

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE HARDWARE ABERTO DE BAIXO CUSTO PARA SISTEMAS DE RASTREAMENTO SOLAR PARA PEQUENAS USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA UTILIZANDO REDE MODBUS TCP/IP

ESTUDANTE: BRUNO GABRIEL FLORES SAMPAIO

ORIENTADOR: FREDERICO MENINE SCHAF

MEMBROS DA BANCA:

- PROFESSOR ANSELMO RAFAEL CUKLA

- PROFESSOR RENAN RODRIGO DUARTE

A wide-angle photograph of a solar farm at night or in low light conditions. The sky is dark, and the solar panels appear as bright, blue-grey rectangles. The panels are mounted on a metal frame and are angled upwards. In the background, more solar panels are visible across a grassy field.

Planejamento

INTRODUÇÃO

- Importância da geração solar
- O que é um Tracker solar
- Mudanças energéticas
- Benefícios do emprego de um Tracker

OBEJTIVOS

- O que esperar do trabalho desenvolvido

DESENVOLVIMENTO

- Materiais utilizados
- Etapas desenvolvidas

DEMONSTRAÇÃO

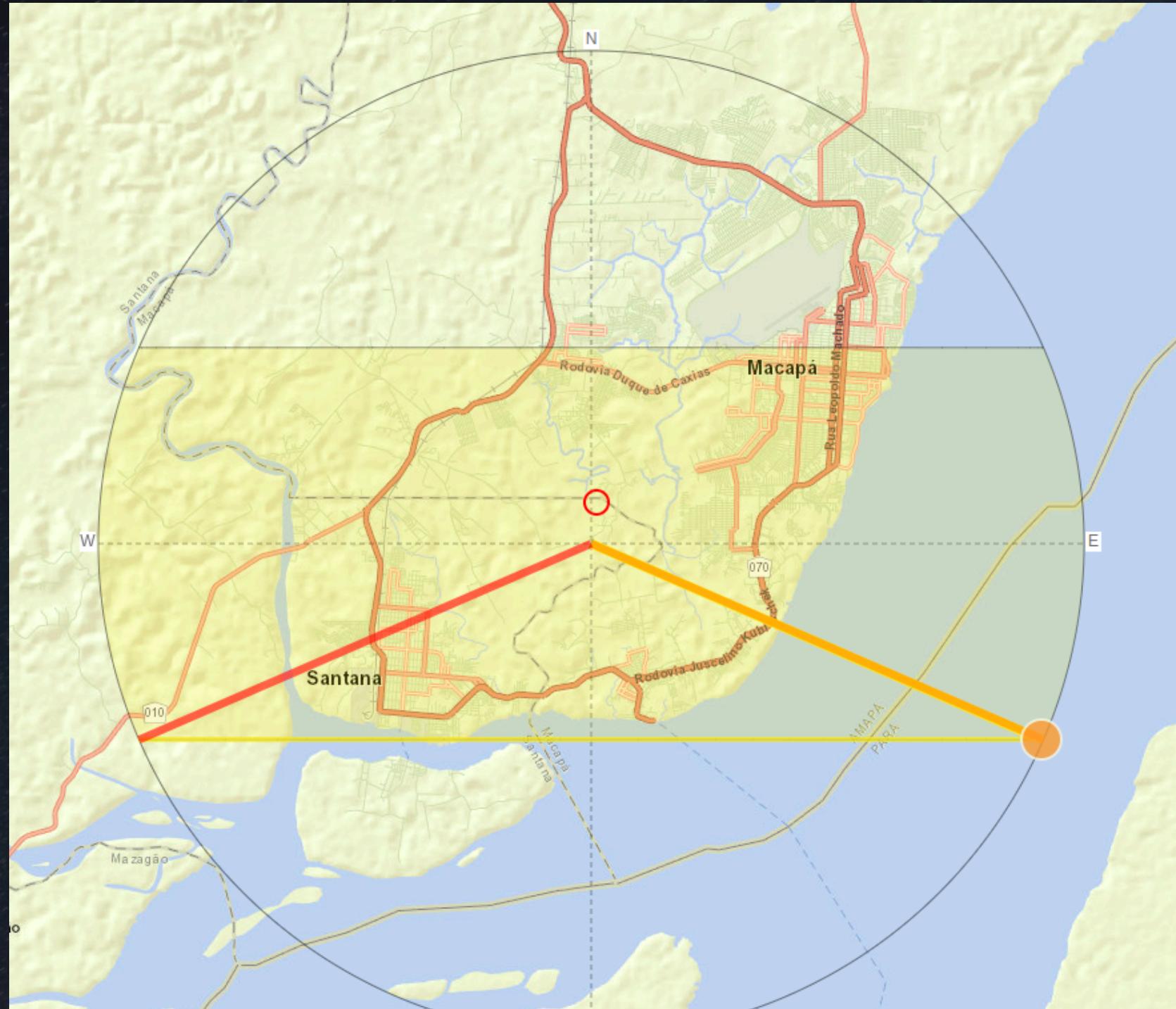
- Demonstração dos resultados

Introdução

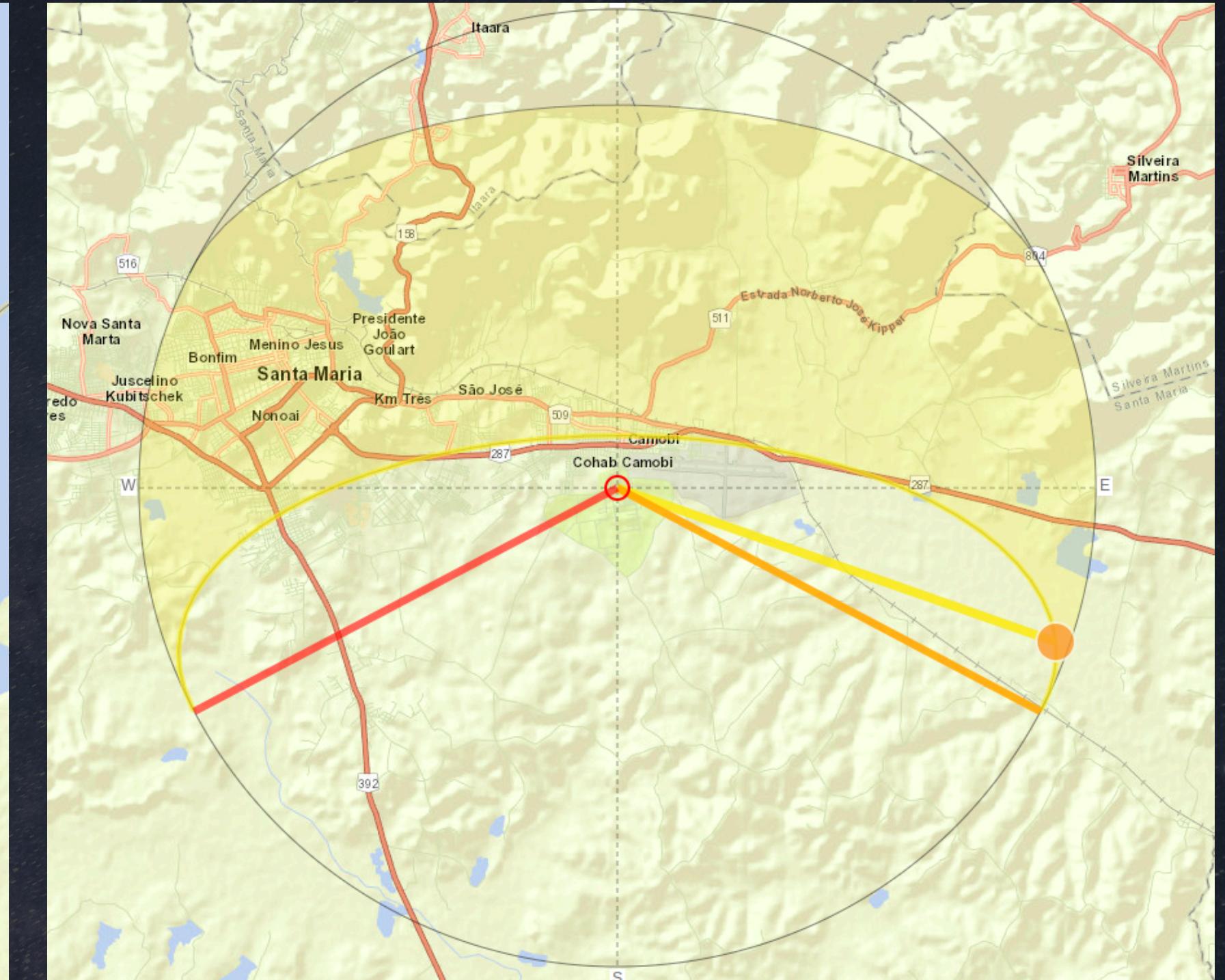
- A baixa incidência de luz solar anual nas regiões subtropicais, como Santa Maria -RS, pode-se tornar um problema para os sistemas de **geração solar tradicionais**;
- Estimas-se que nessas regiões, o uso de **sistemas de rastreamento solar** conseguem ser em média 30% mais eficientes do que os sistemas fixos¹, pois o uso de rastreadores solares conseguem maximizar a eficiência dos sistemas de geração reduzindo as perdas por reflexão dos raios solares.



Comparativo geográfico



Macapa:
Latitude: 0.0°



Santa Maria:
Latitude: -29.71°

O que é um sistema de rastreamento solar?

- Um sistema de rastreamento solar, ou então **Tracker**, como é conhecido popularmente, pode ser compreendido como um sistema que **ajusta dinamicamente** a orientação de painéis solares ao longo de um dia para aumentar a eficiência na captação dos raios solares;
- O objetivo de um **Tracker** é fazer com que os painéis sempre estejam **perpendiculares** aos raios solares, para aumentar a eficiencia deles, reduzindo as perdas por reflexão.
- Todavia, sistemas **Trackers**, em sua maioria, são sistemas de **grande porte** e necessitam de grandes áreas para trabalho.

Soluções

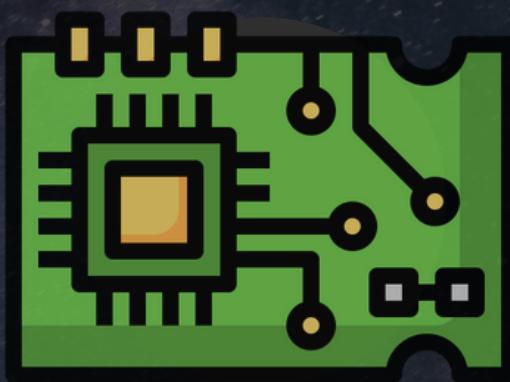
- No entanto, com o aumento da demanda por energias renováveis e o crescimento urbano, os sistemas de rastreamento solar podem assumir papéis importantes nessa transformação energética;
- A criação de um sistema de rastreamento solar mais compacto e voltado para aplicações domésticas pode se tornar uma solução atrativa, como por exemplo, para usos em prédios, onde a área disponível para implementação de painéis é reduzida.

Trabalho desenvolvido

- Neste contexto, o presente trabalho tratará da criação de uma **possível solução** para essa área, com um desenvolvimento de um hardware para ser usado em pequenas sistemas de rastreamento solar (Tracker).
- O trabalho apresentado será focado no **desenvolvimento eletrônico** de um módulo de sistema Tracker, podendo ser empregado em sistemas de um ou dois eixos;
- Além disso, devido a característica contrutiva, ele é pensado em usos **residenciais ou prediais**.

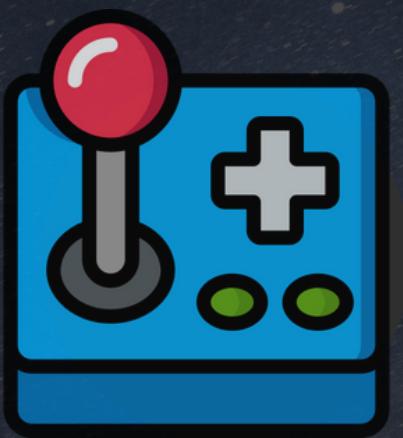


OBJETIVOS ESPECÍFICOS



ELETRÔNICA

Desenvolver um sistema eletrônico, modular, com interfaces coerentes



CONTROLE

Ser capaz de acionar e sensoriar o sistema para efetuar o rastreamento solar



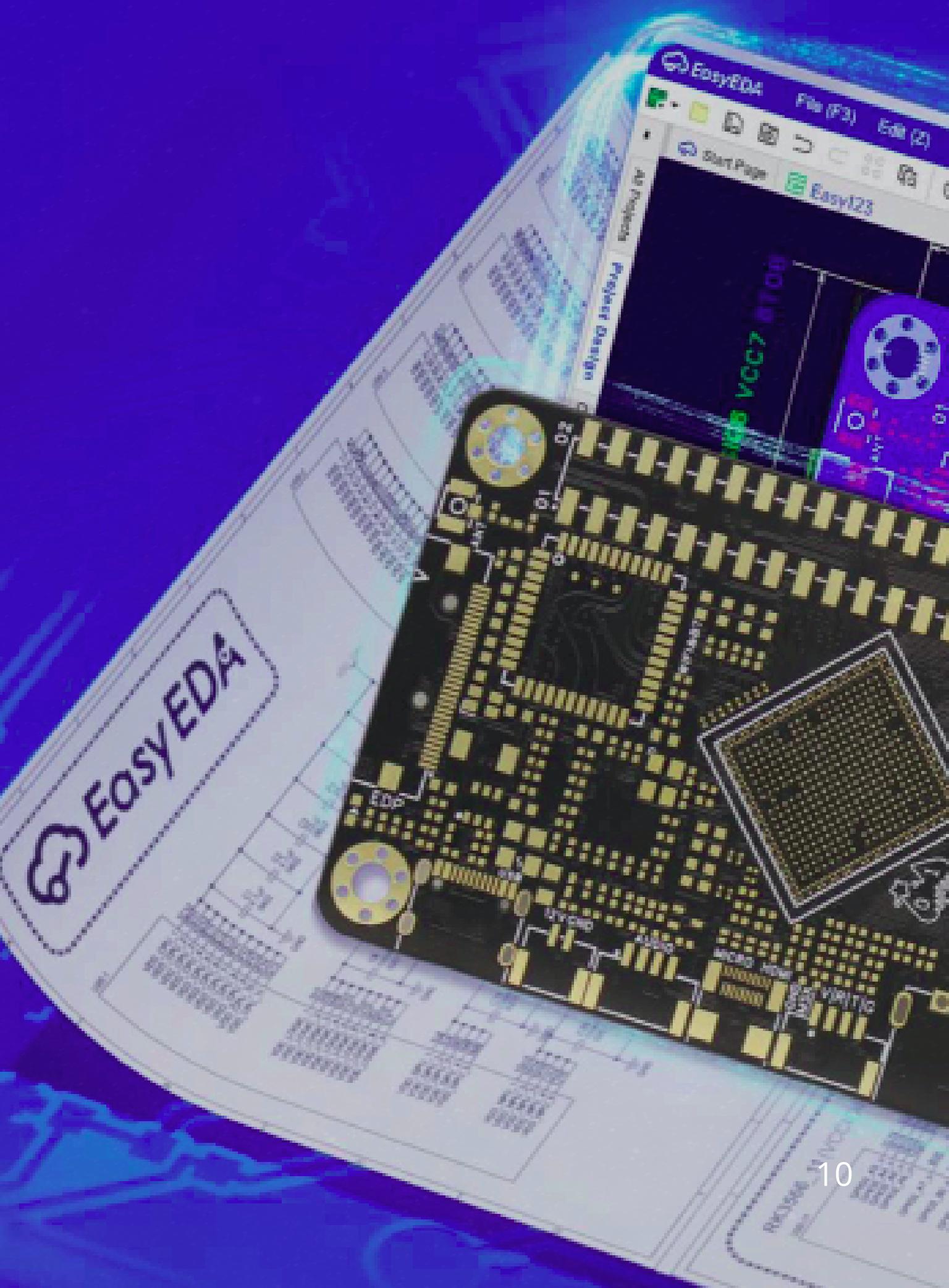
COMUNICAÇÃO

Permitir que o sistema seja capaz de se comunicar com os demais sistemas ao redor

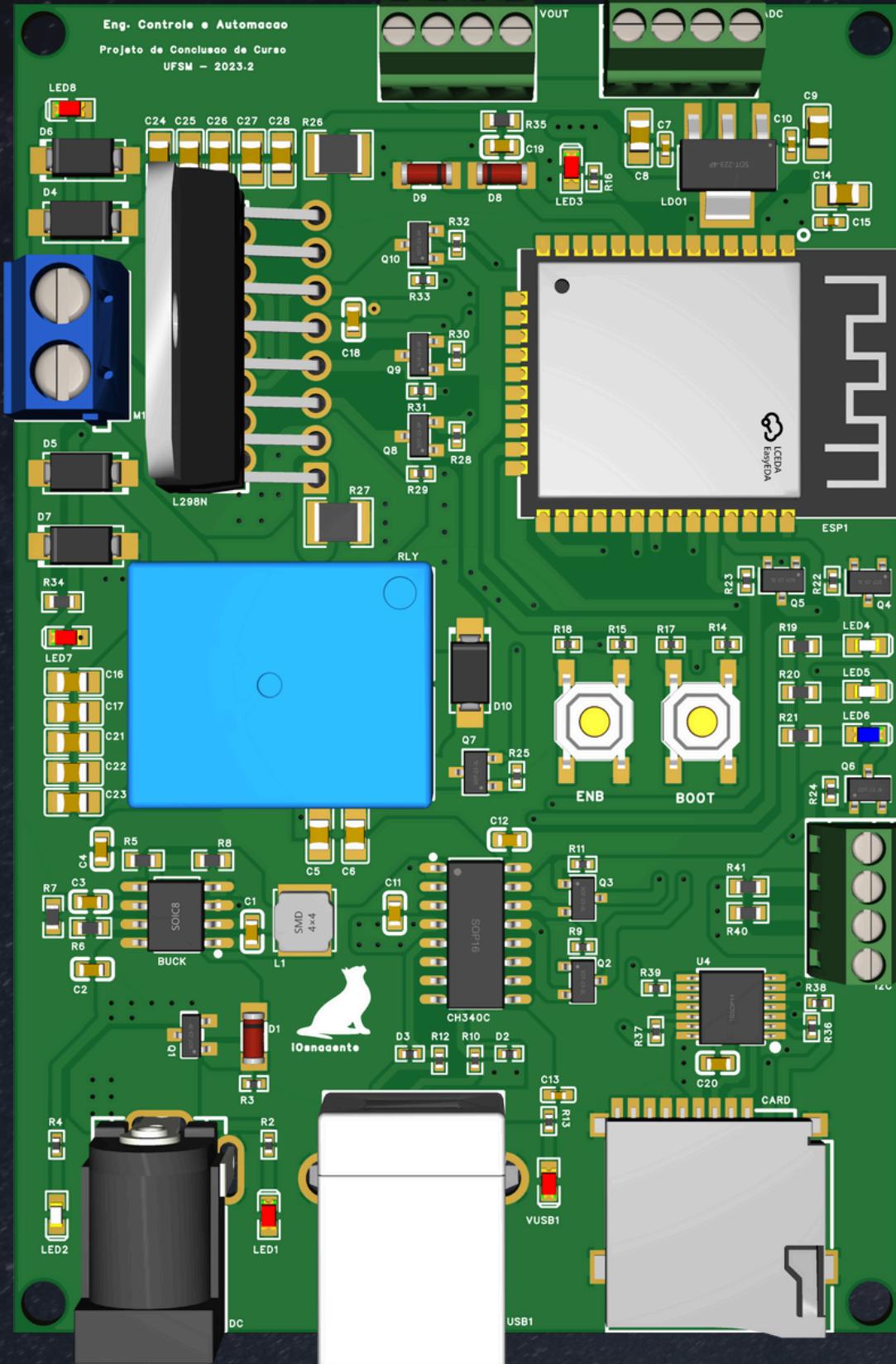
Desenvolvimento Eletrônico

Softwares

- Para o desenvolvimento dos esquemáticos e design de placa de circuito integrado, foi utilizado o software de EDA online chamado EasyEDA¹.
- O Software utilizado foi escolhido devido o seu carater online e de fácil acesso, sendo um software gratuito e disponível via navegador.



¹ Disponível em: <https://easyeda.com/>



Divisão do Hardware

GESTÃO DE ENERGIA

Proteções de entrada;
Requisitos de funcionamento

INTERFACES

Conectores de sensores;
Saída para motor.

MICROCONTROLADOR

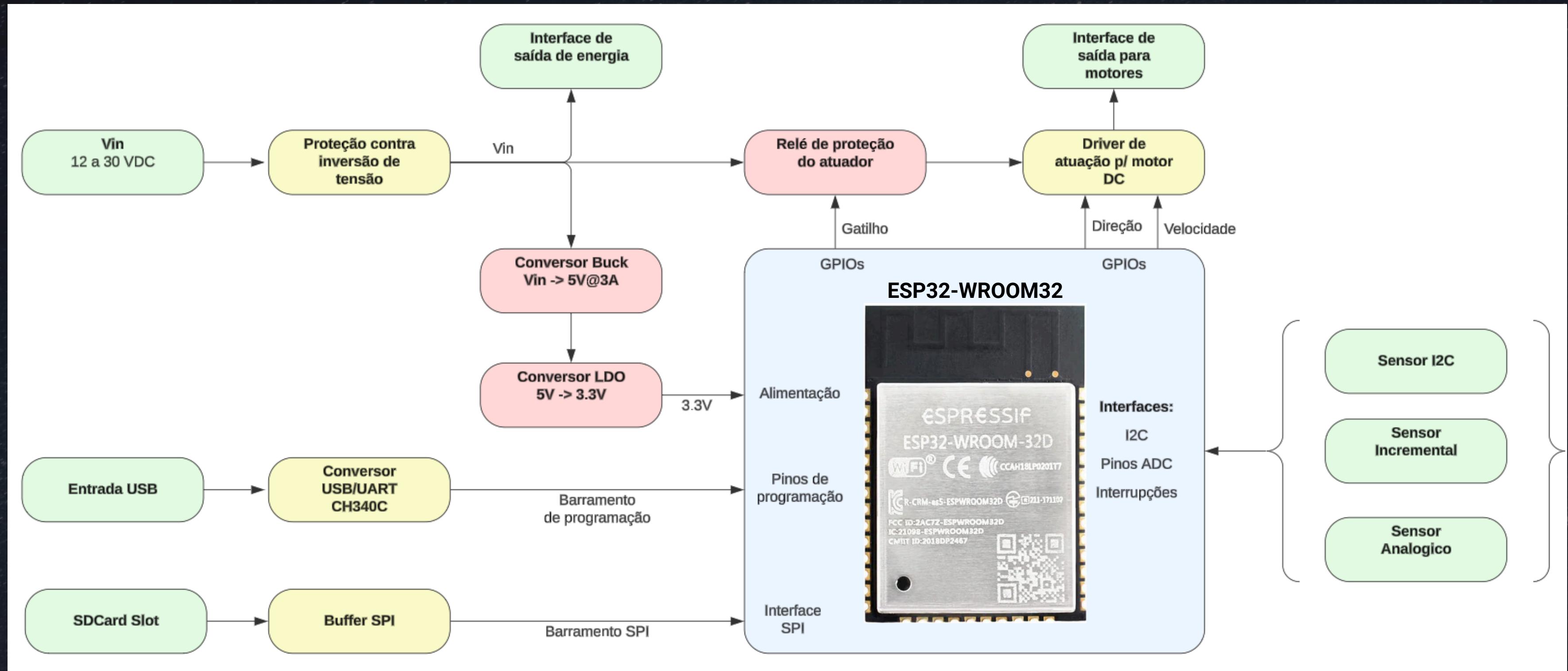
Microcontrolador e suas
dependências

DATA LOGGER

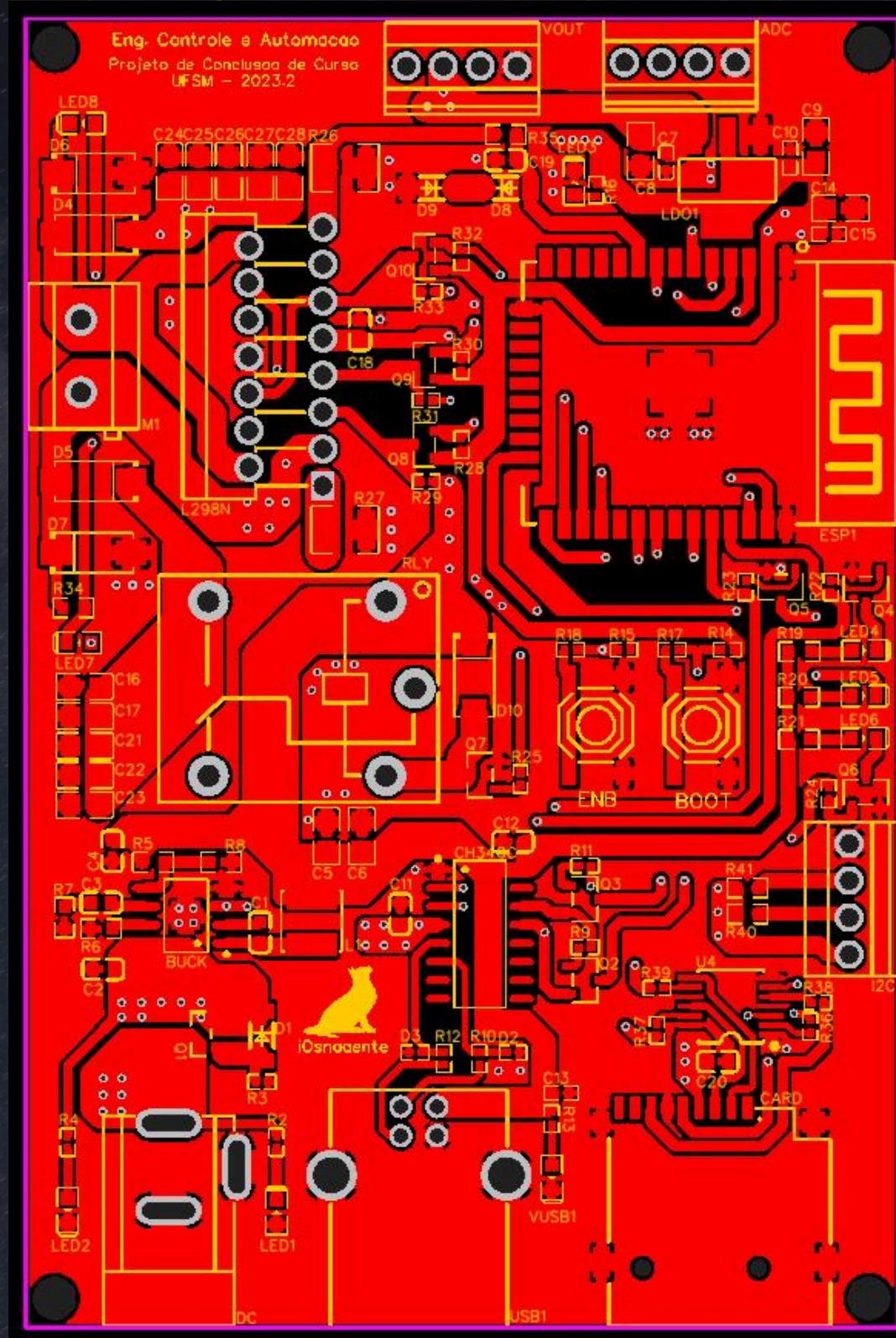
Sistema de armazenamento
de dados via SD Card.

*Esquemáticos em Apêndice

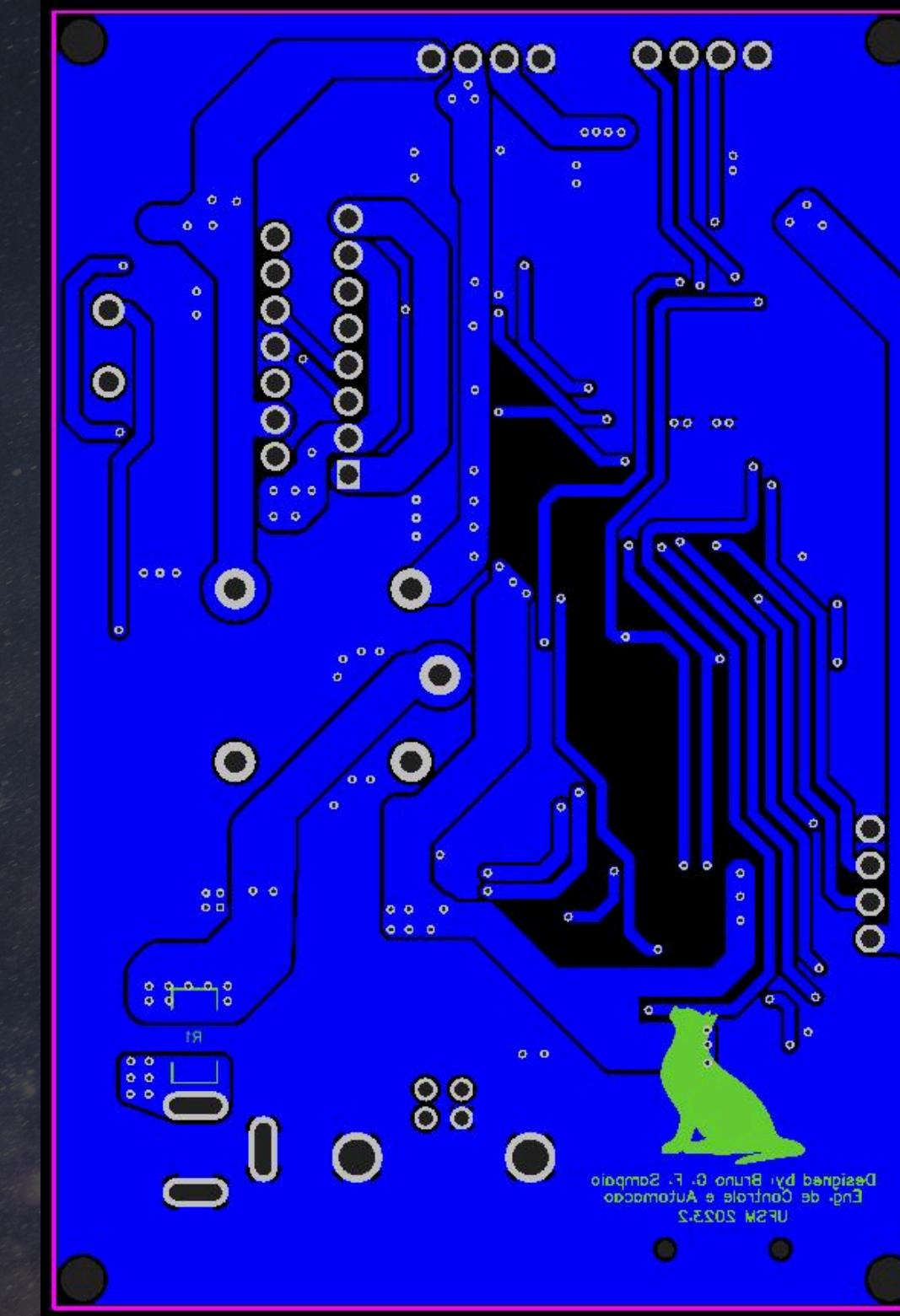
Diagrama de blocos do Hardware



Design de placa

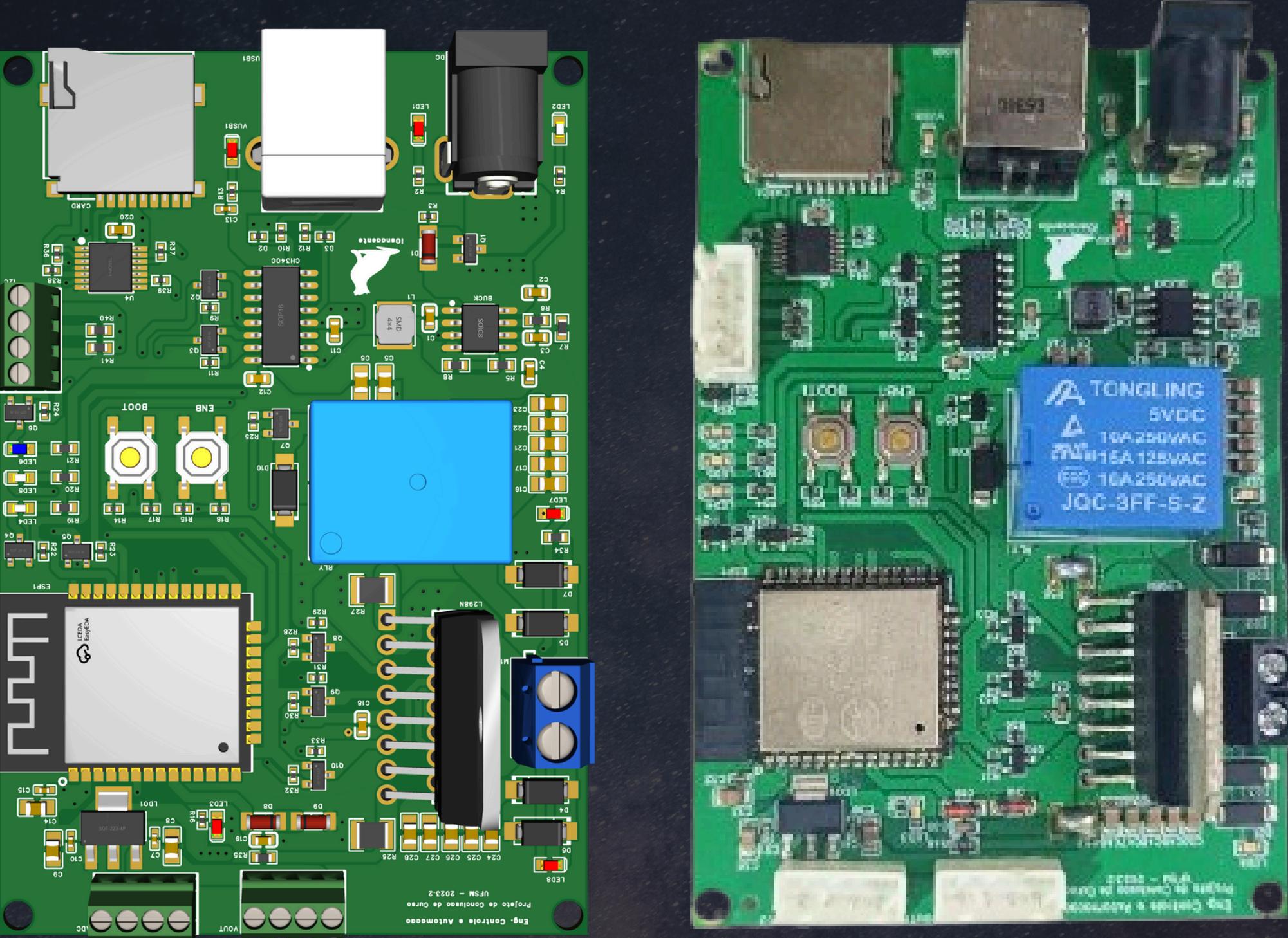


Frente



Costas

Projeto x Realidade



Custo de fabricação (5 unidades)

Placa de circuito
(PCB):
R\$10,76

Montagem +
Componentes
R\$277,00

Microcontrolador e
Ponte-H
R\$125,50

TOTAL:
R\$ 413,26

R\$ 82,65 / Uni

¹ Compra de placas e montagem pela JLCPCB.

² ESP32 - Pisca Led

³ L298N - Multilogica-shop

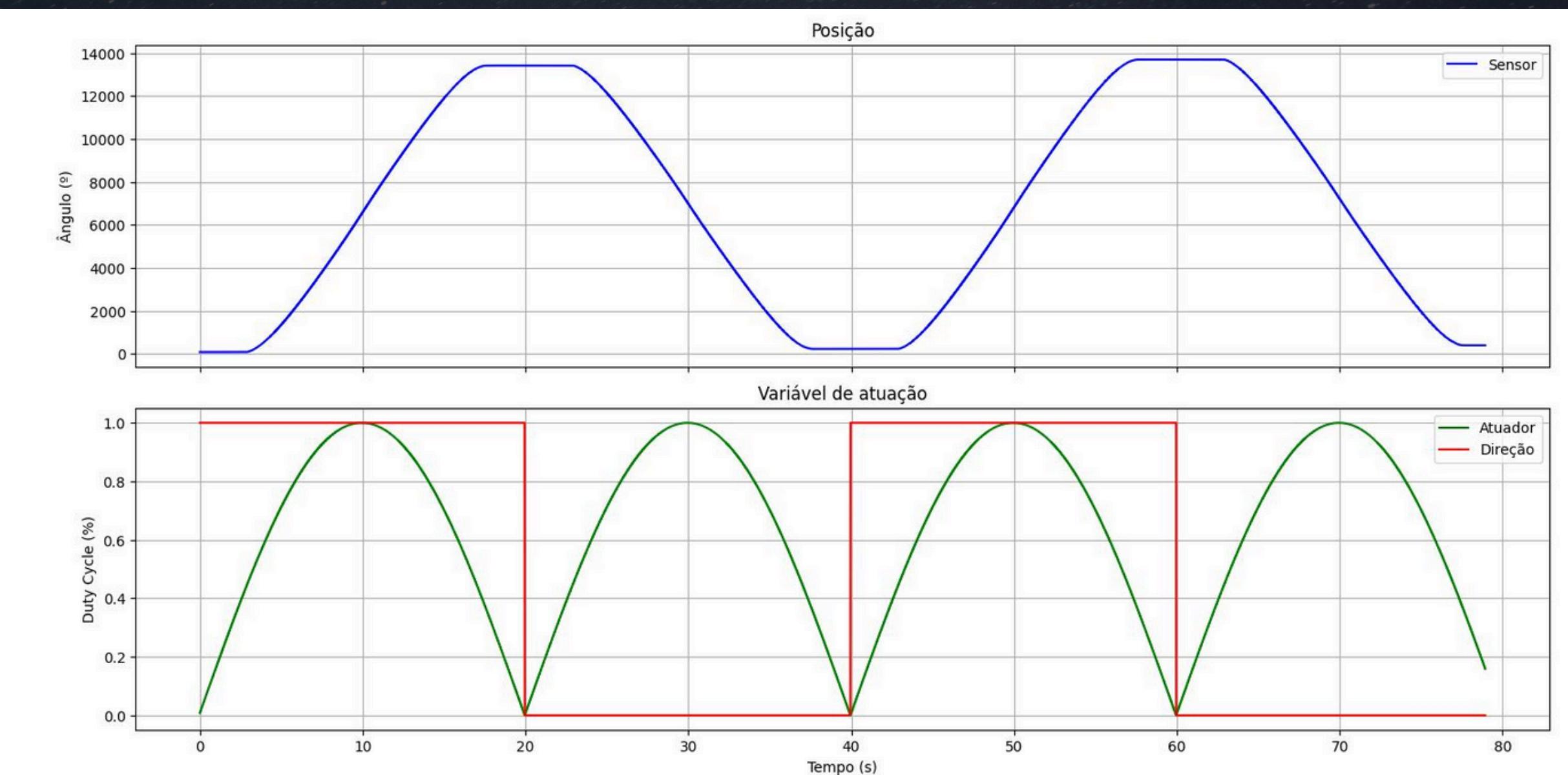
Busca em 15/03/2025

Testes e Sistema de controle

Teste de atuação

Para esse teste, foi utilizado um motor de Corrente Contínua de 100W e colocado a girar aplicando uma variação de Duty-Cycle de 0 a 1.

- O sinal azul:
 - Posição do motor;
- Sinal Verde:
 - Duty-Cycle aplicado;
- Sinal Vermelho:
 - Sentido de rotação.



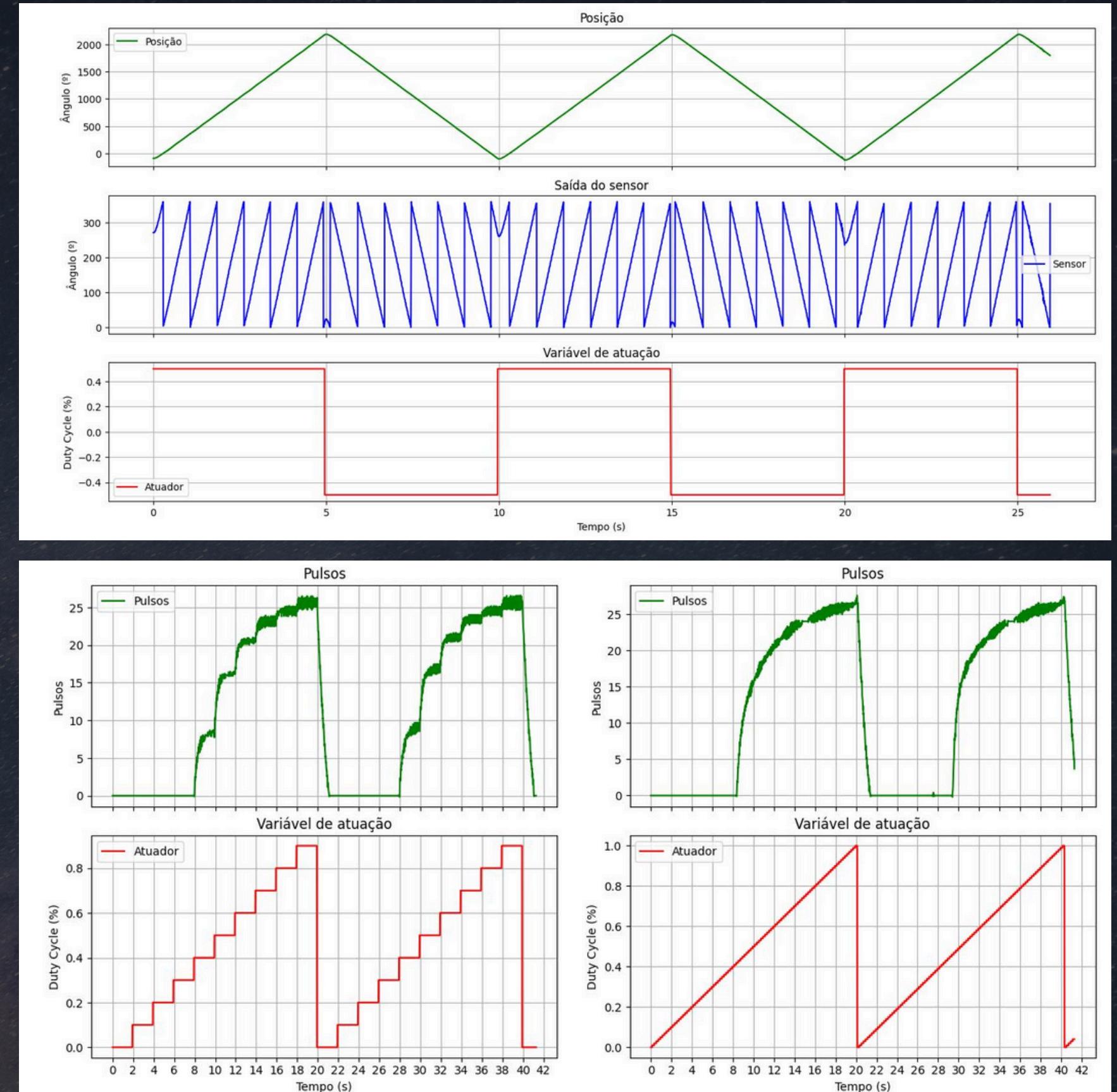
Todos os testes foram conduzidos usando uma fonte 12V

Teste de Sensores

Para os testes de sensores,
foram testados:

1 - Sensor digital I2C;
(AS5600)

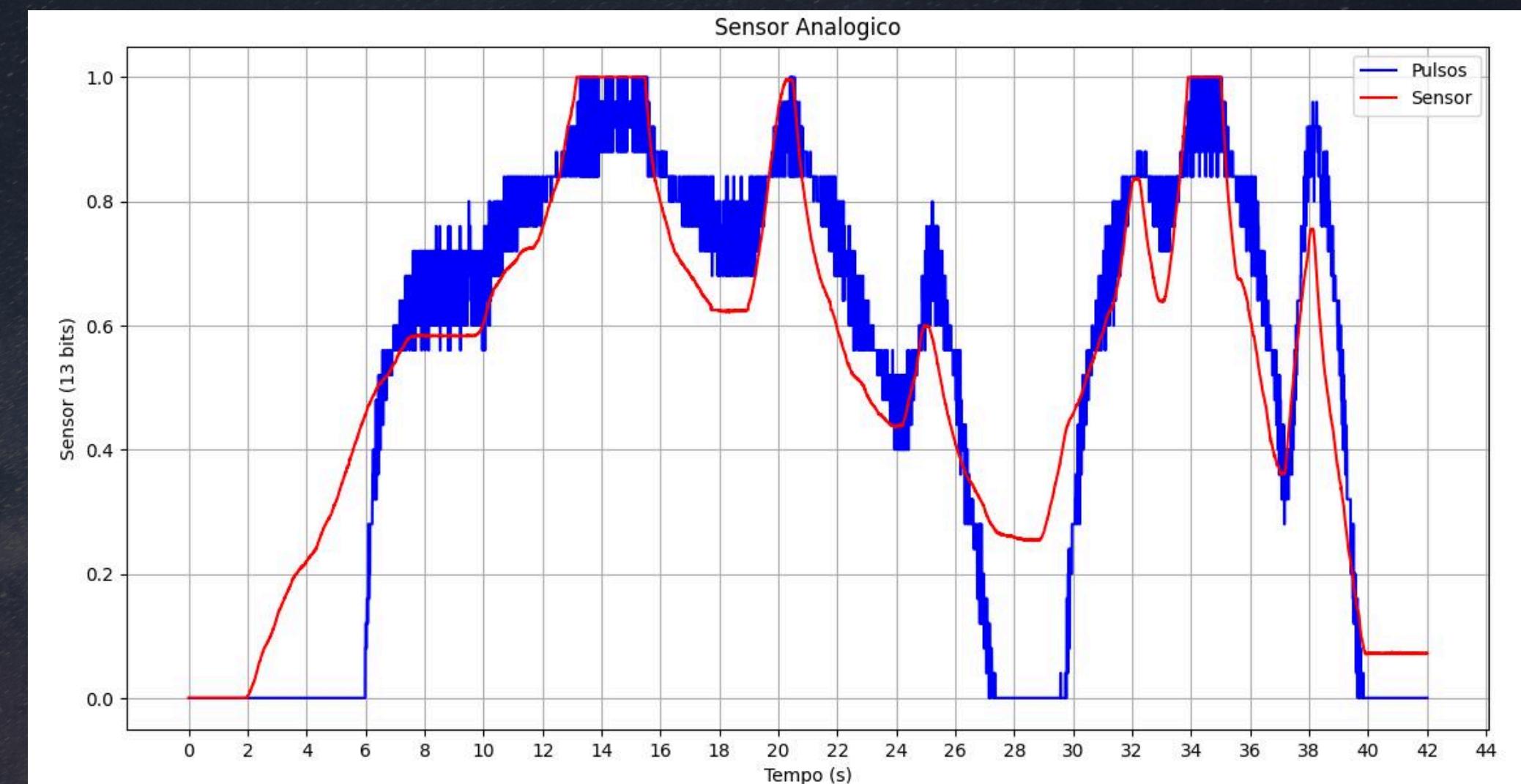
2 - Sensor Incremental;
(Sensor Hall com 120° defesagem)



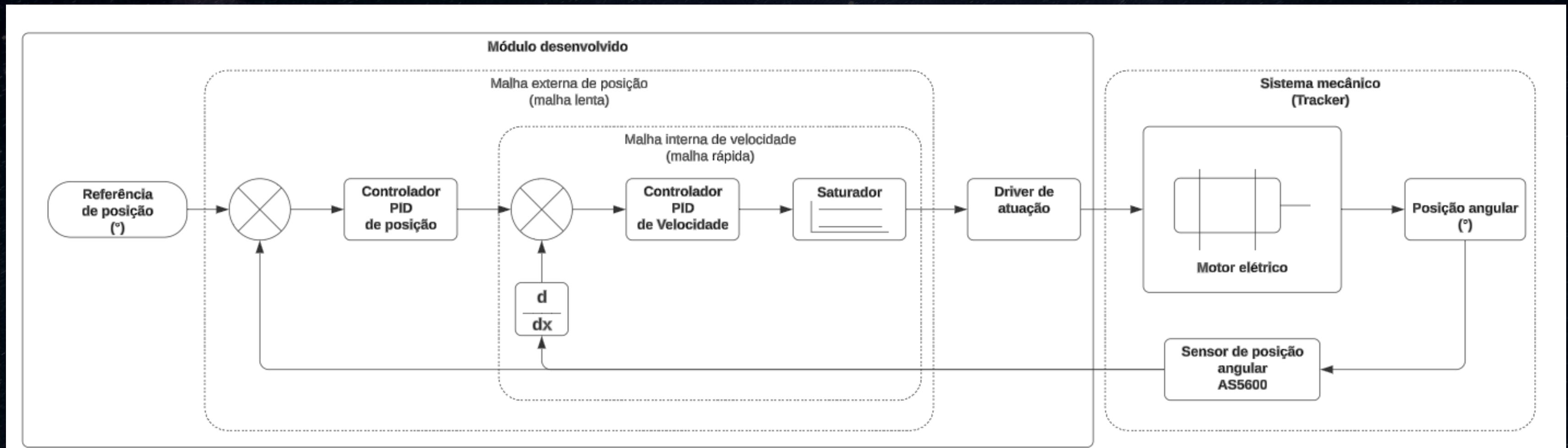
Teste de Sensores

3 - Sensor analógico

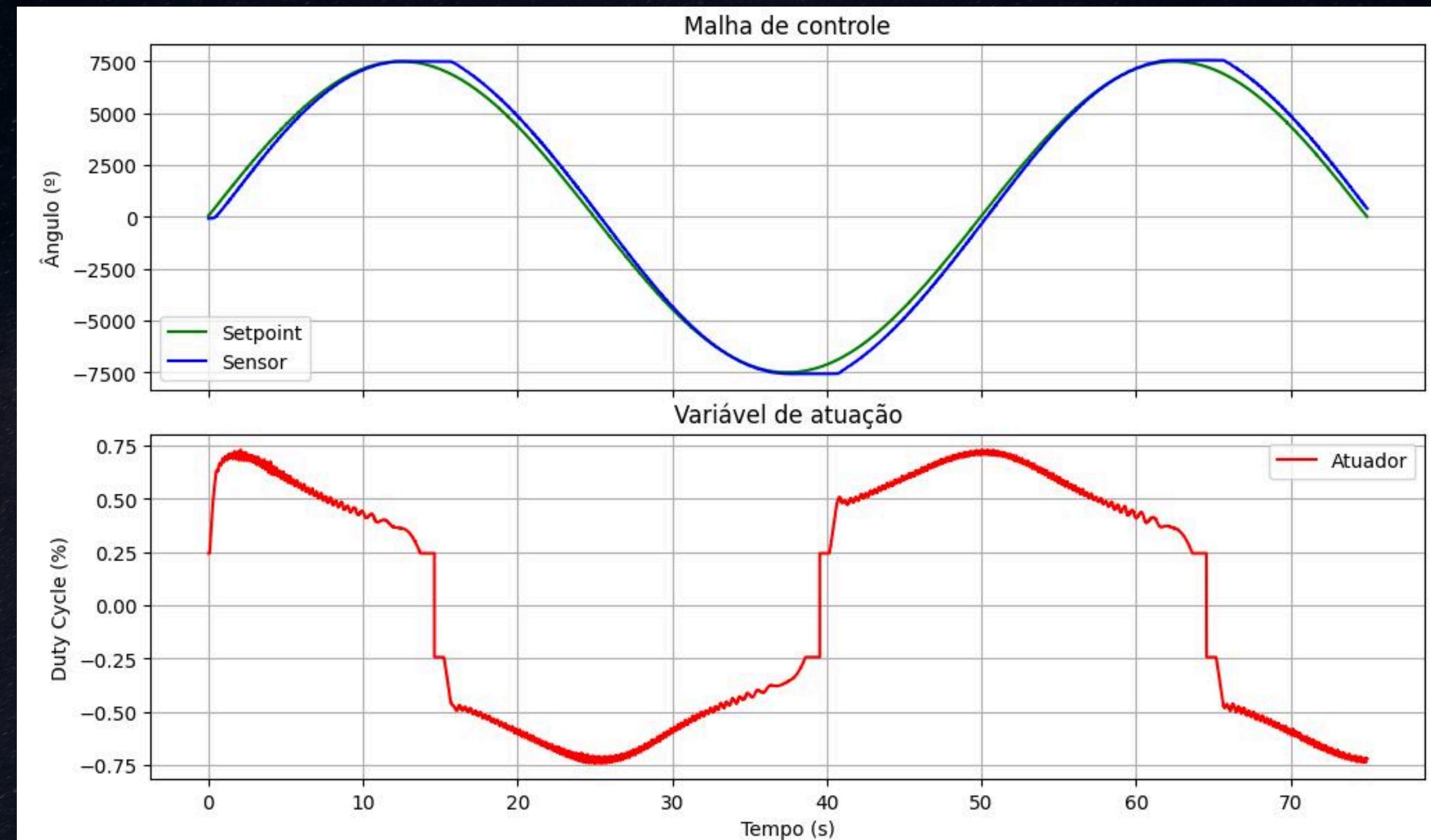
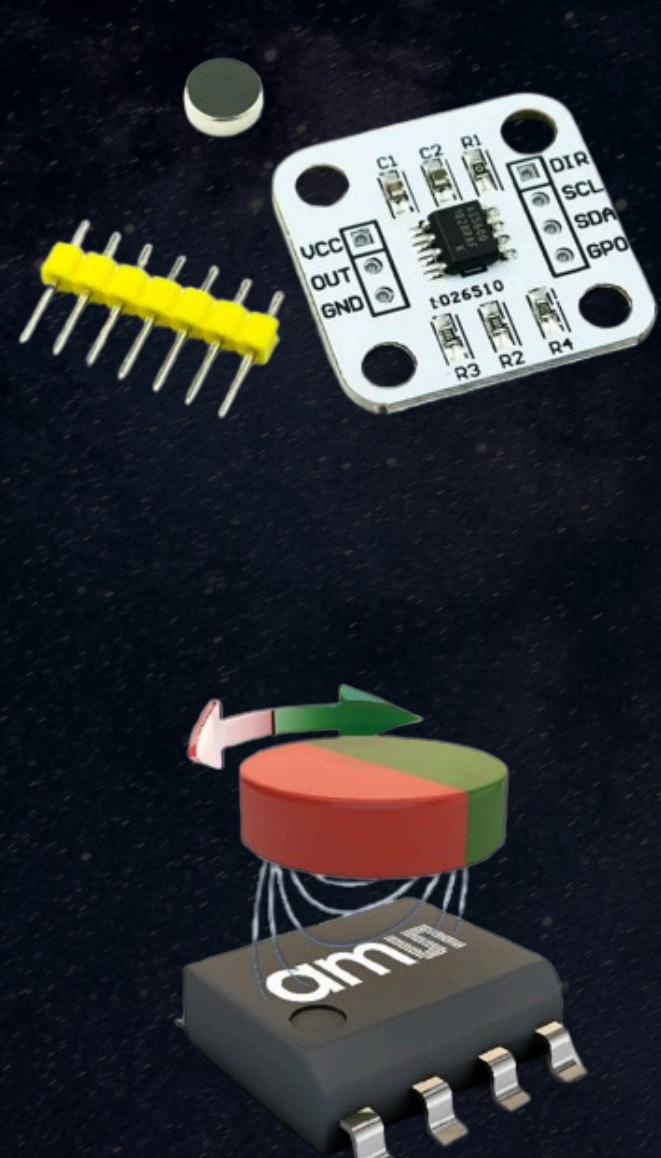
O sensor analógico foi testado juntamente com o sensor incremental. O objetivo dele era pegar as variações de velocidade pela entrada do potenciômetro.



Malha de controle



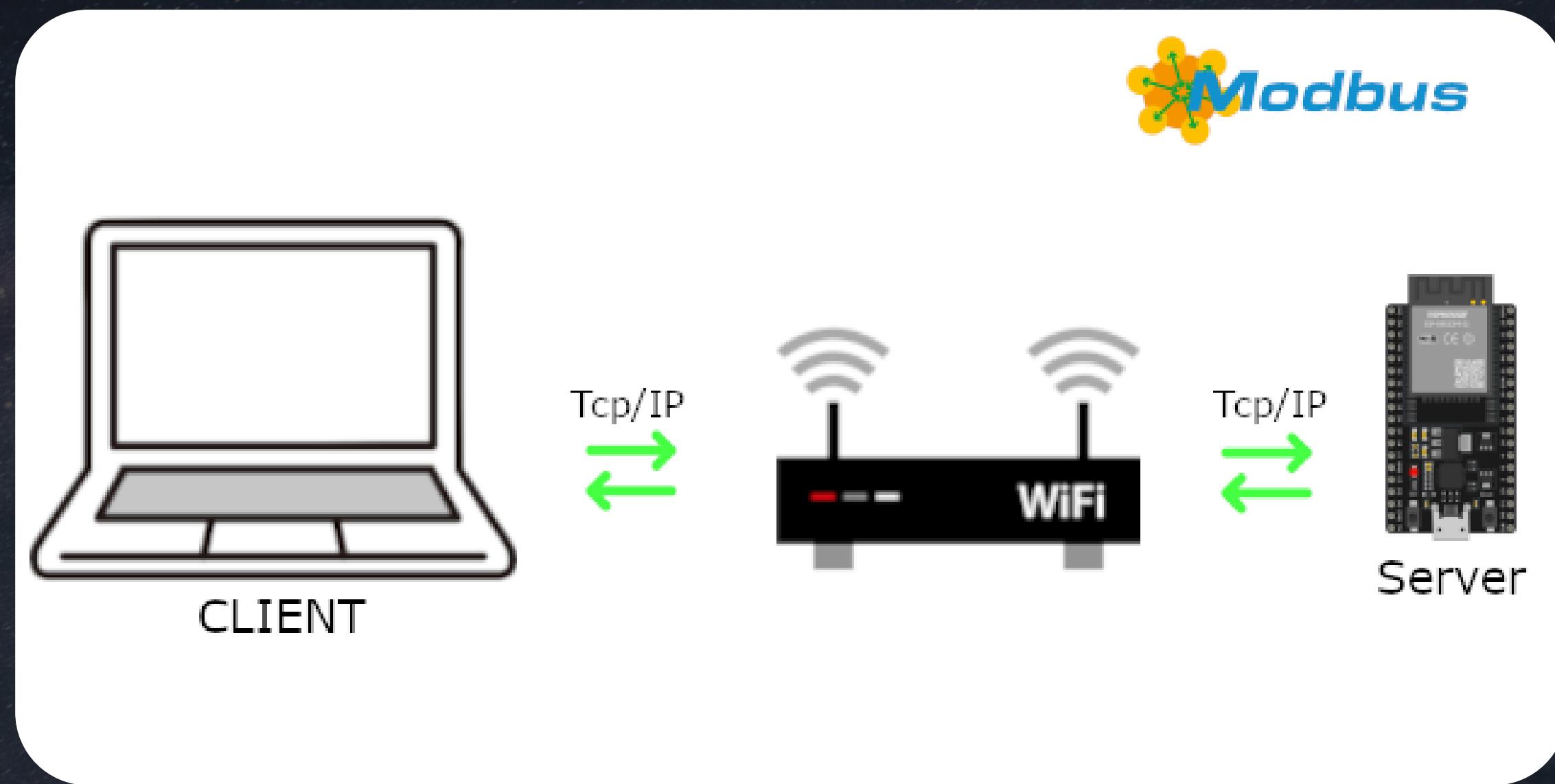
Teste de controle



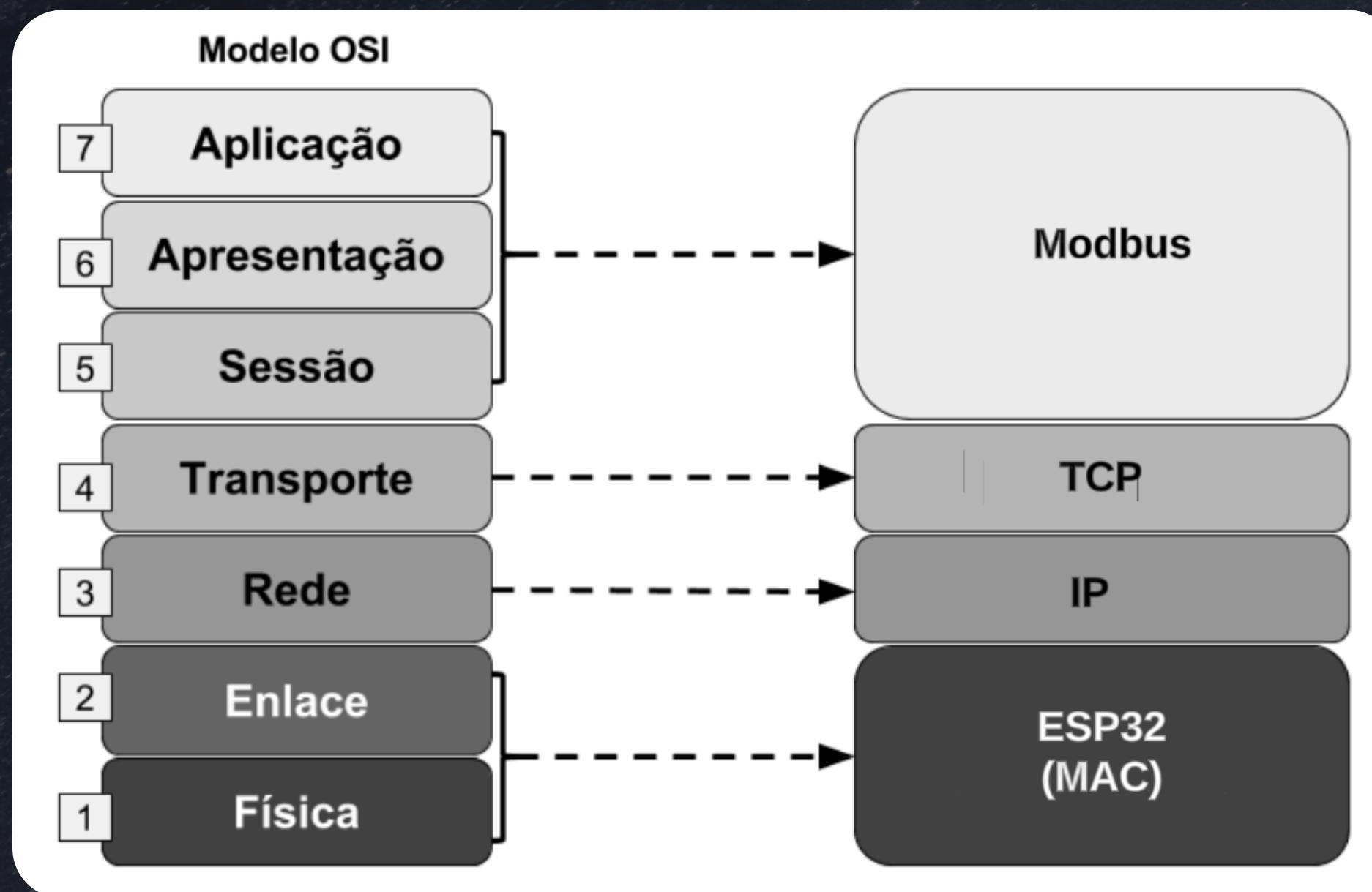
Malha PID com $K_p=10.0$ $K_i=2.1$ e $K_d=0.1$ com $dT=25\text{ms}$

Comunicação

Comunicação Modbus TCP/IP



Comunicação Modbus TCP/IP

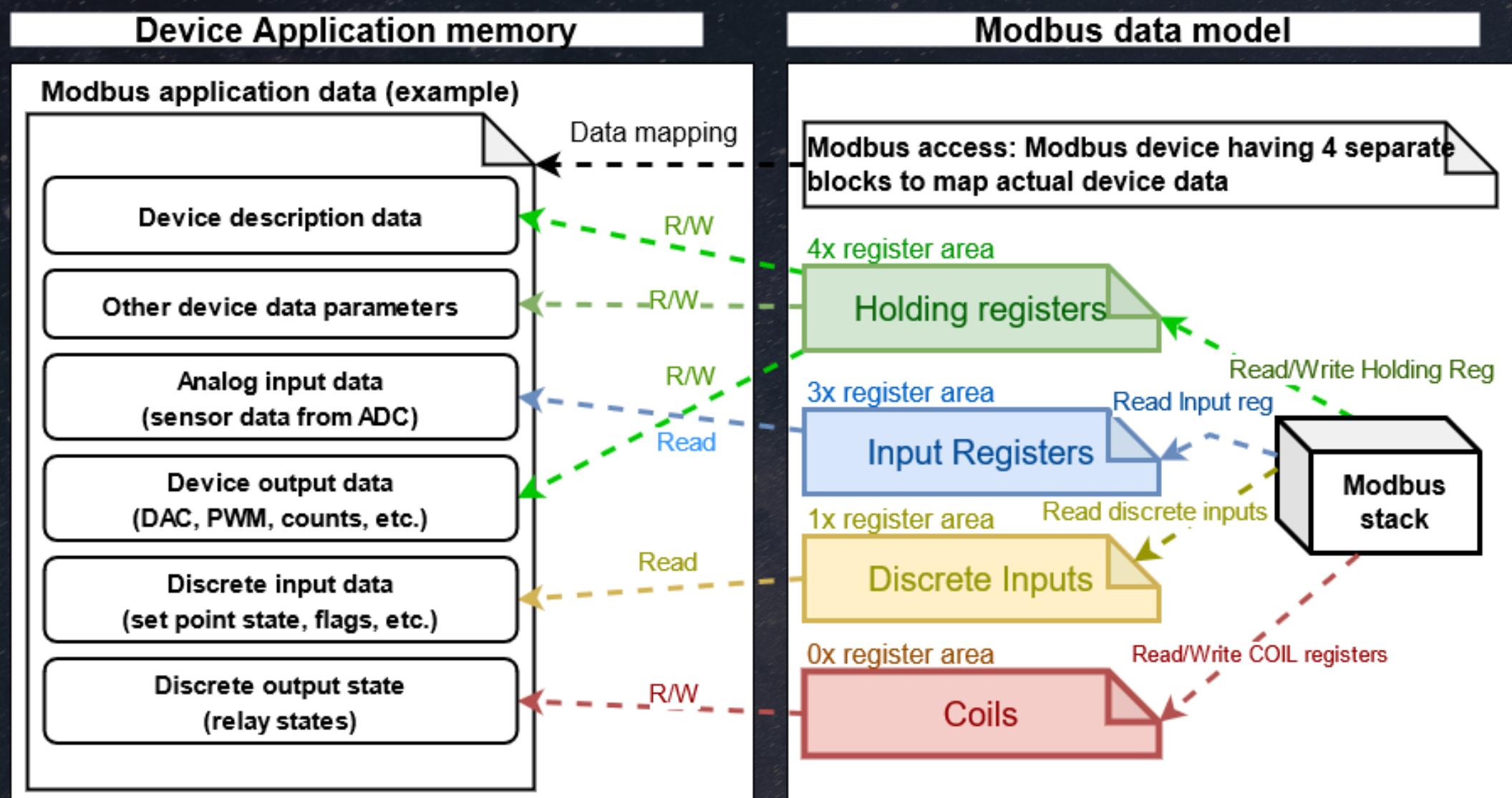


O protocolo Modbus implementa a camada de **Aplicação** do Modelo OSI.

O Modbus TC/IP utiliza das camadas de Rede e Transporte, que o ESP32 é capaz de gerenciar.

Além disso, ele é baseado no modo de operação **Cliente/Servidor**.

Comunicação Modbus TCP/IP



Além de tudo, a própria **Espressif**, empresa que desenvolve os modelos de ESP32, possuem APIs para serem utilizados em seus módulos.

<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/protocols/modbus.html>

Comunicação Modbus RTU

No protocolo Modbus, existem quatro tipos principais de registradores:

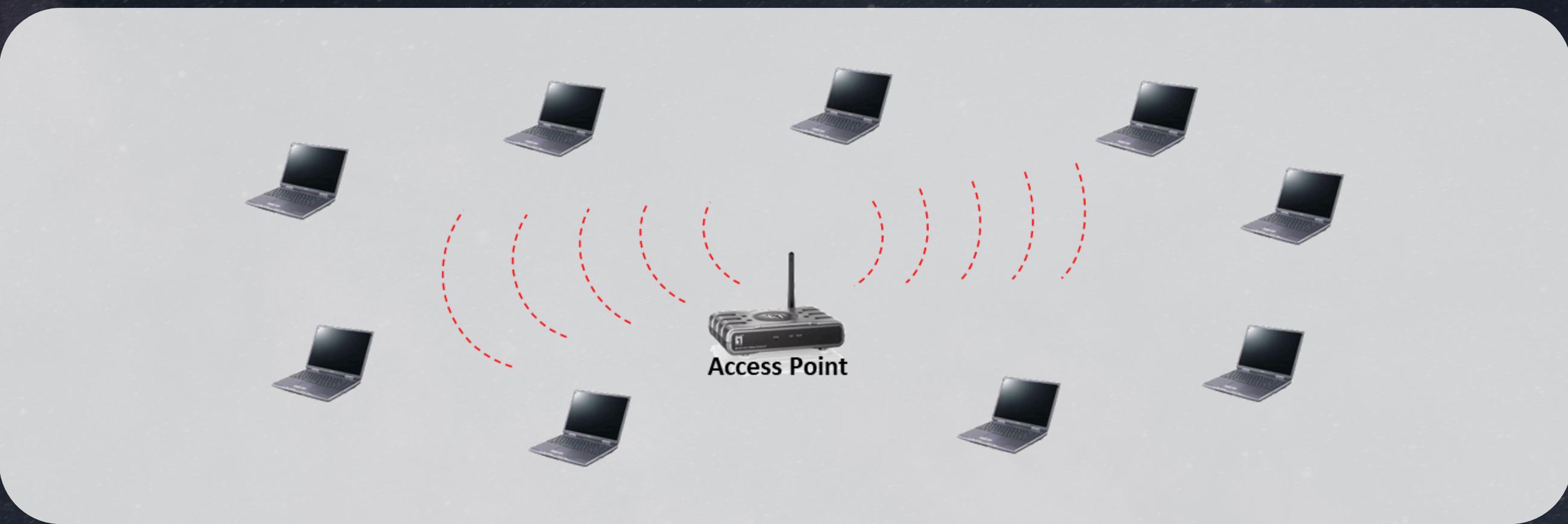
Apêndice I: Tabela de endereços Modbus usados no sistema físico para testes.					
REGISTRADOR DO TIPO INPUT			REGISTRADOR DO TIPO HOLDING		
DESCRIÇÃO	ENDEREÇO	TIPO	DESCRIÇÃO	ENDEREÇO	TIPO
INPUT_POS_GIR	0x00	FLOAT	HR_PV_GIR	0x00	FLOAT
INPUT_POS_ELE	0x02	FLOAT	HR_KP_GIR	0x02	FLOAT
INPUT_AZIMUTE	0x04	FLOAT	HR_KI_GIR	0x04	FLOAT
INPUT_ZENITE	0x06	FLOAT	HR_KD_GIR	0x06	FLOAT
INPUT_GENERATION	0x08	FLOAT	HR_AZIMUTE	0x08	FLOAT
INPUT_TEMP	0x0A	FLOAT	HR_PV_ELE	0x0A	FLOAT
INPUT_PRESSURE	0x0C	FLOAT	HR_KP_ELE	0x0C	FLOAT
INPUT_SENS_CONF_GIR	0x0E	FLOAT	HR_KI_ELE	0x0E	FLOAT
INPUT_SENS_CONF_ELE	0x10	FLOAT	HR_KD_ELE	0x10	FLOAT
INPUT_YEAR	0x12	INT	HR_ALTITUDE	0x12	FLOAT
INPUT_MONTH	0x13	INT	HR_LATITUDE	0x14	FLOAT
INPUT_DAY	0x14	INT	HR_LONGITUDE	0x16	FLOAT
INPUT_HOUR	0x15	INT	HR_STATE	0x18	INT
INPUT_MINUTE	0x16	INT	HR_YEAR	0x19	INT
INPUT_SECOND	0x17	INT	HR_MONTH	0x1A	INT

Exemplo de registradores usados no projeto.

1. Bobinas - Registradores binários que representam saídas digitais. **Podem ser lidos e escritos.**
2. Entradas Discretas - Registradores binários que representam entradas digitais. **Somente leitura.**
3. Registradores de Entrada - Registradores de 16 bits que representam entradas analógicas. **Somente leitura.**
4. Registradores de Retenção - Registradores de 16 bits que representam saídas analógicas. **Podem ser lidos e escritos.**

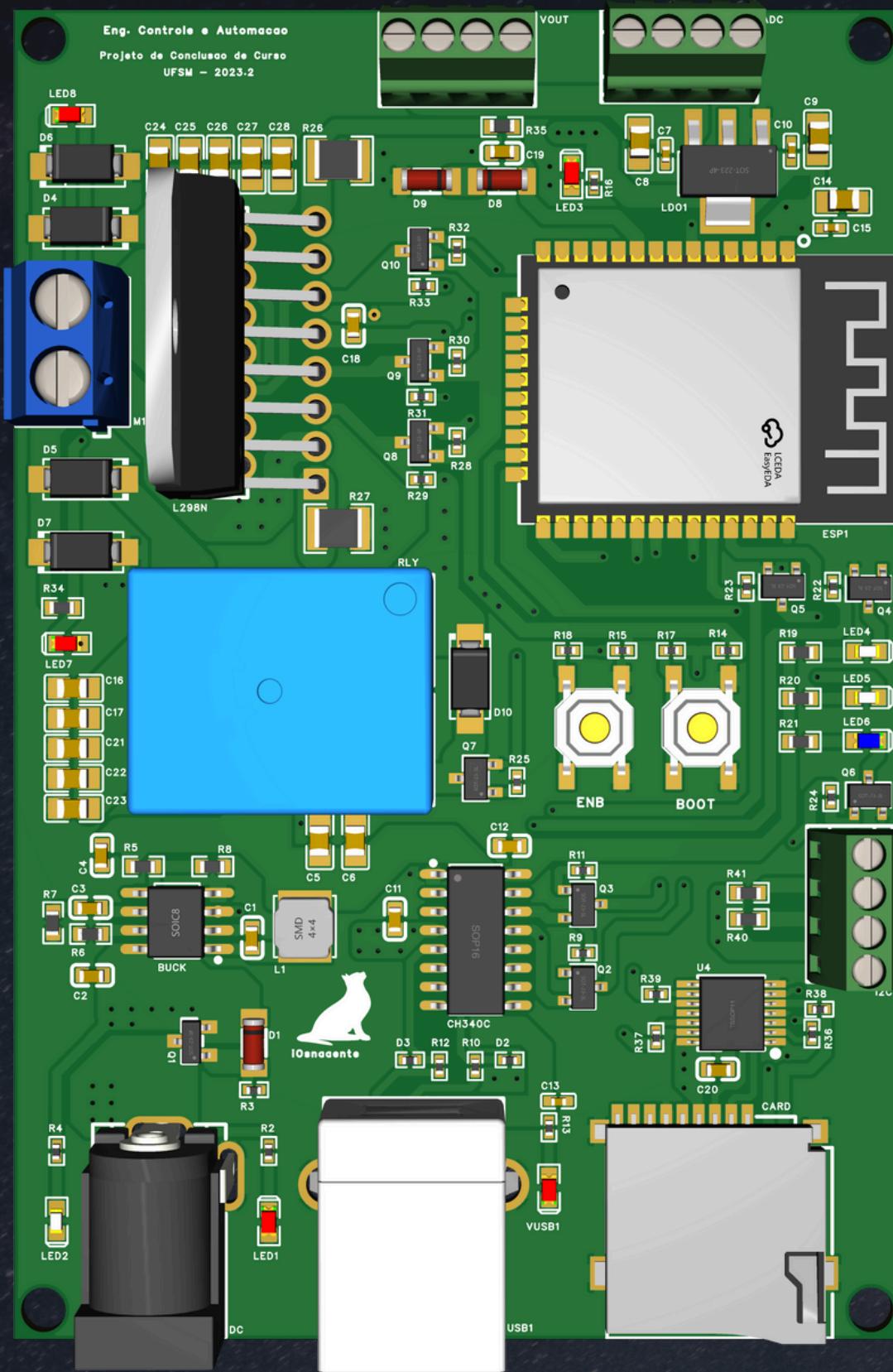
Topologia empregada

Topologia Estrela



A topologia de Estrela foi utilizada devido a facilidade de implementação e as características do uso em condições de **espaço limitado**, sendo uma boa opção para o sistema quando empregado diversos módulos.

Projetos futuros



Prova de conceito

O projeto desenvolvido foi criado com o intuito de ser uma prova de conceito, idealizado para ser aplicado em um sistema real, com robustez.

Como projetos futuros, pretende-se desenvolver um projeto mecânico para que o projeto possa ser devidamente testado e validado.

Além disso, recomenda-se fazer o estudo para uma possível integração de elementos como relógios incorporados à PCB para minimizar a dependencia do Mestre do sistema, além de se explorar novas topologias de redes, uma vez que o ESP32 permite que sejam testados redes Mesh para aumentar o alcance da rede.

*Esquemáticos em Apêndice

Demonstrações e perguntas