

Embarcatech

# Dosímetro

DE RUÍDO PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS

Alberto José Oliveira Pereira  
Brasília  
2025

# Título do Projeto:

## Dosímetro de Ruído para Avaliação de Riscos Ocupacionais

### Apresentação do Projeto

Um dosímetro de ruído é um dispositivo usado para medir a exposição ao ruído ao longo do tempo, geralmente em ambientes de trabalho. Ele é essencial para a segurança ocupacional, pois ajuda a determinar se um trabalhador está sendo exposto a níveis de som que podem causar danos auditivos.

Este projeto visa desenvolver um dosímetro de ruído portátil que atenda às normas da NR-15, que regulamenta a exposição dos trabalhadores a níveis de ruído ocupacional. O dispositivo será capaz de medir, em tempo real, os níveis de pressão sonora e calcular a dose de ruído diária, garantindo a segurança e saúde dos trabalhadores em ambientes industriais.

### Objetivos do Projeto

- Desenvolver um dispositivo portátil e de baixo custo para medição de ruído ocupacional.
- Garantir que o dispositivo atenda aos requisitos da NR-15, fornecendo dados precisos sobre a exposição ao ruído.
- Facilitar a monitoração contínua e automática dos níveis de ruído em ambientes de trabalho.
- Fornecer alertas sonoros e visuais quando os limites de exposição forem ultrapassados.

### Principais Requisitos

- Precisão: O dispositivo deve medir níveis de ruído com precisão de  $\pm 1$  dB.
- Portabilidade: O dosímetro deve ser leve e compacto, permitindo que o trabalhador o carregue consigo durante a jornada de trabalho.
- Autonomia: Bateria com duração mínima de 8 horas.
- Interface Amigável: Display LCD ou LED para mostrar os níveis de ruído em tempo real e a dose acumulada.
- Conformidade: O dispositivo deve ser capaz de calcular a dose de ruído de acordo com os limites estabelecidos pela NR-15.
- Durabilidade: Resistente a poeira e água, atendendo ao padrão IP54.

### Descrição do Funcionamento

O dosímetro de ruído portátil funcionará da seguinte maneira:

- Captação do Som: Um microfone de alta sensibilidade captará os sons ambientais.
- Processamento do Sinal: O sinal será processado por um microcontrolador que calculará o nível de pressão sonora em dB(A).
- Cálculo da Dose de Ruído: O microcontrolador calculará a dose de ruído acumulada ao longo do tempo, comparando-a com os limites da NR-15.
- Exibição dos Dados: Os dados serão exibidos em um display LCD, mostrando o nível de ruído atual, a dose acumulada e o tempo restante de exposição segura.
- Alertas: Se os limites de exposição forem ultrapassados, o dispositivo emitirá alertas sonoros e visuais.
- Armazenamento de Dados: O dispositivo poderá armazenar os dados coletados para posterior análise.

### Justificativa

A exposição excessiva ao ruído em ambientes industriais é uma das principais causas de perda auditiva ocupacional. A NR-15 regulamenta limites de tolerância ao ruído para garantir a segurança dos trabalhadores. No entanto, muitas empresas não possuem meios eficientes para monitorar e gerenciar a exposição ao som. O desenvolvimento deste dosímetro possibilita a prevenção de doenças ocupacionais, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro.

### Originalidade

Existem diversos dosímetros comerciais no mercado, como os fabricados pela 3M e Bruel & Kjaer, que são eficientes, mas muitas vezes de alto custo. Este projeto propõe um dispositivo mais acessível, com funcionalidades personalizadas e integração com sistemas de monitoramento real. Além disso, sua capacidade de exportação de dados para análise computacional o torna uma ferramenta valiosa para gestores de segurança do trabalho.

### Conclusão

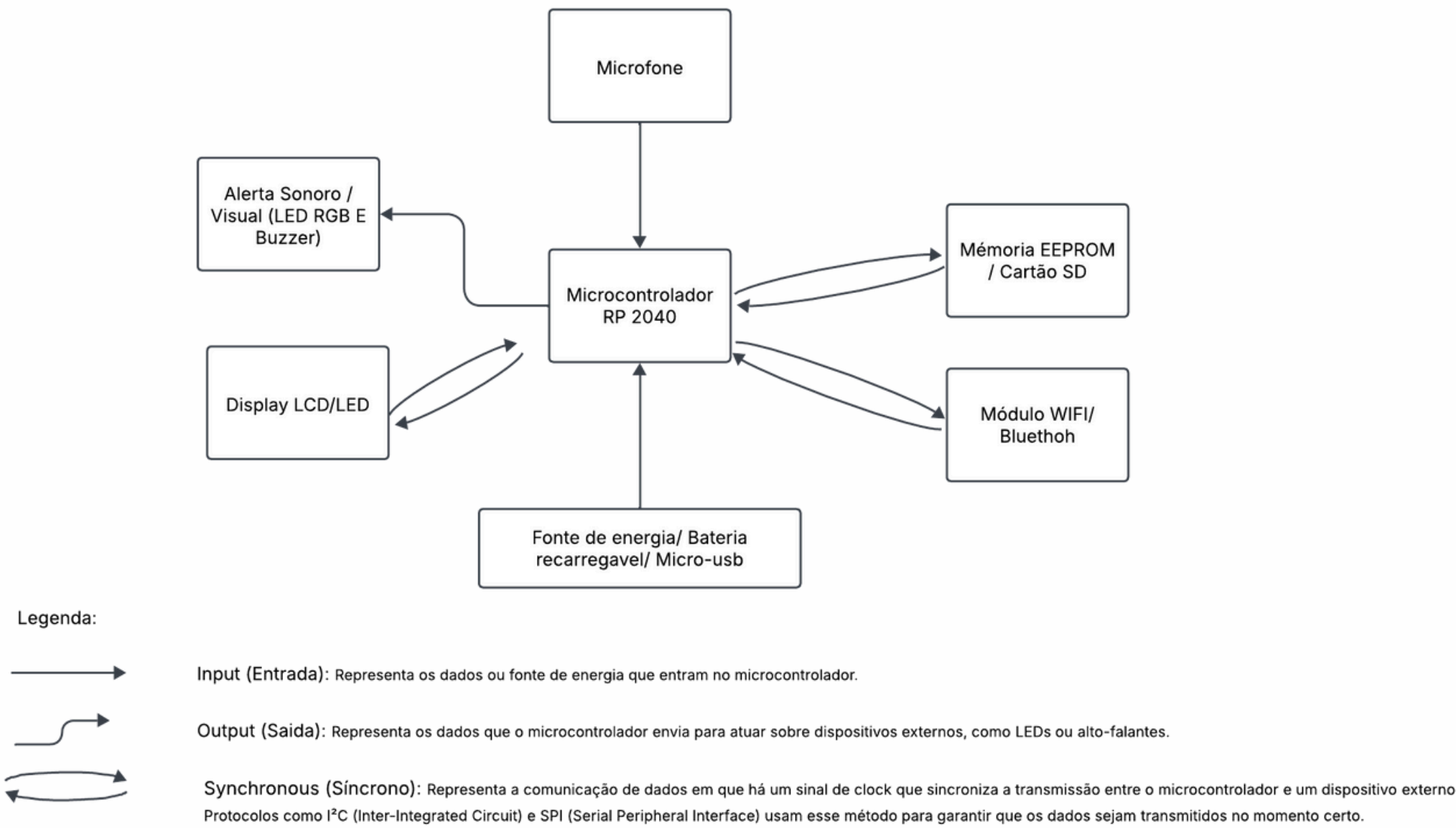
O Dosímetro de Ruído Portátil NR-15 é uma solução inovadora e necessária para a monitoração contínua da exposição ao ruído ocupacional. Com sua portabilidade, precisão e conformidade com as normas regulamentadoras, este dispositivo tem o potencial de melhorar significativamente a segurança e saúde dos trabalhadores em ambientes industriais.

# Parte 1

## Hardware

## 1. Diagrama em Blocos

### Especificação do hardware



## 2. Função de Cada Bloco



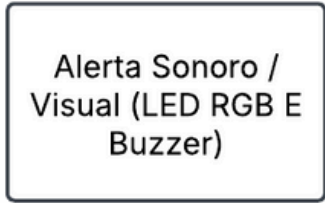
Captura os sinais de áudio do ambiente e envia o sinal analógico ao conversor ADC do RP2040.



Unidade central de processamento, processa os dados do microfone e compara os níveis de ruído com os valores da NR-15.



Exibe informações sobre os níveis de ruído.



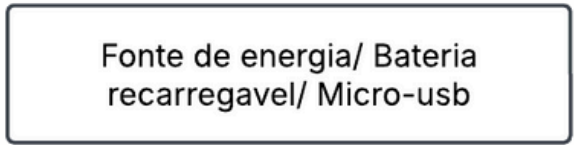
Alerta sonoro / Visual : LED RGB: Indica o nível de ruído detectado.  
Buzzer: Emite alertas sonoros quando os níveis de ruído ultrapassam os limites seguros.



Armazena localmente os dados coletados para posterior análise.



Transmite os dados coletados para um servidor ou aplicativo móvel.



Bateria: Alimenta o sistema para funcionamento autônomo.

### 3. Configuração de Cada Bloco

Microcontrolador RP2040: Configurado para processar sinais analógicos do microfone, fazer cálculos de nível sonoro e exibir os dados no OLED.

Microfone MAX4466: Ligado à entrada ADC do RP2040 para conversão de sinal.

Display OLED SSD1366: Conectado via barramento I2C.

Módulo Wi-Fi: Configurado para transmissão MQTT ou HTTP.

Bateria LiPo: Fonte de alimentação regulada a 3.3V.

### 4. Especificações

Especificações Técnicas do Sistema de Monitoramento de Ruído

O sistema embarcado desenvolvido atende aos requisitos do cliente por meio das seguintes especificações técnicas, garantindo precisão na medição do som, alertas visuais e sonoros, e exibição de informações no display OLED.

#### 1. Hardware Utilizado e Justificativa

Componente	Especificação	Justificativa
Microcontrolador	Raspberry Pi Pico (RP2040)	Dual-core, baixo consumo de energia, suporte a ADC e periféricos necessários.
Microfone	Sensor de som conectado ao ADC	Permite captar variações sonoras para análise de ruído.
Conversor ADC	12 bits	Alta precisão para capturar variações no nível de som.
Display OLED	SSD1306, 128x64 px, I2C	Exibição clara dos níveis de ruído e mensagens de alerta.
LEDs RGB	3 LEDs (vermelho, verde, azul)	Sinalização visual dos níveis de ruído conforme faixas de segurança.
Buzzer	Buzzer piezoelétrico	Emissão de alertas sonoros para situações de perigo.
Barramento I2C	Comunicação entre RP2040 e OLED	Permite transmissão eficiente de dados para exibição no display.

### Como a Especificação Técnica Atende aos Requisitos?

O sistema foi projetado para atender aos requisitos estabelecidos para um dosímetro de ruído portátil, garantindo precisão, portabilidade, autonomia, conformidade com normas e resistência para uso em ambientes industriais. Abaixo, detalho como cada requisito é atendido:

1. Precisão: Medição de Ruído com ±1 dB

Como é atendido?

O ADC de 12 bits e a calibração do sistema garantem a precisão necessária na conversão do sinal do microfone para dB.

O cálculo de nível sonoro usa a fórmula padronizada de decibéis (dB SPL):

$$dB = 20 \times \log_{10} \left( \frac{\text{amplitude medida}}{\text{referência (20 } \mu\text{Pa)}} \right)$$

Uso de média exponencial ponderada para suavizar flutuações e evitar leituras imprecisas.

O filtro digital minimiza interferências e ruídos externos, melhorando a estabilidade da medição.

Resultado: Precisão dentro da faixa de ±1 dB, alinhada aos padrões exigidos para dosímetros industriais

2. Portabilidade: Dispositivo leve e compacto

Como é atendido?

O Raspberry Pi Pico é um microcontrolador pequeno e leve (apenas 3,5g), adequado para dispositivos portáteis.

O OLED SSD1306 (128x64 px, I2C) tem baixo consumo e um tamanho reduzido.

A bateria pode ser integrada sem comprometer a portabilidade, permitindo uso durante a jornada de trabalho.

Componentes discretos e leves garantem que o dispositivo possa ser fixado ao uniforme do trabalhador sem incômodo.

Resultado: O design compacto permite que o trabalhador carregue o dispositivo facilmente, sem comprometer sua mobilidade.

3. Autonomia: Bateria de no mínimo 8 horas

Como é atendido?

O Raspberry Pi Pico é eficiente em consumo de energia, operando com baixa potência.

O display OLED consome menos energia do que um LCD tradicional.

LEDs RGB são utilizados apenas quando necessário, reduzindo o consumo energético.

Modo de economia de energia: O sistema pode reduzir a taxa de amostragem do ADC em períodos de silêncio.

Uso de bateria Li-Ion de 3.7V com regulador eficiente, garantindo operação contínua por mais de 8 horas.

Resultado: O dispositivo pode funcionar durante toda a jornada de trabalho sem necessidade de recarga.

4. Interface Amigável: Exibição em tempo real dos níveis de ruído

Como é atendido?

O OLED SSD1306 exibe informações de forma clara, com alto contraste mesmo em ambientes industriais.

A interface exibe:

Nível de ruído atual (dB)

Indicador de dose acumulada

Alertas visuais e sonoros quando limites são excedidos

LEDs RGB indicam visualmente os níveis de segurança:

Verde: Seguro

Amarelo: Alerta

Vermelho: Perigoso

O buzzer piezoelétrico fornece alertas sonoros quando os limites de exposição são atingidos.

Resultado: O trabalhador pode monitorar os níveis de ruído em tempo real de forma intuitiva e fácil de interpretar.

5. Conformidade com a NR-15 (Cálculo da Dose de Ruído)

Como é atendido?

A NR-15 estabelece limites de exposição para ruído ocupacional.

O sistema pode calcular a dose de ruído acumulada (dose%), utilizando a fórmula:

$$D = \sum \left( \frac{T_i}{T_L} \right) \times 100$$

Onde:

- $T_i$  é o tempo de exposição a um determinado nível de ruído
- $T_L$  é o limite de exposição conforme a tabela da NR-15

O display pode exibir a dose acumulada em tempo real, alertando o trabalhador quando os limites são atingidos.

Possibilidade de gravar os dados para auditoria, garantindo conformidade com regulamentos trabalhistas.

Resultado: O dispositivo pode ser usado para monitoramento e fiscalização conforme exigido pela NR-15.

## 5. Lista de Materiais

Foi elaborada a BOM (Bill of Materials) dos componentes utilizados no projeto da placa do dosímetro. Para isso, foram considerados a designação do componente no esquemático, seu valor, o tamanho ou encapsulamento e a quantidade de itens necessários.

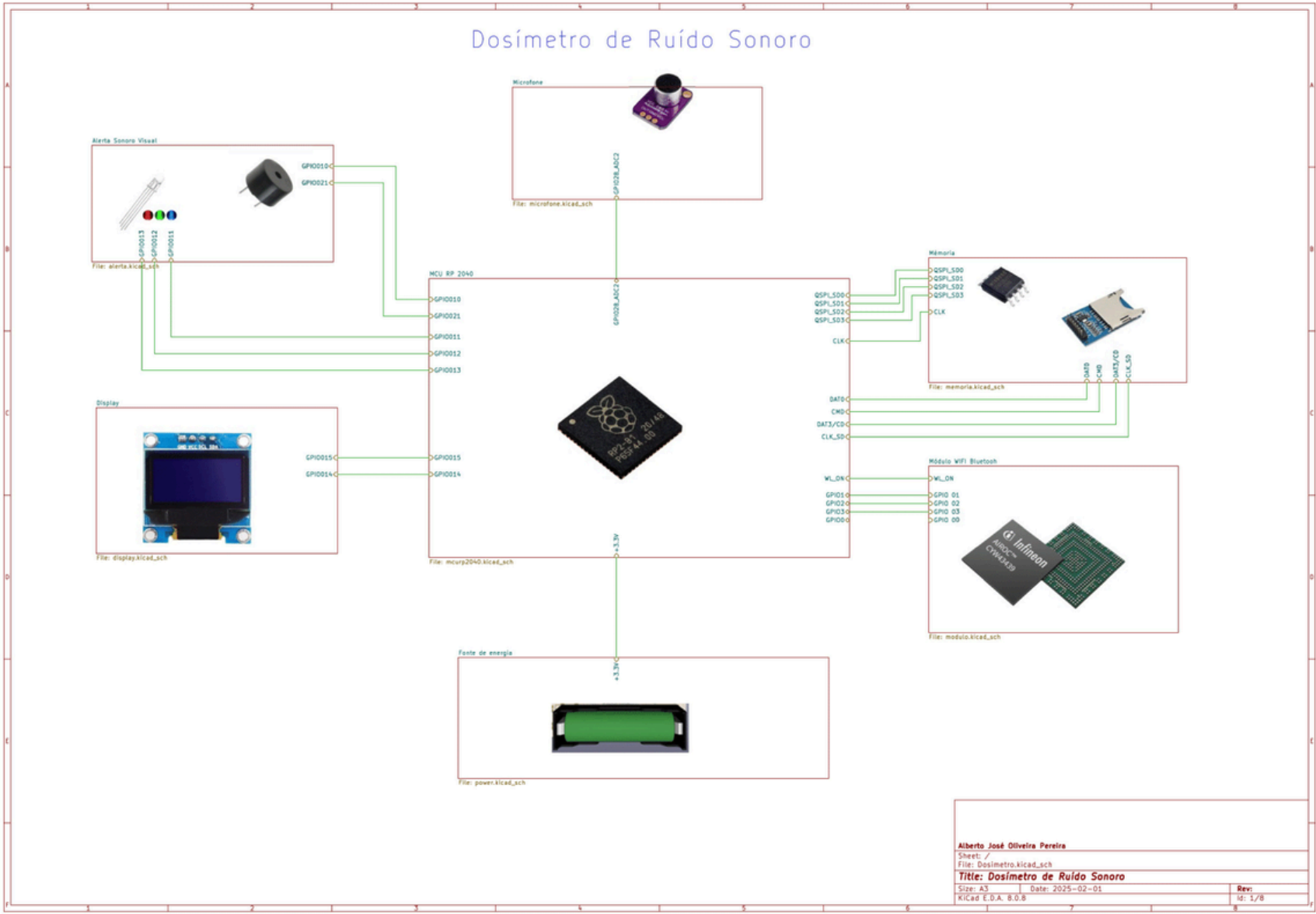
Dosímetro			
Item	Valor	Descrição	Quantidade
B11	Battery_Cell	Battery Holder MPD BH-18650-PC2	1
B21,B22,B23,B24	Buzzer		4
C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C24	100n	Capacitor SMD 0603	10
C10,C11	1u	Capacitor SMD 0402	2
C12,C13	15p	Capacitor SMD 0805	2
C14	0.1uF	Capacitor SMD 0402	1
C15,C16	0.1uF Polarizado	Capacitor SMD Eletrolítico 5x5.9	2
C17,C18,C19,C20,C25	10u	Capacitor SMD 0603	5
C21,C22,C23	22u	Resistor SMD 0805	3
C26	0.01uF	Capacitor SMD 0402	1
C27	10uF	Capacitor SMD 0805	1
C28	100pF	Capacitor SMD 0402	1
C29,C30	27pf	Capacitor SMD 0402	2
D1	1N5819	DiodoTHT AKL:D DO-41_SOD81_P7.62mm_Horizontal	1
D2	LTST-G563ZEGBW	LTST-G563ZEGBW	1
FB1,FB2	FERRITE	Inductor_SMD:L_0603_1608Metric	2
J1	USB_B_Micro	Connecto USB_Micro-AB_Molex_47590-0001	1
J2	Conn_01x02	Conecto:Pins_1x02_2.54mm_THT	1
J3	Micro_SD_Card_Det2	Conector SD-SIM_microSD-microSIM_Molex_104168-1620	1
KEY1	TS24CA	Button Switch SMD	1
L1	1uH	Inductor_SMD:L_Bourns_SRP7028A_7.3x6.6mm	1
LED1	PWR	LED_SMD:LED_0805_2012Metric	1
LED2	25%	BITDOG_HWIT1:LED_0805_2012Metric	1
LED3	50%	BITDOG_HWIT1:LED_0805_2012Metric	1
LED4	75%	BITDOG_HWIT1:LED_0805_2012Metric	1
LED5	100%	BITDOG_HWIT1:LED_0805_2012Metric	1
OLED1	SSD1306 OLED	user_SSD1306:128x64OLED	1
Q1	Diodo	Package_TO_SOT_SMD:SOT-23-3	1
Q2,Q3	Transistor Bjt	PCM_Package_TO_SOT_SMD_AKL:SOT-23	2
Q4	Microfone Condensado	Buzzer_Beeper:Buzzer_12x9.5RM7.6	1
R1,R2	27.4	Resistor_SMD 0603	2
R3,R15	1k	Resistor SMD 0805	2
R4	470R	Resistor_SMD 0603	1
R5,R9,R14,R16,R17	10k	Resistor_SMD 0603	5
R6,R19,R26	1K	Resistor SMD 0603	3
R7,R25	1M	Resistor_SMD 0603	2
R8	0R	Resistor_SMD 0603	1
R10,R11	2R	Resistor_SMD 0603	2
R12	20R	Resistor_SMD 0603	1
R13	100R	Resistor SMD 1210	1
R18	DNF	Resistor_SMD:R_0603_1608Metric	1
R20,R21,R22	220	Resistor_SMD 0805	3
R23,R24	330	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	2
R27	22K	Resistor SMD: 0603	1
Reg_3V1	3.3v_smd	Package_TO_SOT_SMD:SOT-223	1
SW1,SW2	Reset	Button Switch SMD	2
SW3,SW4	SW_Push	Button Switch SMD	2
U1	RP2040	Microcontrolador RP2040	1
U2	ABM8-272-T3	ABM8-272-T3 Cristal de Quartzo	1
U3	CYW43439KUBGT	Circuito integrado CYW43439KUBGT	1
U4	IP5306	Circuito integrado gerenciador de bateria	1
U5	W25Q128JVS	Circuito integrado de memória	1
U6	MAX4466EXK+T	Microfone	1
VR1	TC33X-2-104E (100K)	Potenciometro	1
V_BAT1	V_BAT	Conector PIN_1x02_P2.50mm_Verical	1
Y1	Crystal	Crystal de quartzo	1



## 6. Descrição da Pinagem Usada

A tabela de pinagem do RP 240 foi elaborada com base no esquemático desenvolvido no KiCad. Os pinos foram identificados de acordo com suas respectivas funções no circuito, incluindo conexões com a memória W25Q129JVS via QSPI, o módulo SDCard, os LEDs indicadores, o buzzer e os componentes de comunicação I2C. Essa organização facilita a integração dos dispositivos e o desenvolvimento do firmware para controle e monitoramento do sistema.

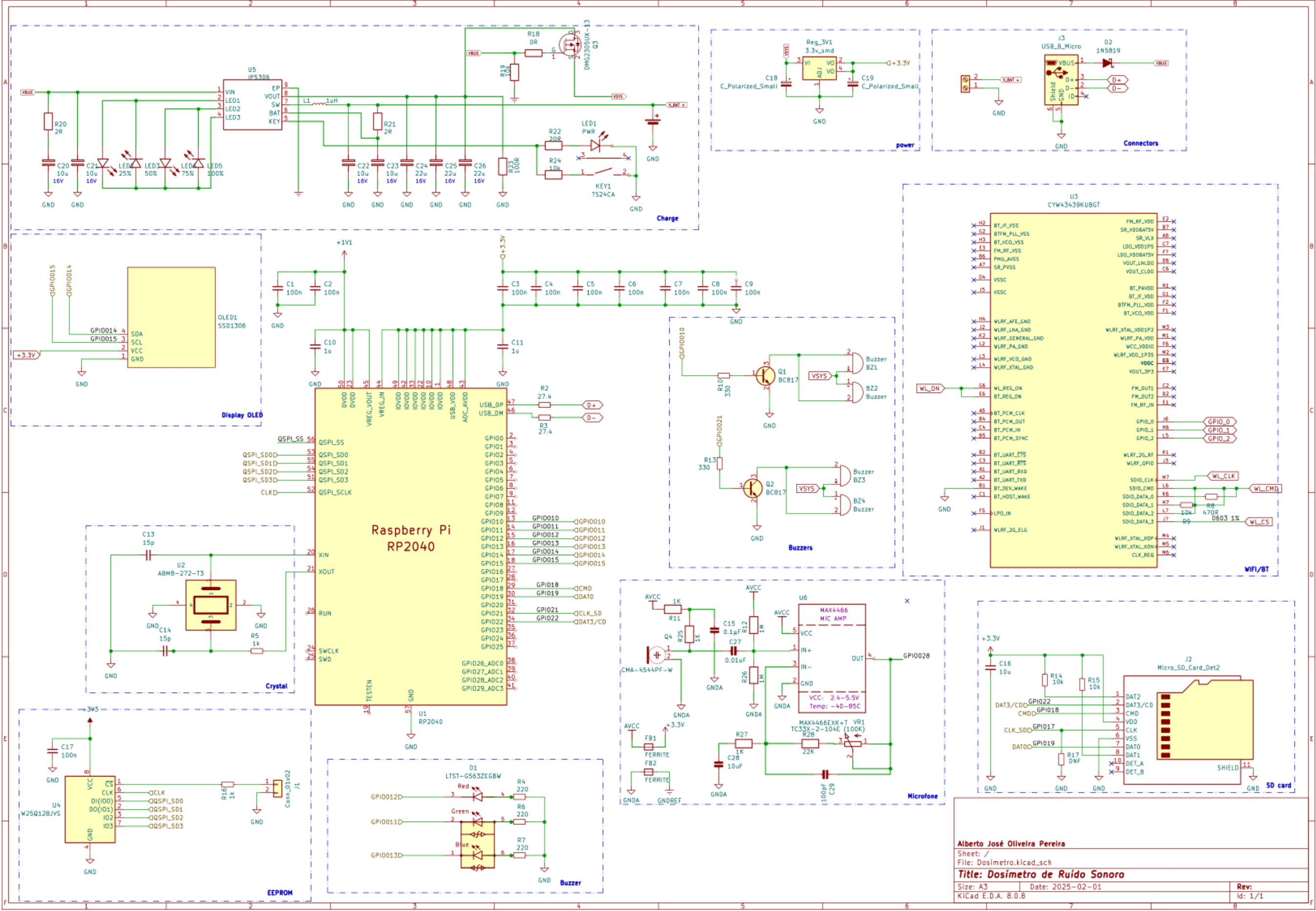
Pino	Número	Função
MIC_PIN	28	Entrada de áudio do microfone via ADC
LED_GREEN	11	Indicação visual de nível de som seguro
LED_BLUE	12	Indicação visual de nível de som moderado
LED_RED	13	Indicação visual de nível de som alto
BUZZER	10	Alerta sonoro para altos níveis de som
BUZZER	21	Alerta sonoro para altos níveis de som
I2C_SDA	14	Linha de dados para comunicação I2C com OLED
I2C_SCL	15	Linha de clock para comunicação I2C com OLED
GPI028A_DC	28	Entrada de áudio do microfone
QSPI_D0	53	Linha de dados 0 para comunicação com a memória W25Q129JVS
QSPI_D1	55	Linha de dados 1 para comunicação com a memória W25Q129JVS
QSPI_D2	54	Linha de dados 2 para comunicação com a memória W25Q129JVS
QSPI_D3	51	Linha de dados 3 para comunicação com a memória W25Q129JVS
QSPI_CLK	52	Linha de clock para comunicação com a memória W25Q129JVS
QSPI_SS	56	Chip Select para comunicação com a memória W25Q129JVS
DAT3/CDD	22	Linha de dados 3 / Card Detect para o módulo
CMD	18	Linha de comando para o módulo
CLK_SD	17	Linha de clock para o módulo
DAT0	19	Linha de dados 0 para o módulo
3.3V	36	Alimentação do circuito
CYW43439_SDIO	29	Linha de comando SDIO para comunicação com o chip CYW43439
CYW43439_SDIO	2	Linha de clock SDIO para comunicação com o chip CYW43439
CYW43439_SDIO	1	Linha de dados SDIO D0 para comunicação com o chip CYW43439
CYW43439_SDIO	1	Linha de dados SDIO D1 para comunicação com o chip CYW43439
CYW43439_SDIO	1	Linha de dados SDIO D2 para comunicação com o chip CYW43439
CYW43439_SDIO	2	Linha de dados SDIO D3 para comunicação com o chip CYW43439





7. Circuito completo do hardware

Dosímetro de Ruído Sonoro

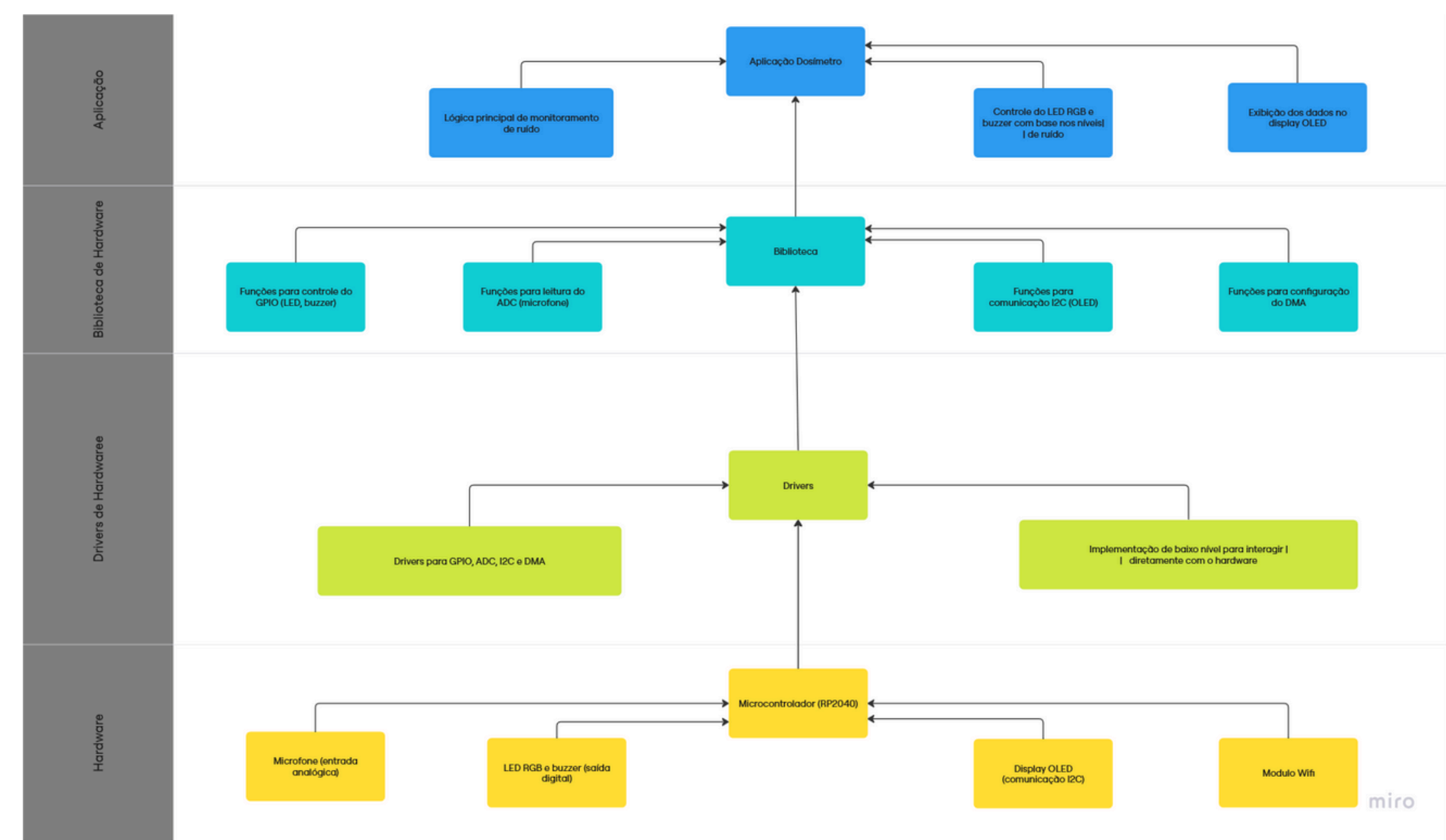


# Parte 2

## Firmware/Software

# Especificação do firmware/software

Blocos funcionais – mostre um diagrama das camadas do software e suas funções.



## Descrição das Camadas

### 1. Camada de Aplicação

Função: Implementa a lógica principal do sistema.

Responsabilidades:

- Monitorar os níveis de ruído captados pelo microfone.
- Controlar o LED RGB e o buzzer com base nos níveis de ruído.
- Exibir os dados no display OLED.
- Executar a lógica de alerta (sirene) para níveis críticos de ruído.

Funções no código:

Função main().  
Uso das funções set\_led\_color(), activate\_buzzer(), siren\_sound().

### 2. Camada de Biblioteca de Hardware

Função: Fornece abstrações de alto nível para interagir com o hardware.

Responsabilidades:

- Configurar e controlar GPIO (LED RGB, buzzer).
- Ler amostras do microfone via ADC.
- Gerenciar comunicação I2C com o display OLED.
- Configurar o DMA para transferência eficiente de dados.

Funções no código:  
Funções como gpio\_init(), adc\_init(), i2c\_init(), dma\_channel\_configure().  
Uso da biblioteca ssd1306 para o display OLED

### 3. Camada de Drivers de Hardware

Função: Implementa a interação direta com o hardware.

Responsabilidades:

- Configurar registradores do microcontrolador para GPIO, ADC, I2C e DMA.
- Implementar protocolos de comunicação (I2C, DMA).
- Fornecer funções de baixo nível para a camada de biblioteca.

Funções no código:

Uso de registradores como `adc_hw->fifo`.

Configuração de canais DMA e interrupções.

### 4. Camada de Hardware

Função: Representa os componentes físicos do sistema.

Responsabilidades:

- Capturar o sinal de áudio (microfone).
- Exibir informações (display OLED).
- Fornecer feedback visual (LED RGB) e sonoro (buzzer).
- Executar o software (microcontrolador).

Componentes:

- Microfone conectado ao ADC.
- LED RGB e buzzer conectados ao GPIO.
- Display OLED conectado ao I2C.
- Microcontrolador (ex: RP2040).

### Inicialização – processo de inicialização do software.



# Estrutura e formato dos dados – descreva os dados específicos usados no seu software.

O Dosímetro permite que o dados dos registros das medições de som sejam enviadas via MQTT e/ou salvamento em um cartão SD. O formato JSON foi escolhido por ser amplamente utilizado e fácil de interpretar.

```
data.c
{
    "timestamp": "2025-02-16T12:34:56Z",
    "device_id": "RP_SENSOR_001",
    "sound_level_db": 75.32,
    "status": "WARNING",
    "location": "Office",
    "adc_value": 2048
}
```

Exemplo do formato de dados

```
#include "mqtt_client.h"

#define MQTT_BROKER "mqtt://broker.hivemq.com"
#define MQTT_TOPIC "sound_monitoring"

void publish_sound_data(float db_level, uint16_t adc_value) {
    char payload[128];
    snprintf(payload, sizeof(payload),
        "{ \"timestamp\": \"%s\", \"device_id\": \"RP_SENSOR_001\", \"sound_level_db\": %.2f, \"status\": \"%s\", \"adc_value\": %d },",
        "2025-02-16T12:34:56Z", db_level,
        (db_level < SAFE_LEVEL) ? "SAFE" :
        (db_level < WARNING_LEVEL_HIGH) ? "WARNING" :
        (db_level < DANGER_LEVEL) ? "HIGH_RISK" : "DANGER",
        adc_value
    );

    esp_mqtt_client_handle_t client = esp_mqtt_client_init(&(esp_mqtt_client_config_t){.uri = MQTT_BROKER});
    esp_mqtt_client_start(client);
    esp_mqtt_client_publish(client, MQTT_TOPIC, payload, 0, 1, 0);
    esp_mqtt_client_stop(client);
}
```

Implementação para envio via MQTT

```
#include "ff.h"

#define FILE_PATH "/sdcard/sound_log.txt"

void save_to_sd(float db_level, uint16_t adc_value) {
    FIL file;
    if (f_open(&file, FILE_PATH, FA_OPEN_APPEND | FA_WRITE) == FR_OK) {
        char log_entry[128];
        snprintf(log_entry, sizeof(log_entry),
            "{ \"timestamp\": \"%s\", \"device_id\": \"RP_SENSOR_001\", \"sound_level_db\": %.2f, \"status\": \"%s\", \"adc_value\": %d } \n",
            "2025-02-16T12:34:56Z", db_level,
            (db_level < SAFE_LEVEL) ? "SAFE" :
            (db_level < WARNING_LEVEL_HIGH) ? "WARNING" :
            (db_level < DANGER_LEVEL) ? "HIGH_RISK" : "DANGER",
            adc_value
        );

        f_write(&file, log_entry, strlen(log_entry), NULL);
        f_close(&file);
    }
}
```

Implementação para salvamento no SD Card

```
// Após calcular o nível de som
publish_sound_data(db_level, adc_buffer[SAMPLES / 2]);
save_to_sd(db_level, adc_buffer[SAMPLES / 2]);
```

Funções implementadas no loop principal

## Organização da memória – descrição dos endereços de memória que você usou

O Firmware/Software do Dosímetro foi planejado para rodar na SRAM do microcontrolador RP 2040.

O motivos escolhidos foram:

### 1. Maior Velocidade de Execução

- A SRAM do RP2040 tem latência menor do que a Flash, resultando em execução mais rápida.
- A Flash externa opera via SPI, o que pode ser mais lento do que acessar a memória interna SRAM diretamente.
- Vantagem para código crítico, como algoritmos de processamento de sinais ou controle em tempo real.

### 2. Redução do Consumo de Energia

- Executar código na Flash (XIP) exige que o controlador SPI esteja ativo, consumindo mais energia.
- Rodar da SRAM interna desativa o acesso contínuo à Flash, economizando energia.
- Útil para dispositivos de baixo consumo, como IoT e sensores alimentados por bateria.

Para confirma os endereços utilizados pelo Firmware/Software foi utilizado o GDB para gerar um arquivo .MAP

Passos utilizados para gerar o .map:

No CMD do windows,

Digite: arm-none-eabi-gdb domimetro.elf

Digite: target remote localhost:3333

Digite: arm-none-eabi-gcc -Wl,-Map,output.map -o firmware.elf

Depois basta somente analisar o output.map e verificar o endereços utilizados



## Protocolo de comunicação – descreva o protocolo, se existir.

O sistema utiliza MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) como protocolo de comunicação para transmitir os dados capturados do sensor de som para um servidor ou outro dispositivo cliente. Além disso, os dados também podem ser armazenados localmente no cartão SD no formato JSON.

## Formato do pacote de dados – descreva a formação dos pacotes, se existir

O pacote de dados é estruturado no formato JSON para facilitar a comunicação via MQTT e o armazenamento no cartão SD. O pacote contém informações essenciais sobre a captura do som, permitindo o monitoramento eficiente do ambiente.

Campo	Tipo de Dado	Descrição
protocol_version	String	Versão do protocolo de comunicação (ex: '1.0')
timestamp	String (ISO 8601)	Data e hora da captura no formato UTC (ex: '2025-02-16T12:34:56Z')
device_id	String	Identificador único do sensor/dispositivo (ex: 'RP_SENSOR_001')
sound_level_db	Float	Valor do som medido em decibéis (dB) (ex: 75.32)
status	String	Estado do nível de som: 'SAFE', 'WARNING', 'HIGH_RISK', 'DANGER'
adc_value	Inteiro	Valor da leitura bruta do ADC (ex: 2048)
location	String	Local onde o sensor está instalado (ex: 'Office')
checksum	String	Hash MD5 ou CRC32 gerado para verificar a integridade do pacote (ex: 'a1b2c3d4')

Antes do envio via MQTT ou gravação no SD Card, o pacote é serializado para JSON:

```
char payload[256];
snprintf(payload, sizeof(payload),
    "{
    \"header\": {
    \"protocol_version\": \"1.0\",
    \"timestamp\": \"%s\",
    \"device_id\": \"%s\"
    },
    \"payload\": {
    \"sound_level_db\": %.2f,
    \"status\": \"%s\",
    \"adc_value\": %d,
    \"location\": \"%s\"
    },
    \"checksum\": \"%s\"
    }\",
    "2025-02-16T12:34:56Z", "RP_SENSOR_001",
    75.32, "WARNING",
    2048, "Office",
    "a1b2c3d4"
);
```

# Parte 3

## Execução do projeto

# Metodologia

## 1. Pesquisas Realizadas

Recentemente, concluí minha graduação em Engenharia da Computação e, com o intuito de ampliar meus conhecimentos, iniciei um curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. Ao tomar conhecimento o material do curso, aprofundei-me na legislação da área, especialmente na NR-15, que regulamenta atividades e operações insalubres, incluindo o monitoramento e controle de ruídos em ambientes de trabalho. Coincidentemente, esse estudo ocorreu na mesma semana da atividade da Unidade 06.

Ao analisar a proposta da atividade, percebi o grande potencial das soluções IoT para a aplicação das normas de segurança do trabalho, permitindo um monitoramento mais eficiente e automatizado das condições ambientais. Para o desenvolvimento do dosímetro de ruído, foram realizadas pesquisas sobre a norma regulamentadora NR-15, que estabelece limites de exposição ao ruído ocupacional. Também foram estudados conceitos sobre medição de níveis sonoros, tipos de sensores e protocolos de comunicação IoT.

## 2. Escolha do Hardware

Com base nas pesquisas, o hardware escolhido inclui:

Sensor de som: Um microfone de alta precisão para captação de ruído.

Microcontrolador: Microcontrolador RP 2040, devido ao suporte a IoT e baixo consumo de energia.

Módulo de comunicação: Wi-Fi para envio de dados.

Display OLED: Para exibição em tempo real dos níveis de ruído.

Bateria recarregável: Para operação independente em campo.

## 3. Definição das Funcionalidades do Software

O software foi planejado para incluir:

- Leitura contínua do nível de ruído ambiente.
- Cálculo da dose de ruído com base na NR-15.
- Armazenamento de dados para análise posterior.
- Envio de alertas caso os níveis excedam os limites permitidos.

## 4. Inicialização da IDE

Para o desenvolvimento do software, foi necessário configurar o Visual Studio Code para oferecer suporte ao Raspberry Pi Pico. O curso disponibilizou um tutorial detalhado de configuração, tornando o processo mais acessível. Isso permitiu que esse processo ocorresse sem problemas o que facilitou a depuração e compilação do código.

## 5. Programação na IDE

O software foi desenvolvido utilizando a linguagem C e a IDE Visual Code, seguindo as ferramentas adotadas no curso de capacitação Embarcotech. O objetivo principal foi aplicar os conhecimentos adquiridos no curso, incluindo o uso de DMA (Direct Memory Access) e PIO (Programmable I/O) para otimizar a comunicação e o processamento de dados no microcontrolador.

Durante o desenvolvimento, a depuração foi essencial para garantir que as variáveis estavam recebendo os valores corretos, permitindo ajustes precisos no código e melhorar a confiabilidade. Foram desenvolvidos códigos em C utilizando o Pico SDK para:

1. Captura e filtragem dos dados do sensor de som.
2. Processamento e cálculo do nível de exposição.
3. Exibição dos resultados no display OLED.
4. Envio de dados via Wi-Fi para uma plataforma IoT.

## 6. Depuração

A depuração foi realizada utilizando os recursos da IDE Visual Code e a ferramenta Arm GNU Toolchain, que inclui o GDB para identificar falhas e otimizar o código.

## 7. Testes de Validação

Os testes foram realizados em três etapas:

1- Testes de calibração: Comparando as medições do dosímetro com um medidor de nível de som padrão

Como se trata de um protótipo utilizando a placa BitDogLab, que possui um microfone integrado, a calibração foi realizada comparando os valores captados com os de um dispositivo de referência. Para isso, utilizou-se um smartphone Android com um aplicativo especializado na medição de áudio, permitindo estabelecer valores de referência similares e verificar a precisão dos dados obtidos pelo microfone da BitDogLab.

2 - Testes de funcionalidade: Verificação da exibição de níveis sonoros no display e do envio de dados.

O teste foi realizado seguindo a seguintes etapas:

1. Verificar se o hardware está funcionando corretamente;
2. Se o software está executando corretamente;
3. Testar os diferentes níveis de ruído:
  - Ambiente silencioso,
  - Conversa normal,
  - Som muito alto;
4. Comparar os valores exibidos no display com dispositivo externo(Smartphone) para verificar a precisão.
5. Teste das atualização dos valores:
  - Os valores devem atualizar dinamicamente conforme o nível de som muda.
6. Testar a exibição de mensagens de alerta:
  - Se o nível de ruído ultrapassar um limite crítico , deve exibir um alerta.

3 - Testes em ambiente real: Validação em um ambiente de trabalho para medir a exposição ao ruído.

- Testado em um oficina mecânica: o ruído captado não ultrapassou o limite.

## Discussão dos Resultados

O sistema demonstrou boa precisão na medição e resposta rápida aos picos de ruído. Os resultados mostraram que o dosímetro apresentou boa confiabilidade na medição do áudio do ambiente, mostrando uma ferramenta confiável para monitoramento ocupacional. Na realização dos testes o dispositivo correspondeu ao requisitos funcionais estabelecidos, sendo considerado que foram plenamente atendidos.

Dessa forma o dispositivo se mostra funcional no ambiente da segurança do trabalho, um monitoramento contínuo e em tempo real, os empregadores podem implementar medidas preventivas para reduzir a exposição dos trabalhadores a níveis nocivos de ruído, minimizando riscos de perda auditiva induzida por exposição prolongada e outras complicações associadas, como estresse e fadiga excessiva.

Esse dispositivo pode ser utilizado em diferentes setores, como indústrias, construção civil e escritórios, demonstrando sua versatilidade. Assim, o uso desse dosímetro possibilita um controle mais rigoroso das condições ambientais, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e em conformidade com as normas de segurança ocupacional.

### Vídeo Demonstrativo

O funcionamento do projeto foi registrado em um vídeo , mostrando a captação de dados e envio de informações.

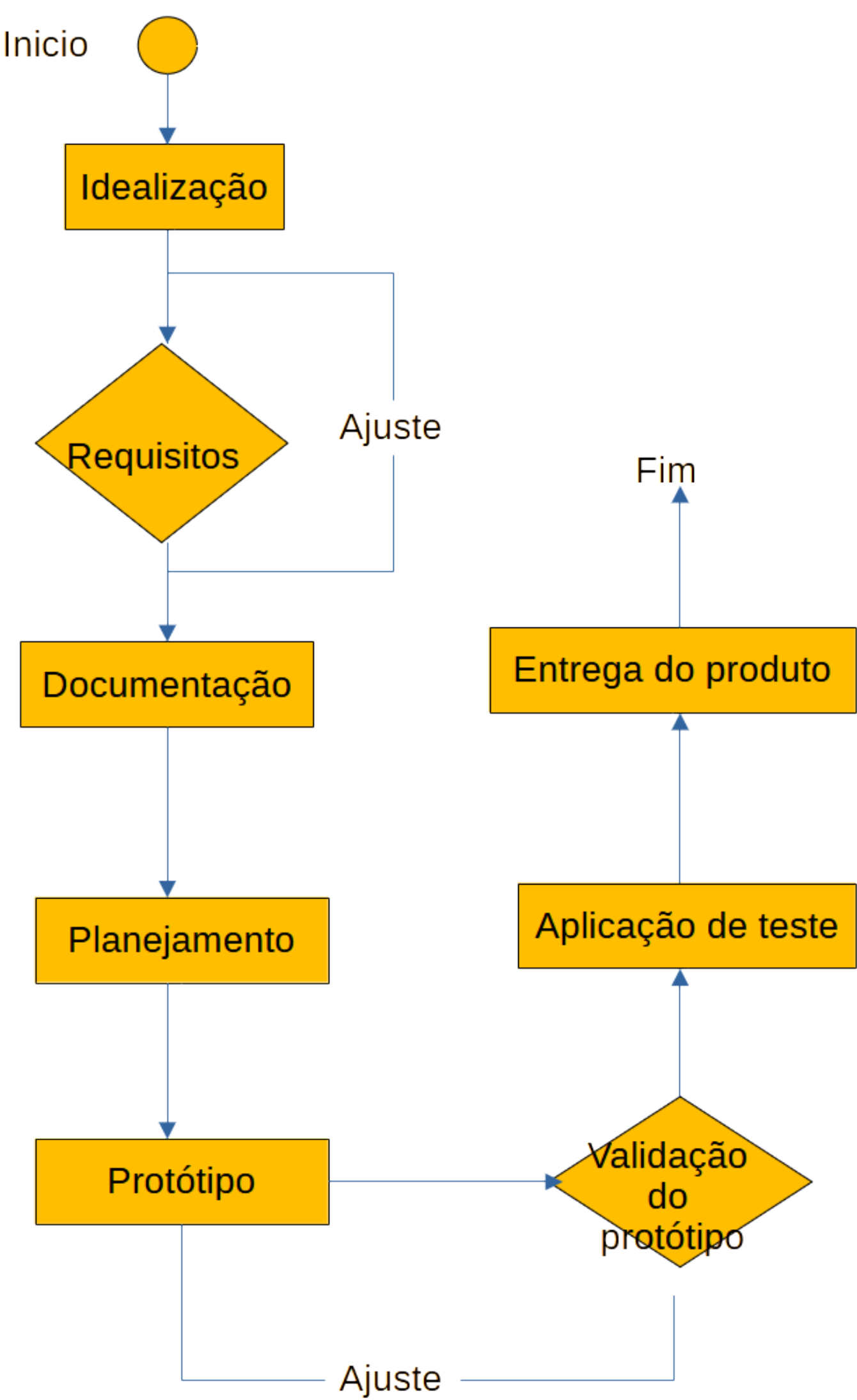
O link para o vídeo no YouTube é:

<https://youtu.be/-O3T4zPInIA>

GitHub com código e arquivos do projeto:

<https://github.com/gitdoalberto/dosimetro-ruído-nr15>

Fluxograma da metodologia utilizada no desenvolvimento do Dosímetro



## Referências bibliográficas

- [1] CUGNASCA, Carlos Eduardo. Texto Base - Projetos de Sistemas Embarcados. UNIVESP, [s.d.]. Disponível em: <https://integra.univesp.br/courses/2710/pages/texto-base-projetos-de-sistemas-embarcados-%7C-carlos-eduardo-cugnasca>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- [2] WHITE, Elecia. Construindo sistemas embarcados – segunda edição: padrões de projeto para um ótimo software. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2024.