



INSTITUTO HARDWARE BR – EMBARCATECH

Audiometria - Sistemas Embarcados

Aluno:

Felipe Leme Correa da Silva

SUMÁRIO

1. Introdução	Página 2
2. Objetivo	Página 3
3. Descrição	Página 4
4. Descrição do Projeto	Página 5
5. Funcionamento do Sistema	Página 6
○ Inicialização	Página 6
○ Execução do Teste	Página 6
○ Finalização do Teste	Página 7
6. Detalhes Técnicos	Página 7
○ PWM (Pulse Width Modulation)	Página 8
○ Randomização	Página 8
○ Feedback Visual	Página 8
○ Interface com o Usuário	Página 8
7. Diagrama de Blocos de Hardware	Página 9
8. Esquema Elétrico	Página 10
9. Lista de Materiais	Página 11
10. Descrição do Software	Página 12
11. Metodologia	Página 13
12. Testes e Considerações Finais	Página 14
13. Melhorias Futuras	Página 15
14. Conclusão	Página 16
15. Referências	Página 17

1. Introdução

Este projeto tem como intuito de automatizar e baratear os custos de implementação de testes de Audiometria, assim como servir como material didático para futuros profissionais da saúde.

A audiometria é um exame essencial para garantir a capacidade auditiva de uma pessoa. Com esse exame é possível diagnosticar possíveis perdas auditivas e suas causas.

Através de uma placa tecnológica e um microcontrolador RP2040 junto aos seus periféricos, implementei um sistema acessível e eficiente para auxiliar nas aplicações dos testes.

2. Objetivo

O projeto consiste em desenvolver um sistema de audiometria utilizando os componentes presentes na placa da BitDogLab, que seja capaz de gerar tons em frequências específicas e que através de botões, o usuário possa identificar de qual buzzer em específico o som está se originando.

Com esse método conseguiremos implementar um sistema eficiente, barato e que será um custo-benefício para os profissionais da saúde ou estudantes correlacionados a área que desejam estudos domésticos ou em escolas para aprendizagem na triagem auditiva. Auxiliando na detecção das perdas auditivas e quais frequências são mais relevantes para o diagnóstico, garantindo assertividade.

A implementação incluí a geração de tons em frequências padrões (250Hz a 8000Hz) e a avaliação das respostas do usuário, simulando um teste audiométrico básico. Em comparação aos métodos convencionais, este sistema é portátil e de fácil utilização, podendo ser aplicado em locais com poucos recursos médicos ou para triagem inicial em escolas, empresas ou comunidades.

3. Descrição

O exame de Audiometria é um procedimento fundamental para avaliar a saúde auditiva, sendo um meio de avaliação utilizada pelos fonoaudiólogos e otorrinolaringologistas para detecção de perdas precoce da audição. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 5% da população mundial sofre de perda auditiva incapacitante, destacando a necessidade de métodos eficazes para triagem e diagnósticos.

O teste audiométrico tonal mede a capacidade do paciente ouvir sons em diferentes frequências, tendo como um “padrão-ouro” as frequências que vão de 250 Hz a 8000 Hz, as frequências abaixo de 500 Hz são importantes para diagnosticar problemas relacionados a sons graves, como por exemplo de motores ou batidas cardíacas. Enquanto frequências entre 1000 Hz e 4000 Hz são críticas para a compreensão da fala humana. Frequências acima de 4000 Hz ajudam a identificar perdas causadas por exposição a ruídos intensos, comuns em ambientes industriais.

A escolha das frequências baseia-se na sua relevância para a comunicação humana e detecção de diferentes tipos de perda auditiva, como mencionado acima. Além disso, a intensidade do som, medida em decibéis (dB), varia de 0 dB (limiar de audição) a 120 dB (limiar de dor), permitindo detalhar a sensibilidade auditiva.

Com a implementação do sistema em vigor junto a placa BitDogLab, conseguiremos gerar um projeto acessível, portátil e de fácil utilização, podendo ser adaptado para diferentes contextos. Em comparação aos métodos convencionais, que exigem equipamentos caros e especializados. Com o sistema, ofereceremos uma alternativa de baixo custo, ideal para triagem inicial em locais remotos ou com poucos recursos. Além disso, há possibilidade de integrar em escolas de ensino especializados para inserção de um treinamento mais didático e prático.

Com a fácil acessibilidade do projeto, o sistema poderá ser utilizado em escolas para identificar problemas auditivos em crianças, em empresas para monitorar a saúde auditiva dos colaboradores em um período definido pela unidade médica responsável e podendo ser usado em comunidades carentes para promover a conscientização sobre a importância da saúde auditiva.

3.1. Descrição do projeto

Através da placa BitDogLab, que consiste em um microcontrolador Raspberry Pi Pico W da família de processamento RP2040, e com os periféricos embutidos na placa, utilizaremos os buzzers A e B, botões A e B, Display OLED e dois Leds (RGB) para que em conjunto com o código, torne o projeto idealizado em um sistema preciso que aplica sinais sonoros audíveis para identificar possíveis deficiências auditivas ocasionadas pela sensibilidade audível a determinada frequência e/ou intensidade. O sistema funciona de acordo com o seguinte fluxo:

Através do microcontrolador RP2040 o Raspberry defini uma sequência de instruções para que se torne possível o teste das frequências e tonalidades de maneira randômica, sendo gerado aleatoriamente aos buzzers A e B para que assim, o usuário consiga pressionar o botão correspondente a cada buzzer. Através do PWM geramos a intensidade do som e o clock para frequência setada para o teste, o usuário será testado em diferentes frequências, obedecendo a sequência das frequências importantes, sendo elas de 250 Hz até 8000 Hz. Além disso, o examinador terá o auxílio de um Display OLED, para inicializar o programa e ao final do teste irá exibir um relatório com os acertos e erros. Além de uma sinalização visual através do Led nas cores verde para correta e vermelho para incorreta. O sistema é composto pelos seguintes periféricos:

- Buzzers A e B: Geram tons em diferentes frequências e intensidades.
- Botões A e B: Permitem ao usuário responder qual buzzer está emitindo o som.
- Display OLED: Exibe instruções, resultados e feedback durante o teste.
- LEDs RGB: Fornecem feedback visual (verde para resposta correta, vermelho para resposta incorreta).

3.1.1 Funcionamento do Sistema

Inicialização:

- O sistema inicia com uma mensagem no display OLED instruindo o usuário a pressionar os botões A e B para começar o teste.
- Após o início, o sistema exibe uma mensagem indicando que o teste começará em 4 segundos.

Execução do Teste:

- O teste consiste em 10 rodadas, onde em cada rodada:
Uma frequência aleatória (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, ou 8000 Hz) e uma intensidade aleatória (10%, 30%, 50%, 70%, ou 90%) são selecionadas.
- O som é emitido por um dos buzzers (A ou B), escolhido aleatoriamente.
- O usuário deve pressionar o botão correspondente ao buzzer que está emitindo o som.
- Se a resposta estiver correta, o LED verde acende. Caso contrário, o LED vermelho acende e o erro é registrado.

Finalização do Teste:

- Após as 10 rodadas, o sistema exibe no display OLED o número de acertos e erros.
- Os erros são detalhados no Serial Monitor, mostrando a frequência, intensidade e o buzzer correspondente a cada erro.
- O usuário pode optar por reiniciar o teste (pressionando o botão A duas vezes) ou sair do programa (pressionando o botão B duas vezes).

3.1.2 Detalhes Técnicos

PWM (Pulse Width Modulation):

- O PWM é utilizado para controlar a intensidade do som nos buzzers. A frequência do som é ajustada pelo divisor de clock (`pwm_set_clkdiv`), enquanto a intensidade é controlada pelo nível do canal PWM (`pwm_set_chan_level`).

Randomização:

- As frequências e intensidades são selecionadas aleatoriamente a partir de arrays predefinidos (`frequencies[]` e `intensities[]`).
- A função `rand()` é utilizada para gerar números aleatórios, e a semente (números aleatórios gerados) é definida com base no tempo (`srand(time(NULL))` e `srand(to_us_since_boot(get_absolute_time()))`).

Feedback Visual:

- O LED verde acende para respostas corretas, e o LED vermelho acende para respostas incorretas.
- O display OLED exibe mensagens de instrução e o resultado final.

Interface com o Usuário:

- O usuário interage com o sistema através dos botões A e B, que são configurados como entradas com pull-up.
- O display OLED fornece informações claras sobre o estado do teste e os resultados.

3.2. Diagrama de blocos de Hardware

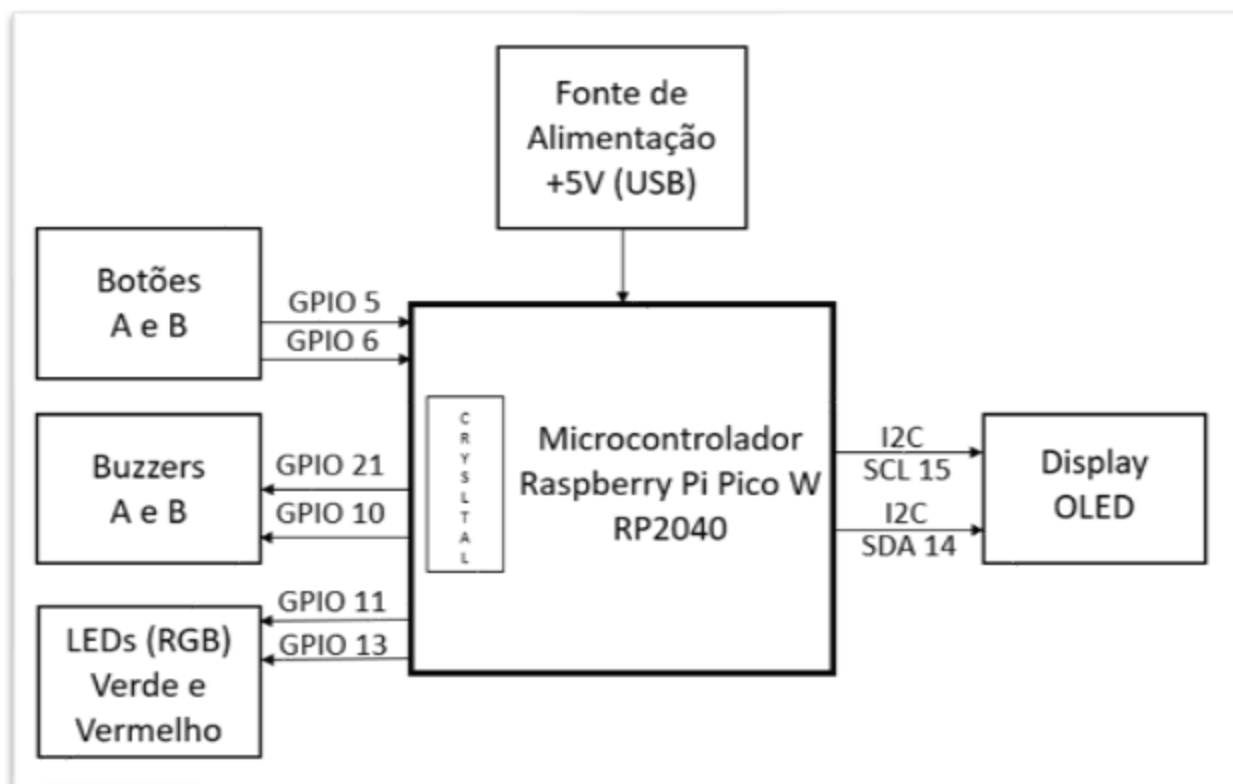


Foto 01: Diagrama de blocos Projeto Audiometria

O diagrama acima representa as ligações e como é distribuído as pinagens do microcontrolador aos periféricos que complementam o projeto, cada função é explicada a seguir:

- **Raspberry Pi Pico W (RP2040):** É o microcontrolador principal que controla todos os periféricos, executa o código e gerencia a lógica do teste de audiometria, configurando as GPIOs para controlar os buzzers, botões e leds, além das GPIOs, também temos as pinagens I2C, que faz a comunicação com o display OLED através dos pinos SDA e SCL.
- **Display OLED (SSD1306):** O Display exibe as mensagens com instruções e os resultados finais para o examinador. A comunicação ao microcontrolador ocorre através do protocolo I2C e utiliza portas SDA e SCL para se comunicar. Endereço padrão 0x3C.
- **Buzzers A e B:** Emitem os tons em diferentes frequências e intensidades para testar a audição do usuário. Estão configurados como saídas PWM, as frequências variam de 250 a 8000 Hz e a intensidade variam de 10% a 90%.

- Botões A e B: Permitem o usuário interagir com o sistema, indicando qual buzzer está emitindo o sinal sonoro. São configurados como entradas na GPIO com um pull-up interno.
- LEDs (RGB): Fornecem identificações visuais em forma de feedback para cada resposta realizada pelo usuário, sinalizando através das cores Verde e Vermelho para certo e errado. São configurados como saídas a GPIO.
- Fonte de alimentação +5V: São fontes que fornecem a alimentação necessária para alimentar a placa Raspberry Pi Pico e por consequência alimenta os circuitos interno da Placa BitDogLab.

O bloco em conjunto fornece ao usuário a possibilidade de manuseio de forma simples e objetiva, com elementos visuais (interface usuário) para facilitar as identificações e instruções.

3.3. Esquema Elétrico

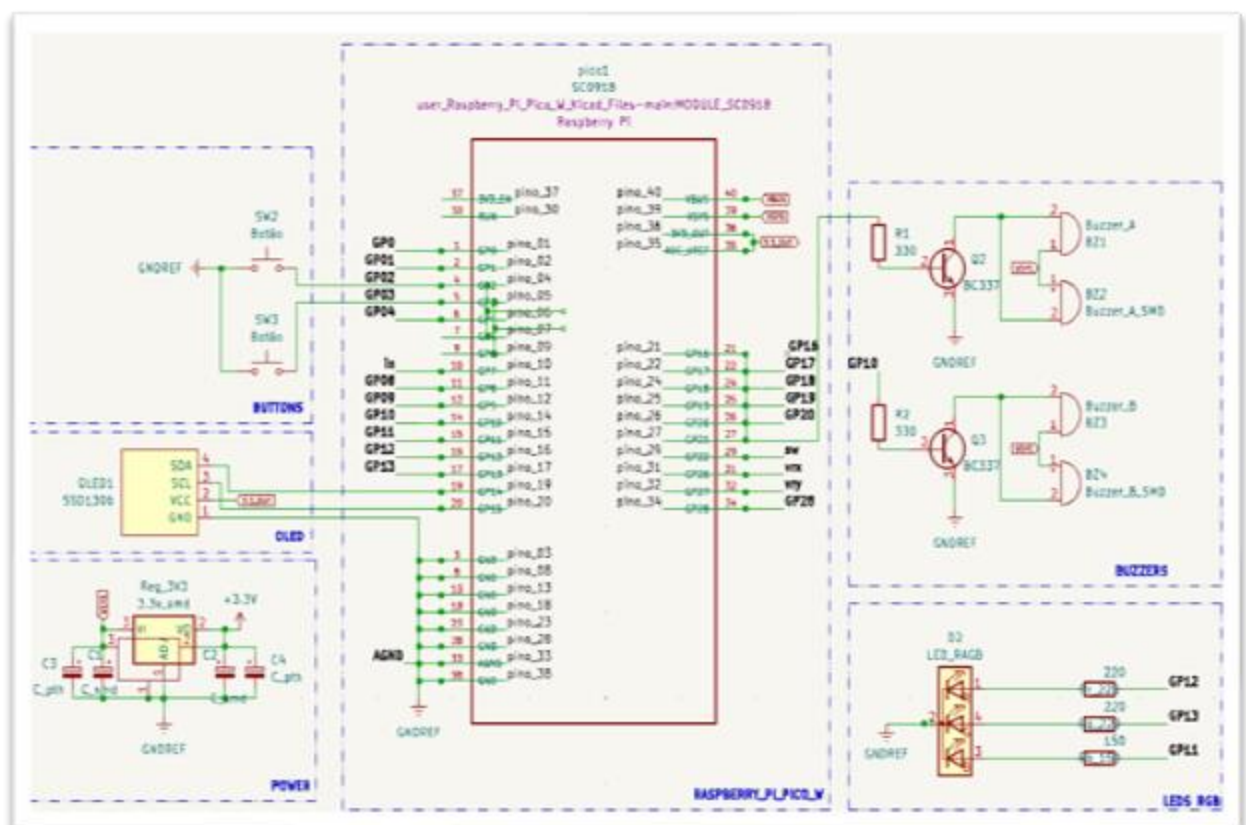


Foto 02: Esquema elétrico Projeto Audiometria

O circuito acima representar as ligações internas que foram utilizadas no circuito do Projeto Audiometria, onde estão representados em blocos cada ligação correspondente aos Botões, Buzzers, Display OLED, Alimentação do Regulador 3V3 e LEDs RGB. Que em conjunto as conexões GPIOs e I2C fornecem o sistema operacional completo.

3.4. Lista de Materiais

LISTA DE MATERIAIS - PROJETO AUDIOMETRIA			
COMPONENTES	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	PINAGEM
SW2	1	PUSH BUTTON TS665CJ	GP21
SW3	1	PUSH BUTTON TS665CJ	GP10
DSP	1	DISPLAY OLED HS96L03W2C03	GP14, GP15
LED_RAGB	1	LED RGB 5050 COTODO COMUM	GP11, GP13
BZ1	1	BUZZER PASSIVO TMB12A03	GP21
BZ3	1	BUZZER PASSIVO TMB12A03	GP10
FONTE +5V	1	FONTE DE ALIMENTAÇÃO +5V	-

Tabela 01: Lista de Materiais

Além dos periféricos mencionados na lista de materiais acima, há resistores, capacitores, regulador de tensão 3V3 e transistores que não estão na listagem acima, porém eles complementam o circuito junto aos periféricos para fornecer tensão, filtragem, pull-up e dentre outras funções, esses componentes são validos ressaltar devido sua grande importância para o funcionamento adequado do circuito como um todo.

3.5. Descrição do Software

O software foi desenvolvido utilizando a linguagem C/C++ em conjunto com o Pico SDK, que fornece uma API robusta para interagir com os recursos do microcontrolador Raspberry Pi Pico W (RP2040). O programa foi estruturado de forma modular, com funções específicas para cada tarefa, garantindo organização e facilidade de manutenção. A seguir, detalhamos os principais aspectos do software:

Inicialização:

- Configuração de GPIO: Os pinos GPIO foram configurados para os botões (entradas com pull-up), LEDs (saídas) e buzzers (saídas PWM).
- Configuração de PWM: Os buzzers foram configurados para gerar tons em diferentes frequências e intensidades usando PWM.
- Configuração de I2C: O display OLED foi inicializado via I2C, com os pinos SDA e SCL configurados.

Lógica principal:

- Geração de Tons: Tons aleatórios são gerados nos buzzers A e B, com frequências e intensidades selecionadas aleatoriamente.
- Captura de Respostas: O programa aguarda a resposta do usuário através dos botões A e B, comparando com o buzzer que emitiu o som.
- Exibição de Resultados: Ao final do teste, o número de acertos e erros é exibido no display OLED.

Biblioteca de Suporte:

- Fornecem funcionalidades básicas, como manipulação de GPIO, PWM, I2C e exibição no display OLED.
- Incluem bibliotecas padrão como `stdio.h`, `pico/stdlib.h`, `hardware/pwm.h`, e `ssd1306.h`.

3.6. Diagrama de Blocos Funcionais

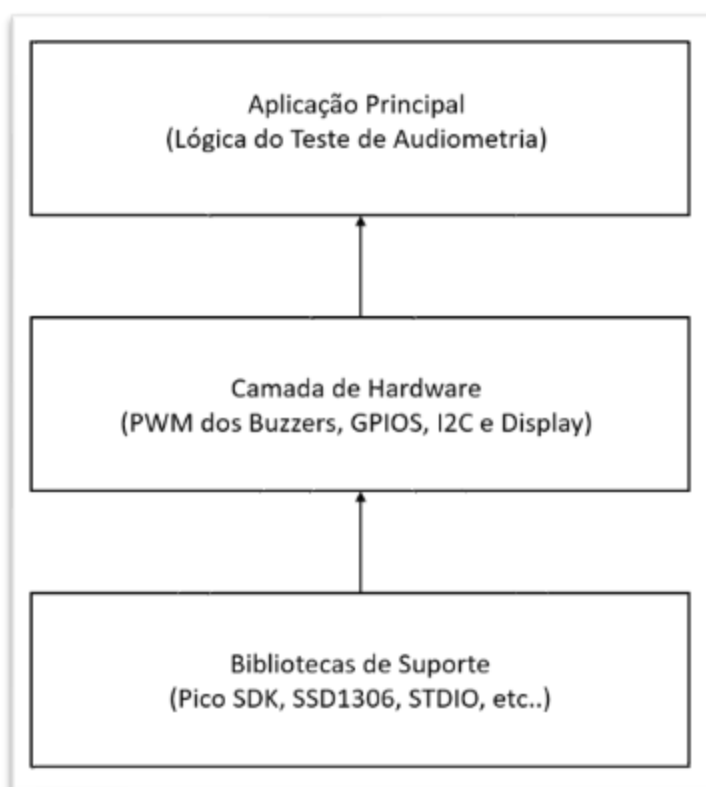


Foto 03: Diagrama de blocos funcionais

3.7. Definição de variáveis

Ao longo do programa foram utilizadas várias variáveis, que foram imprescindíveis para a estruturação do projeto e deixá-lo confiável e robusto. Porém, algumas variáveis precisam ser destacadas, pois sua relevância foi de grande importância durante o desenvolvimento, sendo elas:

- `frequencies[]`: Array com as frequências de teste (250 a 8000 Hz).
Tipo: `uint16_t[]`
- `intensities[]`: Array com intensidades de teste (10% a 90%).
Tipo: `uint8_t[]`
- `correct_responses`: Contador de respostas corretas.
Tipo: `uint8_t`
- `total_tests`: Número total de testes a serem realizados.
Tipo: `uint8_t`
- `erros[][]`: Matriz para armazenar os erros (frequência, intensidade e buzzer).
Tipo: `uint8_t[10][3]`
- `error_count`: Contador de erros.
Tipo: `uint8_t`
- `ssd[]`: Buffer para o display OLED.
Tipo: `uint8_t`
- `frame_area`: Área de renderização do display OLED.
Tipo: `struct (render_area)`

3.8. Fluxograma



Foto 04: Fluxograma do Projeto Audiometria

3.9. Estrutural do programa

A estrutura do código foi idealizada para integrar a robustez do código e projeto, onde a inicialização do software é composta por configuração das GPIOs, sendo eles botões A e B, Leds e Buzzers, configuração do PWM, com a frequência e intensidade dos Buzzers configurados via PWM e configuração de I2C, inicializando o clock em 400 kHz e seu endereçamento em 0x3C, inicializando a mensagem inicial no display OLED.

Além disso, temos as configurações dos registros, onde são definidos por GPIO, através das variáveis `gpio_set_dir()`, onde definimos a direção dos pinos de entrada e saída e `gpio_pull_up()`, que habilita o pull-up interno para os botões. O PWM é configurado pelas variáveis `pwm_gpio_slice_num()`, onde obtemos o slice PWM associado ao pino, `pwm_set_wrap()` onde é definido o valor máximo do contador PWM, `pwm_set_chan_level()`, que define a intensidade do PWM. E por fim, temos o I2C, com as variáveis `i2c_init()`, inicializando o barramento I2C com um clock específico, `gpio_set_function()` que configura os pinos DAS e SLC para função I2C.

Estruturando o programa e formatando os dados, podemos destacar os dados de teste, onde temos um Array de `uint16_t` para as frequências que vão de 250 a 8000 Hz, e um Array de `uint8_t` para configurar a intensidade do PWM, sendo eles de 10% a 90%. Temos um complemento de erros, que através de uma matriz de `uint8_t` com, validam 3 colunas, sendo elas frequência, intensidade e buzzer. E por fim, temos o display OLED, onde temos um buffer de `uint8_t[]` para armazenar os pixels a serem renderizados.

Para a parte de armazenamento, utilizamos a memória flash para armazenar o código do programa, as variáveis e os buffer são alocados na memória RAM, onde o buffer ocupa 1024 bytes (128x64 pixels a cada 1 bit).

4. Metodologia

O projeto foi pensado após analisar a topologia dos equipamentos atuais utilizado para exames de Audiometria. Com os materiais da BitDogLab em mãos, pude analisar e após algumas pesquisas, efetivar que daria para incrementar um sistema básico de exame audiométrico, com fins de validações para identificação de deficiência auditiva ou para fins de estudos. Após alguns levantamentos dos requisitos mínimos de frequência e intensidade, era possível configurar os buzzers para através do microcontrolador (Raspberry Pi Pico (RP20240)), gerasse sons audíveis a fim de validar os requisitos estabelecidos como critério de avaliação.

Com isso, através dos botões pudemos automatizar o sistema de identificação do usuário com o áudio gerado por determinado buzzer. E através do LED e Display OLED, trouxemos um feedback para cada resposta do usuário e instruções repassadas pelos Display, além de também após o término do exame, imprimir para o aplicador do teste o resultado final do exame, com acertos e erros, além de através do Serial monitor, com ajuda de um desktop é possível ainda ver quais as frequências, intensidade e botão apertado para cada erro do usuário.

Isso só foi possível integrando o conhecimento adquirido ao longo do curso e com referências disponibilizadas no GitHub da BitDogLab, integrando as bibliotecas necessária para integração dos periféricos e programa principal. Além disso, foi assegurado os GPIOs corretos para cada conexão e programação, além do protocolo ideal para comunicar junto ao Display LED, através das pinagens SDA e SCL utilizamos o protocolo I2C.

Para a parte da programação utilizamos a IDE VS Code com a extensão Pico SDK, configurando o compilador e as ferramentas de depuração através de um vídeo disponibilizado pela Embarcotech. Após isso, utilizamos a montagem estrutural da programação, definindo por parte cada GPIO, PWM e I2C para o Display OLED. Posteriormente foi feito a lógica do teste de audiometria e as mensagens de instruções necessária para exibição no Display OLED. E por fim, adicionamos o LED para visualização de feedback visual.

A apresentação do projeto foi realizada através de um vídeo, que pode ser consultado em: [Youtube](https://www.youtube.com/watch?v=JOBdbrh5jl0) (https://www.youtube.com/watch?v=JOBdbrh5jl0)

O projeto final e a estrutura do projeto também estão disponíveis no GitHub, que podem ser acessado em: [GitHub](https://github.com/fehleme97/Projeto-Audiometria/blob/main/BitDogLab_Audiometria.c) (https://github.com/fehleme97/Projeto-Audiometria/blob/main/BitDogLab_Audiometria.c)

5. Testes e considerações finais

Durante o projeto foram realizados alguns testes para garantir o funcionamento correto do sistema, sendo eles:

- **Teste de Hardware:** Foram realizados testes de conectividade, garantindo o funcionamento de cada periférico; teste de funcionamento de geração sonora dos buzzers em diferentes frequências e intensidade; verificação das respostas dos botões, evitando o debounce (leitura errônea do acionamento dos botões) e visibilidade dos LEDs.
- **Teste de Software:** Validação da inicialização do sistema (GPIO, PWM e I2C); teste de geração de tons aleatórios e captura das respostas; verificação da exibição correta das mensagens no Display OLED; teste de cálculo e exibição dos resultados finais.
- **Testes de Usabilidade:** Simulação de uso por um usuário final para avaliar a interface e usabilidade das ferramentas e instruções disponibilizadas; verificação do feedback visual e sonoro durante o teste.

Com os testes acima, garantimos a confiabilidade da aplicação dos exames feito através do projeto de Audiometria, onde garantimos precisão na geração dos tons e frequências, captura correta do usuário, exibição das instruções e resposta final ao usuário; feedback visual imediato e consistente.

Além disso, o projeto atende os requisitos de portabilidade, baixo custo, simplicidade e abrange aplicações em diversos cenários, como escolas de profissionalização, clínicas ou usos domésticos. A interface simples e intuitiva facilita qualquer pessoa a utilizar o projeto, porém, demanda de um auxílio médico para concretizar os resultados finais.

5.1. Melhorias futuras

O projeto prevê várias melhorias futuras, possibilitando melhorar ainda mais a experiência do usuário, como:

- Implementação no código para gerar um arquivo para imprimir sobre cada teste realizado o resultado final, gerando um relatório para cada paciente;
- Adição de mais frequências e intensidades;
- Implementação de conectividade WiFi para envio de resultado para um banco de dados, para armazenar os dados do relatório gerado;
- Implementar o sistema físico para prototipagem inicial e esboço do produto.

6. Conclusão

A audiometria é um exame vital para que possamos diagnosticar e monitorar as perdas auditivas, através de frequência e intensidade específicas que cobrem as faixas de sons relevantes para a comunicação humana.

A implementação de um sistema de audiometria utilizando a placa BitDogLab e o Raspberry Pi Pico W demonstra que é possível criar soluções acessíveis e eficientes para a triagem auditiva. Pois ao longo do desenvolvimento, o projeto se mostrou robusto, sólido e confiável. Sendo assertivo nas decisões do usuário e demonstrando o resultado final para avaliação.

Em comparação com os sistemas convencionais, o sistema proposto se mostrou portátil, de baixo custo e de fácil utilização, podendo ser aplicados em diversos ambientes.

7. Referências

- [1] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Perda auditiva. Genebra, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>. Acesso em: 01 de fev. 2025.
- [2] BITDOGLAB. Documentação da BitDogLab no GitHub, 2023. Disponível em: <https://github.com/BitDogLab/BitDogLab-C>. Acesso em: 04 de fev. 2025.
- [3] RASPBERRY PI FOUNDATION. Raspberry Pi Pico W Datasheet. Raspberry Pi, 2023. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html>. Acesso em: 05 de fev. 2025.
- [4] AUDIONOVA. Eis os riscos de não fazer um teste auditivo. Audionova, 2023. Disponível em: <https://www.audionova.com.br/blog/teste-de-audicao/eis-os-riscos-de-nao-fazer-um-teste-auditivo/>. Acesso em: 06 de fev. 2025.
- [5] AUDIONOVA. Por que fazer o teste de audição é importante? Entenda. Audionova, 2023. Disponível em: <https://www.audionova.com.br/blog/teste-de-audicao/por-que-fazer-o-teste-de-audicao-e-importante-entenda/>. Acesso em: 06 de fev. 2025.
- [6] FONOTOM. Como é o exame de audiometria? Fonotom, 2023. Disponível em: <https://fonotom.com.br/2023/08/18/como-e-o-exame-de-audiometria/>. Acesso em: 07 de fev. 2025.
- [7] CENTRO AUDITIVO LÍDER. Teste de avaliação auditiva: entenda a importância. Centro Auditivo Líder, 2023. Disponível em: <https://centroauditivolider.com.br/blog/post/208/teste-de-avaliacao-auditiva--entenda-a-importancia>. Acesso em 07 de fev. 2025.
- [8] LEME, Felipe. Projeto Audiometria. GitHub, 2023. Disponível em: <https://github.com/fehleme97/Projeto-Audiometria>. Acesso em: 20 de fev. 2025.