



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**EDSON FELIPE COSTA BENEVIDES**

**ARQUITETURA PARA DETECÇÃO E ELIMINAÇÃO DE AEDES  
AEGYPTI**

**JUAZEIRO - BA**

**2019**

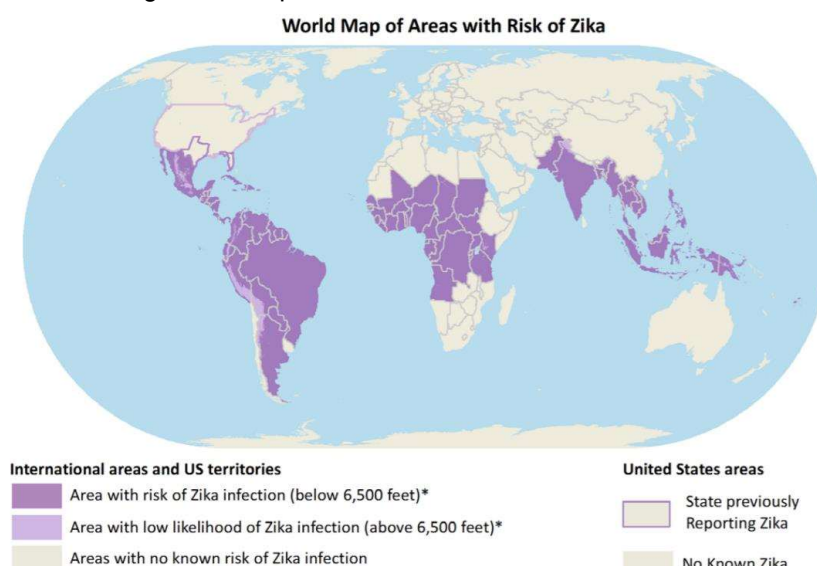
## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o *Aedes aegypti* é popularmente conhecido como mosquito da dengue, devido ao fato de ser um “vetor” para o vírus da dengue. Mas, recentemente esse mosquito também foi relacionado ao vírus da *zika* e da *chikungunya*. Ou seja, essas doenças são transmitidas pela picada de mosquitos infectados. E os seus sintomas são semelhantes e incluem febre, erupção cutânea e dores de cabeça (OPAS, 2016).

Além disso, existem evidências de uma provável associação do vírus da *zika* na ocorrência de microcefalia em crianças recém-nascidas que até o dia 16 de abril de 2016, 1.168 casos foram confirmados, a maioria deles no Nordeste (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Essas doenças eram relativamente desconhecidas, pois a maioria dos casos reportados eram em países subdesenvolvidos, mas esse cenário tem mudado. A maioria dos casos ocorre em locais onde há precariedade em questão de saúde pública e saneamento tornando-os área de risco (SALOMÃO, 2016).

Figura 1 - Mapa-múndi de áreas com risco de zika



Fonte: Extraído de (CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2018).

Os mosquitos *Aedes aegypti* geralmente vivem em lugares abaixo de 6.500 pés. Ou seja, as chances de obter doenças transmitidas pelo mosquito

várias câmeras de vídeo, um chip de processamento de imagem (computador), fontes de luz para identificar os mosquitos e motores de alta qualidade chamados *galvos*, projetados para sistemas de marcação a laser e micro usinagem, que custam cerca de 10 mil dólares, para o sistema de eliminação (KARE, 2010).

Figura 2 - Sensores e câmera Photonic Fence



Fonte: Extraído de KARE, 2010.

Outra solução foi desenvolvida por um grupo de pesquisadores do Laboratório de Inteligência Computacional do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) do Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) para fazer a detecção, porém não elimina o mosquito. No projeto, eles desenvolveram um sensor para detectar mosquitos, que pode ser visto na Figura 3 (ALISSON, 2014).

Figura 3 - Sensor de pragas agrícolas



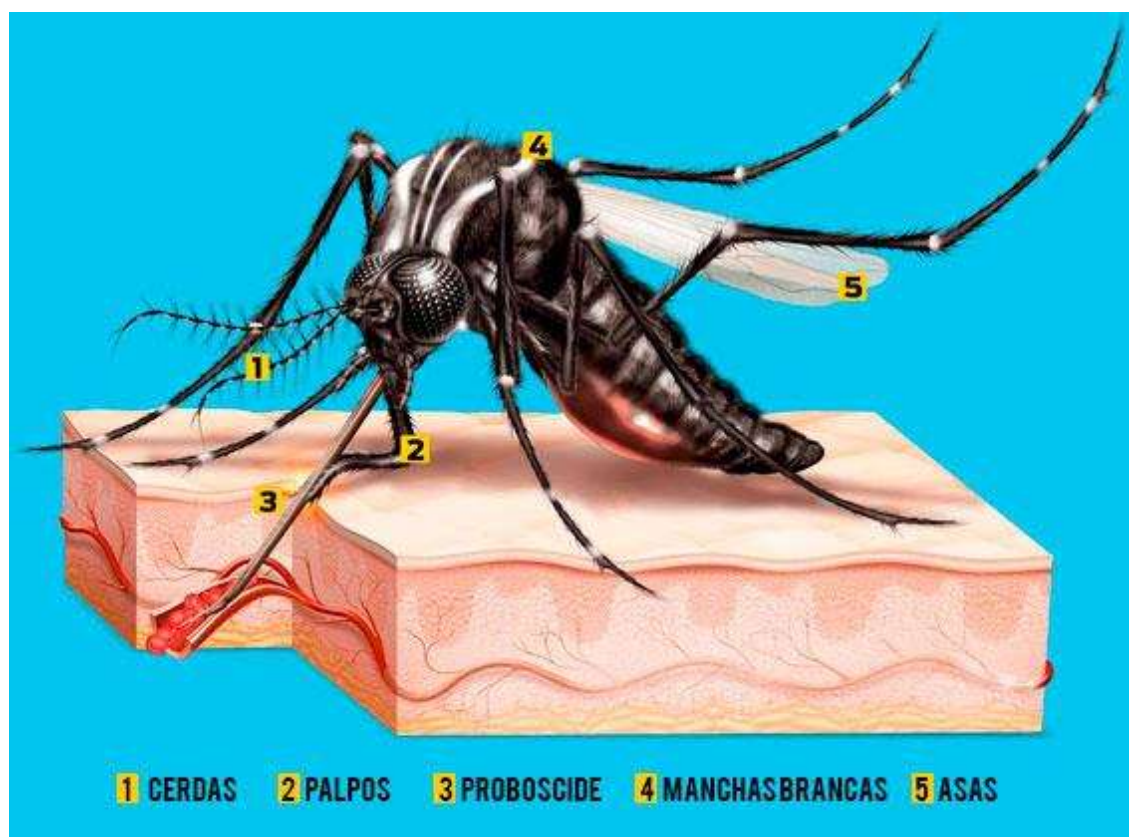
Fonte: Extraído de ALISSON, 2014.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MOSQUITO

*Aedes aegypti*, da família *Culicidae*, é a nomenclatura taxonômica para o mosquito da dengue. Oriundo da África, atualmente presente em todos os continentes, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. (SPENASSATTO, 2011)

Figura 4 - *Aedes aegypti*

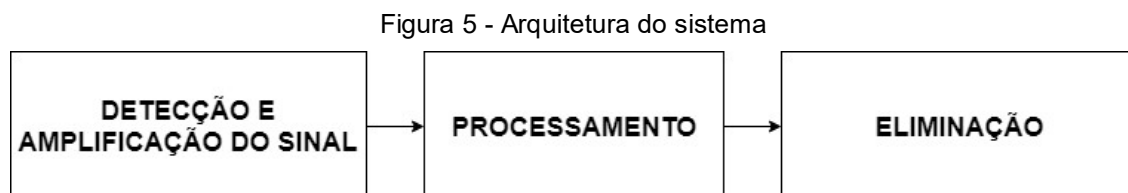


Fonte: Modificado de MASSAO, 2016

Como visto na Figura 4, as asas são recobertas por escamas escuras. Durante o voo as fêmeas atingem uma frequência de aproximadamente 400 batidas por segundo, enquanto os machos podem chegar a 600 batidas. (MASSAO, 2016)

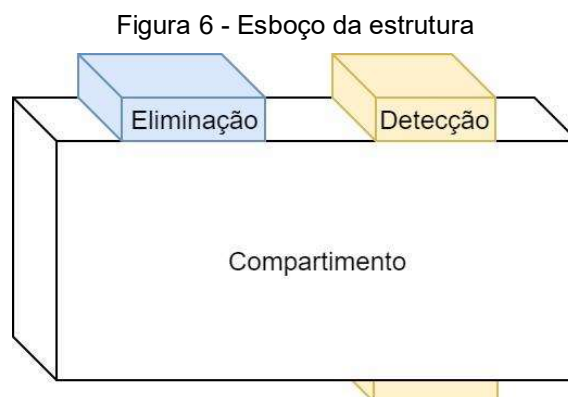
### 3. ARQUITETURA

A arquitetura do sistema será composta pelos módulos de detecção, processamento de sinal e eliminação. O diagrama desta arquitetura é mostrado na Figura 5.



Fonte: O autor 2018

Além desses módulos será desenvolvida uma estrutura, esboçada na Figura 6, onde serão instalados os módulos de detecção e eliminação. Essa estrutura contará com dois compartimentos interligados por uma passagem suficiente para o posicionamento dos módulos infravermelho, laser e passagem do mosquito.



Fonte: O autor 2018

Mosquitos serão confinados no compartimento e serão tomadas amostras do módulo infravermelho para análise. Ainda confinados, testes de eliminação serão feitos a partir de pulsos do módulo laser.

#### 3.1 MICROCONTROLADOR

O dispositivo utilizado para controlar o processo de detecção e eliminação, caracterizado por incorporar no mesmo encapsulamento um

Figura 10 - Módulo laser LA03-3500



Fonte: Extraído de ELEKSMARKER, 2017.

Como mostrado na Figura 10, o módulo consiste em um laser acoplado em um dissipador de calor e ventilador, um controlador 12V com modulação TTL e dois pares de fios para alimentação do laser e do ventilador.

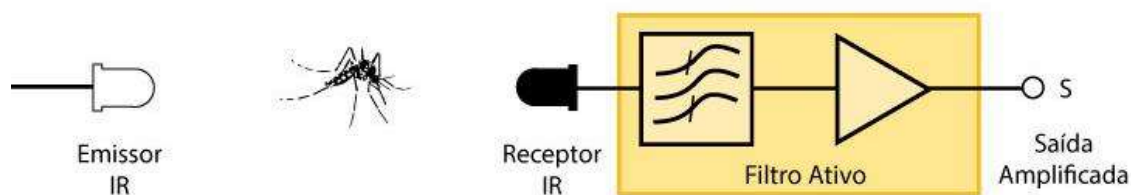
## 3.5 SISTEMA

### 3.5.1 Detecção

O módulo de detecção é responsável por identificar a presença do mosquito e é composto pelo módulo infravermelho e o filtro passa-faixa com largura de banda  $B = 200\text{Hz}$ , compreendendo a faixa entre  $\omega_1 = 400\text{Hz}$  e  $\omega_2 = 600\text{Hz}$  que é a faixa teórica da batida de asas do *Aedes aegypti* (MASSAO, 2016).

Para a detecção, utilizando o módulo infravermelho, será analisada a resposta em frequência do sinal do receptor na presença do mosquito como mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Detecção



Fonte: O autor 2018

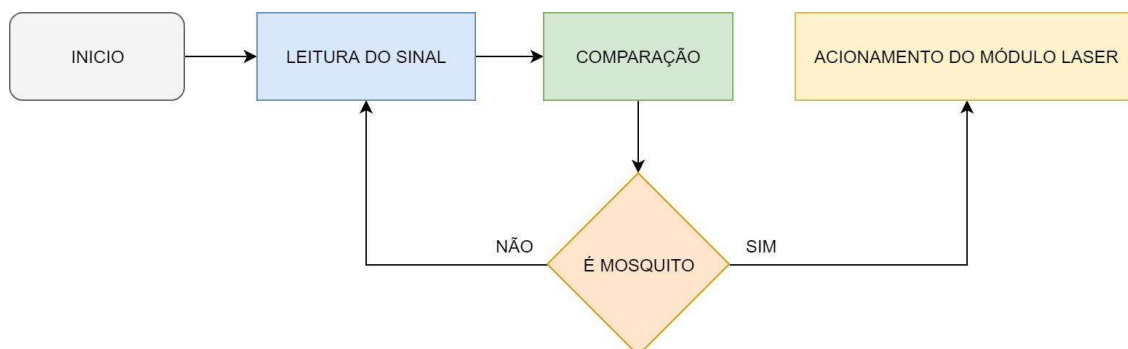
### 3.5.2 Processamento

O módulo de processamento é responsável por receber os dados da detecção e determinar se o sinal recebido corresponde à presença do mosquito.

A partir dos experimentos realizados com o sistema em funcionamento será determinado o padrão que será adotado como referência para classificação positiva da detecção. Com isso serão determinados os parâmetros de frequência e amplitude do sinal para eliminar ruídos ou falsos positivos.

Este módulo utilizará o microcontrolador PIC18F4550 e determinará o acionamento do módulo laser a partir do resultado da comparação do sinal obtido com os parâmetros de referência. O fluxo do processamento é mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Processamento



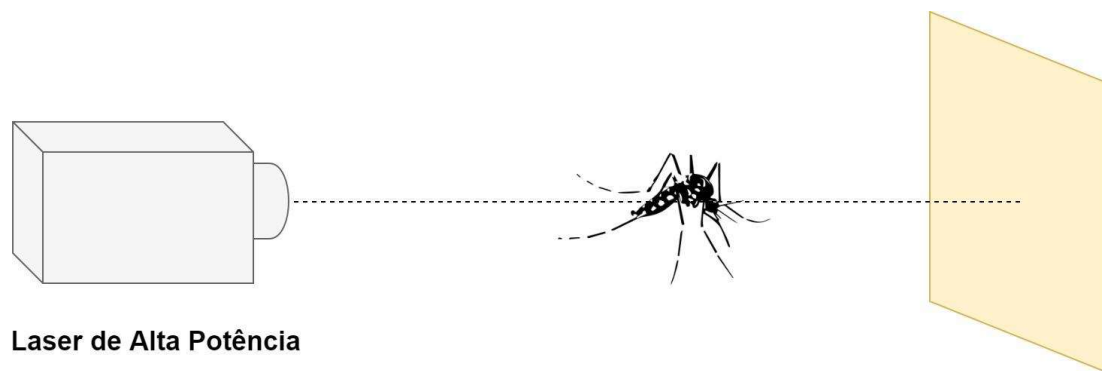
Fonte: O autor 2018



### 3.5.3 Eliminação

Para eliminação será utilizado o módulo laser EleksMaker LA03-3500 onde serão emitidos pulsos de alta potência com a finalidade de abater o mosquito como mostrado na Figura 13.

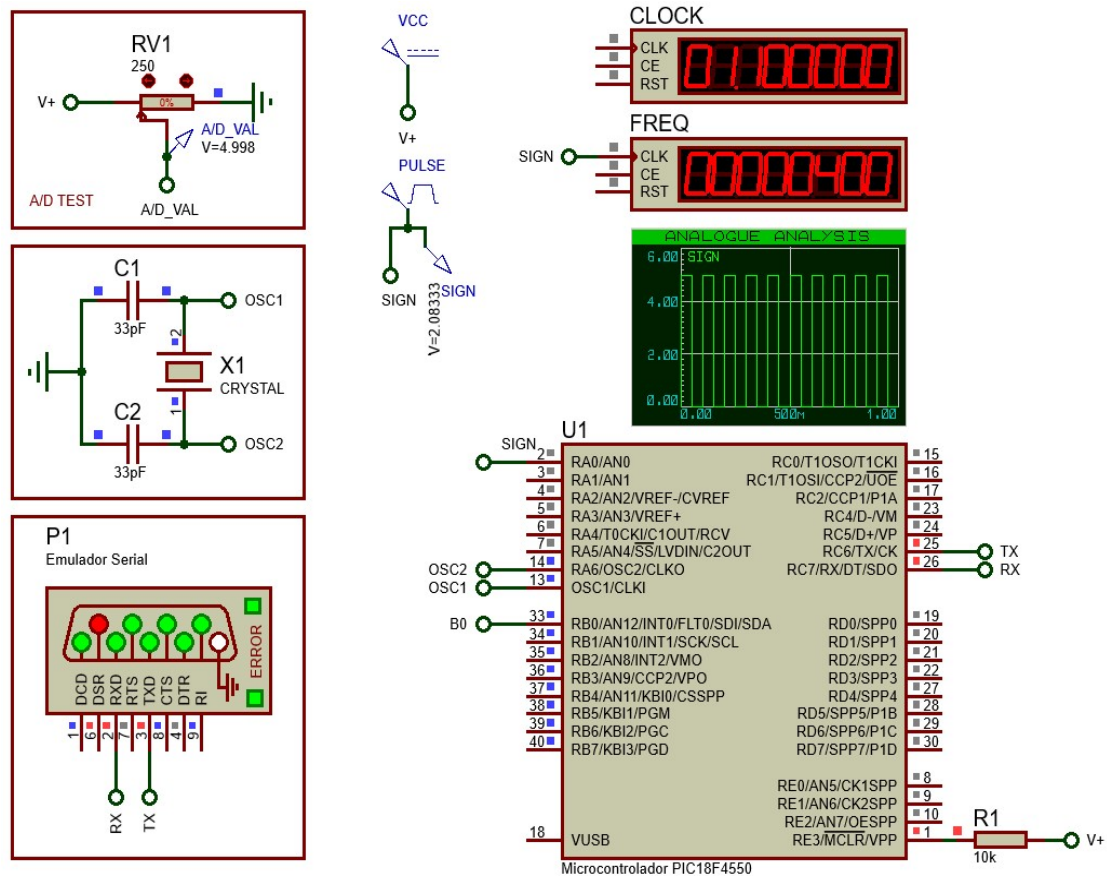
Figura 13 - Eliminação



Fonte: O autor 2018



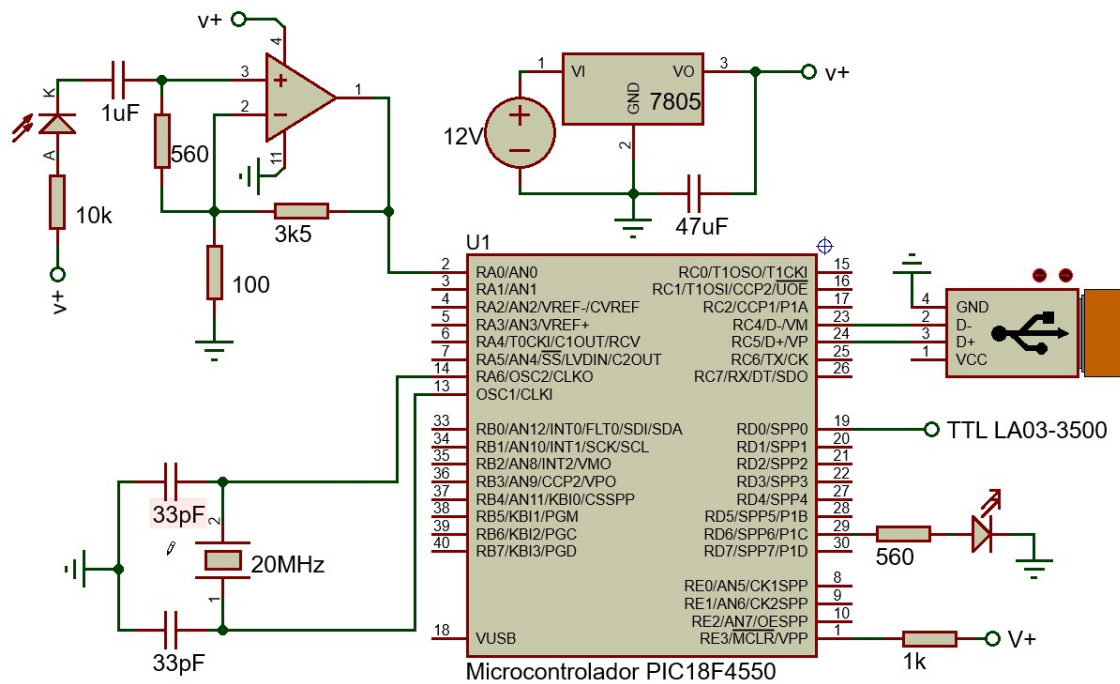
Figura 14 - Esquemático do teste de conversão e serial



Fonte: O autor 2018

O circuito montado para o sistema, mostrado na Figura 15, no qual foi utilizado o código do ANEXO 4, esse circuito é responsável por realizar a aquisição do sensor infravermelho, o condicionamento do sinal, conversão analógico digital e acionamento do módulo laser.

Figura 15 - Circuito do sistema



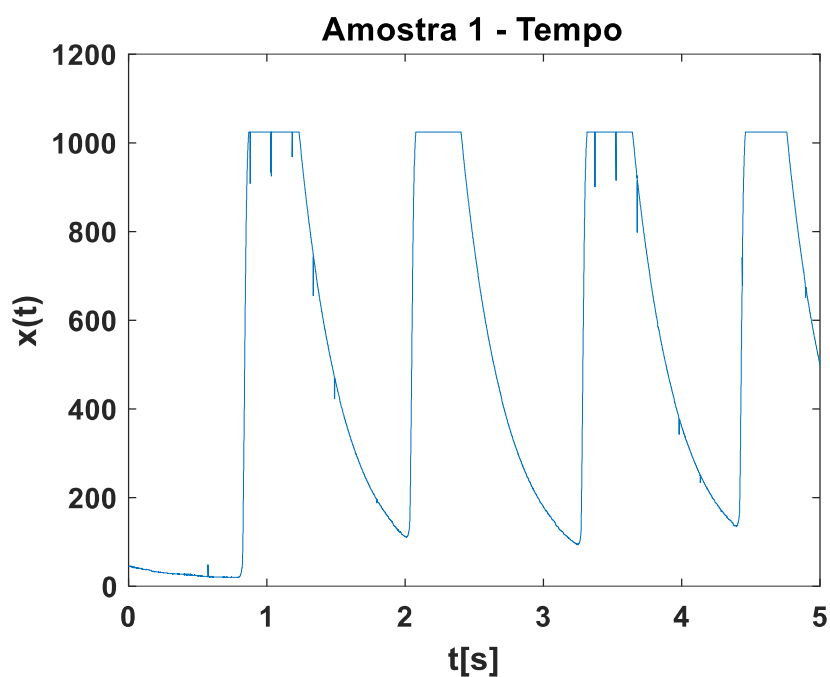
Fonte: O autor 2018

A partir da discretização e transmissão dos dados pela serial foi possível estabelecer uma frequência de amostragem de aproximadamente 2310 Hz, suficiente para reconstruir um sinal de até aproximadamente 1000 Hz segundo o teorema da amostragem de Nyquist–Shannon.

Utilizando a transformada rápida de Fourier foi possível fazer a análise do espectro de frequência do sinal amostrado. Assim, foi adotado o tamanho das amostras como 11550 correspondendo a aproximadamente cinco segundos.

Um teste de oclusão em baixa frequência foi feito para verificar o funcionamento do sensor e do algoritmo do ANEXO 2, como mostrado Figura 16.

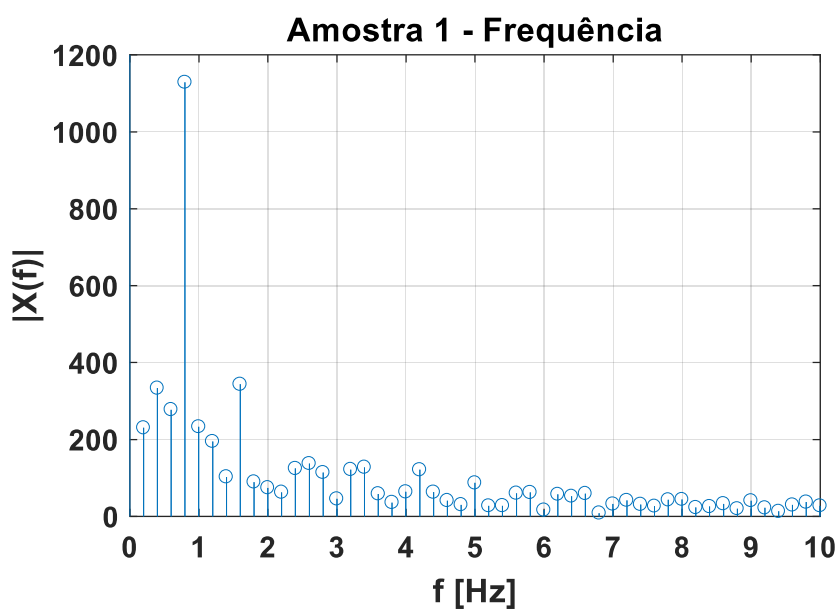
Figura 16 - Domínio do tempo do teste de oclusão



Fonte: O autor 2018

Analisando o espectro de frequência do teste de oclusão é possível identificar por inspeção a maior intensidade frequências baixas próximas a zero, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Ampliação do espectro de frequência do teste de oclusão



Fonte: O autor 2018

Figura 19, ou através do congelamento que provoca paralisia temporária no mosquito.

Figura 19 - Acessório para transferir os mosquitos



Fonte: O autor 2018

Por não ser possível determinar os efeitos do processo térmico foi utilizado o acessório para transferir os mosquitos com objetivo de minimizar possíveis alterações nas características anatômicas analisadas no teste.

Com intuito de minimizar o ruído inerente ao dispositivo, normalmente aproximado por ruído branco, foram utilizados dois filtros com combinações de maior e menor magnitude com objetivo de minimizar o ruído aditivo.

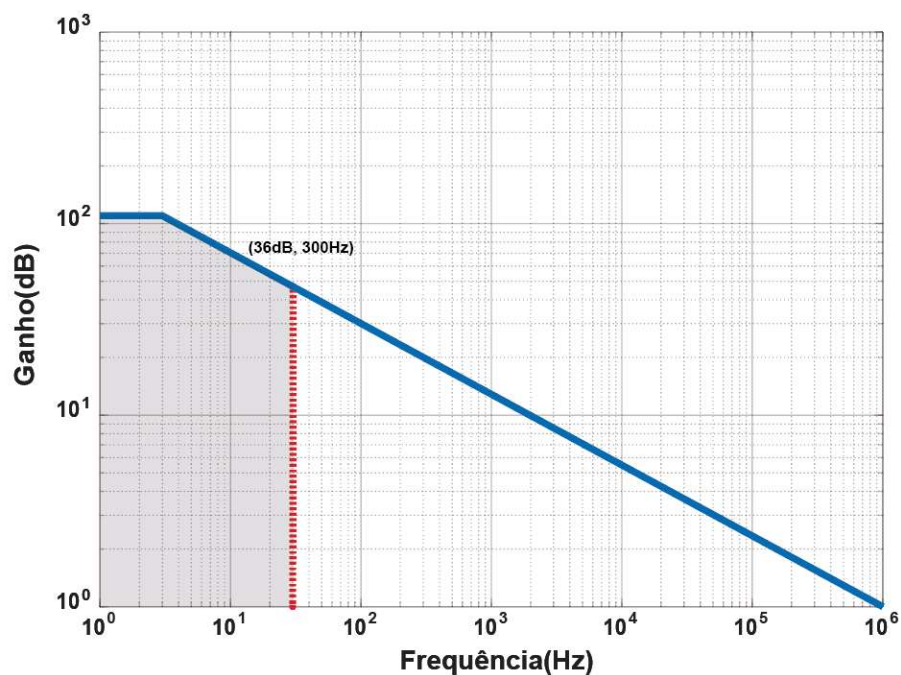
Como o ruído branco está diretamente relacionado com a resistência foram utilizados os dois filtros e também foram realizadas leituras sem filtro.

Um filtro possui frequência de corte 284 Hz e magnitude de centenas de Ohms e o segundo filtro atenua frequências menores que 159 Hz e tem magnitude de dezenas de Ohms, ambos do tipo passa-altas.

Foram utilizadas como fonte de energia baterias para evitar os ruídos provenientes da rede elétrica e das fontes chaveadas.

A Tabela 4 mostra a parametrização dos testes realizados na Moscamed indicando a respectiva quantidade de mosquitos e leituras realizadas.

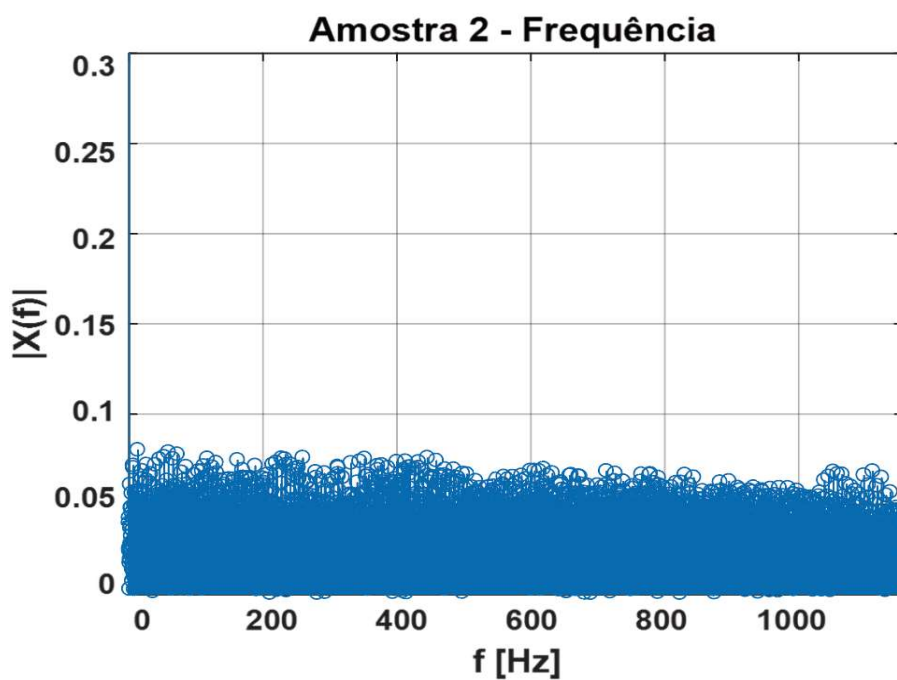
Figura 21 - Ganho de malha aberta do amplificador



Fonte: O autor 2018

Analisando diversas amostras foi possível identificar um perfil de ruído que pôde ser aproximado ao ruído branco, como pode ser visto no espectro de frequência da amostra na Figura 22.

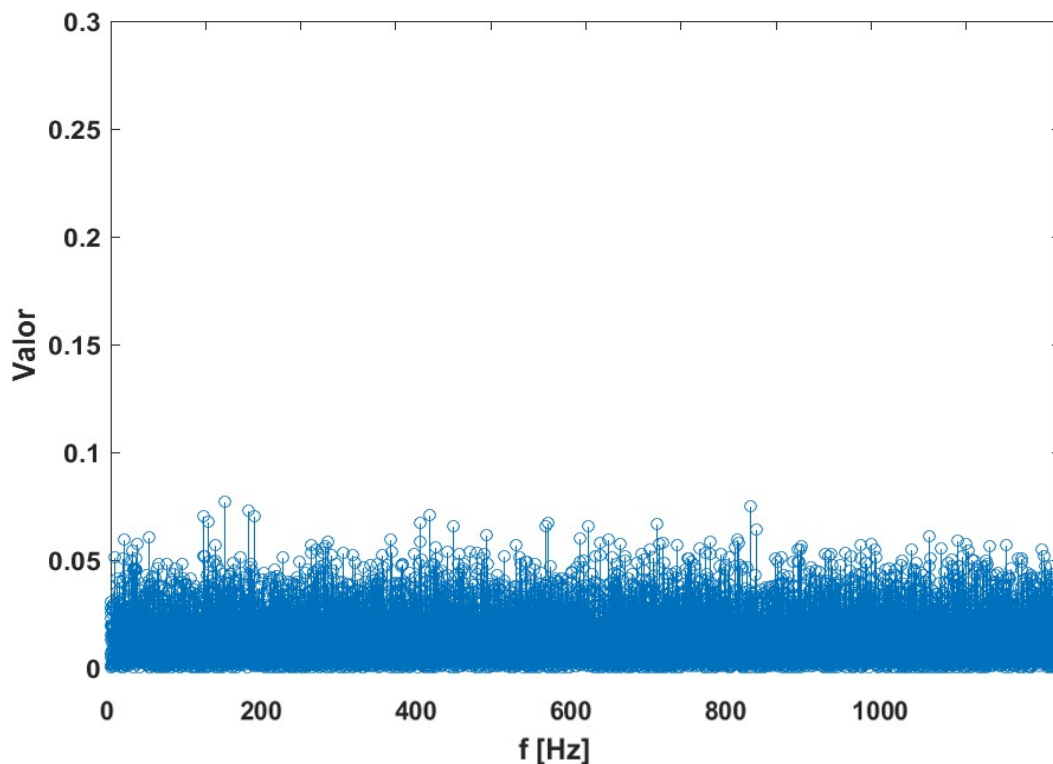
Figura 22 - Amostra com 11550 leituras e sem mosquito



Fonte: O autor 2018

O perfil do ruído citado anteriormente pode ser visto na Figura 23, gerado numa simulação do Matlab com auxílio da função geradora de amostras de ruído branco com distribuição gaussiana chamada de *wgn*, como pode ser visto no ANEXO 3.

Figura 23 - Perfil de ruído branco simulado

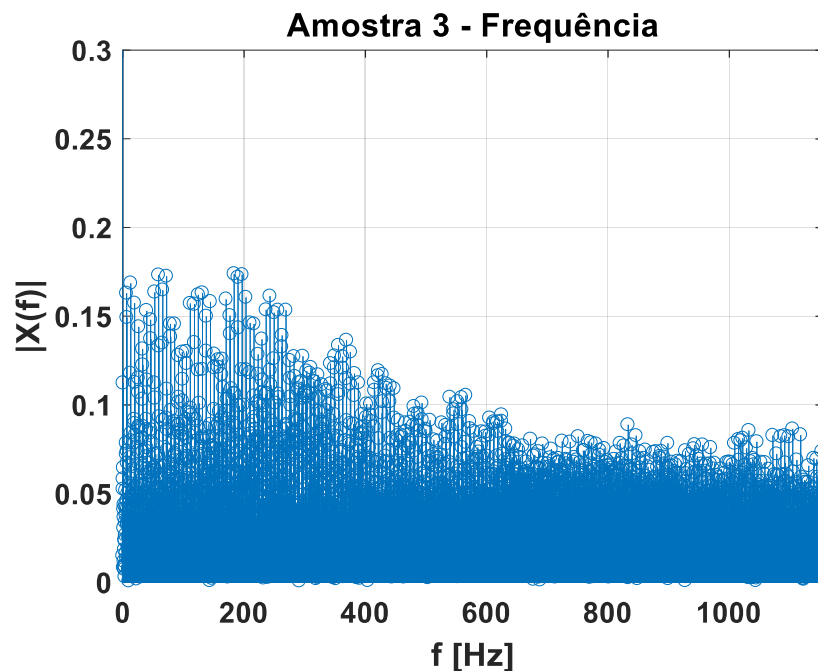


Fonte: O autor 2018

Fazendo uma comparação com as amostras discretizadas nos testes é possível verificar uma concentração no conjunto de frequências da Figura 24 próximas à 200 Hz, diferentemente das amostras coletadas na ausência do mosquito onde é visivelmente o ruído é predominante, como pode ser visto na Figura 22.

As amostras coletadas sem filtro apresentaram resultado insatisfatório com aparentemente poucas informações úteis. Entre os dois filtros utilizados não houve diferença clara para os critérios avaliados.

Figura 24 – Amostra com 11550 leituras e com mosquito



Fonte: O autor 2018

Um teste para comprovar se o laser utilizado era letal foi realizado utilizando a potência máxima do módulo LA03-3500, no entanto essa potência é excessiva, podendo danificar os obstáculos localizados no foco ou próximo dele.

Foi realizada uma bateria de testes, mostrada na Tabela 5, com potências fracionadas através da modulação de pulso com frequência constante de 1 KHz onde foi variado o ciclo ativo na porta TTL do driver para se determinar aproximadamente uma potência mínima letal para o mosquito, como pode ser visto no ANEXO 6.

Tabela 5 - Teste de letalidade do módulo laser

<i>Fração da Potência</i>	<i>Resultado</i>
1/1024	Não foi suficiente para acionar o laser
1/512 à 1/16	Não letal
1/8 à 1/4	Letal no foco (a 4,5 cm módulo)
1/2	Letal no fora foco (a 4 cm do foco)
1	Potência máxima

Fonte: O autor 2018

O teste foi realizado na estrutura da Figura 6, para aplicações em estruturas maiores é necessário um mecanismo de direcionamento adequado para abater o mosquito ou uma estrutura de posicionamento.



## ANEXO 1– Comunicação Serial

```
%CONFIGURACAO SERIAL
disp('Configuracao Serial')
com = serial('COM5');
com.InputBufferSize = 200000;
com.Timeout = 100;
set(com, 'BaudRate', 115200);
disp('Conexao COM')
%LEITURA
fopen(com);
disp('GetLine')
[line, count] = fgetl(com);
disp('Close COM')
fclose(com);
[values, len] = sscanf(line, '%04d');
disp('Transposta')
values = transpose(values);
%ARQUIVO
disp('Save')
save('data.txt', 'values', '-append', '-ascii')
```

## ANEXO 2 – Espectro de frequência com FFT

```
%AMOSTRAS
samples = [];

[rows, cols] = size(samples)
for i = 1 : rows
    %Dominio do tempo
    figure((i*2)-1)
    plot(samples(i,:))
    title(['Amostra ', num2str(i), ' - Tempo'])
    T = 1/2310; %periodo de amostragem
    x = samples(i,:); %linha corrente
    N_0 = size(x,2); %numero de amostras N
    n = (0:N_0 - 1); %indice da amostra [0:N-1]
    %Dominio da frequencia
    X = fft(T*x); %transformada rapida de fourier
    f = ((0:N_0 - 1)/(T*N_0)) - (1/(T*2));
    figure((i*2))
    stem(abs(f), fftshift(abs(X)), 'k');
    xlabel('f [Hz]'); ylabel('|X(f)|');
    title(['Amostra ', num2str(i), ' - Frequencia'])
    ylim([0 0.3])
    %ylim auto
    grid
end
```

### **ANEXO 3 – Simulação do ruído branco**

```
%RUIDO
noise = wgn(10000,1,0);
noise = abs(noise);
noise = noise/70;
%GRAFICO
stem(noise)
ylim([0 0.3])
```

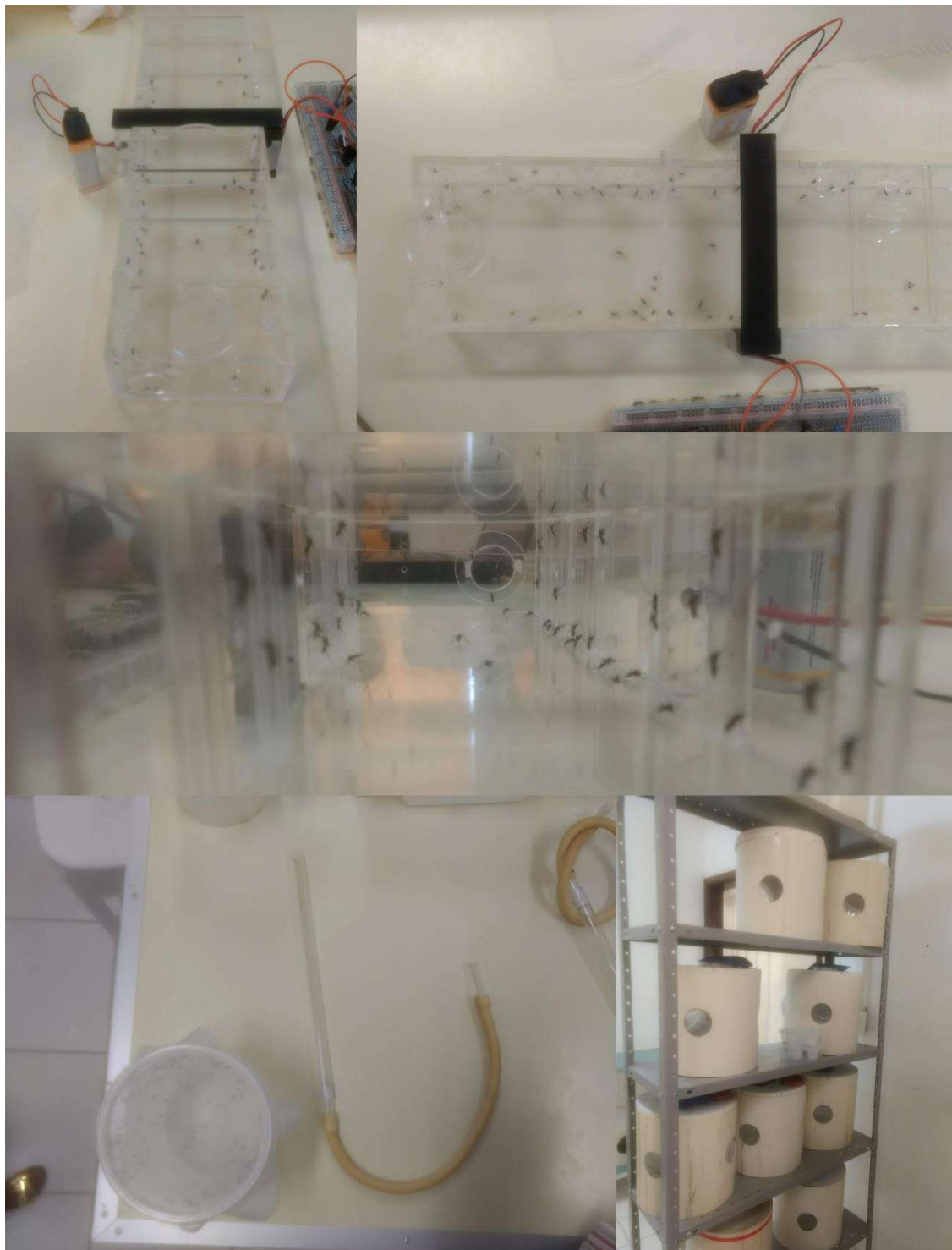
## ANEXO 4 – Código do sistema

```
/*
 * File:    main.c
 * Author:  Edson Felipe Costa Benevides
 *
 * Created on 19 de Junho de 2018, 20:32
 */
#include "18F4550.h"
#define device adc=10
#define fuses
HSPLL, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, NODEBUG, USBDIV, PLL5, CPUDIV1, VREGEN, P
UT, BROWNOUT
#define use delay(CLOCK=48M, CRYSTAL=20M)
#define use rs232 (baud = 115200, xmit=pin_c6, rcv=pin_c7)
#include <usb_cdc.h>
#define ADC_CHANNEL 0
#define RESET_TIMER0 18660
#define RESET_TIMER1 317
int32 digital_value;
int change;
//Prototipos
void init_adc(void);
void init_serial(void);
void init_interrupt(void);
void convert(void);
/*-----
 * GLOBAL
 *-----*/
int flag, flag1;
int timer1_control;
/*-----
 * INTERRUPT
 *-----*/
/*
 * Timer0
 * para 1 segundo o timer disparado 1 vez com inicializacao
 * de 18660 definido em RESET_TIMER0
 * @ CLOCK=48M; CRYSTAL=20M; T0_DIV_BY_256
 */
#define int_timer0
void trata_t0(){
    disable_interrupts(GLOBAL);
    flag = 1;
    set_timer0(RESET_TIMER0);
    enable_interrupts(GLOBAL);
}
```

```
/*
 * Timer1
 * para 1 segundo o timer disparado 23 vezes com inicializacao
 * de 317 definido em RESET_TIMER1
 * @ CLOCK=48M; CRYSTAL=20M; T1_DIV_BY_8
 */
#int_timer1
void trata_t1(){
    disable_interrupts(GLOBAL);
    timer1_control++;
    if(timer1_control == 23){
        flag1 = 1;
        timer1_control = 0;
    }
    set_timer0(RESET_TIMER1);
    enable_interrupts(GLOBAL);
}
/*-----
 * MAIN
 *-----*/
int main() {
    int temp = 8;
    //INIT
    init_serial();
    init_interrupt();
    init_adc();
    flag = 0;
    flag1 = 0;
    //TRISB OUTPUT
    set_tris_b(0b00000000);
    output_low(PIN_B0);
    //Loop
    while(1) {
        usb_task();
        if(usb_enumerated()){
            printf(usb_cdc_putc, "ADC0\r\n");
        }
        if(flag1){
            //PULSE
            output_high(PIN_B0);
            delay_ms(10);
            output_low(PIN_B0);
            flag1 = 0;
            if(usb_enumerated()){
                printf(usb_cdc_putc, "PULSE\r\n");
            }
        }
        delay_us(10);
    }
    return 0;
}
```

```
/*-----
*INIT
*-----*/
void init_adc(void){
    //modo adc
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    //entrada analogica
    setup_adc_ports(AN0);
    //canal de conversao
    set_adc_channel(ADC_CHANNEL);
    delay_us(10);
}
void init_interrupt(void){
    setup_timer_0(T0_INTERNAL | RTCC_DIV_256 );
    setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_8 );
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    //Para 1 segundo set_timer0([65535 - FOSC/(4*PRESCALER)])
    set_timer0(RESET_TIMER0);
    set_timer1(RESET_TIMER1);
}
void convert(void){
    //CONVERSAO A/D
    digital_value = read_adc();
    if(change == 1){
        //printf("%04d ", (int)digital_value/4);
        change = 0;
    }
}
```

## ANEXO 5 – Fotos do experimento realizado na Moscamed





## ANEXO 6 – Teste de letalidade do laser

