

## LINKS DO PROJETO

Repositório do projeto no Github: <https://github.com/JasonSX1/EMBARCATECH-TIC37/tree/main/Projeto-final>

Video no Google Drive: [https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1GX\\_k1OI474-KWwycuKwNr48natUV4Q](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1GX_k1OI474-KWwycuKwNr48natUV4Q)

## ESCOPO DO PROJETO

### **BitBio: Simulador de Bioimpedância de Baixo Custo Baseado na BitDogLab**

O BitBio é um simulador de bioimpedância desenvolvido na plataforma BitDogLab, demonstrando a capacidade de um sistema embarcado de baixo custo no monitoramento diário da composição corporal. O sistema permite que o usuário cadastre suas informações básicas (peso, idade, altura e sexo) através do menu interativo e, em seguida, realize uma simulação de medição ao encostar os dedos nos terminais DIG 0 e DIG 3.

### **OBJETIVOS DO PROJETO**

- Desenvolver um simulador funcional de bioimpedância com interface interativa na BitDogLab;
- Explorar as capacidades da plataforma para criar um dispositivo embarcado acessível;
- Demonstrar a viabilidade de sensores de bioimpedância de baixo custo para monitoramento diário;
- Implementar um menu interativo navegável por botões e do joystick analógico;
- Simular o cálculo da bioimpedância com base em uma fórmula comum.

### **DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO**

1. O usuário navega no menu interativo da BitDogLab para inserir seus dados pessoais (peso, idade, altura e sexo).
2. Após a configuração inicial, o sistema solicita que o usuário encoste os dedos nos terminais DIG 0 e DIG 3 para iniciar a simulação.
3. O sistema simula a leitura da bioimpedância utilizando um valor gerado de forma controlada.
4. O cálculo do percentual de gordura e outros parâmetros é feito com base na equação escolhida.

5. O resultado é exibido no display OLED do dispositivo.

## JUSTIFICATIVA

Dispositivos de bioimpedância geralmente possuem alto custo, e a BitDogLab possibilita uma implementação de baixo custo para demonstração e estudo dessa tecnologia.

## ORIGINALIDADE

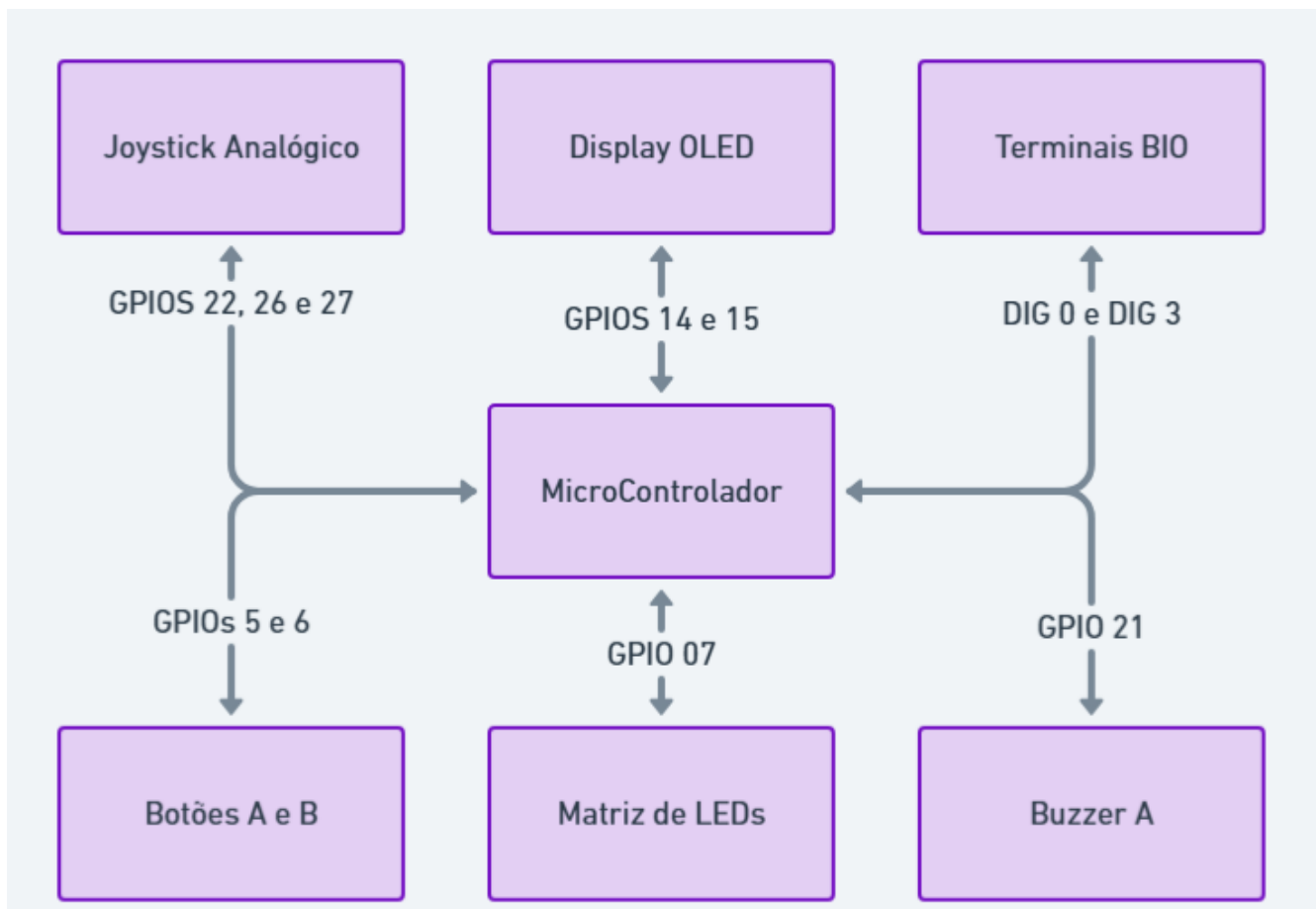
Apesar de existirem projetos parecidos, com o mesmo objetivo da criação de medidores de bioimpedância de baixo custo, o BitBio se diferencia por:

- Ser open-source e de baixo custo;
- Rodar inteiramente na BitDogLab, sem necessidade de hardware externo;
- Permitir uma interface interativa na própria plataforma;

## ESPECIFICAÇÃO DO HARDWARE

Com a integração a seguir, o PC controla a matriz de LEDs e o buzzer via teclado usando comunicação serial. Isso permite criar interações dinâmicas, como animações na matriz baseadas em comandos do teclado.

## DIAGRAMA EM BLOCO



## **FUNÇÃO DE CADA BLOCO**

### **Microcontrolador (RP2040)**

- Controla toda a lógica do sistema, processando os inputs do usuário e gerenciando as saídas visuais e sonoras.
- Recebe as leituras do joystick analógico e dos botões A e B para navegação no menu.
- Controla a Matriz de LEDs e o Buzzer para indicar a progressão da medição.
- Lê o estado dos terminais DIG 0 e DIG 3 para detectar a simulação da bioimpedância.

### **Joystick Analógico (GPIOs 22, 26 e 27)**

- Permite a navegação pelo menu de configuração.
- O movimento vertical do joystick altera as opções do menu.
- O clique do joystick (botão integrado) confirma seleções.

### **Botões A e B (GPIOs 5 e 6)**

- Alternativa para navegação e interação no menu.
- Botão A pode ser usado para avançar nas opções do menu.
- Botão B pode ser usado para voltar ou cancelar uma ação.

### **Matriz de LEDs (GPIO 07)**

- Representa a progressão da medição da bioimpedância.
- Os LEDs acendem progressivamente conforme a leitura avança.
- Se a medição for cancelada, um "X" vermelho será exibido.

### **Buzzer (GPIO 21)**

- Emite sinais sonoros para indicar eventos importantes:
- Início da medição → Bip curto.
- Progressão da medição → Bip leve a cada 25% completado.
- Cancelamento da medição → Alerta sonoro mais grave.
- Conclusão da medição → Som curto indicando sucesso.

### **Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3)**

- Detectam o contato dos dedos do usuário para iniciar a medição.
- Se o contato for interrompido antes da conclusão, a medição é cancelada e um alerta visual e sonoro é disparado.

## **CONFIGURAÇÃO DE CADA BLOCO**

### **1. Microcontrolador (RP2040)**

- Gerencia todas as entradas e saídas, processando os dados do usuário e controlando os periféricos.
- Inicializa os GPIOs para botões, joystick, matriz de LEDs, buzzer e terminais BIO.
- Configura interfaces de comunicação (I<sup>2</sup>C para o display OLED, PIO para matriz de LEDs, e PWM para terminais BIO e buzzer).
- Controla timers para a geração dos alertas sonoros e visuais.

### **2. Joystick Analógico (GPIOs 22, 26 e 27)**

- Configurado para leitura de entradas analógicas, permitindo navegação no menu.

- Eixos X e Y:
  - São lidos via ADC (Conversor Analógico-Digital) para mapear direção.
  - Valores são convertidos para definir movimentos no menu.
- Botão de clique (pressão do joystick):
  - Configurado como entrada digital para confirmar ações.

### **3. Botões A e B (GPIOs 5 e 6)**

- Configurados como entradas digitais com pull-up interno ativado para detectar cliques.
- Botão A: Avança no menu.
- Botão B: Retorna ou cancela uma ação.
- Interrupções podem ser utilizadas para detectar cliques de maneira eficiente.

### **4. Matriz de LEDs (GPIO 07 - via PIO)**

- Controlada por PIO (Programmable I/O) para otimizar a comunicação.
- Configuração do PIO:
  - `pio_add_program()`: Adiciona o programa de controle da matriz.
  - `pio_claim_unused_sm()`: Reivindica uma máquina de estado para operar a matriz.
  - `pio_matrix_program_init()`: Inicializa o PIO e configura os GPIOs.
- Modos de operação:
  - LEDs acendem progressivamente conforme a medição avança.
  - Se a medição for cancelada, um "X" vermelho é exibido.

### **5. Buzzer (GPIO 21 - via PWM)**

- Controlado via PWM (Pulse Width Modulation) para gerar tons diferenciados.
- Configuração do PWM:
  - `gpio_set_function(GPIO 21, GPIO_FUNC_PWM)`: Define o pino como saída PWM.
  - `pwm_set_gpio_level()`: Ajusta o nível de saída PWM para controlar o tom.
  - `pwm_config_set_clkdiv()`: Define o divisor do clock para controlar a frequência.
- Modos de operação:
  - Som curto no início e fim da medição.
  - Progressão da medição com beeps leves.
  - Cancelamento gera um som grave de alerta.

### **6. Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3 - via PWM para Simulação de Sinal de Bioimpedância)**

- Configurados como saídas PWM, simulando a variação de frequência da bioimpedância.
- Configuração do PWM:
  - `gpio_set_function(DIG 0, GPIO_FUNC_PWM)`: Define o pino como saída PWM.
  - `pwm_set_gpio_level()`: Ajusta o nível da saída para gerar uma frequência controlada.
  - `pwm_config_set_clkdiv()`: Define o divisor do clock para modular a frequência da simulação.

- Modos de operação:

- Durante a medição, uma onda PWM de frequência variável é gerada para simular o efeito da bioimpedância.

- A variação da frequência permite simular diferentes resistências corporais.

Se o usuário interromper o contato antes da conclusão, a medição é cancelada e um alerta visual e sonoro é disparado.

## **COMANDOS E REGISTROS UTILIZADOS**

### **1. Microcontrolador (RP2040)**

O microcontrolador utilizado na BitDogLab gerencia a interação do usuário, processa os dados da medição e controla os periféricos conectados. Os seguintes comandos são empregados na inicialização e configuração do sistema:

Configuração dos GPIOs:

```
gpio_init(pin);  
gpio_set_dir(pin, GPIO_IN);  
gpio_pull_up(pin);
```

**Utilizado para configurar os pinos de entrada e saída do microcontrolador.**

Configuração do I<sup>2</sup>C para comunicação com o display OLED:

```
i2c_init(i2c_default, 100 * 1000);  
gpio_set_function(SDA, GPIO_FUNC_I2C);  
gpio_set_function(SCL, GPIO_FUNC_I2C);
```

**Define a taxa de comunicação e atribui os pinos da interface I<sup>2</sup>C.**

### **2. Joystick Analógico (GPIOs 22, 26 e 27)**

O joystick analógico é lido através do conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador. Os comandos utilizados incluem:

Inicialização do ADC:

```
adc_init();  
adc_gpio_init(GPIO_22);  
adc_gpio_init(GPIO_26);  
adc_gpio_init(GPIO_27);
```

**Configuração dos pinos de entrada analógica.**

Leitura do valor analógico do joystick:

```
uint16_t valor = adc_read();
```

**Retorna um valor entre 0 e 4095, correspondente à posição do joystick.**

### **3. Botões A e B (GPIOs 5 e 6)**

Os botões são configurados como entradas digitais, utilizando pull-up interno para evitar estados indefinidos.

Configuração dos botões como entrada:

```
gpio_init(GPIO_5);  
gpio_set_dir(GPIO_5, GPIO_IN);  
gpio_pull_up(GPIO_5);
```

```
gpio_init(GPIO_6);  
gpio_set_dir(GPIO_6, GPIO_IN);  
gpio_pull_up(GPIO_6);
```

Leitura do estado do botão:

```
if (gpio_get(GPIO_5) == 0) {  
    // Botão A pressionado  
}
```

### **4. Matriz de LEDs (GPIO 07 - via PIO)**

A matriz de LEDs é controlada via PIO para otimizar a comunicação e reduzir a carga sobre o processador principal.

**Carregamento do programa PIO:**

```
uint offset = pio_add_program(pio0, &pio_matrix_program);
```

**Configuração da máquina de estado (State Machine - SM):**

```
uint sm = pio_claim_unused_sm(pio0, true);  
pio_matrix_program_init(pio0, sm, offset, GPIO_07);
```

**Atualização dos LEDs para exibir progresso da medição:**

```
pio_sm_put_blocking(pio0, sm, dados_leds);
```

### **Exibição de um "X" vermelho em caso de cancelamento:**

```
pio_sm_put_blocking(pio0, sm, X_cancelamento);
```

### **5. Buzzer (GPIO 21 - via PWM)**

O buzzer é utilizado para fornecer feedback sonoro ao usuário durante a operação do sistema.

#### **Configuração do PWM para controle do buzzer:**

```
gpio_set_function(GPIO_21, GPIO_FUNC_PWM);  
uint slice_num = pwm_gpio_to_slice_num(GPIO_21);
```

#### **Definição da frequência do som:**

```
pwm_set_clkdiv(slice_num, clock_get_hz(clk_sys) / (frequencia * 2048));  
pwm_set_gpio_level(GPIO_21, 32768);
```

#### **Desligamento do som após um tempo determinado:**

```
pwm_set_gpio_level(GPIO_21, 0);
```

### **6. Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3 - via PWM)**

Os terminais DIG 0 e DIG 3 simulam a leitura da bioimpedância variando a frequência do sinal gerado.

#### **Configuração dos pinos como saídas PWM:**

```
gpio_set_function(DIG_0, GPIO_FUNC_PWM);  
gpio_set_function(DIG_3, GPIO_FUNC_PWM);
```

#### **Definição da frequência do sinal PWM para simulação da bioimpedância:**

```
pwm_set_clkdiv(slice_num, clock_get_hz(clk_sys) / (frequencia_bioimpedancia * 2048));  
pwm_set_gpio_level(DIG_0, 32768);  
pwm_set_gpio_level(DIG_3, 32768);
```

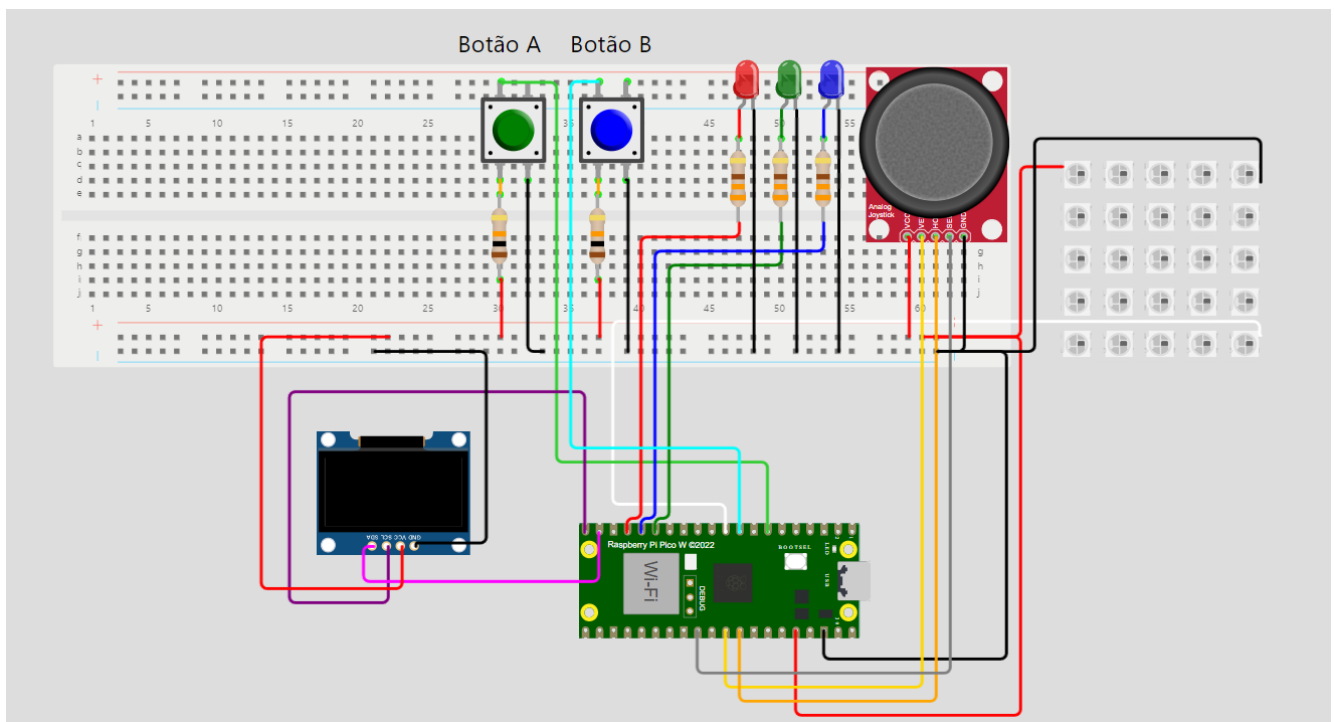
#### **Desligamento do sinal ao final da simulação ou em caso de cancelamento:**

```
pwm_set_gpio_level(DIG_0, 0);  
pwm_set_gpio_level(DIG_3, 0);
```

## PINAGEM

- **Display OLED (GPIOs 14 e 15 - I<sup>2</sup>C):** Comunicação via I<sup>2</sup>C para exibição de menus e resultados.
- **Joystick Analógico (GPIOs 22, 26 e 27):** Controle da navegação no menu e confirmação de ações.
- **Botões A e B (GPIOs 5 e 6):** Alternativa para avançar, retornar ou cancelar ações no menu.
- **Matriz de LEDs (GPIO 07 - via PIO):** Indicação visual da progressão e cancelamento da medição.
- **Buzzer (GPIO 21 - via PWM):** Feedback sonoro para eventos do sistema e alertas.
- **Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3 - via PWM):** Simulação da bioimpedância com sinal de frequência variável.

## CIRCUITO COMPLETO DO HARDWARE



## ESPECIFICAÇÃO DO FIRMWARE

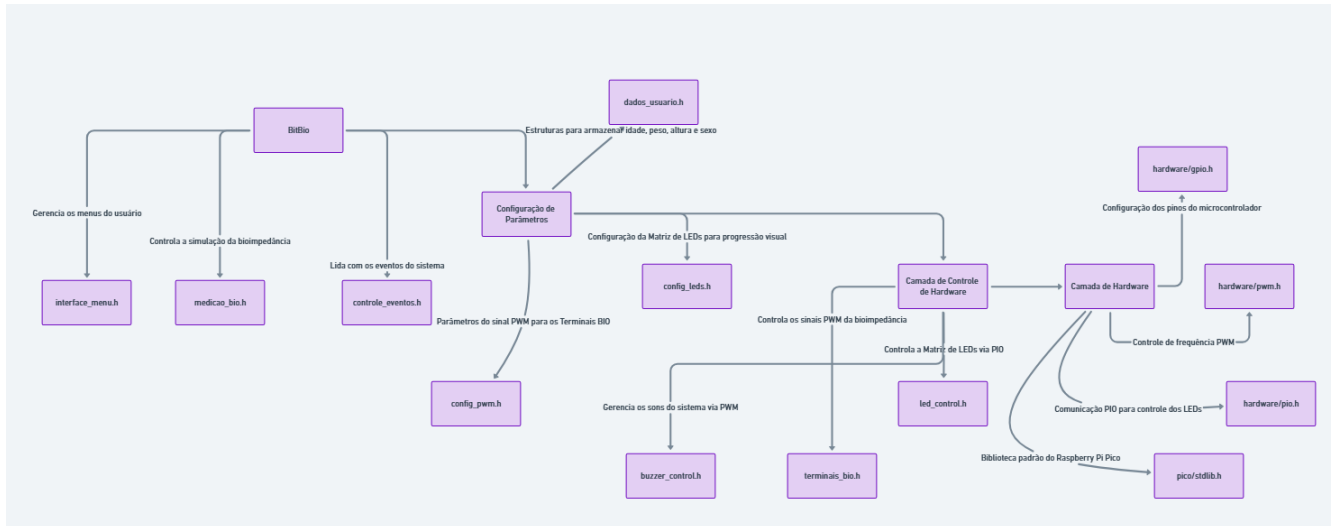
### BLOCOS FUNCIONAIS

O sistema BitBio é dividido em blocos funcionais que organizam as principais funcionalidades do projeto, garantindo uma arquitetura modular e eficiente. Cada bloco



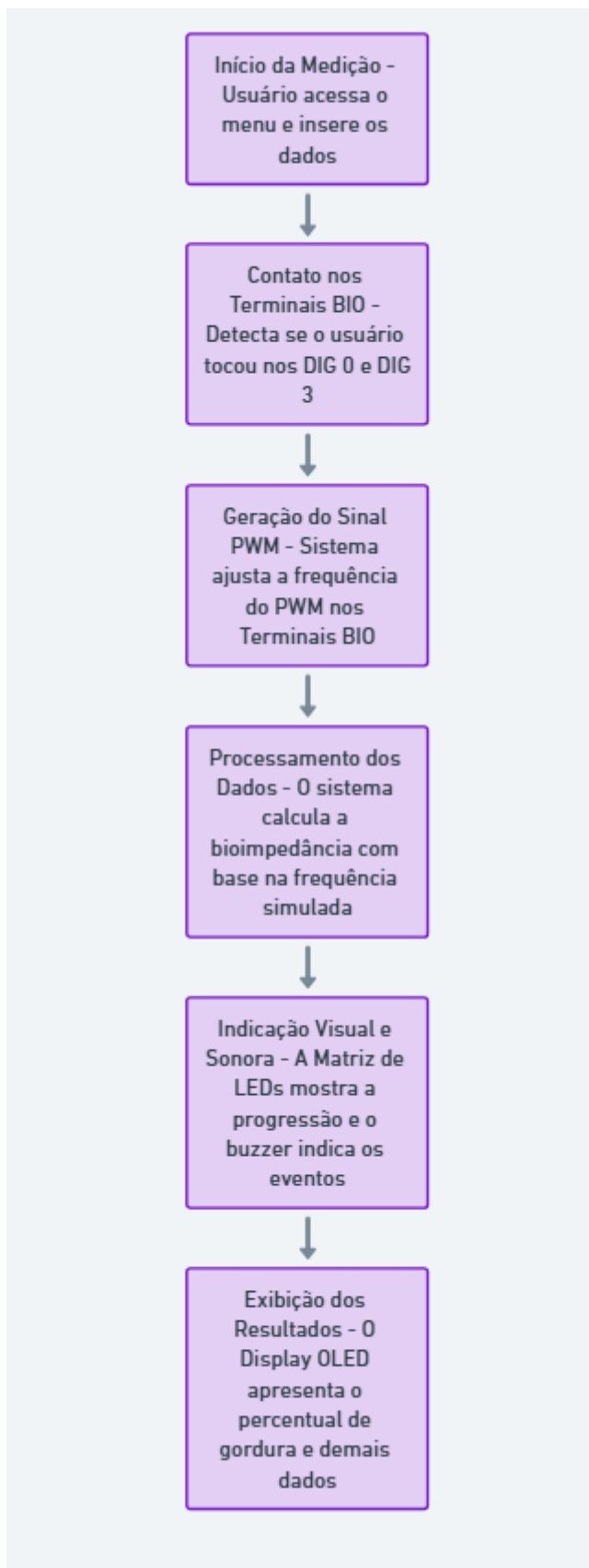
desempenha um papel específico na coleta, processamento e exibição dos dados da bioimpedância.

## BLOCO DA CAMADA DE APLICAÇÃO



Também disponível em : <https://whimsical.com/diagrama-de-blocos-funcionais-bitbio-QHmQTAE121HpjauJquwfH>

## BLOCO DO FLUXO DE MEDIÇÃO



Também disponível em : <https://whimsical.com/fluxo-da-medicao-bitbio-9SvvXZf1jtRhL8k4irDg3o>

## DESCRIÇÃO DAS FUNCIONALIDADES

## **1. Inicialização do Sistema**

Configuração dos GPIOs, PIO, PWM e I<sup>2</sup>C.

Exibição da tela de boas-vindas no Display OLED.

Aguardo da interação do usuário para início da medição.

## **2. Entrada de Dados do Usuário**

O usuário insere peso, idade, altura e sexo no menu interativo.

O joystick analógico e os botões A e B são usados para navegação.

As informações são armazenadas e preparadas para o cálculo da bioimpedância.

## **3. Início da Medição**

O sistema aguarda o contato do usuário nos Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3).

Ao detectar o toque, inicia-se a simulação da leitura de bioimpedância.

## **4. Simulação da Bioimpedância**

O PWM nos Terminais BIO gera um sinal de frequência variável.

A frequência do sinal simula a resistência corporal do usuário.

Os valores são capturados e processados pelo microcontrolador.

## **5. Processamento e Cálculo da Bioimpedância**

Os valores do sinal PWM são convertidos em parâmetros corporais.

O sistema calcula o percentual de gordura corporal com base nos dados inseridos.

## **6. Indicação Visual e Sonora**

A Matriz de LEDs (GPIO 07 - PIO) indica a progressão da medição.

Se o usuário interromper o contato, um "X" vermelho é exibido na Matriz de LEDs.

O buzzer (GPIO 21 - PWM) fornece alertas sonoros para eventos do sistema.

## **7. Exibição dos Resultados**

O Display OLED apresenta o percentual de gordura corporal e outras informações.

O usuário pode optar por realizar uma nova medição ou encerrar o sistema..

### **Arquivos relacionados:**

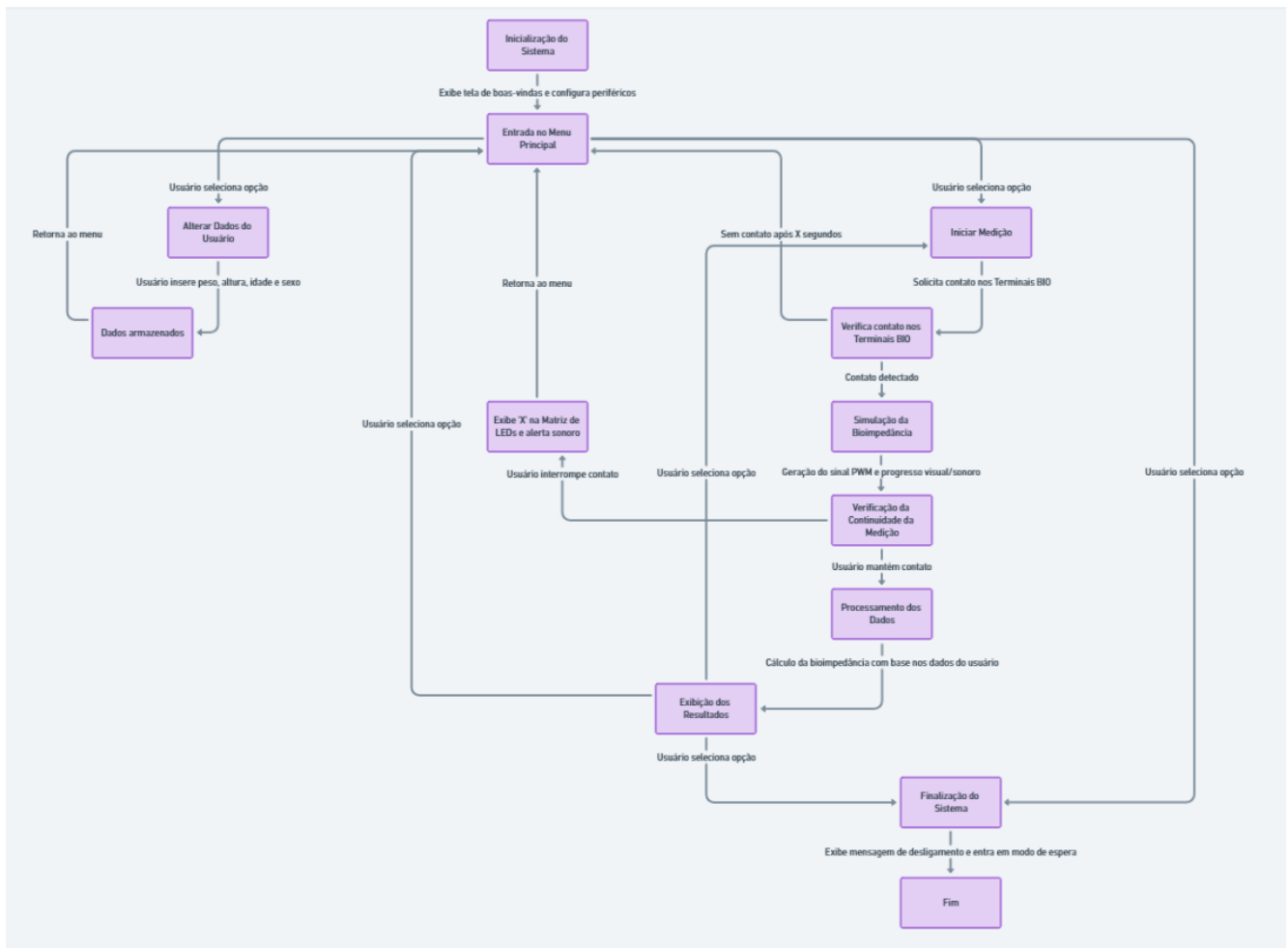
pico/stdlib.h, hardware/pio.h, hardware/pwm.h, pio\_matrix.pio.h.

## **DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

<b>Variável</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
peso	float	Armazena o peso do usuário em kg.
altura	float	Registra a altura do usuário em metros.
idade	int	Define a idade do usuário em anos.
Sexo	char	Identifica o sexo do usuário (M/F).
frequencia_bio	float	Armazena a frequência do sinal PWM nos Terminais BIO.
Bioimpedancia	float	Calcula a resistência corporal simulada.
percentual_gordura	float	Estima o percentual de gordura com base nos dados inseridos.

status_medicao cancelada (0).	int	Indica se a medição está em progresso (1), finalizada (2) ou
led_estado	int	Controla os LEDs da Matriz para indicar o progresso da medição.
buzzer_tone	int	Define a frequência do buzzer para alertas sonoros.

## FLUXOGRAMA



Também disponível em: <https://whimsical.com/fluxograma-da-aplicacao-bitbio-NJVU6zR84k9QUeTYULh5L>

## **PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO**

O protocolo de comunicação é simples e baseado na interação via terminal (USB).

### **Entrada do Usuário**

O usuário interage com o sistema por meio dos controles disponíveis, como o joystick analógico, os botões A e B e o clique do joystick. Essas entradas permitem a navegação pelos menus, a inserção de dados pessoais (peso, altura, idade e sexo) e o acionamento da medição por meio do contato com os Terminais BIO (DIG 0 e DIG 3). As entradas são processadas em tempo real pelo microcontrolador, que converte os comandos do usuário em ações específicas.

### **Resposta do Sistema**

Após a detecção da entrada do usuário, o sistema responde de forma imediata e intuitiva. As respostas são distribuídas em dois formatos:

Visual: O Display OLED exibe as informações referentes ao menu, dados inseridos e resultados da medição, enquanto a Matriz de LEDs indica a progressão da medição (ou o cancelamento, quando um "X" vermelho é exibido).

Sonora: O buzzer gera alertas sonoros, informando sobre o início, o progresso e possíveis cancelamentos da medição.

Esse protocolo assegura que cada comando do usuário seja acompanhado por uma resposta clara e imediata do sistema, garantindo uma experiência interativa e de fácil compreensão.

## **EXECUÇÃO DO PROJETO**

### **METODOLOGIA**

O desenvolvimento do BitBio: Simulador de Bioimpedância seguiu uma abordagem estruturada, iniciando com uma pesquisa sobre sistemas embarcados e técnicas de medição de bioimpedância. Foram analisados projetos correlatos para entender os métodos utilizados na simulação de bioimpedância por meio de sinais PWM, garantindo que o sistema fosse funcional e acessível. A definição do escopo e dos requisitos ocorreu com base na necessidade de criar um dispositivo interativo utilizando exclusivamente a plataforma BitDogLab, aproveitando seus recursos integrados, como GPIOs, PIO, PWM e I<sup>2</sup>C.

A implementação foi dividida em fases, começando pela configuração do hardware, onde os pinos e periféricos foram definidos, incluindo a Matriz de LEDs via PIO, o Buzzer via PWM, o Display OLED via I<sup>2</sup>C e os Terminais BIO utilizando sinais PWM para simular a variação de resistência corporal. Em seguida, o desenvolvimento do firmware contemplou a criação dos menus interativos, a captação de dados do usuário e a implementação do fluxo de medição. O controle do sistema foi programado em C, utilizando bibliotecas específicas para comunicação e controle de periféricos.

Por fim, o sistema passou por testes incrementais, validando a precisão das interações e a coerência dos cálculos de bioimpedância simulada. Foram realizados ajustes na progressão da Matriz de LEDs e na emissão de alertas sonoros pelo Buzzer, assegurando uma experiência de usuário clara e intuitiva. Além disso, verificou-se a estabilidade da comunicação entre os módulos e a resposta do sistema às entradas do usuário. Com essa abordagem, o BitBio foi desenvolvido com eficiência, garantindo funcionalidade e desempenho adequado para a simulação proposta..

## **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O BitBio: Simulador de Bioimpedância demonstrou a viabilidade de se utilizar a plataforma BitDogLab para simular medições de bioimpedância de maneira interativa e acessível. Durante a implementação, verificou-se que a utilização de sinais PWM para simulação da resistência corporal foi eficiente para representar diferentes variações na impedância. A resposta do sistema aos comandos do usuário foi satisfatória, garantindo uma interação fluida por meio do joystick analógico e botões físicos.

Os testes realizados mostraram que a Matriz de LEDs, controlada via PIO, permitiu a visualização clara da progressão da medição, auxiliando no acompanhamento da simulação. O Buzzer, configurado com diferentes frequências via PWM, forneceu feedback sonoro adequado para os eventos do sistema, melhorando a experiência do usuário. A integração do Display OLED via I<sup>2</sup>C garantiu a exibição clara dos menus e dos resultados da medição, tornando a interface intuitiva e funcional.

Comparando o BitBio a projetos comerciais e acadêmicos de bioimpedância, observou-se que a abordagem baseada na simulação de sinais não substitui dispositivos médicos reais, mas oferece uma solução didática para demonstrar o funcionamento desse tipo de tecnologia. Projetos correlatos, como o OpenBIA, um analisador de bioimpedância open-source, utilizam hardware específico para medições reais, enquanto o BitBio foca na simulação e interação do usuário. Da mesma forma, trabalhos acadêmicos sobre medição de bioimpedância para monitoramento de saúde mostram que sistemas similares requerem sensores específicos, como o AD5933, que não foi utilizado neste projeto devido à limitação da plataforma BitDogLab.

Dessa forma, os resultados obtidos com o BitBio validam o conceito de um simulador de bioimpedância acessível, possibilitando experimentação prática com sistemas embarcados sem a necessidade de hardware avançado. O projeto demonstrou ser funcional dentro do escopo proposto, permitindo futuras melhorias, como a adição de conectividade para armazenamento de dados e análise mais detalhada das medições simuladas.

## REFERÊNCIAS

**BERTEMES-FILHO, P.; ASHLEY, M.** Bioimpedance and its applications in medical diagnosis. *Biomedical Engineering Reviews*, v. 5, n. 3, p. 55-71, 2018.

**KUBICEK, W. G.** Development and evaluation of an impedance cardiac output system. *Aerospace Medicine*, v. 37, n. 12, p. 1208-1212, 1966.

**MARTINS, C. R.; SOUZA, L. F.; FERREIRA, A. C.** **OpenBIA**: um analisador de bioimpedância open-source para aplicações acadêmicas. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 32, n. 4, p. 288-297, 2020.

**TAN, R. S.; LEONG, M. C.; NG, E. Y. K.** Development of a portable bioelectrical impedance analyzer for body composition measurement. *Medical Engineering & Physics*, v. 44, p. 21-30, 2017.

**TEXEIRA, R.; MORAES, F.** Estudo e Implementação de Sensores de Bioimpedância para Avaliação da Composição Corporal. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, v. 25, p. 74-85, 2021.