```

Após fazer a leitura dos valores dos piezoelétricos, as linhas 80 e 84 estão verificando a mosca do tipo 1. A estrutura "if" verifica se a faixa de frequência das asas está sendo identificada no piezoelétrico 1 ou no piezo 2. Se ela for identificada no piezoelétrico 1, o programa aguarda para garantir que ela será identificada no piezoelétrico 2 e ter a certeza de que a mosca entrou na armadilha. Da mesma forma, se ela for identificada no piezoelétrico 2, o programa aguarda para garantir que ela será identificada no piezoelétrico 1 e ter a certeza de que a mosca saiu da armadilha. Quando essas condições são validadas, o programa incrementa a respectiva variável de entrada da mosca ou saída da mosca.

A mesma sequência de "ifs" e incremento é feita entre as linhas 90 e 101 para a outra mosca, que corresponde a faixa de frequência 2.

Incrementados ou não, os resultados são atualizados no display.

```

if (m1in>999 || m1out>999 || m2in>999 || m2out>999){
    digitalWrite(led, HIGH);
}

```

}

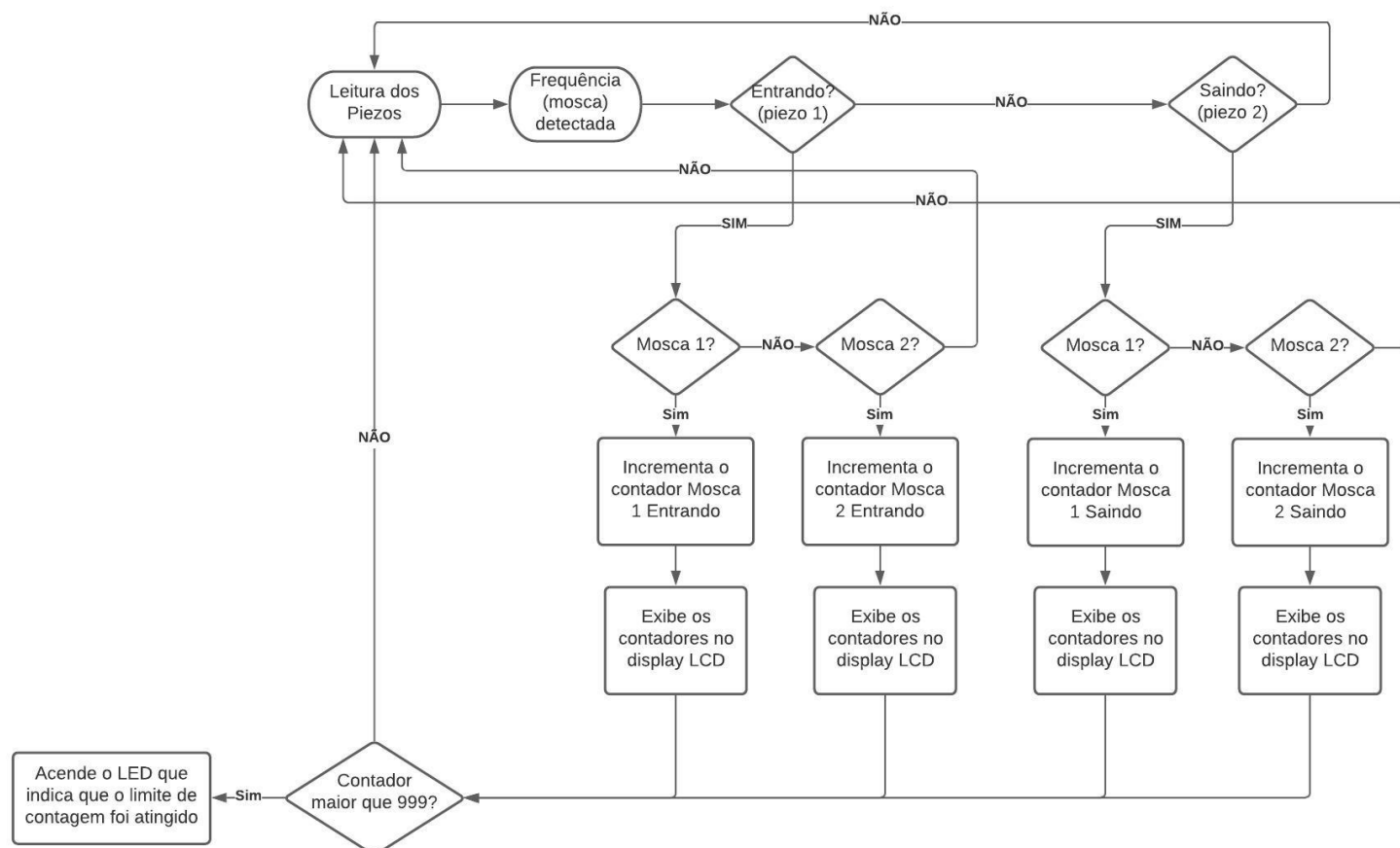
Por último, o programa verifica se alguma variável atingiu os três dígitos de limite de exibição dos resultados no display e caso isso aconteça, um LED é acionado indicando que os valores ultrapassaram a capacidade de exibição no display de acordo com a nossa programação.

Toda essa estrutura é repetida infinitas vezes detectando entrada e saída de moscas enquanto o circuito estiver alimentado.

### **3.2.2 VISÃO COMPUTACIONAL**

A lógica de detecção das moscas seguindo o padrão do programa foi desenhada em um fluxograma (Figura 10) para facilitar o entendimento.

Figura 10 -Fluxograma do funcionamento



Fonte: Autores

## 4. RESULTADOS

As simulações feitas no Tinkercad se mostraram promissoras. A diferença nas frequências das asas da *Ceratitis capitata* e da *Anastrepha fraterculus* foram fundamentais para a detecção pelos sensores piezoelétricos e as frequências foram detectadas com um grau de precisão satisfatório. Todas as simulações em computador feitas foram contabilizadas com sucesso.

Foi importante usar o display LCD para validar os resultados obtidos e o botão juntamente com o LED para evitar que a contagem seja feita de forma equivocada.

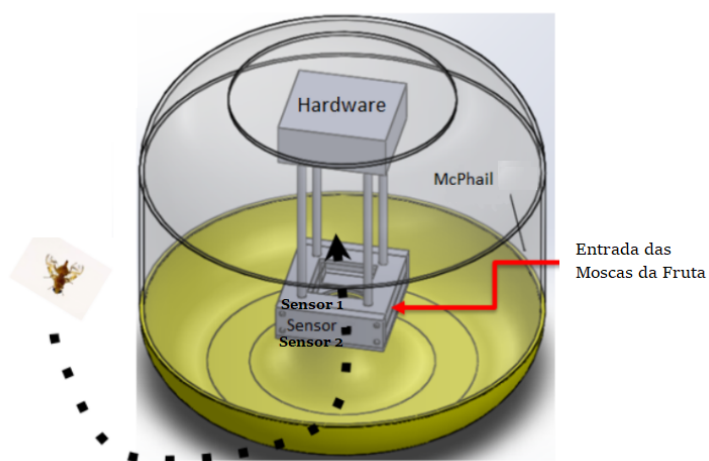
Também foi importante usar dois sensores piezoelétricos para trazer resultados mais precisos, já que a probabilidade das moscas saírem da armadilha não é nula. Já era esperado que os valores de moscas entrando seriam muito maiores que os valores de moscas saindo, mas existem.

Não foi possível fazer as simulações reais no campo devido ao atual momento em que o país se encontra, mas no desenvolvimento futuro do trabalho basta acoplar os hardwares na armadilha e validar os resultados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta da armadilha inteligente composta pelo sensor optoeletrônico e uma armadilha McPhail é apresentada na Figura 11. Nota-se a base do sensor acoplado ao tubo de entrada da armadilha e acima onde ficará o hardware do sensor.

Figura 11 - Disposição dos sensores





Fonte: Moraes (2019)

Os resultados dos experimentos realizados online tiveram o objetivo de verificar a probabilidade do uso do sensor piezoelétrico em uma armadilha inteligente para detectar os insetos em tempo real e fazer sua contagem.

Foi avaliado o desempenho do sensor realizando alterações na frequência e simulando no Tinkercad para detectar possíveis erros. Foi avaliada também a forma como o display contabiliza esses dados obtidos pelo piezoelétrico e mostra em seu LED o valor correto.

## **5.1 ALIMENTAÇÃO**

Para alimentar o circuito é possível ligar diretamente a rede elétrica, uma bateria de 9v ou uma placa de energia solar associada a uma bateria recarregável. Manter ligado diretamente à rede elétrica seria a forma mais econômica de ligar o circuito, mas, quando a rede elétrica falha, o circuito fica off-line e perde a contagem das moscas. Quando a energia é restabelecida o circuito volta a contagem inicial.

Essa alimentação deve ser feita com uma fonte 5v 1A que tem um custo de R\$15,00 em média [19].

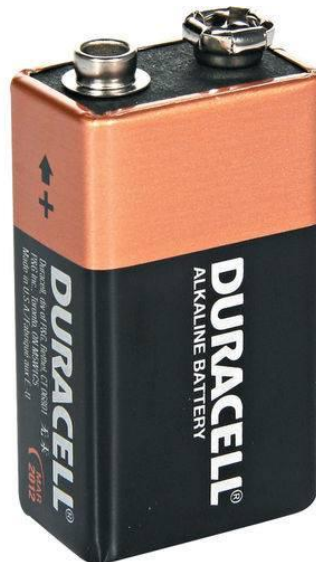
Figura 12 - Fonte DC Chaveada



Fonte: Fonte DC [19]

A segunda forma seria com uma bateria de 9v. Ela seria suficiente para manter o circuito alimentado por alguns dias na forma como foi desenvolvido. O Arduino consome cerca de 5V 0.20mA [20] mas deve somar a essa conta o consumo do LCD e dos piezoelétricos, que ficam ligados durante todo o funcionamento do Arduino. O LCD consome 5.5v e com o backlight ligado entre 50mA e 150mA [21]. O piezoelétrico consome no máximo 20mA. Para uma maior duração do circuito alimentado na bateria de 9v seria ideal colocar mais um botão para ligar e desligar o display LCD, já que ele consome muita energia e ficar ligado durante todo é um desperdício de energia. A bateria tem um custo de R\$30 em média e pode durar meses com as adaptações para uma economia maior de energia.

Figura 13 - Pilhas Alcalinas



Fonte: Pilhas Alcalinas Duracell [22]

A terceira opção para alimentar o circuito seria com um painel solar fotovoltaico junto com uma bateria recarregável e um pequeno sistema que faz o gerenciamento dessa energia. Essa opção é a mais cara em relação as outras mas certamente exige menos manutenção inclusive de custos ao longo do tempo. O custo de implementação desse sistema é de R\$160 em média. Com o decorrer do tempo será necessária a troca da bateria recarregável por perder a capacidade de regenerar e terá um custo de R\$43 em média.

Figura 14 - Paine Solar Fotovoltaico



Fonte: Paine solar fotovoltaico 10W [23]

Cada ambiente pode se adequar a uma solução diferente. Alguns ambientes podem sofrer com poucas quedas na rede elétrica, outros ambientes podem ter pouca luz solar, enfim, cada ambiente pode ter uma solução diferente para alimentação.

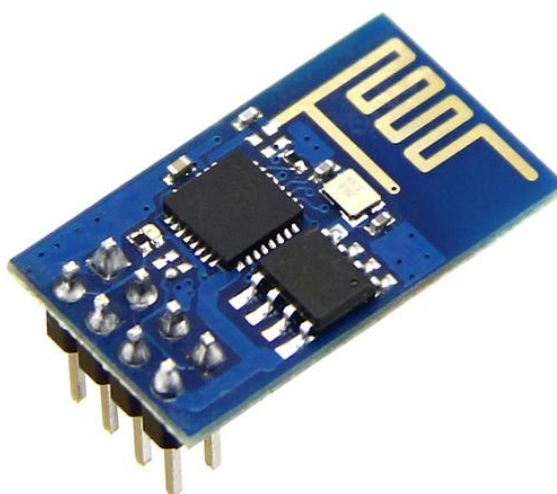
## 5.2 MONITORAMENTO

O monitoramento inicialmente deve ser feito no display LCD do circuito. Também pode ser implementada uma solução mais inteligente para ter os dados de mais armadilhas de forma centralizada. Com essa solução o display LCD pode ser dispensado ou ser como uma validação dos dados disponibilizados.

O módulo WiFi 2.4GHz seria a melhor opção para manter a comunicação integrada de várias armadilhas em grandes distâncias, mas a cada 20 metros em espaço aberto em média é

importante colocar um repetidor para que não haja perda de sinal [24]. Um exemplo desse módulo seria o ESP8266 que tem um baixo consumo de energia e bom alcance.

Figura 15 - Módulo wIFI



Fonte: Módulo Wi-Fi[25]

Com esse módulo seria possível através de programação a comunicação com uma central que gerencia todos os resultados que forem colhidos das armadilhas, facilitando a contagem e possibilitando a expansão para grandes colheitas.

Uma alternativa ao módulo WiFi para monitoramento seria o uso da tecnologia LoRa que está em processo de aprimoramento, mas já é usada em diversas aplicações. Essa tecnologia se destaca devido à sua grande capacidade de cobertura principalmente em áreas rurais e baixa potência, chegando a 15 km e usando frequências de radiofrequência de sub-gigahertz entre 500 e 900 MHz. Cada atualização que a tecnologia recebe diminui seu tamanho e reduz ainda mais o seu consumo [26]. Essa tecnologia tem uma limitação de

largura de banda e ainda exige um investimento mais alto, mas para essa aplicação seria uma boa alternativa.

## **6. CONCLUSÃO**

Baseados nos experimentos realizados com as moscas-das-frutas comprova-se de forma online que é possível o uso do Arduino uno junto com o sensor piezoelétrico proposto para a aquisição da contagem dos dois tipos de mosca na armadilha de acordo com o batimento de asas das mesmas.

O objetivo de contagem das moscas-das-frutas e identificação das mesmas foi obtido com sucesso com o uso do software online e gratuito Tinkercad. O software em questão, apresenta componentes necessários para a realização e conclusão satisfatória do projeto.

### **6.1 TRABALHOS FUTUROS**

Devido ao cenário atual, com a pandemia e o isolamento social não foi possível a realização do trabalho em laboratório, isso ficará como continuidade desse projeto, ou seja, os resultados reais serão obtidos no futuro.

Finalmente, com a forte evidência de que o sensor optoeletrônico apresentado pode ser usado em uma armadilha inteligente, os autores esperam construir, implantar e coletar dados de campo para estender os resultados desse trabalho. Trabalhos futuros incluem melhorias no sensor para menor potência, análise do sinal gerado por moscas selvagens, melhores características de detecção, avaliação de classificadores para serem aplicados ao reconhecimento de insetos, telemetria e, nos anos seguintes, coleta de dados atualmente não disponíveis [5].

Também temos como objetivos para o futuro a implementação do gerenciamento remoto para obter com facilidade os dados de várias armadilhas e assim permitir a implementação para grandes produtores em larga escala.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Tecnologia na agricultura: maior sustentabilidade na produção agrícola. **Boas Práticas Agrônômicas**, 18 de Abril de 2019. Disponível em: <[Tecnologia na agricultura: maior sustentabilidade na produção agrícola - Boas Práticas Agrônômicas \(boaspraticasagronomicas.com.br\)](https://boaspraticasagronomicas.com.br)>(Acesso online: 30, Novembro de 2020)
- [2]Paranhos, Beatriz Jordão.MOSCAS-DAS-FRUTAS QUE OFERECEM RISCOS À FRUTICULTURA BRASILEIRA, 2008. Disponível em: <[Microsoft Word - Apostila Moscas-das-Frutas Beatriz Fenagri 2008.doc \(embrapa.br\)](#)> (Acesso online: 02, Dezembro de 2020).
- [3] MOSCAS DE FRUTA (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM POMARES DE MANGA NO SEMI-ÁRIDO DE MINAS GERAIS. **Scielo**, 7 de Setembro de 2020. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-21252020000300844&lang=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252020000300844&lang=pt)>(Acesso online: 27, Dezembro de 2020)
- [4] Embrapa monitora mosca-das-frutas. **Agronotícias**, 19 de Agosto de 2017. Disponível em: <<http://www.portalagronoticias.com.br/noticia/1359/embrapa-monitora-mosca-das-frutas>>(Acesso online: 05, Dezembro de 2020)
- [5] Fabiano Sandrini; Dori Edson; Tiago Scheunemann; Vagner Santos, *Development of an Optoelectronic Sensor for Detecting and Classifying Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) for Use in Real-Time Intelligent Traps* (2019). Sensors, MDPI.
- [6] Tatem, Andrew J. Global Assessment of Seasonal Potential Distribution of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata*. **PLOS ONE**. 6 de Novembro de 2014. Disponível online: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111582>> (Acesso em 28, Novembro de 2020).

- [7] Armadilha Bola. **Isca**. Disponível em: <[Isca Tecnologias - Produtos - ARMADILHA BOLA](#)>(Acesso online: 30, Novembro de 2020)
- [8] Insect Biometrics: Optoacoustic Signal Processing and Its Applications to Remote Monitoring of McPhail Type Traps. **PLOS ON**, 06 de Novembro de 2015. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0140474>>. (Acesso em: 30 de Novembro de 2020).
- [9] Nava, D.E.; Botton, M. Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro. Embrapa Uva e Vinho-Documents (INFOTECA-E). Disponível online: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/889693> (Acesso em 30, Março de 2020).
- [10] O que é Arduino?. **FLIPEFLOP**, 02 de Setembro de 2014. Disponível em: <O que é Arduino: conceito, benefícios e como utilizar - FilipeFlop>(Acesso online: 30, Novembro de 2020).
- [11] O que é Arduino: Para que serve, vantagens e como utilizar. **Eletrogate**. Disponível em: <[O que é Arduino: Para que serve, vantagens e como utilizar - Blog Eletrogate](#)>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020)
- [12] Programação para Arduino - Primeiros Passos. **Circuitar**, 2018. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/>>(Acesso online: 05, Dezembro de 2020)
- [13] Piezoelectricidade. **Wikipédia**, Setembro de 2015. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricidade>>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020)
- [14] DU TOIT, N.E. e WARDLE, B.L., Experimental Verification of Models for Microfabricated Piezoelectric Vibration Energy Harvesters, *AIAA Journal*, 45:1126-1137, 2007.
- [15] DISPLAY LCD 16X2 BACKLIGHT AZUL. **Piscaled**. Disponível em: <<https://www.piscaled.com.br/display-lcd-16x02-backlight-azul>>(Acesso online: 05, Dezembro de 2020)



- [16]Controlando um LCD 16×2 com Arduino. **FLIPEFLOP**, 11 de Setembro de 2011. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/controlando-um-lcd-16x2-com-arduino/>>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020)
- [17] Diodo Led Difuso 5mm Vermelho. **Eletropeças**. Disponível em: <[Diodo Led Difuso 5mm Vermelho - Eletropeças Comercial Eletrônica Ltda. \(eletronica.com.br\)](https://www.eletronica.com.br/vermelho-5mm-led-difuso-5mm-vermelho/)> (Acesso online: 05, Dezembro de 2020).
- [18] Push Button (Chave Tátil) 6x6x6mm. **Eletrogate**. Disponível em: <[Push Button \(Chave Tátil\) 6x6x6mm > Eletrogate 2020 - Eletrogate - Loja de Arduino \ Robótica \ Apostilas \ Kits](https://www.eletrogate.com.br/push-button-chave-tatil-6x6x6mm/)> (Acesso online: 05, Dezembro de 2020).
- [19] Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4. **Filipeflop**. Disponível em: <[Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4 - FilipeFlop](https://www.filipeflop.com/9v-1a-plug-p4-dc-source/)>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020).
- [20] ARDUINO UNO REV3. **Store**. Disponível em: <[Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store](https://www.arduino.cc/en/Store/Arduino-Uno-Rev3)>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020) .
- [21] LCM MODULE. **Tinsharp**, 23 de Setembro de 2009. Disponível em: <[Microsoft Word - TC1602A-01T SpecV00 2009-09-23.doc \(adafruit.com\)](https://www.adafruit.com/docs/esp8266/modules/lcm-module/)>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020)
- [22] PILHAS 9V ALCALINAS DURACELL. **Duracell**. Disponível em: <[Pilhas 9V - Pilhas Alcalinas Duracell](https://www.duracell.com.br/pilhas-9v/)>(Acesso online: 02, Dezembro de 2020).
- [23] Painel Solar Fotovoltaico 10W. NeoSolar. Disponível em: <[Painel Solar Fotovoltaico 10W - Sinosola SA10-36P | NeoSolar](https://www.neosolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-10w/)>
- [24] ESP8266EX. **Datasheet**. Disponível em: <[0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en \(espressif.com\)](https://www.espressif.com/en/products/esp8266ex/)> (Acesso online: 02, Dezembro de 2020).
- [25] Módulo WiFi ESP8266 ESP-01. Filipeflop. Disponível em: <[Módulo WiFi ESP8266 ESP-01 - FilipeFlop](https://www.filipeflop.com/esp8266-esp-01-wifi-module/)> (Acesso online: 02, Dezembro de 2020).
- [26] What is LoRaWAN® Specification. Disponível em: <[https://lora-alliance.org/about-lorawan](https://lora-alliance.org/about-lorawan/)> (Acesso online: 23, Janeiro de 2021).

## **ANEXO A – Código do Programa**

```
#include <LiquidCrystal.h>

int piezo1 = 5;
int piezo2 = 4;
int freq1min = 94;
int freq1max = 132;
int freq2min = 134;
int freq2max = 201;
int btn = 13;
int valorpiezo1 = 0;
int valorpiezo2 = 0;
int m1in = 0;
int m1out = 0;
int m2in = 0;
int m2out = 0;
int led = 12;

LiquidCrystal lcd (2, 3, 4, 5, 6, 7);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 3);

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("1:");
  lcd.setCursor(2,0);
```

```
lcd.print("000");  
lcd.setCursor(5,0);  
lcd.print(" IN/");  
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print("000");  
lcd.setCursor(12,0);  
lcd.print(" OUT");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("2:");  
lcd.setCursor(2,1);  
lcd.print("000");  
lcd.setCursor(5,1);  
lcd.print(" IN/");  
lcd.setCursor(9,1);  
lcd.print("000");  
lcd.setCursor(12,1);  
lcd.print(" OUT");  
}
```

```
void loop(){  
  
  if(digitalRead(btn) == HIGH)  
  {  
    delay(100);  
    m1in = 0;  
    m1out = 0;  
    m2in = 0;
```

```

        m2out = 0;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("1:");
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("000");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(" IN/");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("000");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(" OUT");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("2:");
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("000");
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print(" IN/");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("000");
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print(" OUT");
}

valorpiezo1 = analogRead(piezo1);
valorpiezo2 = analogRead(piezo2);
if (valorpiezo1>freq1min && valorpiezo1<freq1max){
    delay(100);
    if (valorpiezo2>freq1min && valorpiezo2<freq1max){

```

```

    m1in = m1in + 1;
}
}
if (valorpiezo2>freq1min && valorpiezo2<freq1max){
    delay(100);
    if (valorpiezo1>freq1min && valorpiezo1<freq1max){
        m1out = m1out + 1;
    }
}
if (valorpiezo1>freq2min && valorpiezo1<freq2max){
    delay(100);
    if (valorpiezo2>freq2min && valorpiezo2<freq2max){
        m2in = m2in + 1;
    }
}
if (valorpiezo2>freq2min && valorpiezo2<freq2max){
    delay(100);
    if (valorpiezo1>freq2min && valorpiezo1<freq2max){
        m2out = m2out + 1;
    }
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("1:");
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print(m1in);
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(" IN/");

```

```
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print(m1out);  
lcd.setCursor(12,0);  
lcd.print(" OUT");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("2:");  
lcd.setCursor(2,1);  
lcd.print(m2in);  
lcd.setCursor(5,1);  
lcd.print(" IN/");  
lcd.setCursor(9,1);  
lcd.print(m2out);  
lcd.setCursor(12,1);  
lcd.print(" OUT");  
if (m1in>999 || m1out>999 || m2in>999 || m2out>999){  
    digitalWrite(led, HIGH);  
}  
}
```

## ANEXO B – Circuito Simulado

