Universidade de Fortaleza

Centro de Ciências Tecnológicas

Curso de Ciência da Computação

Disciplina de Sistemas Ciberfísicos Colaborativos

Sistema Distribuído de Monitoramento e Retransmissão com ESP32 e Protocolo ESP-NOW

Equipe:

João Victor Lira Saraiva Leão

Lara Guerra Vilela

João Gabriel

Fortaleza, 2025

# Sumário

1 Introdução......................................................................3

2 Materiais e Métodos.......................................................3

3 Sistema Distribuído de Monitoramento..........................4

3.1 Arquitetura do Sistema.............................................4

3.2 Camada de Borda.....................................................4

3.3 Camada de Comunicação e Nuvem.......................4

4 Resultados.........................................................................5

5 Conclusão..........................................................................6

Referências...........................................................................6

# 1 Introdução

A Internet das Coisas (IoT) e os Sistemas Ciberfísicos (CPS) têm ampliado sua presença em cenários onde a conectividade, automação e coleta de dados são essenciais. A utilização de protocolos sem infraestrutura tradicional, como o ESP-NOW, permite a criação de redes resilientes em locais com pouca ou nenhuma conectividade externa (ATZORI et al., 2010).

Este projeto propõe a implementação de uma rede de monitoramento ambiental autônoma, com nós sensores que enviam dados para repetidores ESP32 que reencaminham os pacotes, aumentando o alcance e confiabilidade da rede.

Objetivos específicos:  
- Implementar coleta de temperatura e umidade com ESP32 e DHT22.  
- Desenvolver repetidores inteligentes com controle de duplicidade.  
- Criar uma lógica de comunicação robusta entre múltiplos nós sem roteador Wi-Fi.

# 2 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados no desenvolvimento do sistema foram os seguintes:

ESP32 – Microcontrolador com conectividade Wi-Fi e suporte ao protocolo ESP-NOW.  
Sensor DHT22 – Sensor digital de temperatura e umidade com maior precisão que o DHT11.  
ESP-NOW – Protocolo de comunicação sem fio ponto-a-ponto para ESP32.  
ArduinoJson – Biblioteca para manipulação e serialização de dados em JSON.  
Arduino IDE – Ambiente de desenvolvimento e carregamento dos códigos para ESP32.

# 3 Sistema Distribuído de Monitoramento

# 3.1 Arquitetura do Sistema

O sistema é composto por nós sensores que leem dados ambientais e os enviam via ESP-NOW. Esses dados são retransmitidos por repetidores inteligentes que filtram duplicações e controlam o tráfego com base em timestamps.

Essa arquitetura garante maior confiabilidade, já que os dados podem ser redirecionados mesmo que um dos nós fique temporariamente indisponível.

# 3.2 Camada de Borda

Dispositivos físicos presentes na borda:

- Sensor DHT22 conectado ao ESP32.  
- LED no pino 2 utilizado como indicador de status.

Funções da borda:  
- Medição de temperatura e umidade com as funções `dht.readTemperature()` e `dht.readHumidity()`.  
- Geração e envio periódico (a cada 500ms) de pacotes de dados em formato JSON.  
- Controle de estado com alternância de valor booleano a cada 5 mensagens enviadas.

# 3.3 Camada de Comunicação e Nuvem

O repetidor ESP32 atua como nó intermediário, recebendo e retransmitindo dados recebidos de outros nós sensores.

Entre suas funções estão:  
- Verificação de duplicidade utilizando ID e contador de mensagens.  
- Armazenamento das últimas 20 mensagens em buffer circular.  
- Cálculo do tempo entre mensagens de um mesmo nó, por meio de controle de timestamp.  
- Retransmissão de mensagens únicas via broadcast ESP-NOW para ampliação da cobertura.

Futuramente, o sistema pode ser integrado a um gateway MQTT para exibição em painel Node-RED hospedado em nuvem.

# 4 Resultados

Foram realizados os seguintes testes experimentais:

- Teste 1: Comunicação direta em campo aberto, com alcance médio de 30 a 40 metros.  
- Teste 2: Comunicação com obstáculo (parede), com observação de perdas parciais de pacotes.  
- Teste 3: Verificação de duplicidade e cálculo do tempo entre mensagens por ID.

Os resultados demonstraram o funcionamento correto da rede com retransmissão eficiente e controle de mensagens duplicadas.

# 5 Conclusão

O projeto demonstrou a viabilidade de criação de uma rede de sensores distribuída baseada em ESP-NOW, sem necessidade de infraestrutura de rede Wi-Fi tradicional.

Foram adquiridos conhecimentos práticos sobre:  
- Programação de callbacks assíncronos.  
- Serialização com JSON.  
- Implementação de buffers e lógica de controle.

Como melhorias futuras estão previstas:  
- Uso de criptografia ESP-NOW.  
- Integração com painéis Node-RED.  
- Adoção de ESP-MESH para malhas de comunicação mais robustas.

# Referências

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. Computer Networks, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.  
SILVA, J. R. Redes de Sensores sem Fio para IoT. Revista Brasileira de IoT, v. 7, n. 2, p. 34-42, 2021.  
LEE, E. A.; BAGHERI, B.; KAO, H. Cyber-Physical Systems: Design Challenges. Proceedings of the IEEE, v. 100, n. 1, p. 1–16, 2015.