

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENG. ELÉTRICA COM ÊNFASE EM SISTEMAS ELETRÔNICOS
EMBARCADOS

ARIANE UTIDA MOREIRA
JORGE ZIMMER VOLTOLINI

SISTEMA EMBARCADO PARA LOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE ANFÍBIOS
DO GÊNERO *BRACHYCEPHALUS*

CURITIBA

2019

ARIANE UTIDA MOREIRA
JORGE ZIMMER VOLTOLINI

SISTEMA EMBARCADO PARA LOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE ANFÍBIOS
DO GÊNERO *BRACHYCEPHALUS*

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica no curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicio Haas Rambo

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

**ARIANE UTIDA MOREIRA
JORGE ZIMMER VOLTOLINI**

**SISTEMA EMBARCADO PARA LOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE
ANFÍBIOS DO GÊNERO *BRACHYCEPHALUS***

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica no curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Marcos Vinicio Haas Rambo
Orientador

André Bellin Mariano
UFPR

Eduil Junior
UTFPR

Curitiba, 05 de dezembro de 2019.

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao nosso professor orientador Marcos Vinicio Haas Rambo, por toda a dedicação, preocupação e ajuda que nos deu até aqui. Tê-lo ao nosso lado nessa jornada foi enriquecedor.

Agradecemos também às nossas famílias pelo constante apoio durante essa trajetória e por não nos deixar desanimar. Sem eles com certeza não estaríamos aqui hoje.

Temos um agradecimento especial ao Prof. James Baraniuk pois ele foi o responsável por nos apresentar a esse tema e sem ele nada disso seria possível.

Ao Prof. Marcio Pie, por todo o conhecimento que transmitiu sobre esses pequeninos animais chamados *Brachycephalus*.

Por fim, agradecemos aos nossos amigos e colegas que acompanharam não apenas nosso projeto, mas toda nossa jornada até aqui, e nos motivaram a continuar.

*Conte-me e eu esqueço.
Mostre-me e eu apenas me lembro.
Envolve-me e eu compreendo.
Confúcio*

RESUMO

Em meio a toda biodiversidade do Brasil, existe um gênero de anfíbios denominado *Brachycephalus*, o qual engloba pequenas rãs, de aproximadamente 1cm de comprimento, com várias espécies diferentes, muitas ainda desconhecidas. Esses pequenos animais têm como habitat natural as montanhas da serra do mar, em altitudes superiores a 900m. Como esses animais são difíceis de encontrar devido ao tamanho e às condições climáticas de seu habitat, eles são altamente passíveis de extinção, torna-se de extrema importância identificar os ambientes em que eles podem ser encontrados, de modo a catalogar novas espécies e protegê-los. Devido a isso, foram estudados padrões comportamentais para a identificação desses animais, baseando-se principalmente na atividade vocálica característica. Com isso, ao ser identificada a frequência do canto, elaborou-se um dispositivo para acionar alguns sensores ambientais, de modo a permitir o mapeamento desses animais por região.

Palavras-chaves: *Brachycephalus*. Processamento digital de Sinais. FFT. Fourier. MCP3008. Raspberry PI.

ABSTRACT

Amid the Brazilian biodiversity, there is a genus of amphibians called *Brachycephalus*, which includes small frogs, approximately 1cm long, with several different species, many still unknown. These small animals have as natural habitat the mountains along the sea shore, at altitudes above 900m. As these animals are difficult to find due to the size and climatic conditions of their habitat, they are highly threatened, so it is extremely important to identify the environments in which they can be found, in order to catalog new species and protect them. Because of this, behavioral patterns for the identification of these animals were studied, based mainly on their phonal activity. Thus, when the frequency of singing was identified, a device was developed to trigger some environmental sensors to allow mapping these animals by region.

Key-words: *Brachycephalus*. Digital Signal Processing. FFT. Fourier. MCP3008. Raspberry PI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Árvore Genealógica mostrando o parentesco entre os peixes e os anfíbios	13
FIGURA 2 – Anuros de interesse farmacológico e ação biológica de suas toxinas	14
FIGURA 3 – <i>Rhinella marina</i>	15
FIGURA 4 – Diferentes espécies de <i>Brachycephalus</i> e sua distribuição geográfica	17
FIGURA 5 – Desenvolvimento de um <i>Brachycephalus ephippium</i> : embrião com 25 dias, embrião com 45 dias, jovem recém-eclodido e indivíduo adulto.	18
FIGURA 6 – <i>Brachycephalus ephippium</i> em Cunha-SP	18
FIGURA 7 – Sequência de sons produzidos por um indivíduo da espécie <i>Brachycephalus hermogenesi</i>	19
FIGURA 8 – Espectograma de duas sequências de notas emitidas por um indivíduo da espécie <i>Brachycephalus ephippium</i>	20
FIGURA 9 – Representação do sinal amostrado	21
FIGURA 10 – Representação da sobreposição dos sinais	21
FIGURA 11 – Conversor Analógico Digital	23
FIGURA 12 – MAX9814 - Microfone de Eletreto com Amplificador	23
FIGURA 13 – BMP180 - Sensor de Pressão Atmosférica	24
FIGURA 14 – Representação da Altitude x Pressão Atmosférica	25
FIGURA 15 – DHT22 - Sensor de Temperatura e Umidade	25
FIGURA 16 – Diagrama em Blocos do Projeto.	27
FIGURA 17 – Diagrama em Blocos do Projeto Detalhado.	28
FIGURA 18 – Comportamento do som original no domínio do tempo	28
FIGURA 19 – Comportamento da FFT do sinal original	29
FIGURA 20 – Filtro Passa Baixa Característico	30
FIGURA 21 – Filtro Passa Baixa Utilizado	31
FIGURA 22 – Validação do circuito	34
FIGURA 23 – Sinal de Saída	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	ANFÍBIOS ANUROS	13
2.1.1	Características Gerais	15
2.1.1.1	Canto	15
2.2	BRACHYCEPHALUS	16
2.2.1	Características	16
2.2.2	Atividade Vocal	19
2.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	20
2.3.1	Amostragem de Sinais	21
2.3.2	Transformada de Fourier	22
2.4	COMPONENTES DO PROJETO	22
2.4.1	<i>Raspberry Pi</i>	22
2.4.2	Conversor Analógico Digital	22
2.4.3	RTC - Real Time Clock	22
2.4.4	Microfone de Eletreto	23
2.4.5	Sensor de Pressão Atmosférica	24
2.4.6	Sensor de Temperatura e Umidade	25
3	PROJETO	27
3.1	DEFINIÇÃO DO PROJETO	27
3.2	ANÁLISE DO ÁUDIO NO COMPUTADOR	28
3.3	FILTROS	29
3.4	AMOSTRAGEM	31
3.5	DETECÇÃO DAS FREQUÊNCIAS	32
3.6	SENSORES	32
4	RESULTADOS	34
5	TRABALHOS FUTUROS	36
6	CONCLUSÃO	37

	10
REFERÊNCIAS	38
ANEXOS	41
ANEXO A ALGORITMO FFT	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui uma biodiversidade de grande riqueza. Uma das razões para tal fato é o seu território de proporções continentais, que ocupa diversas zonas climáticas e áreas de topografias variadas. Essa combinação faz com que existam diferentes biomas e até ecossistemas menores que possibilitam o desenvolvimento das mais diversas espécies.

Dessa forma, os animais podem evoluir adaptando-se às diferentes condições ambientais, sofrendo alterações genéticas e assim formando novas espécies.

Muitas vezes essas espécies são bem específicas de um determinado ecossistema, e por isso não possuem grande distribuição geográfica, concentrando-se em pequenas áreas. Esse fenômeno - chamado de micro endemismo - é capaz de fazer com que determinadas espécies passem despercebidas por muito tempo antes de serem descobertas. Além disso, por viverem em áreas restritas, correm um alto risco de extinção devido a distúrbios ambientais, tanto naturais como antropogênicos.

Assim, surge a necessidade de se fazer um mapeamento de novas espécies micro endêmicas que vêm sendo descobertas nos últimos anos, a fim de definir sua área de distribuição e possibilitar estudos e políticas para preservação dos seus habitats.

Um exemplo de micro endemismo são os anfíbios do gênero *Brachycephalus*, o qual engloba diversas espécies de pequenas rãs, com aproximadamente 1cm de comprimento, que vivem no topo das montanhas da serra do mar. A maioria delas foi descoberta e descrita nos últimos anos, e acredita-se que ainda existam outras ainda desconhecidas.

Os animais desse gênero possuem características específicas resultantes do seu processo evolutivo que os diferenciam de outros anfíbios, com alterações nos ossos, no processo reprodutivo e no tamanho. Uma característica marcante dessas espécies é o som que elas são capazes de emitir, um estampido com uma frequência entre 6kHz e 8kHz.

Devido ao tamanho e às difíceis condições de acesso ao seu habitat, os *Brachycephalus* são dificilmente encontrados, o que impede que se possa fazer um bom mapeamento das espécies.

A partir dessas questões, surgiu a ideia de detectar a presença de indivíduos desse grupo específico eletronicamente a partir de sua atividade vocal. Ou seja, montar um equipamento capaz de processar o som gravado no ambiente natural, reconhecer o padrão sonoro produzido pelos *Brachycephalus* e então realizar medidas das condições

ambientais.

Dessa forma o processo de mapeamento das espécies já descritas seria facilitado, além de ter a possibilidade de detectar as quais acredita-se que existam, porém, desconhecidas até o momento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é elaborar um dispositivo capaz de capturar o som ambiente, identificar a frequência sonora emitida pelos *Brachycephalus*, realizar a medição das condições ambientais no momento da detecção, armazenar os dados e os disponibilizar para futura análise.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os principais objetivos específicos, destacam-se:

- a) Identificar as características da atividade vocálica das diferentes espécies do gênero *Brachycephalus*;
- b) Analisar amostras de som no domínio da frequência para implementar um algoritmo de detecção compatível;
- c) Definir um microcontrolador adequado para implementação do processamento digital do sinal de áudio;
- d) Elaborar o circuito para captura de som através de microfone;
- e) Projetar o circuito com os sensores para medição das condições ambientais.

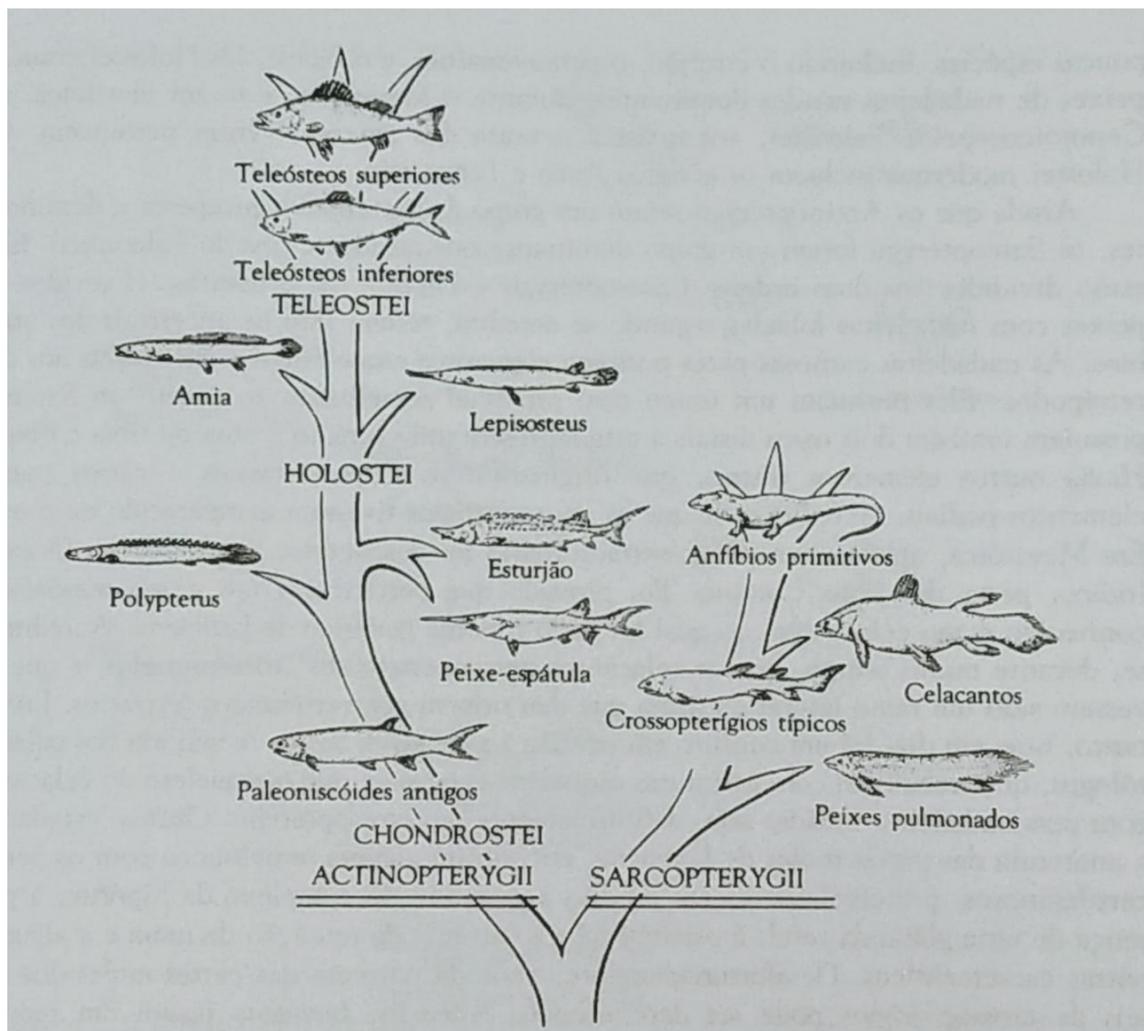
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ANFÍBIOS ANUROS

Os primeiros animais vertebrados terrestres foram os anfíbios, com seu surgimento há cerca de 400 milhões de anos, a partir da evolução de algumas espécies de peixes de um grupo primitivo chamado *Crossopterygians* (JR; WOEHL, 2008). Uma árvore mostrando essa evolução pode ser vista na FIGURA 1.

A classe dos anfíbios pode ser divididas em três ordens: Anura, representada pelos sapos e rãs, Caudata ou Urodela (salamandras) e a Gymnophia ou Apoda, representada pelas cobras-cegas. (ORR, 1986).

FIGURA 1 – Árvore Genealógica mostrando o parentesco entre os peixes e os anfíbios



Fonte: Orr (1986)

O nome de anura vem do grego *anoura*, que significa *a(n)*-sem e *oura* - cauda, ou seja, sem cauda. (MOHAMMAD RIDZUAN, 2013). A maioria desses animais apresentam duas fases no seu ciclo de vida, uma aquática e outra terrestre. (ORR, 1986).

Até 2006 foram registradas mais de 5.000 espécies de anuro, o maior grupo da classe *Amphibia*. (LIMA, 2006). Estima-se que esse número seja ainda maior atualmente, abrangendo área desde os trópicos até regiões subárticas. Apesar da grande quantidade de espécies, alguns tipos têm populações que estão reduzindo cada vez mais.

Os anfíbios anuros são bons indicadores ecológicos, pois qualquer desequilíbrio que aconteça no ambiente em que vivem afeta sua população, podendo ocasionar desde simples ameaça até risco de extinção. (CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE ICMBIO, 2010)

Existem alguns tipos de anuros que apresentam toxinas em seu organismo. Essas substâncias químicas são utilizadas como defesas contra predadores, fungos e bactérias. Por essa razão, muitos anuros também são estudados por bioquímicos e pesquisadores, para identificar esses compostos bioativos presentes e produzir novos remédios. (LIMA, 2006) Na FIGURA 2 é possível identificar alguns anuros de interesse farmacológico.

FIGURA 2 – Anuros de interesse farmacológico e ação biológica de suas toxinas

Anuros de interesse farmacológico					
Família	<i>Dendrobatidae</i>	<i>Bufo</i> nidae	<i>Hylidae</i>	<i>Pipidae</i>	<i>Ranidae</i>
Gênero	<i>Epipedobates</i> <i>Dendrobates</i> <i>Phyllobates</i>	Gênero <i>Bufo</i> * *(atual <i>Chanus</i>)	Gênero <i>Phyllomedusa</i>	Gênero <i>Xenopus</i>	Gênero <i>Rana</i>
Ação biológica de suas toxinas	Analgésico Cardiotóxico Miotóxico Neurotóxico	Alucinógeno Antimicrobiano Cardiotóxico Hemolítico Neurotóxico	Analgésico Antibiótico Cicatrizante	Antibiótico Hemolítico	Antimicrobiano

Fonte: Dornelles, Marques e Renner (2010)

Além disso, mesmo depois de mortos esses animais permanecem contribuindo. Eles são utilizados em dissecações em laboratórios para aulas de anatomia e formações de futuros profissionais.

2.1.1 Características Gerais

Em relação ao tamanho dos animais da ordem *Anura*, é possível encontrar desde 10 mm até 30 cm, variando conforme a família. Nem todas as características são compartilhadas entre todas as espécies e alguma podem ser exclusivas.

Como fator de proteção, algumas espécies desenvolveram glândulas de veneno com toxinas que as deixam com sabor desagradável ao paladar de possíveis predadores. Os animais que apresentam essas glândulas são facilmente identificadas devido a coloração da sua pele, com cores mais vivas. Porém essa característica não é compartilhada, como por exemplo nos *Rhinella marina*, também conhecido como Sapo-Boi ou Sapo Cururu, representado na FIGURA 3

Essas espécies, possuem uma mistura de vários elementos ativos na composição de seu veneno, dos quais apresentam ações semelhantes à adrenalina, efeitos cardíacos e neurotoxinas.(DORNELLES; MARQUES; RENNER, 2010).

FIGURA 3 – *Rhinella marina*



Fonte: David Nelson em Brown, Shilton e Shine (2011)

2.1.1.1 Canto

A principal característica das rãs e sapos é o coaxar, o som que eles são capazes de emitir durante sua vida. Esse som é presente no cotidiano desses animais, porém é mais ativo durante épocas de acasalamento. Existem diferentes tipos de cantos conforme a variedade de espécies. Os *Bufo proboscideus*, por exemplo, cantam um ou poucos dias consecutivos, enquanto que os *Hyla boans* podem cantar todas as noites

durante semanas. Há também os *Phrynophyas hadroiceps* que conseguem emitir em uma única noite mais de 40.000 cantos. (LIMA, 2006).

Os cantos são diferentes conforme a espécie e são tão bons quanto qualquer outra característica morfológica para identificação. (LIMA, 2006)

2.2 BRACHYCEPHALUS

Brachycephalus (*Anura: Brachycephalidae*) é um gênero de anfíbios anuros cujas espécies vivem na Mata Atlântica, no sul e sudeste do Brasil, normalmente em altas altitudes. Esses pequenos animais, considerados os menores tetrápodes do planeta (geralmente menor que 2,5 cm) (ALMEIDA-SANTOS et al., 2011), são caracterizados, além do tamanho, pela baixa taxa de fecundidade e redução do número de dedos, quando comparadas a outras espécies de anfíbios (PIE; Andreas L.S. MEYER et al., 2013). Além disso, as espécies apresentam cores vivas que mostram aposematismo, o que indica a presença de toxinas (PIRES et al., 2002).

As espécies de *Brachycephalus* têm como característica um alto nível de microendemismo, ou seja, cada uma é encontrada em no máximo dois ou três picos de montanhas adjacentes e não possuem grande capacidade de dispersão. Isso significa que qualquer distúrbio que ocorra nesses ambientes é capaz de dizimar uma população inteira de uma espécie dessa família. Por esta razão é muito importante o estudo das características e hábitos das diferentes espécies, a fim de identificar ações ambientais e protegê-las de uma possível extinção (GROSSEL, 2017).

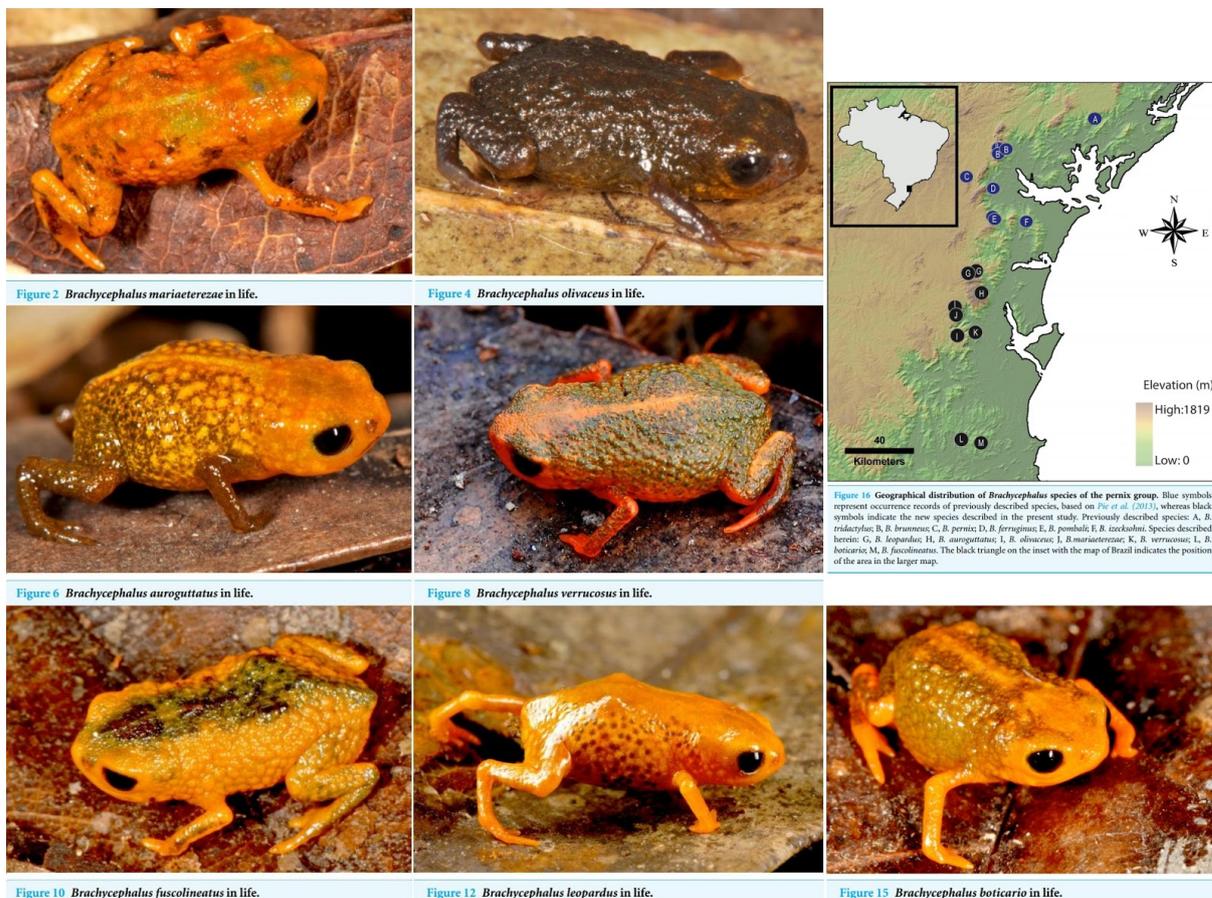
Existem atualmente 35 espécies de *Brachycephalus* já descobertas, das quais metade foram descritas depois de 2011 (PIE; Luiz F. RIBEIRO et al., 2018). Algumas delas podem ser vistas na FIGURA 4.

2.2.1 Características

Os *Brachycephalus* podem ser encontrados no manto de folhas e materiais orgânicos que se forma no chão das florestas da Mata Atlântica. Esse ambiente é comumente chamado de serrapilheira ou liteira (em inglês: *leaf litter*).

As diferentes espécies se encontram em variadas altitudes, desde o nível do mar, onde já foram encontrados alguns *Brachycephalus hermogenesi*, até 1900 metros acima do nível do mar, no caso dos *B. garbeanus*. Porém, a faixa de altitudes na qual foi encontrada a maior variedade de espécies fica entre 750 e 1000 metros acima do nível do mar. (BORNSCHEIN et al., 2016).

As espécies surgiram a partir de um processo evolutivo de miniaturização, do qual vieram além do tamanho, algumas características comuns ao gênero, como a redução do número de dedos e perda de alguns ossos (R. B. G. CLEMENTE-

FIGURA 4 – Diferentes espécies de *Brachycephalus* e sua distribuição geográfica

Fonte: Luiz F. Ribeiro et al. (2015)

CARVALHO et al., 2011). Além disso, os *Brachycephalus* também possuem o esqueleto hiperossificado, ou seja, seus ossos são excessivamente mineralizados e ossificados (R. B. CLEMENTE-CARVALHO et al., 2009).

A reprodução desses animais, diferente do que é comumente encontrado em anfíbios anuros, é direta e terrestre. Isso significa que os indivíduos do gênero *Brachycephalus* não passam pela fase aquática (girinos), eclodindo do ovo já na forma terrestre (POMBAL, 1999). Na FIGURA 5, é possível observar como ocorre esse desenvolvimento. Geralmente espécies de anfíbios que possuem reprodução direta botam poucos ovos por vez, e no caso dos *Brachycephalus* isso é ainda mais evidente, devido a sua miniaturização (ALMEIDA-SANTOS et al., 2011).

FIGURA 5 – Desenvolvimento de um *Brachycephalus ephippium*: embrião com 25 dias, embrião com 45 dias, jovem recém-eclodido e indivíduo adulto.



Fonte: Pombal (1999)

Pires et al. (2002) detectaram a presença de Tetrodotoxina no tegumento de espécimes de *Brachycephalus ephippium*. Foi também encontrada a toxina 11-Tetrodotoxina, 5 vezes mais tóxica que sua análoga, e que é rara até mesmo em animais marinhos. Essas substâncias são extremamente tóxicas e letais, inclusive para os humanos. Um exemplar dessa espécie é mostrado na FIGURA 6, na qual é possível observar sua coloração viva, indicando a presença de toxinas.

FIGURA 6 – *Brachycephalus ephippium* em Cunha-SP



Fonte: Bordignon (2010)

Esses animais têm hábitos diurnos, sendo normalmente mais ativos pela manhã e ao final do dia (PIE; Luiz F. RIBEIRO et al., 2018). O principal fator determinante na observação ou não dos indivíduos ativos é a umidade do ar. Quando está mais alta, eles aparecem caminhando sobre a serrapilheira ou em galhos baixos. Já nos dias mais secos, ficam abrigados sob o manto do chão da floresta. Não há evidências de

que a temperatura do ar influencie na atividade dos indivíduos (POMBAL; SAZIMA; HADDAD, 1994).

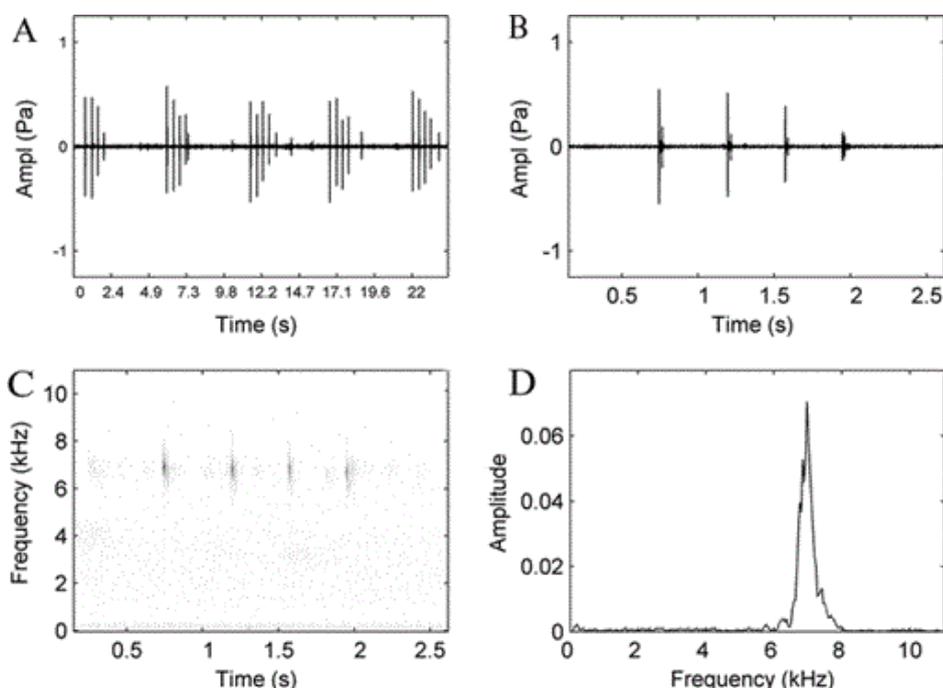
2.2.2 Atividade Vocal

A comunicação vocal dos *Brachycephalus* ainda não é muito bem explorada, e apenas poucas espécies já tiveram seu canto descrito (ARAÚJO et al., 2012).

Os indivíduos da espécie *Brachycephalus hermogenesi* emitem um som agudo e fraco que lembra o som produzido por alguns insetos. Normalmente esse canto é agrupado de quatro em quatro toques, regularmente espaçados no tempo. A atividade vocal é mais presente durante o dia, com uma redução entre 10:00 e 12:00h e depois das 16:00h, apesar desse padrão não ter sido observado em todos os experimentos. O canto é observado de forma menos frequente nos meses mais frios e secos - entre abril e julho (VERDADE et al., 2008).

Já na espécie *Brachycephalus ephippium*, a vocalização é um zumbido de baixa intensidade, e é mais longa que a dos *B. hermogenesi* (Pombal, Sazima e Haddad (1994); Verdade et al. (2008)). Os *B. nodoterga* possuem atividade vocal parecida com a dos *B. ephippium* (HEYER et al., 1990).

FIGURA 7 – Sequência de sons produzidos por um indivíduo da espécie *Brachycephalus hermogenesi*.

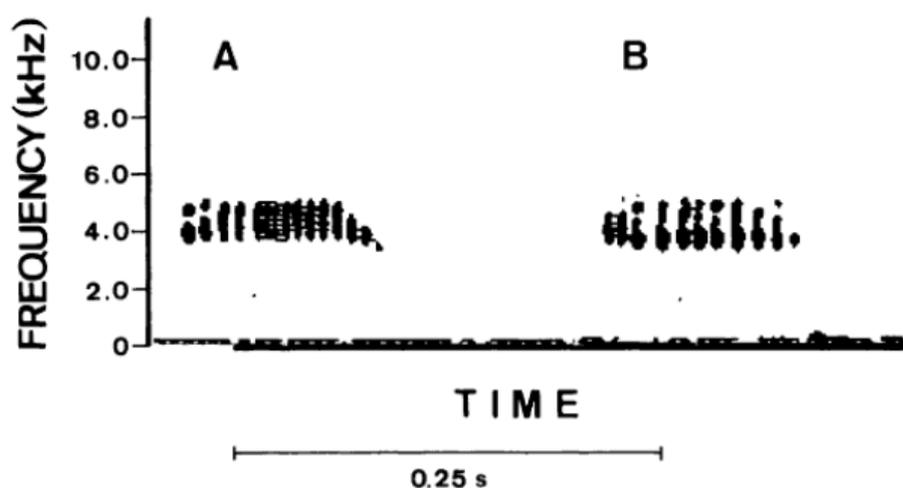


Em (A), comportamento no domínio do tempo. Em (B), detalhe da primeira sequência no domínio do tempo. Em (C), espectrograma da gravação. Em (D), espectro de potência da primeira sequência, no domínio da frequência. Fonte: Verdade et al. (2008)

Na FIGURA 7 pode ser visualizada a representação gráfica de uma gravação da atividade vocálica de um indivíduo da espécie *Brachycephalus hermogenesi*. Observa-se que as chamadas são agrupadas geralmente em 4 notas. Além disso, verifica-se que, no espectro de potência no domínio da frequência, o pico está concentrado entre 6 e 8 kHz. Em todas as gravações feitas por Verdade et al. (2008) a frequência dominante ficou na faixa de 6,8 kHz.

As notas são muito similares entre si, apresentando um pequeno declínio da intensidade quando localizadas ao final de uma sequência. Também é bastante comum observar notas individuais, não agrupadas. Além disso, podem ocorrer agrupamentos de 2 ou 3 notas e com mais de 5, porém essas sequências são menos frequentes (VERDADE et al., 2008).

FIGURA 8 – Espectrograma de duas sequências de notas emitidas por um indivíduo da espécie *Brachycephalus ephippium*.



Em (A), sequência com frequência descendente. Em (B), sequência com frequência constante, mais comum. Fonte: Pombal, Sazima e Haddad (1994)

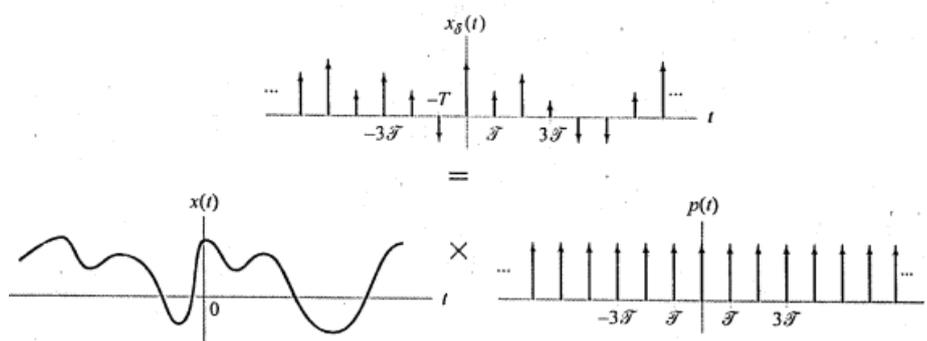
2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Na engenharia, um sinal é a variação de informações captadas do mundo real ao longo do tempo. O processamento desse sinal pode ser feito de diversas maneiras, como por exemplo, convertendo-o em uma onda elétrica e então realizando o tratamento por meio de componentes analógicos. Esse processo foi bastante utilizado até a popularização dos computadores digitais. Atualmente, os sinais são discretizados, ou seja, amostrados no tempo. Com isso, é possível fazer o processamento digitalmente, com um processador (NALON, 2013).

2.3.1 Amostragem de Sinais

Para que um sinal contínuo possa ser definido em um tempo discreto, passível de análises e manipulações, é necessário realizar a amostragem do sinal. Basicamente, todo sinal contínuo pode ser matematicamente representado pelo produto de um sinal dado de tempo por um trem de impulsos, conforme exibe a FIGURA 9.

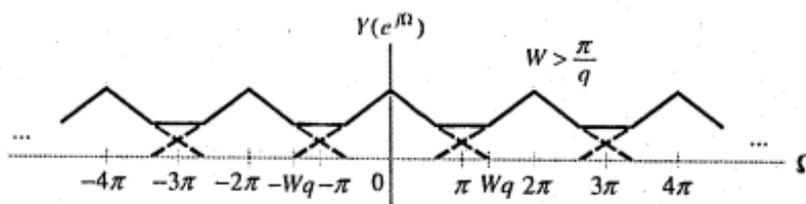
FIGURA 9 – Representação do sinal amostrado



Fonte: Haykin e Van Veen (2001)

E a velocidade com que as amostras são captadas é chamada de taxa de amostragem. A transformada de Fourier do sinal amostrado é dada por uma soma infinita de versões deslocadas da transformada de Fourier do sinal original (HAYKIN; VAN VEEN, 2001). Porém, isso faz com que possam existir distorção no sinal, ocasionado por uma superposição nas réplicas deslocadas do sinal original. Quando isso acontece, inviabiliza-se a recuperação correta do sinal e esse fenômeno é conhecido como *aliasing* e é representado na FIGURA 10.

FIGURA 10 – Representação da sobreposição dos sinais



Fonte: Haykin e Van Veen (2001)

De modo a impedir que essa superposição aconteça no espectro, existe o conceito chamado de Teorema da Amostragem, ou Teorema de Nyquist, o qual afirma que para que seja possível reconstituir o sinal original, a frequência de amostragem

deve ser, no mínimo, igual ao dobro da frequência máxima contida no sinal analógico original.

2.3.2 Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier é amplamente utilizada no processamento de sinais, visto que ela permite que a partir de um sinal amostrado durante um período de tempo, obtenha-se as diversas componentes de frequência. Dessa forma, a Transformada de Fourier converte o domínio de tempo original para o domínio da frequência e permite analisar o espectro.

2.4 COMPONENTES DO PROJETO

2.4.1 *Raspberry Pi*

A parte central de um projeto de eletrônica embarcada é o seu microcontrolador, no qual se realiza o controle de todo o sistema. Para este projeto, a central de processamento é necessária para fazer a leitura do áudio, a detecção das frequências desejadas, a captura do sinal dos sensores e armazenamento dos dados. Para isso foi escolhido o *Raspberry Pi*.

O *Raspberry Pi* é um minicomputador portátil e de baixo custo. Ele possui um microprocessador BCM2837 de 64 bits, 1GB de memória RAM, wi-fi, bluetooth e Ethernet embarcados, entrada para cartão microSD, no qual ficam armazenados o sistema operacional e os arquivos do usuário, e para conexão com o mundo externo possui ainda 40 pinos de I/O, 4 portas USB, entrada HDMI e saída de áudio.

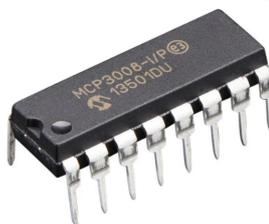
2.4.2 Conversor Analógico Digital

Para que seja possível realizar a amostragem e discretizar o sinal analógico, é necessário incluir no desenvolvimento um conversor analógico digital. Foi escolhido o modelo MCP3008 devido a sua compatibilidade com o *Raspberry Pi*. O conversor, que pode ser visto em FIGURA 11 é de 10 bits, apresenta comunicação SPI, tem característica de 8 canais e opera numa faixa de temperatura de -40°C to +85°C. Além disso, apresenta amostragem máxima de 200k e esse foi o requisito dominante na escolha deste modelo.

2.4.3 RTC - Real Time Clock

Devido à falta de conexão com redes como ethernet, wi-fi, rádio etc. o relógio do *Raspberry Pi* não estará sincronizado e perderá sua precisão. Por esta razão, foi incluído no projeto um dispositivo chamado RTC, o qual tem a função de manter o *clock* atualizado e sincronizado. O modelo escolhido foi o DS3231 devido à sua

FIGURA 11 – Conversor Analógico Digital



Fonte: Os Autores

alta precisão por possuir um cristal oscilador e por apresentar baixo consumo. O dispositivo acompanha uma bateria que permite que a atualização do relógio seja realizada mesmo que o *Raspberry Pi* esteja sem alimentação de energia. O DS3231 é capaz de fornecer informações precisas de data, incluindo anos bissextos, e hora, abrangendo também os segundos. A comunicação serial, assim como o conversor analógico digital, é feita através do protocolo serial I2C.

2.4.4 Microfone de Eletreto

De modo a diferenciar o canto das rãs no ambiente em que o dispositivo for instalado, é necessário incluir microfones que possam captar os sons emitidos em torno do dispositivo. Dessa forma, foi escolhido o modelo MAX9814, o qual consiste em um microfone de eletreto com amplificador embutido com controle de ganho automático e de baixo custo. O item é representado na FIGURA 12

FIGURA 12 – MAX9814 - Microfone de Eletreto com Amplificador



Fonte: Os Autores

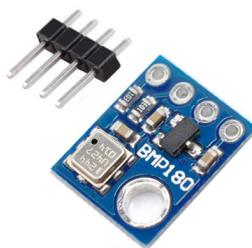
O amplificador apresenta três configurações de ganho, 40dB, 50dB e 60dB e além disso, suporta temperaturas de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$. Dessa forma, não há problemas em instalá-lo em meio ao pico das montanhas onde vivem os *Brachycephalus*.

2.4.5 Sensor de Pressão Atmosférica

Para que o pesquisador possa interpretar os dados ambientais corretamente quando o dispositivo identificar o canto dos *Brachycephalus*, é necessário incluir alguns sensores como o de pressão atmosférica. Com esse sensor incorporado, no momento da leitura dos dados, o pesquisador consegue identificar em qual a altitude o dispositivo se encontra, uma vez que é desejável a implantação em diversos pontos ao longo da serra do mar.

Visando o baixo consumo de energia, uma vez que o dispositivo ficará fora do ambiente urbano, foi escolhido o modelo BMP180, representado na FIGURA 13, que consiste em um sensor digital, com comunicação através da interface I2C. Além disso, ele foi otimizado para aplicações como dispositivos móveis, aparelhos para navegação GPS e equipamentos de uso em ambiente externo. Este sensor consegue medir temperatura, além de pressão atmosférica, porém com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 13 – BMP180 - Sensor de Pressão Atmosférica



Fonte: Os Autores

Devido a baixa precisão da temperatura, este modelo de sensor será utilizado apenas para identificar a pressão atmosférica do ambiente. Já para que o pesquisador possa identificar qual a altitude, será incorporado uma função que retorna o valor após a identificação da pressão atmosférica, como:

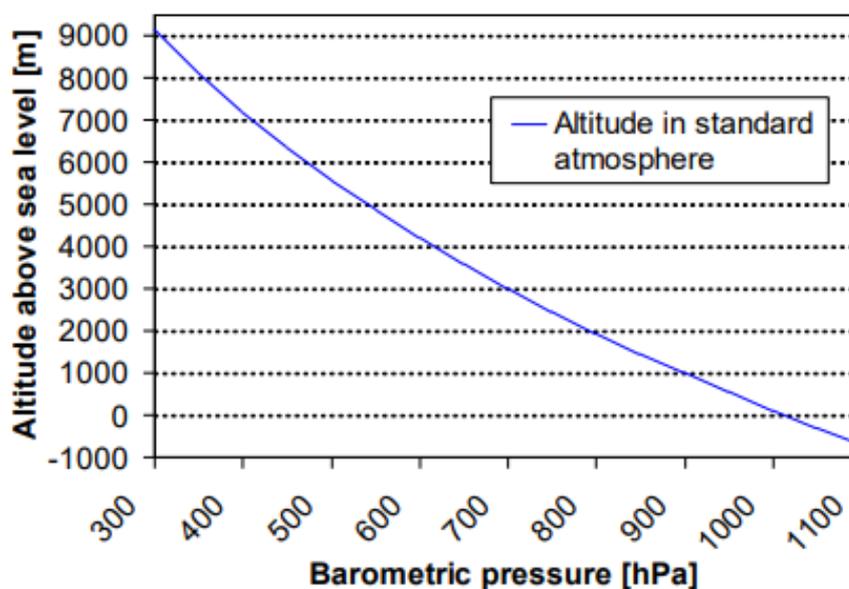
$$h = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5.225}}\right) \quad (2.1)$$

Onde:

- h : Altitude;
- p : Pressão atmosférica lida;
- p_0 : Pressão atmosférica ao nível do mar

A relação entre pressão atmosférica e altitude pode ser analisada em FIGURA 14.

FIGURA 14 – Representação da Altitude x Pressão Atmosférica



Fonte: Datasheet BMP180

2.4.6 Sensor de Temperatura e Umidade

Para que o pesquisador, ao coletar os dados, pudessem identificar padrões do ambiente em que os *Brachycephalus* estão mais propensos a emitir o canto, é necessário incluir um sensor ao dispositivo. Dessa forma, foi escolhido o modelo DHT22, representado na FIGURA 15, o qual integra um sensor de umidade e um sensor de temperatura. Esse modelo permite medir temperaturas de - 40 a 80°Celsius, e umidade na faixa de 0 a 100%

FIGURA 15 – DHT22 - Sensor de Temperatura e Umidade



Fonte: Os Autores

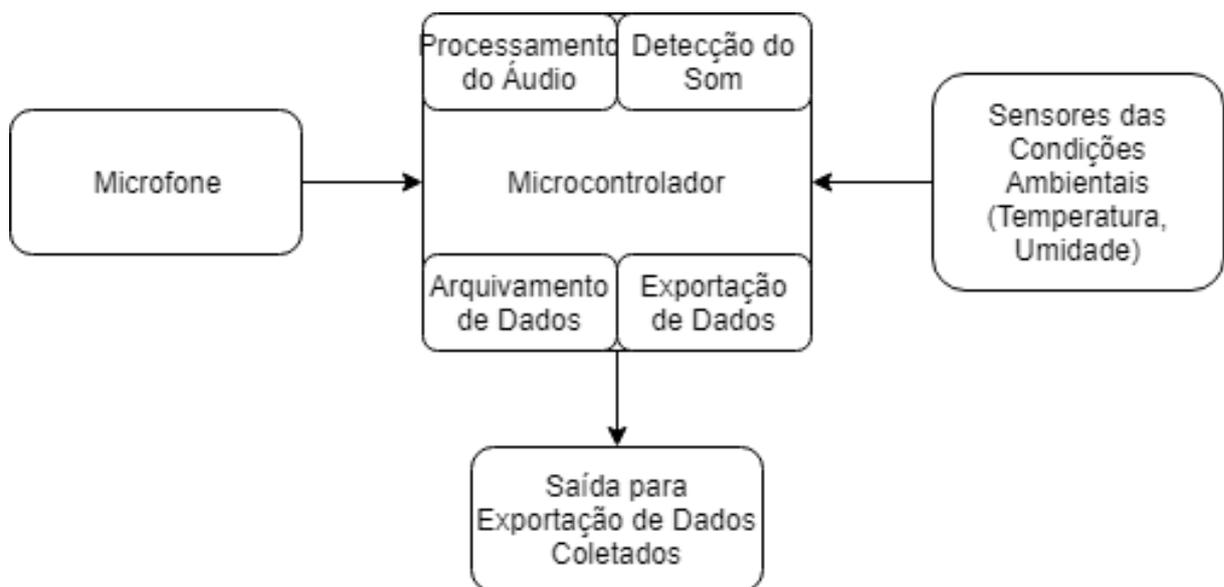
De acordo com o *Datasheet*, a precisão do sensor para o parâmetro temperatura é de 0,1 °C e de 0,1% para o parâmetro de umidade.

3 PROJETO

3.1 DEFINIÇÃO DO PROJETO

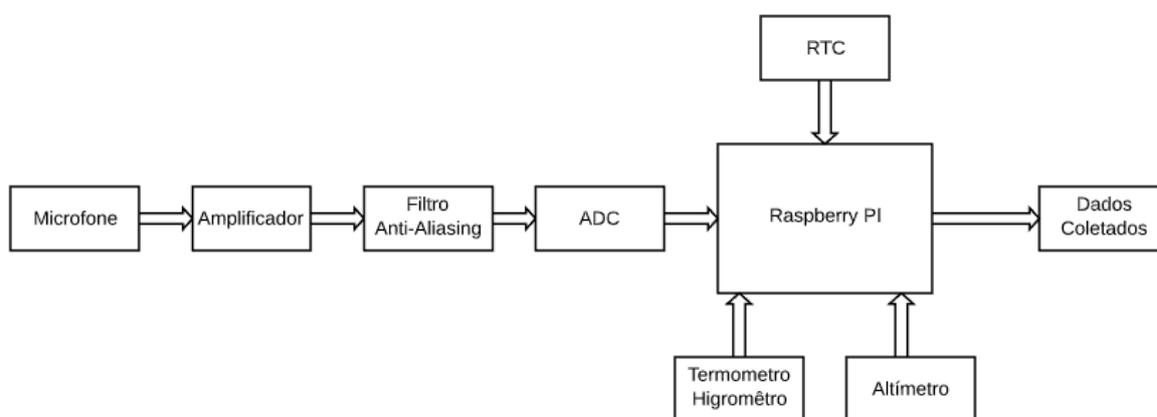
Com base na definição dos requisitos do projeto e na fundamentação teórica, foi desenvolvido o diagrama de blocos conforme a FIGURA 16. Dessa forma, o microfone ficará responsável pela captura dos sons do ambiente no qual o equipamento estiver instalado. Esse sinal será tratado e processado pelo algoritmo implementado no microcontrolador, que poderá então realizar a detecção do som característico dos *Brachycephalus*. Além disso, o microcontrolador também terá a função de ler as informações coletadas pelos sensores e armazenar os dados, os quais posteriormente poderão ser exportados.

FIGURA 16 – Diagrama em Blocos do Projeto.



Fonte: Os Autores.

FIGURA 17 – Diagrama em Blocos do Projeto Detalhado.

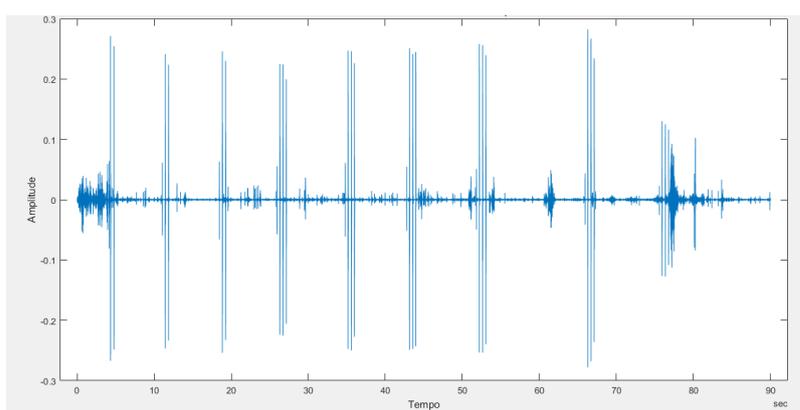


Fonte: Os Autores.

3.2 ANÁLISE DO ÁUDIO NO COMPUTADOR

Para que seja possível processar o áudio, precisa-se primeiro analisar as amostras obtidas. A gravação do som obtido pelo canto do *Brachycephalus* pode ser vista através do gráfico representado em FIGURA 18, onde está exposto o comportamento dos sons no domínio do tempo.

FIGURA 18 – Comportamento do som original no domínio do tempo

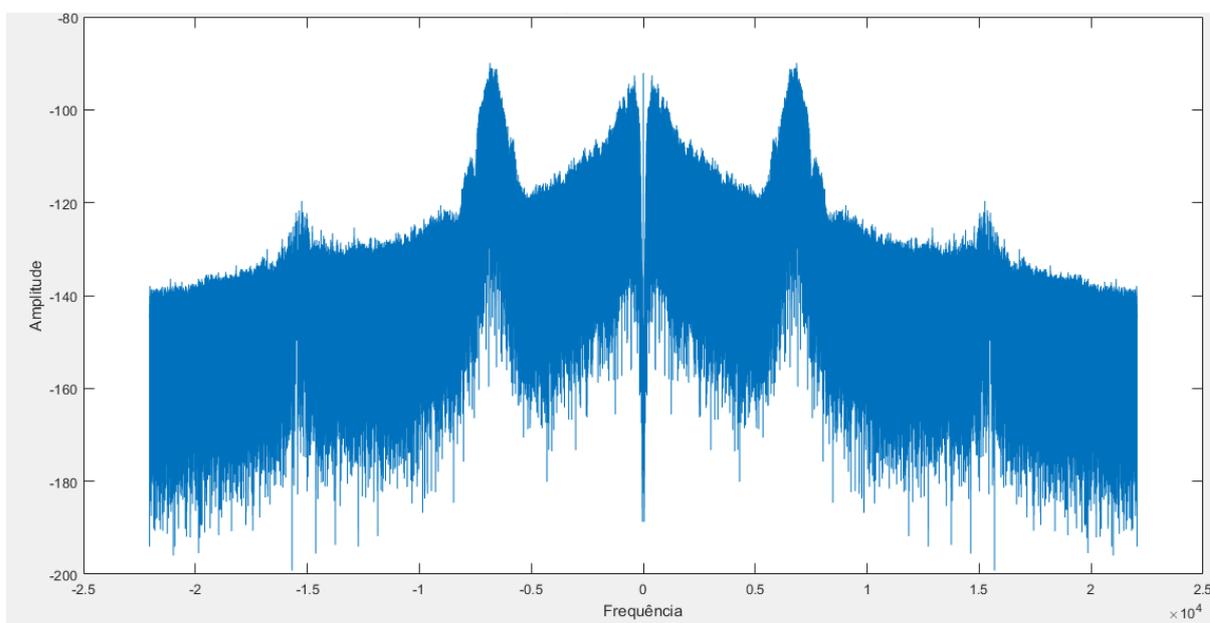


Fonte: Os Autores

Através da análise da FIGURA 18, nota-se que o som obtido apresenta ruídos em meio aos picos de sons característicos. Para identificar qual é a frequência dominante do sinal, faz-se necessário utilizar a transformada de Fourier conforme

representando na FIGURA 19. Com isso, identifica-se através do espectro de potência do sinal que as frequências dominantes estão entre 6kHz e 8kHz, assim como afirmava a literatura.

FIGURA 19 – Comportamento da FFT do sinal original



Fonte: Os Autores

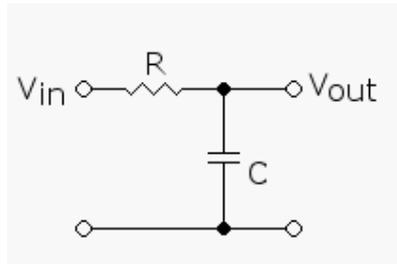
Através da análise via *Software* Matlab, é possível identificar também as principais características do sinal amostrado, sendo:

- Taxa de amostragem de 44.100, ou seja, 44,1kHz
- Número de amostras adquiridas: 3970157
- Duração do áudio: 90s
- Número de bits por símbolo: 24

3.3 FILTROS

Os filtros, assim como os amplificadores operacionais, possuem diversas aplicações, sendo possível projetar um filtro de acordo a frequência que se deseja transmitir. (SEBRA; SMITH, 2007) Em resumo, pode-se dizer que o filtro permite uma seleção de frequências, dependendo da configuração em que for montado. O filtro passa baixas é constituído por componentes RC série, como pode ser observado na FIGURA 20, e permite limitar as frequências do sinal de entrada.

FIGURA 20 – Filtro Passa Baixa Característico



Fonte: Os Autores

Dessa forma, a reatância capacitiva assumirá valores altos quando comparado ao valor da resistência, em casos onde a frequência do sinal de entrada seja baixa. Assim, a tensão de saída será praticamente igual a tensão de entrada. De forma contrária, quando houver sinais com frequência elevada, ocorrerá a atenuação da tensão devido ao baixo valor da reatância capacitiva, ou seja, a tensão de saída será praticamente nula.(BOYLESTAD; NASHELSKY, 1984)

A frequência de corte é caracterizada ao igualar os valores de reatância e resistência, ou seja:

$$X_c = R \quad (3.1)$$

$$X_c = \frac{1}{2 * \pi * f_c} \quad (3.2)$$

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * RC} \quad (3.3)$$

Onde:

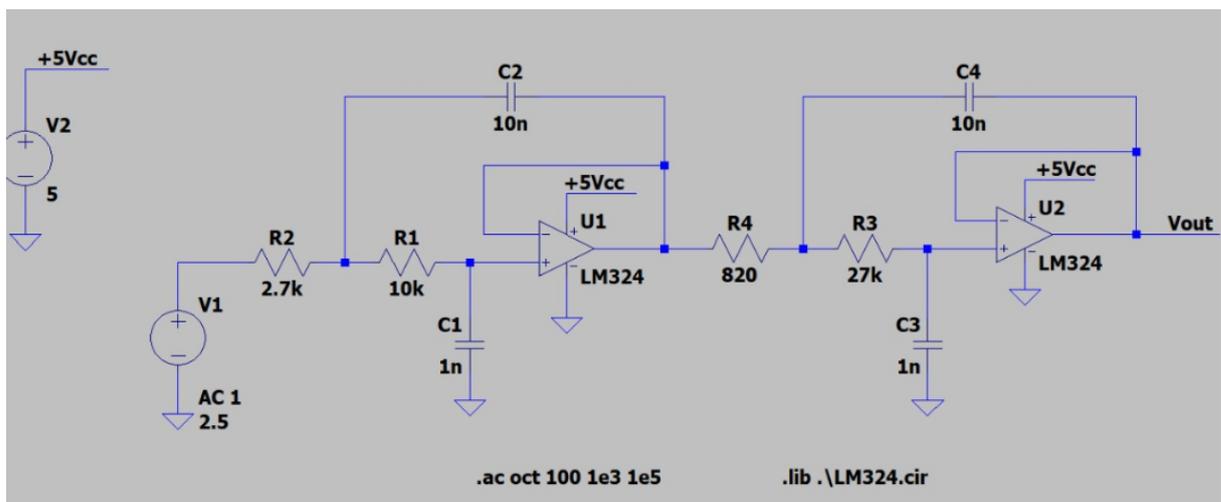
- Xc: Resistência Capacitiva
- R: Resistência
- fc: Frequência de Corte
- C: Capacitância.

O Filtro Butterworth é um típico filtro ativo passa baixa, sendo que sua principal característica é uma resposta em frequência plana, sem oscilações - conhecida como *ripple*.

O grau de planicidade da faixa de passagem se eleva a medida que a ordem N do filtro aumenta. Isso, por sua vez, aproxima a resposta do filtro à resposta abrupta do tipo ideal (**sedra2005microeletronica**). A ?? representa em um mesmo gráfico as diferentes formas de queda de frequência, conforme aumenta a ordem do filtro.

De acordo com os requisitos do projeto, foi projetado um filtro passa baixa anti-aliasing em cascata conforme a FIGURA 21.

FIGURA 21 – Filtro Passa Baixa Utilizado



Fonte: Os Autores

A função desse filtro é limitar a frequência do sinal para que ele obedeça o critério de Nyquist. Como a frequência de corte dele é 10kHz, pode-se fazer a amostragem a partir de 20kHz.

3.4 AMOSTRAGEM

Para fazer a conversão do sinal analógico em um sinal discretizado, utilizou-se no projeto o conversor analógico-digital MCP3008. Esse componente se comunica com o Raspberry através do protocolo SPI.

A amostragem é feita realizando a leitura da porta SPI de acordo com a frequência desejada. Neste caso foi utilizado uma leitura a cada 50 micro-segundos, conforme pode ser visto no código a seguir:

```
#include <wiringPi.h>
#include <mcp3004.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <time.h>
```

```

int main(){
  wiringPiSetup() ;
  mcp3004Setup(100, 0);

  while(1){
    usleep(50);
    short read = analogRead(101+0);
    putc(read >> 8, stdout);
    putc(read, stdout);
  }
}

```

O programa foi feito com auxílio da biblioteca *wiringPi*, que possui um módulo específico para lidar com SPI e com o MCP3008. A leitura se faz chamando a função `analogRead`, passando como argumento o canal do ADC a ser lido.

Como pode ser visto, o programa após realizar a leitura da saída do conversor joga os bytes lidos para a saída padrão do sistema. Ao iniciar o programa a saída pode ser redirecionada para um arquivo, para o próprio console ou como entrada de um outro programa.

3.5 DETECÇÃO DAS FREQUÊNCIAS

Para se detectar as frequências presentes no sinal lido, é necessário passar pelo algoritmo que calcula a FFT (Transformada Rápida de Fourier).

Para isso, foi feito um programa em C++ que lê a entrada padrão do sistema (e, portanto, pode diretamente ler os dados do programa que amostra o sinal do ADC), salva essa entrada em vetores de 1024 pontos e passa pela FFT.

O algoritmo da transformada de Fourier foi retirado da internet e pode ser visto no Anexo A.

O resultado da transformada é um vetor contendo a magnitude para cada frequência. Com base nesse resultado, é verificado qual é a frequência de maior magnitude no sinal de entrada. Caso a frequência esteja na faixa da atividade vocálica dos *Brachycephalus*, os sensores são acionados.

3.6 SENSORES

Quando ocorre a detecção das frequências desejadas, os sensores são acionados para registrar as condições ambientais no momento. Os sensores utilizados

foram escolhidos devido à facilidade, precisão e baixo custo.

Tanto o sensor de temperatura e umidade, o DHT22, quanto o barômetro, BMP180, possuem bibliotecas prontas que podem ser usadas no Raspberry PI.

A conexão do BMP180 com o Raspberry é feita através do protocolo I2C, sendo enviados comandos para realizar a leitura do valor da pressão atmosférica, com o qual é calculado a altitude.

Já o DHT22 se comunica apenas através de um pino digital de dados. Para realizar as leituras é utilizado um protocolo próprio, no qual o Raspberry controla a GPIO, setando-a na função *output* para enviar o sinal de leitura para o sensor. Então o pino é trocado para a função *input* e então o DHT22 envia os dados serialmente para o Raspberry na forma binária.

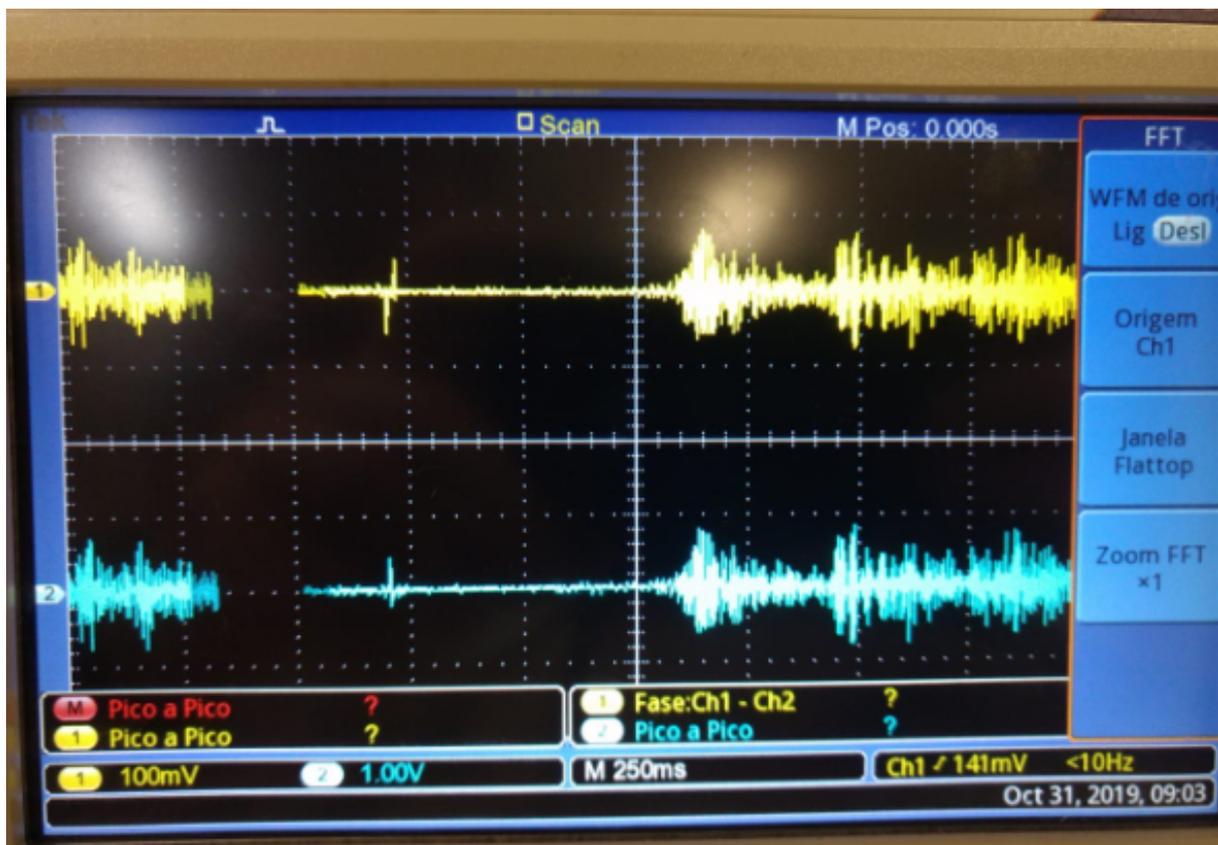
4 RESULTADOS

Para verificação dos resultados, o circuito representado na FIGURA 21 foi projetado em uma *protoboard* para validação dos resultados.

Devido ao ganho já existente no microfone, não foi necessário incluir um amplificador a mais no projeto. Porém, como o sinal é amplificado no próprio microfone, o ruído captado também torna-se amplificado.

Na FIGURA 22 é possível analisar o comportamento do sinal original, identificado pela cor amarela, enquanto que o sinal filtrado é caracterizado pela cor azul.

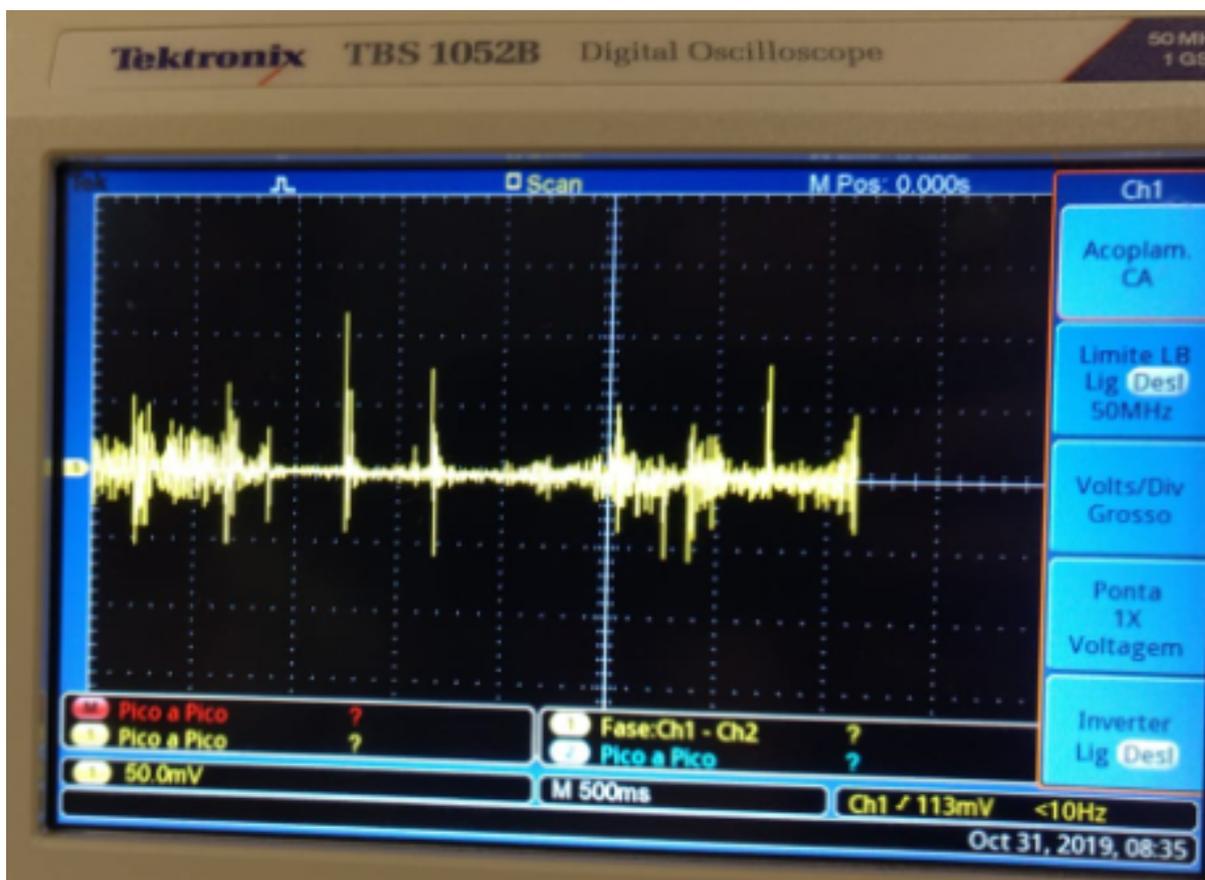
FIGURA 22 – Validação do circuito



Fonte: Os Autores

Já na FIGURA 23 é possível analisar com mais profundidade o comportamento do sinal de saída, após ser capturado pelo microfone e filtrado. Conforme vimos na revisão bibliográfica, onde o sinal do canto dos *Brachycephalus* é identificado, a representação no domínio do tempo é feita do agrupamento dos quatro toques espaçados.

FIGURA 23 – Sinal de Saída



Fonte: Os Autores

Esse teste foi realizado em ambiente controlado, porém com diversos ruídos ambiente, inclusive com conversas próximas ao microfone.

É possível verificar a representação do som característico do *Brachycephalus* no meio do som ambiente.

5 TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresentou um projeto de um protótipo do dispositivo para detectar a presença dos *Brachycephalus* e validar sua concepção. Esse protótipo não cumpre todos os requisitos necessários para que seja possível o seu uso em campo.

Desta forma, futuros trabalhos podem adaptar o projeto aqui apresentado para atender a esses requisitos, como por exemplo a questão da alimentação do dispositivo. Podem ser feitas pesquisas acerca de fontes alternativas de energia, como a célula combustível microbiana.

Também podem ser analisadas formas de conectar o dispositivo à internet, sendo assim possível coletar os dados remotamente. Com a conectividade também estaria aberta a possibilidade de se construir uma rede de equipamentos para obter um mapeamento preciso de uma área geográfica.

Colocando-se mais microfones no dispositivo é possível também complementar a ideia da rede de equipamentos e melhorar ainda mais o mapeamento, podendo detectar de que direção vêm os sons.

6 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse projeto, foram identificados com sucesso as características vocálicas das espécies do gênero *Brachycephalus*. O estampido agudo é característico no seu coaxar, e conforme a literatura afirmava, está presente na faixa de 6 a 8kHz. Essa premissa foi confirmada através das análises do espectro de frequência do sinal com canto original.

Já para que fosse possível analisar as amostras visando a implementação dos algoritmos de detecção, foi utilizado majoritariamente a função da Transformada de Fourier. Dessa forma, o sinal contínuo presente no ambiente é amostrado e quantizado, e através da Transformada de Fourier e de filtros passa-baixa é possível identificar as frequências específicas. Os testes realizados em ambiente controlado comprovaram a eficácia dos circuitos

O *Raspberry PI* apresenta grande capacidade de processamento, e por esse motivo foi uma escolha adequada para montar o protótipo do dispositivo. A programação e a conexão com os periféricos pôde ser feita de maneira simples.

Para a captura do som, foi incorporado um microfone com amplificador embutido ao mesmo circuito que continha os filtros desenvolvidos e também o conversor analógico-digital. Dessa forma, em uma única placa de circuito impresso foi possível montar o módulo de captura e amostragem do som.

Os sensores de medição para condições ambientes foram incorporados diretamente no Raspberry, e controlados através de bibliotecas específicas que auxiliam na leitura dos dados.

Portanto, foi possível montar um protótipo de um dispositivo capaz de capturar, conformar, amostrar e processar o áudio de um ambiente externo e com base nas frequências de entrada poder capturar as condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-SANTOS, Marlon et al. Ecology of the Brazilian Flea Frog *Brachycephalus didactylus* (Terrarana: *Brachycephalidae*). **Journal of Herpetology**, v. 45, n. 2, p. 251 - 255 - 5, 2011. DOI: 10.1670/10-015.1. Disponível em: <<https://doi.org/10.1670/10-015.1>>. Citado 2 vezes nas páginas 16, 17.
- ARAÚJO, CB de et al. Advertisement and territorial calls of *Brachycephalus pitanga* (Anura: *Brachycephalidae*). **Zootaxa**, v. 3302, n. 3302, p. 66–67, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Tadeu_Guerra/publication/260818947_Advertisement_and_territorial_calls_of_Brachycephalus_pitanga_Anura_Brachycephalidae/links/00b7d534fc8b12049f000000/Advertisement-and-territorial-calls-of-Brachycephalus-pitanga-Anura-Brachycephalidae.pdf>. Citado 1 vez na página 19.
- BORDIGNON, Antonio. **Sapinho pingo d'ouro (*Brachycephalus ephippium*) no PESM em Cunha-SP**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/82779430@N02/11040718854>>. Citado 0 vez na página 18.
- BORNSCHEIN, Marcos R et al. Geographical and altitudinal distribution of *Brachycephalus* (Anura: *Brachycephalidae*) endemic to the Brazilian Atlantic Rainforest. **PeerJ**, PeerJ Inc., v. 4, e2490, 2016. Disponível em: <<https://peerj.com/articles/2490/>>. Citado 1 vez na página 16.
- BOYLESTAD, Robert L; NASHELKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. [S.l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1984. v. 6. Citado 1 vez na página 30.
- BROWN, Gregory P; SHILTON, Catherine M; SHINE, Richard. Measuring amphibian immunocompetence: validation of the phytohemagglutinin skin-swelling assay in the cane toad, *Rhinella marina*. **Methods in Ecology and Evolution**, Wiley Online Library, v. 2, n. 4, p. 341–348, 2011. Citado 0 vez na página 15.
- CLEMENTE-CARVALHO, Rute B. G. et al. Molecular phylogenetic relationships and phenotypic diversity in miniaturized toadlets, genus *Brachycephalus* (Amphibia: Anura: *Brachycephalidae*). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 61, p. 79–89, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1055790311002594>>. Citado 1 vez na página 16.
- CLEMENTE-CARVALHO, Rute B.G. et al. Hyperossification in miniaturized toadlets of the genus *Brachycephalus* (Amphibia: Anura: *Brachycephalidae*): Microscopic structure and macroscopic patterns of variation. **Journal of Morphology**, v. 270, n. 11, p. 1285–1295, 2009. DOI: 10.1002/jmor.10755. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/>

doi/pdf/10.1002/jmor.10755. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jmor.10755>>. Citado 1 vez na página 17.

CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE ICMBIO, Instituto Chico Mendes de. Um Novo Olhar - Anfíbios, 2010. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/Materiais_produzidos_nas_UCs/Folder_anfibios_Impressora.pdf>. Citado 1 vez na página 14.

DORNELLES, Michele Flores; MARQUES, Maria da Graça Boucinha; RENNERT, Márcia Ferret. Revisão sobre toxinas de Anura (Tetrapoda, Lissamphibia) e suas aplicações biotecnológicas. **Ciência em Movimento**, v. 12, n. 24, p. 103–113, 2010. Citado 1 vez nas páginas 14, 15.

GROSSEL, Laís. **Padrões biogeográficos e microendemismo: o caso dos Brachycephalus**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.euquerobiologia.com.br/2017/09/padroes-biogeograficos-e-microendemismo-o-caso-dos-brachycephalus.html>>. Citado 1 vez na página 16.

HAYKIN, Simon S; VAN VEEN, Barry. **Sinais e sistemas**. [S.l.]: Bookman, 2001. Citado 1 vez na página 21.

HEYER, W Ronald et al. frogs of Boracéia. **Arquivos de zoologia**, v. 31, n. 4, p. 231–410, 1990. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/azmz/article/download/11999/13776>>. Citado 1 vez na página 19.

JR, Germano Woehl; WOEHL, Elza Nishimura. Anfíbios da Mata Atlântica. **Jaraguá do Sul: Instituto Rã-bugio para Conservação da Biodiversidade**. 61p, 2008. Disponível em: <http://www.ra-bugio.org.br/downloads/cartilha_anfibios.pdf>. Citado 1 vez na página 13.

LIMA, Albertina P. **Guia de Sapos da Reserva Adolpho Ducke: Amazônia Central**. [S.l.]: Áttema Design Editorial, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 14, 16.

MOHAMMAD RIDZUAN, Adi Shabrani bin. Staging of late larval developmental stages of the microhylid frog, *Microhyla nepenthicola* (Anura: Microhylidae), 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Adi_Shabrani/publication/308992531_Staging_of_late_larval_developmental_stages_of_the_microhylid_frog_Microhyla_nepenthicola_Anura_Microhylidae/links/57fd09ad08ae6750f80647f5.pdf>. Citado 1 vez na página 14.

NALON, Jose Alexandre. **Introdução ao Processamento Digital de Sinais**. [S.l.]: LTC, 2013. Citado 1 vez na página 20.

ORR, Robert T. **Biologia dos Vertebrados**. 5ª edição. [S.l.: s.n.], 1986. Citado 2 vezes nas páginas 13, 14.

PIE, Marcio R.; MEYER, Andreas L.S. et al. Understanding the mechanisms underlying the distribution of microendemic montane frogs (*Brachycephalus* spp., Terrarana: Brachycephalidae) in the Brazilian Atlantic Rainforest. **Ecological Modelling**, v. 250, p. 165–176, 2013. ISSN 0304-3800. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.019>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380012005212>>. Citado 1 vez na página 16.

PIE, Marcio R.; RIBEIRO, Luiz F. et al. A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. **PeerJ**, v. 6, e5683, out. 2018. ISSN 2167-8359. DOI: [10.7717/peerj.5683](https://doi.org/10.7717/peerj.5683). Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.5683>>. Citado 2 vezes nas páginas 16, 18.

PIRES, Osmino R. et al. Occurrence of tetrodotoxin and its analogues in the Brazilian frog *Brachycephalus ephippium* (Anura: Brachycephalidae). **Toxicon**, v. 40, n. 6, p. 761–766, 2002. ISSN 0041-0101. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(01\)00279-3](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(01)00279-3). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041010101002793>>. Citado 2 vezes nas páginas 16, 18.

POMBAL, José P. Oviposição e desenvolvimento de *Brachycephalus ephippium* (Spix) (Anura, Brachycephalidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, n. 16, p. 967–976, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-81751999000400004&script=sci_arttext>. Citado 1 vez nas páginas 17, 18.

POMBAL, José P.; SAZIMA, Ivan; HADDAD, Célio F. B. Breeding Behavior of the Pumpkin Toadlet, *Brachycephalus ephippium* (Brachycephalidae). **Journal of Herpetology**, Society for the Study of Amphibians e Reptiles, v. 28, n. 4, p. 516–519, 1994. ISSN 00221511, 19372418. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1564972>>. Citado 2 vezes nas páginas 19, 20.

RIBEIRO, Luiz F. et al. Seven new microendemic species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. **PeerJ**, v. 3, e1011, jun. 2015. ISSN 2167-8359. DOI: [10.7717/peerj.1011](https://doi.org/10.7717/peerj.1011). Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.1011>>. Citado 0 vez na página 17.

SEDRA, Adel S; SMITH, Kenneth Carless. **Microeletrônica**. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2007. Citado 1 vez na página 29.

VERDADE, Vanessa K. et al. Advertisement Call, Vocal Activity, and Geographic Distribution of *Brachycephalus hermogenesi* (Anura, Brachycephalidae). **Journal of Herpetology**, v. 42, n. 3, p. 542 - 549 - 8, 2008. DOI: [10.1670/07-287.1](https://doi.org/10.1670/07-287.1). Disponível em: <<https://doi.org/10.1670/07-287.1>>. Citado 4 vezes nas páginas 19, 20.

ANEXOS

ANEXO A – ALGORITMO FFT

A seguir é apresentado o código do algoritmo para calcular a transformada de Fourier. O código foi retirado do github de Daniel Cafe, e pode ser encontrado em <https://github.com/dccafe/raspberry-fft>

```
#include "FFT.h"
#include <vector>
#include <cassert>

#define PI 3.14159265

using namespace std;

FFT::FFT(int n, bool inverse)
    : n(n), inverse(inverse), result(vector<Complex>(n))
{
    lgN = 0;
    for (int i = n; i > 1; i >>= 1)
    {
        ++lgN;
        assert((i & 1) == 0);
    }
    omega.resize(lgN);
    int m = 1;
    for (int s = 0; s < lgN; ++s)
    {
        m <<= 1;
        if (inverse)
            omega[s] = exp(Complex(0, 2.0 * PI / m));
        else
            omega[s] = exp(Complex(0, -2.0 * PI / m));
    }
}

std::vector<FFT::Complex> FFT::transform(const vector<Complex>& buf)
{
    bitReverseCopy(buf, result);
```

```

int m = 1;
for (int s = 0; s < lgN; ++s)
{
    m <<= 1;
    for (int k = 0; k < n; k += m)
    {
        Complex current_omega = 1;
        for (int j = 0; j < (m >> 1); ++j)
        {
            Complex t = current_omega * result[k + j + (m >> 1)];
            Complex u = result[k + j];
            result[k + j] = u + t;
            result[k + j + (m >> 1)] = u - t;
            current_omega *= omega[s];
        }
    }
}
if (inverse == false)
    for (int i = 0; i < n; ++i)
        result[i] /= n;
return result;
}

double FFT::getIntensity(Complex c)
{
    return abs(c);
}

double FFT::getPhase(Complex c)
{
    return arg(c);
}

void FFT::bitReverseCopy(const vector<Complex>& src, vector<Complex>& d,
                        const
{
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        int index = i, rev = 0;

```

```
for (int j = 0; j < lgN; ++j)
{
    rev = (rev << 1) | (index & 1);
    index >>= 1;
}
dest[rev] = src[i];
}
}
```