



IFPB - Campus Campina Grande

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Mesa Labirinto Controlada por Joystick

**Projeto da disciplina Sistemas Embarcados,
ministrada pelo Professor Alexandre Sales.
Semestre 2025.1**

Equipe:

Eduardo Henrique Lima de Moraes

Emilieny de Souza Silva

Victor José Cordeiro de Medeiros

Campina Grande, 15 de dezembro de 2025

Sumário

1. Introdução e Objetivo Geral.....	3
2. Descrição do Sistema e Hardware.....	3
2.1 Lista de componentes de Hardware.....	3
2.2 Diagrama em Blocos do Sistema.....	4
2.3 Esquemático.....	4
3. Estrutura e Funcionamento do Código (FreeRTOS).....	5
3.1 Descrição das Tarefas (Tasks).....	5
3.2 Funcionamento do Sistema.....	6
4. Integração do Gêmeo Digital (Visualização em Grafana).....	6
4.1 Protocolo de Comunicação Serial e Banco de Dados.....	6
4.2 Configuração e Dashboard Grafana.....	7
5. Dificuldades e Soluções Encontradas.....	8
6. Resultados.....	9
6.1 Modo calibração.....	9
6.2 Modo Pitch/Roll.....	9
6.3 Vitória.....	9
6.4 Calibração.....	10
6.5 Jogando.....	10
6.6 Vitória.....	10

1. Introdução e Objetivo Geral

Este projeto final tem como objetivo desenvolver um sistema embarcado interativo, utilizando o microcontrolador ESP32-WROOM-32, para controlar uma mesa com labirinto nos eixos X e Y através de dois servomotores. A interface de controle é um joystick analógico. Além do controle físico, o sistema deve capturar a orientação da mesa (inclinação) usando um sensor inercial MPU6050 e criar um gêmeo digital em tempo real, visualizado em um painel Grafana no computador.

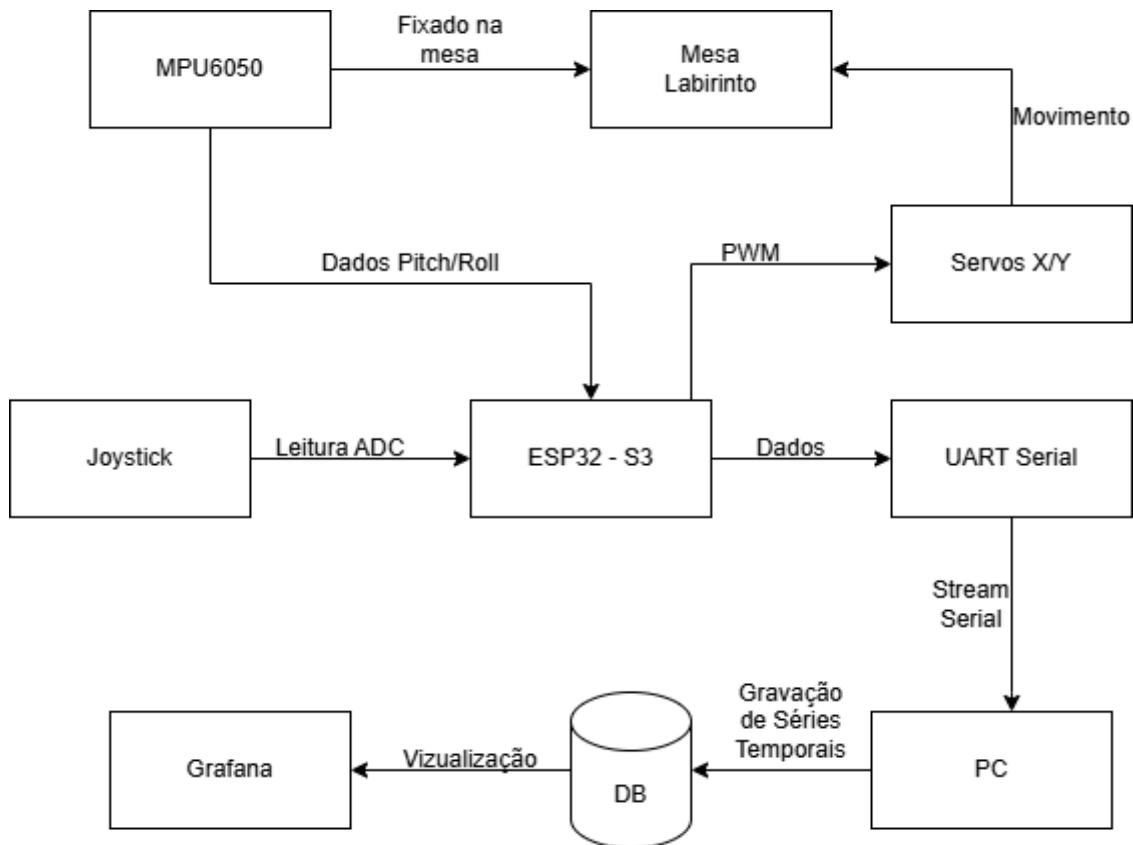
2. Descrição do Sistema e Hardware

O sistema consiste em um ciclo de leitura (joystick e MPU6050), processamento (ESP32) e atuação (servomotores), com comunicação de dados para visualização externa.

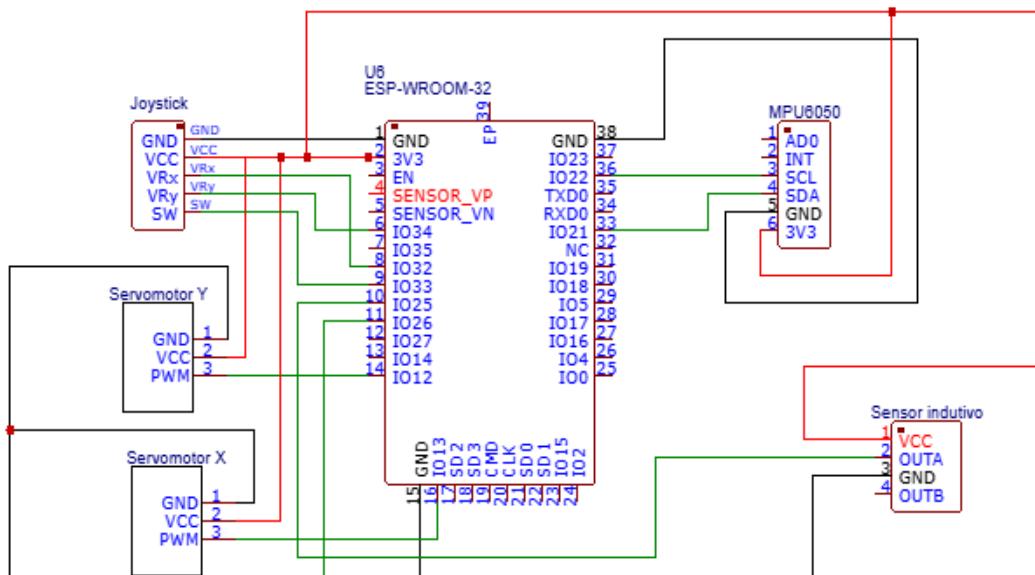
2.1 Lista de componentes de Hardware

Quant.	Componente	Função	Protocolo
1	ESP32-WROOM-32	Microcontrolador principal	-
1	Joystick Analógico	Interface de controle X/Y	ADC
2	Servo motor 90G	Atuação, controle de inclinação	PWM (LEDC)
1	MPU6050	Sensor inercial (Pitch/Roll)	I ² C
1	LED	Indicador de sistema pronto (LED_READY)	GPIO
1	Sensor de Vitória	Detecção de conclusão do labirinto (TOUCH_PIN)	GPIO

2.2 Diagrama em Blocos do Sistema



2.3 Esquemático



3. Estrutura e Funcionamento do Código (FreeRTOS)

O software é baseado no **FreeRTOS** para garantir a execução concorrente e a capacidade de resposta. O sistema utiliza a exclusão mútua (pitch_roll_mutex).

para proteger as variáveis de orientação (pitch_angle, roll_angle) contra acesso simultâneo.

3.1 Descrição das Tarefas (Tasks)

As seguintes tarefas (Tasks) foram criadas, utilizando xTaskCreate, com prioridades definidas para garantir o fluxo de controle adequado (Prioridade 7 sendo a mais alta, e 3 a mais baixa):

Tarefa (Task)	Função Principal	Prioridade	Implementação no Código
Task MPU6050 (task_mpu6050)	Leitura do sensor inercial e cálculo de Pitch e Roll.	7 (Mais Alta)	Lê os registradores do MPU6050 via I ² C e chama compute_pitch_roll_from_accel a cada 50ms.
Task Servo Control (task_servo_control)	Aplicação suave do movimento nos servomotores.	6	A cada 20ms, aplica um filtro de suavização nos ângulos alvo (angleX_target, angleY_target) para evitar movimentos bruscos.
Task Leitura Joystick (task_read_joystick)	Leitura e mapeamento da posição do joystick.	5	A cada 15ms, lê os valores brutos do ADC do joystick e os converte para ângulos alvo (0° a 180°), aplicando os limites definidos na calibração.
Task Touch Sensor (task_touch_sensor)	Detecção de "Vitória".	4	Monitora o estado do pino TOUCH_PIN (assumido como sensor de vitória) e imprime "PARABENS, VOCE GANHOU" quando acionado, desligando o LED de status.

Task Debug/Comunicação (task_debug)	Envio periódico dos dados de orientação.	3 (Mais Baixa)	A cada 500ms, imprime os valores de Pitch e Roll no formato JSON (<code>{"pitch": %.2f, "roll": %.2f}\n</code>), atendendo ao requisito de envio periódico dos dados via serial.
--	--	----------------	---

3.2 Funcionamento do Sistema

1. **Inicialização:** O app_main inicializa o hardware e executa o **Modo de Calibração** (run_calibration_mode). Este modo usa o JOY_BUTTON para definir os limites mecânicos dos servos e o centro do joystick, enviando dados de calibração para o Grafana.
2. **Controle (Lógica de Servos):** A task_read_joystick lê os valores brutos do ADC e os mapeia para ângulos alvo (angleX_target, angleY_target). A task_servo_control aplica um **Filtro de Suavização** sobre esses alvos, eliminando o movimento brusco (*jitter*) e aplicando o sinal PWM (50Hz) aos Servos.
3. **Sensoriamento e Gêmeo Digital:** A task_mpu6050 lê os dados de aceleração e calcula os ângulos Pitch e Roll. A task_debug lê esses valores (protegidos por **Mutex**) e os formata em JSON para envio contínuo via UART.

4. Integração do Gêmeo Digital (Visualização em Grafana)

A comunicação é estabelecida via um pipeline de software robusto, conforme implementado no `serial_to_influx.py`

4.1 Protocolo de Comunicação Serial e Banco de Dados

O ESP32 envia mensagens JSON com diferentes tags, que são processadas de forma distinta pelo script Python, garantindo a organização dos dados no InfluxDB.

Tipo de Mensagem	Baseado na Tag JSON	Measurement (Tabela) no InfluxDB	Conteúdo Registrado
Telemetria	<code>"type":"mpu"</code>	<code>lab_angle</code>	Valores de Pitch e Roll em tempo real.
Eventos	<code>"type":"event"</code>	<code>evento_labirinto</code>	Status do sistema (CALIBRATING, RUNNING, WIN).
Calibração	<code>"type":"calib"</code>	<code>calibracao_joystick</code>	Limites brutos do joystick definidos pelo usuário.

4.2 Configuração e Dashboard Grafana

O **Grafana** está configurado para interrogar o InfluxDB em tempo real, fornecendo a visualização do Gêmeo Digital. O dashboard obrigatório deve conter:

- **Gráficos em Tempo Real:** Visualização da série temporal de Pitch e Roll (dados da `lab_angle`).
- **Representação Visual:** Um Gauge ou painel que replique a orientação da mesa.
- **Sincronização:** O critério de sucesso é a demonstração da sincronização imediata entre o movimento físico da mesa (MPU6050) e o modelo virtual no Grafana.

5. Dificuldades e Soluções Encontradas

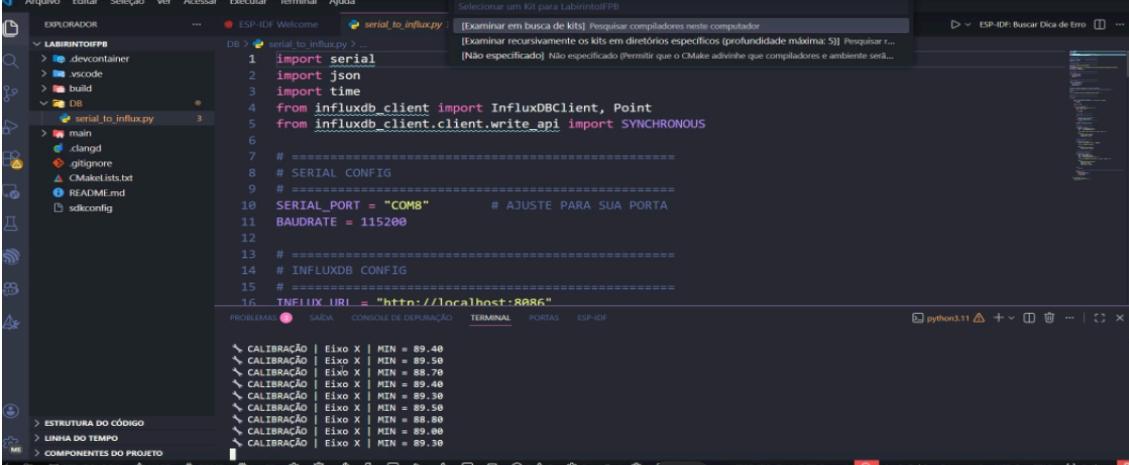
Esta seção detalha os desafios de engenharia e as soluções aplicadas, cruciais para a estabilidade final do sistema.

Dificuldade Encontrada	Solução Implementada
Instabilidade no Movimento (Jitter): O movimento dos servos era abrupto devido à leitura direta e ruidosa do ADC.	Solução: Implementação de um Filtro de Suavização na <code>task_servo_control</code> , tornando o movimento proporcional e suave.
Robustez da Comunicação: Risco de corrupção de dados e JSON incompleto ao enviar via UART.	Solução: O código no ESP32 garante a terminação com <code>\n</code> , e o script Python (<code>serial_to_influx.py</code>) usa <code>ser.readline()</code> e tratamento de exceção (<code>try/except</code>) para descartar pacotes incompletos ou inválidos, mantendo o sistema rodando.
Variação na Leitura do Joystick: O ponto de "centro" e os limites de alcance do joystick variam entre unidades e a montagem mecânica.	Solução: Implementação do Modo de Calibração no <code>app_main</code> e envio dos valores de <code>centerH/V</code> para inicialização.
Leitura Imprecisa do MPU6050: A solução atual calcula Pitch/Roll apenas a partir do acelerômetro, sendo sensível a vibrações.	Solução Futura: Aprimorar a <code>task_mpu6050</code> com um Filtro Complementar ou Filtro de Kalman para integrar o giroscópio e o acelerômetro, alcançando maior estabilidade angular.

6. Resultados

Abaixo estão alguns prints de resultados do projeto:

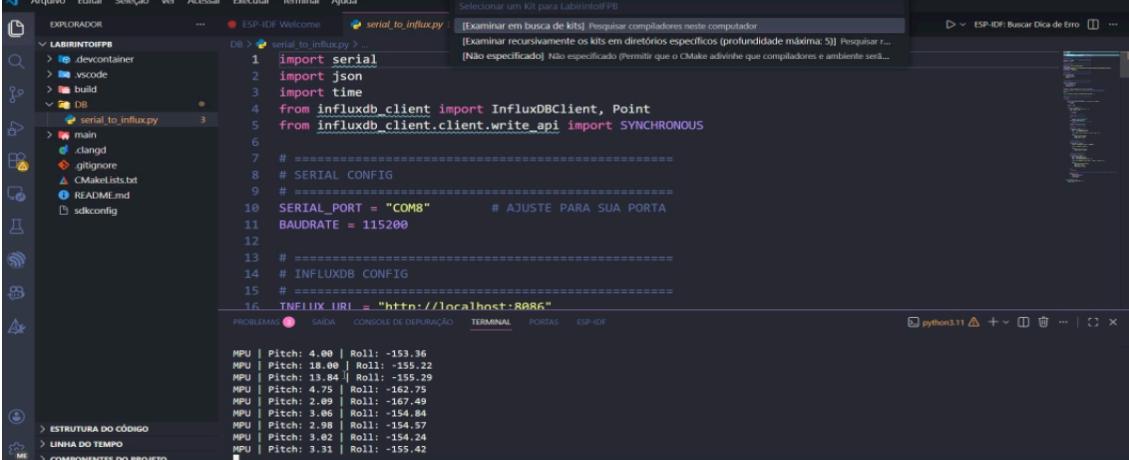
6.1 Modo calibração



The screenshot shows the ESP-IDF IDE interface with the project 'LABRINTOFPB' open. The terminal window displays calibration data for gyroscope axes (Eixo X) with their respective minimum values:

```
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.40
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.56
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 88.76
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.46
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.30
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.56
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 88.80
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.00
CALIBRAÇÃO | Eixo X | MIN = 89.50
```

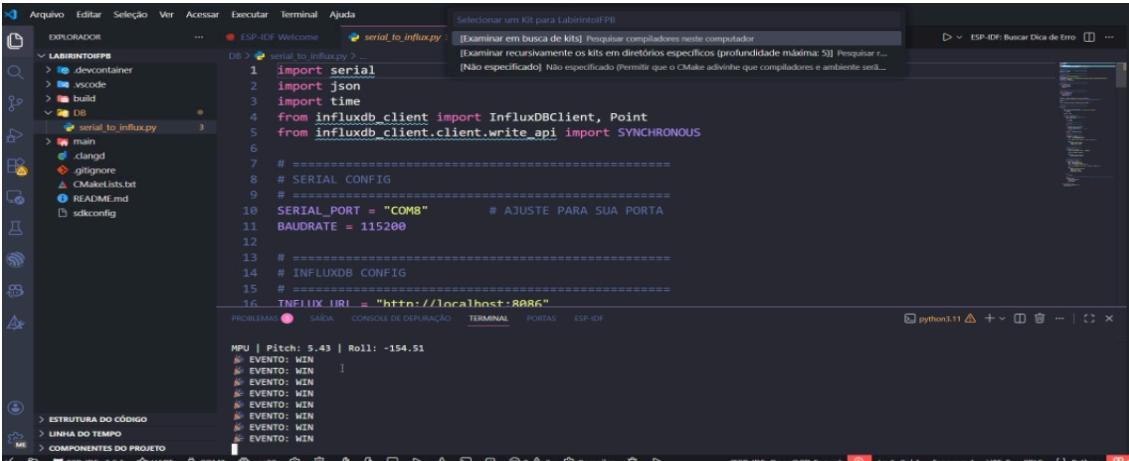
6.2 Modo Pitch/Roll



The screenshot shows the ESP-IDF IDE interface with the project 'LABRINTOFPB' open. The terminal window displays real-time sensor data for the gyroscope (MPU) showing Pitch and Roll values:

```
MPU | Pitch: 4.00 | Roll: -153.36
MPU | Pitch: 18.84 | Roll: -155.22
MPU | Pitch: 13.84 | Roll: -155.29
MPU | Pitch: 2.00 | Roll: -155.49
MPU | Pitch: 2.00 | Roll: -167.49
MPU | Pitch: 3.00 | Roll: -154.84
MPU | Pitch: 2.90 | Roll: -154.57
MPU | Pitch: 3.02 | Roll: -154.24
MPU | Pitch: 3.33 | Roll: -155.42
```

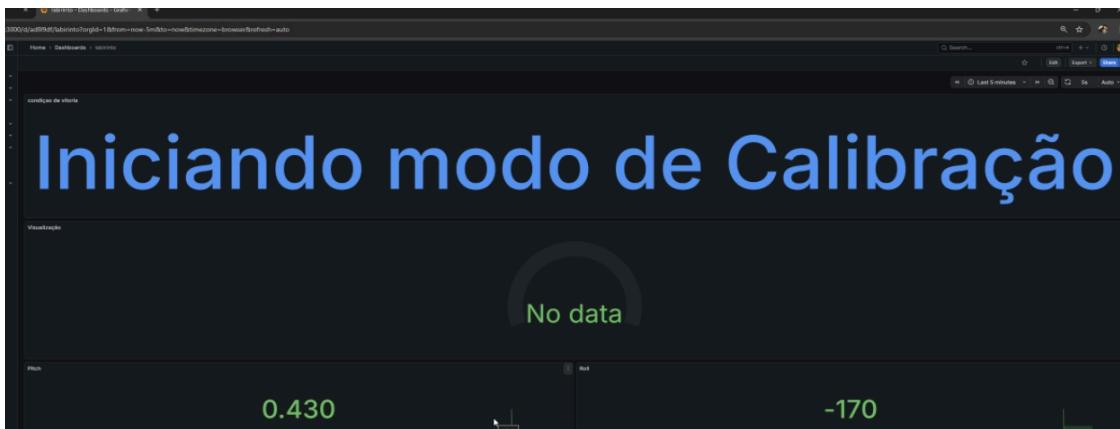
6.3 Vitória



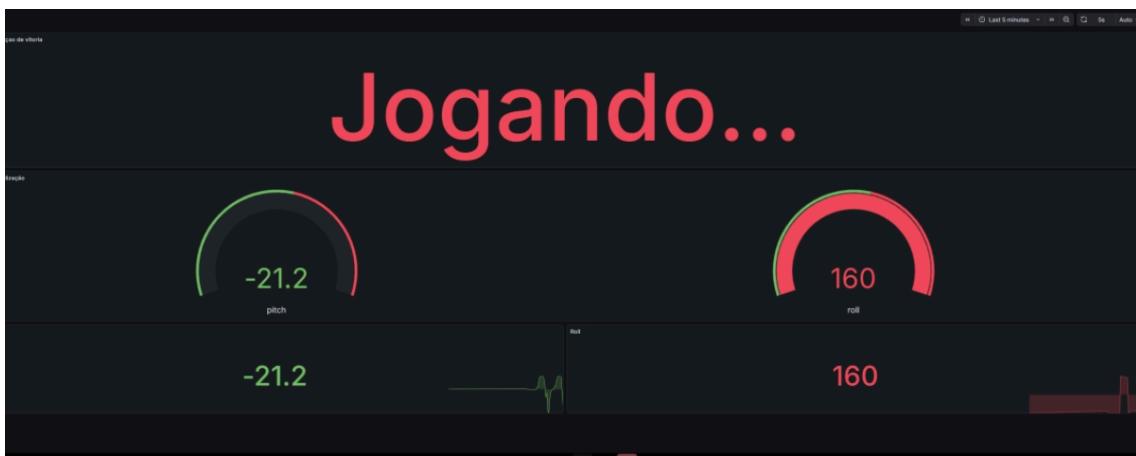
The screenshot shows the ESP-IDF IDE interface with the project 'LABRINTOFPB' open. The terminal window displays final sensor data for the gyroscope (MPU) showing Pitch and Roll values:

```
MPU | Pitch: 5.43 | Roll: -154.51
EVENTO: WIN
```

6.4 Calibração



6.5 Jogando



6.6 Vitória

