

Nome: Elmer Carvalho de Oliveira Filho

Matrícula: TIC370100953

Capacitação: TIC 37 - EmbarcaTech

Atividade: Trabalho Final



Monitor de Silêncio com Alertas Visuais e Sonoros

Introdução:

Este projeto propõe um sistema embarcado para monitoramento de ruído em ambientes que exigem silêncio, como bibliotecas, salas de estudo e alas hospitalares. Utilizando um microfone, os sons do ambiente são convertidos em valores digitais por um ADC (Conversor Analógico-Digital) e analisados em tempo real. Com base nos níveis de amplitude detectados, o sistema gera alertas visuais e sonoros para indicar quando o ruído ultrapassa limites predefinidos. Deste modo, o sistema visa atingir os seguintes objetivos:

- Captar e quantizar sons ambientes para fornecer uma análise sólida do nível de silêncio.
- Fornecer saídas que notifiquem, por meio de interfaces visuais e sonoras, quando a amplitude dos sons ultrapassarem limites pré-determinados.
- Proporcionar um equipamento versátil para se utilizar nos mais diversos ambientes.
- Respostas em tempo real, fornecendo uma baixa latência por meio de implementações de interrupção, temporização, DMA e outros periféricos que diminuem a carga no microcontrolador.
- Ser capaz de fornecer compartilhamento de relatórios periódicos através de interface serial de simples implementação.

Funcionalidades do Sistema:

- **Captação e conversão dos Sons do Ambiente:**

O sistema utiliza o microfone MAX4466EXK integrado à placa BitDogLab, conectado ao pino GPIO 28 do RP2040, para captar sinais sonoros analógicos do ambiente de forma contínua. Por sua vez, esses sinais são convertidos através do periférico ADC, com uma resolução de 12 bits, a uma taxa de amostragem de 23,81 kHz, sendo mais que suficiente para captar áudio de voz humana e deixando uma margem

confortável de redução, caso seja preciso diminuir os custos de processamento.

- **Transferência de Dados via DMA:**

Os dados quantizados são transferidos de forma contínua e direta a um buffer de 79 posições por meio do Direct Memory Access (DMA), este pós-processamento ocorre a uma frequência de aproximadamente 301Hz, permitindo uma alta velocidade que contribui para que o sistema funcione próximo do tempo real.

- **Processamento e Classificação dos Dados:**

No momento em que o buffer é totalmente preenchido, os dados são processados a fim de identificar e classificar os níveis de amplitude. O maior pico identificado no buffer servirá como a amplitude de referência para a saída visual na Matriz WS2812, enquanto que o restante dos dados servirá para o fornecimento de relatórios periódicos que traduzem como está o silêncio do ambiente.

- **Exibição na Matriz 5x5:**

No momento em que o buffer é totalmente preenchido, ativa-se uma interrupção onde é chamada a rotina de exibição visual na Matriz WS2812. Através do uso do periférico PIO, os dados são enviados aos LEDs endereçáveis de modo que cada coluna seja ligada se baseando no peso determinado pela maior amplitude do buffer. Assim, tanto a quantidade de LEDs que serão acesos quanto a cor deles vai depender do valor quantizado, garantindo uma impressão mais fluida e fidedigna ao som real.

- **Alerta Visual:**

Em situações onde o limite máximo pré-determinado de amplitude é continuamente atingido, o sistema se utiliza do periférico I2C (Inter-Integrated Circuit), operando a uma taxa de 400 kbauds, para comunicar ao Display Oled 128x64 um conjunto de alterações em seus pixels, de modo que seja exibida uma mensagem, com borda piscante, solicitando silêncio.

- **Alerta Sonoro:**

O alerta sonoro complementa o alerta visual, sendo acionado

simultaneamente para reforçar a solicitação de silêncio. Ele utiliza dois buzzers passivos, configurados via PWM (Pulse Width Modulation) para emitir um tom de 2 kHz com duração de 500 ms, gerando um aviso audível que chama a atenção para a necessidade de redução de ruído no ambiente.

- **Envio de Relatório por Comunicação Serial:**

De forma periódica, caso determinadas condições sejam cumpridas, o sistema busca realizar o envio de um relatório do estado de silêncio naquela faixa de tempo (por padrão, 3 segundos), através da comunicação serial UART. Assim, basta estar conectado a um computador através do cabo USB e ativar o monitor serial a uma taxa de 115200 bauds.

- **Manipulação de estado por meio de Push-Buttons:**

O projeto dispõe de 3 Push-Buttons que permitem a alteração do estado do sistema. Sendo eles: Botão A, Botão B e o Botão do Joystick. Ao pressionar o botão A, é possível ativar ou desativar a captação de áudio, assim cancelando os alertas, as exibições na matriz e enviando relatórios com valores zerados. Ao pressionar o botão B, torna ativo ou inativo os avisos sonoros, manipulando o slice de PWM associado aos Buzzers. Por fim, ao pressionar o botão do Joystick, é possível ativar ou desativar o envio de relatório por comunicação UART.

Mapeamento das GPIOs (*General Purpose Input/Output*):

O RP2040 oferece 30 pinos GPIO configuráveis, dos quais 9 foram alocados para este projeto. Cada pino foi configurado para suportar entradas digitais, saídas PWM, comunicação I2C, ou interfaces específicas como PIO e ADC, otimizando o uso dos recursos disponíveis.

1. GPIO 5 (BUTTON_A_PIN):

- **Função:** Entrada digital para o Botão A.
- **Descrição:** Configurado como entrada com pull-up interno, detecta pressionamentos para alternar o estado do DMA (ativação/desativação)

da captação de som). Usa interrupções na borda de descida para resposta imediata.

- **Uso:** Controle manual do sistema.

2. GPIO 6 (BUTTON_B_PIN)

- **Função:** Entrada digital para o Botão B.
- **Descrição:** Configurado como entrada com pull-up interno, permite ativar ou desativar os alertas sonoros dos buzzers via manipulação do estado PWM. Acionado por interrupção na borda de descida.
- **Uso:** Habilitação/desabilitação dos buzzers.

3. GPIO 7 (MATRIZ_LEDS_PIN)

- **Função:** Saída PIO para a matriz de LEDs WS2812B.
- **Descrição:** Utiliza o periférico PIO (Programmable I/O) para enviar dados seriais no protocolo WS2812B, controlando 25 LEDs endereçáveis organizados em uma matriz 5x5. Exibe os níveis de amplitude sonora através de cores.
- **Uso:** Interface visual primária.

4. GPIO 10 (BUZZER_B_PIN)

- **Função:** Saída PWM para o Buzzer B.
- **Descrição:** Configurado como PWM (canal B do slice 5), opera a 2 kHz com 50% de duty cycle para gerar um tom audível durante alertas. Acionado por `noise_alert()` quando 20 picos máximos são detectados.
- **Uso:** Alerta sonoro secundário.

5. GPIO 14 (I2C_SDA_PIN)

- **Função:** Linha de dados I2C (SDA) para o display OLED.
- **Descrição:** Configurado como I2C1 SDA, opera a 400 kHz para comunicação bidirecional com o display SSD1306, enviando comandos e dados para exibir mensagens como "MONITORANDO SONS" ou "SILÊNCIO". Usa pull-up externo.
- **Uso:** Interface de exibição secundária.

6. GPIO 15 (I2C_SCL_PIN)

- **Função:** Linha de clock I2C (SCL) para o display OLED.
- **Descrição:** Configurado como I2C1 SCL, fornece o clock de 400 kHz para sincronizar a comunicação com o OLED SSD1306. Usa pull-up externo para operação estável.
- **Uso:** Interface de exibição secundária.

7. GPIO 21 (BUZZER_A_PIN)

- **Função:** Saída PWM para o Buzzer A.
- **Descrição:** Configurado como PWM (canal A do slice 5), opera a 2 kHz com 50% de duty cycle, emitindo tons de alerta em conjunto com o Buzzer B quando acionado por noise_alert.
- **Uso:** Alerta sonoro primário.

8. GPIO 22 (BUTTON_JOY_PIN)

- **Função:** Entrada digital para o Botão do Joystick.
- **Descrição:** Configurado como entrada com pull-up interno, alterna o envio de relatórios via UART (ativa/desativa comunicação serial). Acionado por interrupção na borda de descida.
- **Uso:** Controle da interface UART.

9. GPIO 28 (MICROPHONE_PIN)

- **Função:** Entrada analógica para o microfone (ADC2).
- **Descrição:** Conectado ao microfone da BitDogLab, configurado como entrada analógica para o canal 2 do ADC, opera a 23,81 kHz para capturar sons ambientais, com valores digitais transferidos via DMA.
- **Uso:** Captação de áudio.

Fluxograma do Software:

<https://drive.google.com/file/d/1IQR0bywCq8bEkkaEeXdWTXcSPRskCLh1/view?usp=sharing>

Aplicabilidade:

O monitor de silêncio proposto, destaca-se por seu baixo custo, eficiência energética e portabilidade, sendo uma alternativa acessível a monitores comerciais caros, como o *Sound Level Meter* da Extech [1] e o *Quietyme* [2]. Utilizando componentes de hardware econômicos e otimizando recursos por meio de DMA e interrupções, o sistema reduz significativamente o consumo energético, permitindo operação contínua sem sobrecarregar o microcontrolador. Além disso, sua arquitetura compacta e de baixo consumo possibilita o funcionamento via USB ou baterias recarregáveis, tornando-o ideal para uso móvel e em espaços temporários sem necessidade de infraestrutura complexa.

Diferente de dispositivos tradicionais que apenas medem e registram o ruído, este sistema age ativamente na regulação do ambiente, emitindo alertas visuais e sonoros sempre que os níveis de amplitude ultrapassam os limites predefinidos. A matriz de LEDs e o display OLED fornecem um indicativo visual imediato, enquanto os buzzers reforçam o alerta de maneira eficiente. Além disso, a comunicação serial permite a geração de relatórios periódicos, o que facilita o acompanhamento das condições de ruído ao longo do tempo sem depender de redes externas ou servidores centralizados.

A principal vantagem deste sistema está em sua autonomia e simplicidade de implementação, eliminando a necessidade de calibração complexa ou integração com redes Wi-Fi. Sua estrutura permite que seja instalado e utilizado rapidamente em bibliotecas, hospitais, salas de estudo e outros espaços sensíveis ao ruído, garantindo uma solução prática e eficiente para controle acústico. Com um design acessível e funcional, este projeto representa uma alternativa inovadora para monitoramento de silêncio, combinando tecnologia embarcada, resposta em tempo real e usabilidade simplificada.

Referências:

- [1] Extech Instruments Corporation. (n.d.). *Sound Level Meters*. Disponível em: <https://www.extech.com>
- [2] Quietyme, Inc. (n.d.). *Hospital Noise Monitoring Solutions*. Disponível em: <https://www.quietyme.com>
- [3] Kracht, J. M., Busch-Vishniac, I. J., & West, J. E. (2007). *Noise in the Operating Rooms of Johns Hopkins Hospital*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(5), 2673-2680.
- [4] American Library Association. (2019). *Library Noise and Space Management: Challenges and Solutions*.
<https://github.com/BitDogLab/BitDogLab/tree/main>